

# Proizvodnja željeza u kasnoj antici i ranome srednjem vijeku u Podravini - tehnološki aspekti i društveni kontekst

---

Karavidović, Tena

Doctoral thesis / Disertacija

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet**

<https://doi.org/10.17234/diss.2022.137412>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:131:733770>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**



Sveučilište u Zagrebu  
Filozofski fakultet  
University of Zagreb  
Faculty of Humanities  
and Social Sciences

Repository / Repozitorij:

[ODRAZ - open repository of the University of Zagreb  
Faculty of Humanities and Social Sciences](#)





Sveučilište u Zagrebu

Filozofski fakultet

Tena Karavidović

**Proizvodnja željeza u kasnoj antici i  
ranome srednjem vijeku u Podravini –  
tehnološki aspekti i društveni kontekst**

DOKTORSKI RAD

Mentor(i):

Dr.sc. Tajana Sekelj Ivančan

Prof. dr.sc. Sanda Rončević

Zagreb, 2022.



University of Zagreb

Faculty of Humanities and Social Sciences

Tena Karavidović

**Iron Production in Late Antiquity and Early  
Middle Ages in the Podravina Region –  
Technological Aspects and  
Social Context**

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisor(s):  
Tajana Sekelj Ivančan, PhD  
Sanda Rončević, PhD

Zagreb, 2022

Zahvaljujem

*...mentorici dr.sc. Tajani Sekelj Ivančan na ukazanom povjerenju i formulaciji teme istraživanja, prenesenom znanju i brojnim konstruktivnim raspravama, stručnim i prijateljskim savjetima, kontinuiranoj podršci i poticanju na znanstvenu afirmaciju. Hvala Vam na prijateljstvu i inspiraciji.*

*...mentorici prof.dr.sc. Sandi Rončević na ukazanom povjerenju, otvorenosti ka interdisciplinarnom istraživanju, prenesenom znanju, konstruktivnim raspravama i savjetima bez kojih ovaj rad ne bi bio moguć. Hvala Vam na kontinuiranoj podršci i poticaju.*

*...prof.dr.sc. Sibili Borojević Šoštarić suradnici na projektu TransFer čiji je znanstveni rad i otvorenost ka interdisciplinarnoj suradnji potakao i formuliranje ove disertacije, a suradnja otvorila svijet geoarheologije. Hvala Vam na poticaju i podršci.*

*...dr.sc. Tomislavu Brenku na razmjeni znanja i promišljanja, brojnim raspravama te zajedničkim radovima i znanstvenoj suradnji.*

*...dr.sc. Ini Miloglav na brojnim konzultacijama i raspravama, prijateljskim i stručnim savjetima.*

*...dr.sc. Adamu Thiele-u i Ondri Merti na organizaciji radionica eksperimentalnog testiranja postupaka proizvodnje željeza, prenesenom znanju i otvorenosti za brojne rasprave, ideje i suradnju.*

*...Ivanu Valentu na nesebičnoj pomoći u pristupu i obradi arheoloških nalaza, izvođenju eksperimenata i prijateljstvu.*

*... dr.sc. Robertu Čiminu i djelatnicima Muzeja Grada Koprivnice te Ivanu Zvijercu što su omogućili obradu arheoloških nalaza, sudjelovali u brojnim eksperimentalnim testiranjima i učinili moj boravak u Podravini ugodnim.*

*...djelatnicima Instituta za arheologiju u Zagrebu na poticaju, podršci u znanstvenom radu i ugodnoj radnoj atmosferi u protekle četiri godine, u vrijeme nastajanja ove doktorske disertacije.*

*...mojim prijateljima i obitelji na razumijevanju, kontinuiranoj podršci i nebrojenim arheološkim (i drugim) konstruktivnim raspravama.*

*...Mariju Bodružiću na ljubavi.*

Podaci o mentoricama:

Dr.sc. Tajana Sekelj Ivančan,  
znanstveni savjetnik u trajnom zvanju  
Institut za arheologiju,  
Zagreb

prof.dr.sc. Sanda Rončević  
Zavod za analitičku kemiju  
Kemijski Odsjek  
Prirodoslovno Matematički Fakultet  
Sveučilište u Zagrebu

## Sažetak

Tema doktorskog istraživanja teži razumijevanju tehnologije proizvodnje željeza te odnosa prirodnih, društvenih i socio–ekonomskih (pred)uvjeta na pojavu i razvoj proizvodnje željeza na lokalnoj/regionalnoj razini kroz duži vremenski period, u razdoblju kasne antike i ranoga srednjega vijeka na prostoru Podravine. Temelj za analizu čini arheološki zapis i nalazi s lokaliteta (Virje Volarski breg i Sušine, Hlebine Velike Hlebine i Dedanovice) na kojima su se odvijale aktivnosti proizvodnje i obrade željeza, na području sliva rijeke Drave, današnje Podravine. Lokaliteti su datirani kraja 4./5. st., preko 5./6. st. i 7. st. pa do 8. i početka 9. stoljeća. Interpretacija rezultata temelji se na analizi arheološkog zapisa, makroskopskoj analizi nalaza vezanih uz proizvodnju i obradu željeznih poluproizvoda (zgura i tehnička keramika), sirovina (ruda - arheoloških i geoloških uzoraka) te mineraloškoj (XRD) i kemijskoj analizi (ICP-MS, AES) odabranih uzoraka, eksperimentalnim testiranjima i prostornoj analizi.

**Ključne riječi:** proizvodnja željeza, direktna redukcija željezne rude, postredukcija, talionička zgura, kovačka zgura, spužvasto željezo, kasna antika, rani srednji vijek, močvarna željezna ruda, arheometalurgija, arheologija krajolika

## Extended summary

Previous archaeological investigations in present-day Gornja Podravina have created prerequisites for the study of the wider context of iron production in the period of Late Antiquity and the Early Middle Ages. The relevant factors of the current state of research are 1) a series of known positions defined based on field surveys with traces of various activities related to iron production, 2) several positions where archaeological excavations were carried out with a pronounced character of iron production - workshops and spatially close and simultaneous settlement sites, 3) high intensity of occurrence of indicative sites in a geomorphologically unique area. During several research campaigns, from 2008 to 2019, led by Ph.D. Tajana Sekelj Ivančan (Institute of Archaeology), sites that can be linked to iron production were investigated and dated by the radiocarbon method to the 4th/5th century (Virje – Sušine), over the 5th/6th century (Virje – Volarski breg) and the end of the 6th and 7th century (Hlebine – Velike Hlebine, Hlebine – Dedanovice, Virje Sušine), end of the 7th and 8th centuries (Virje Sušine) and until into the 8th and the beginning of the 9th century (Virje – Volarski breg, Kalinovac – Hrastova greda). At these locations, several tons of waste were collected as a result of the direct reduction process (iron bloom production) and post-reduction processing (primary and/or secondary smithing). More intensive, interdisciplinary research has followed since 2017, through the project "Iron production along the Drava River in antiquity and the Middle Ages: creation and transfer of knowledge, technology and goods" (IP-06-2016-5047), led by Ph.D. Tajana Sekelj Ivančan, funded by Croatian Science Foundation. As part of the project, an extensive field survey and reambulation of the area of Gornja Podravina identified locations (about 160) where metallurgical waste was collected on the surface (Valent et al. 2018; 2019; 2022) resulting from the production and/or processing of bloomery iron. Surface-collected waste testifies to the high intensity and existence of different, interconnected metallurgical activities in this region. Previous publications of the investigated sites (Sekelj Ivančan 2009; 2010; 2011; 2013; 2014a; 2014b; 2016; 2018; 2019; Sekelj Ivančan and Valent 2017; Sekelj Ivančan and Tkalčec 2018) emphasized the workshop and production character. All sites in the observed area are located within a geomorphologically relatively homogeneous area, the lowland area of the Drava River upper basin, today's Podravina region, NW Croatia. The lowland area of the wider region connected to the river Drava (Podravina in Croatia, Somogy district, Republic of Hungary) is suitable for the formation of bog iron ores (Sekelj Ivančan and Marković 2017; Brenko et al. 2019; 2020; 2022; Kericsmár and Thiele 2015), the basic natural resource needed for the production iron. Samples of bog iron ore were found in

the archaeological context at the mentioned sites (Karavidović 2020), but also at medieval sites dating from the 7th to the 9th century in the territory of today's Hungary (Gömöri 2000a; 2000b), and they testify to the exploitation and use of local natural resources in the Podravina region (Brenko et al. 2021; 2022) as well as within the wider geographical area in the period of Late Antiquity and the Early Middle Ages.

The term iron production in the context of the doctoral thesis refers to the entire production process, from the raw material to the final product, and includes research on exploitation strategies of natural resources (primarily ore as well as wood and clay), processing of raw materials (ore refining, charcoal production), smelting process (direct smelting of iron ore) and primary and/or secondary smithing. The technological aspects of iron production are defined based on an interdisciplinary approach that includes several levels of data collection, processing, and analysis: macroscopic analysis of relevant archaeological material (slag, ore), analysis of the chemical composition and mineral phases of selected samples, targeted design, performance and analysis of the results of archaeological experiments. The archaeological finds that form the backbone of the research come from research conducted at the sites Virje – Volarski breg (S 1, 2, 3), Virje – Sušine (S 5, 7, 8), Hlebine–Velike Hlebine (S 1 and 2), Hlebine – Dedanovice (S 1 – 4). The finds are kept in the Koprivnica City Museum. It is a total amount of several tons, under several basic groups of finds: technical ceramics (clay furnace walls and tuyeres), technological waste generated during the production of iron blooms and further processing procedures (smelting and primary smithing, welding), (semi)products (shards iron blooms) and resources (bog iron ore). In addition to the basic categorization, based on macroscopic analysis, the findings are further divided based on specific diagnostic characteristics depending on the type of finds to observe changes, similarities or differences in production technology, and source of raw materials from 4/5 – 8/9 centuries. The categorization is used in intra-site spatial analysis of distribution, to analyze the spatial organization of the closed archaeological contexts, workshops for iron production. For a better understanding of all iron processing procedures, experiments were conducted by scientific standards (Kettleborn 1987: 11–12), which include distinctly set goals and research questions, measurability, repeatability, and a satisfactory level of stakeholder experience. The experiments were designed to reconstruct and understand procedures related to the preparation and selection of raw materials, testing variations of conceptual reconstructions of smelting furnaces and smithing installations and variations in smelting/smithing procedures established based on macroscopic analysis, and how the resulting waste and record can be compared with



archaeological findings and record. By comparing the results of macroscopic analysis and experimental testing, conclusions were drawn about the type and character of applied procedures and technological solutions (type and construction of smelting/smithing furnaces, type of procedures, course of procedures) and the interpretation of individual structures investigated at the observed sites was strengthened. During the experiments, the consumption of natural resources (raw materials-ore, charcoal), as well as the consumption of time and human resources were recorded, and a model was established to estimate the ratio of the consumption of all resources of basic raw materials and other resources against the quantity of the output, final product (iron bloom, consolidated and purified iron semi-products). Through quantitative analysis of different categories of waste related to the production process and comparison with the results of experiments, conclusions were drawn about the amount of iron produced, the volume of production, the intensity, rhythm, and level of use of the workshops.

The laboratory analyses were performed for a more detailed classification of the selected samples, analysis of the characteristics of the raw materials used, generated waste, and the final product, and to determine the similarities and differences of the production process present in the context of the observed sites. They include mineralogical (XRD) and chemical analysis (ICP-MS, AES) of selected samples of raw materials (ore) and technological waste (slag) from different stages of iron production. The ore and slag samples were crushed to a powder fraction and their mineral composition was determined using X-ray powder diffraction (XRD). A Phillips vertical goniometer (type X'Pert) equipped with a copper tube and a graphite monochromator was used to determine the mineral composition. During the measurement, a voltage of 40 kV and a current of 35 mA with a step size of  $0.02^\circ 2\theta$  were used. The analyzes were performed at the Faculty of Mining, Geology and Petroleum, University of Zagreb. Chemical analyzes were performed at MSALabs (Langley, Canada) using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) after melting the samples with lithium borate. The proportions of less abundant elements were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The fractions of inorganic (TIC) and organic carbon (TOC) were determined by induction, while the loss of mass on heating (LOI) was determined at  $1000^\circ\text{C}$ . The selection of samples is based on the macroscopic classification of finds (type of find) and technological interpretation (type and characteristics of the process of creation) as well as spatial (location of the site), temporal (absolute dating of the site) and contextual (archaeological record) properties of the find. The results were analyzed using chemometric

methods, mainly multivariate statistical analysis of data groups. This approach enables detailed characterization and analysis of samples (Pollard et. al. 2006; Charlton et. al. 2010; 2012).

The social context of iron production is analyzed through the organization of the production process (levels and types of activities related to workshop and settlement areas, areas of exploitation of raw materials, and the organization of the workspace) and the relationship between settlements and workshops (structure and location). This segment of the research involves the creation of a spatial database (using GIS software) of indicative sites (defined by field survey and archaeological research), geological, pedological, and geomorphological data of the investigated area of Podravina region as well as a database of qualitative and quantitative data on archaeological finds within sites, used for multi-level spatial analysis. The individual researched workshops are viewed as closed units and based on the spatial analysis of the distribution of finds and the archaeological record, conclusions were drawn about the organization of the workspace and the production process. By analyzing the relationship between the location of sites and defined archaeological units of different character (settlement, workshop) and temporal affiliation, as well as the relationship with the natural characteristics of the landscape (hypsometry, risk of flooding, presumed exploitation areas – bog iron ore formation areas and potential sources of other natural resources (wood, clay)) conclusions are drawn about mutual spatial conditioning and the combination of the influence of natural and socio-economic (pre)conditions for choosing the location of workshops. In a broader context, the available data on the appearance and development of local production and distribution of iron and/or semi-finished products in the wider Central European area in the time of late antiquity and the early Middle Ages, the period that follows the reduction in volume and/or the cessation of operation of large provincial production centers that operated under the Roman rule in antiquity throughout Europe and the destabilization of (socio)economic communications and social relations.

In the period of Late Antiquity and the Early Middle Ages, iron was actively produced in the area of today's Podravina region, and the entire chain of operations was present at the local level. The organization of work is structured, which testifies to the high level of organization of this economic branch, which reflects socio-economic relations and the needs of communities. The existence of production at the local level, changes and/or continuity visible in the selection of technological solutions and the location of workshops, the organization of the production process, and the intensity and volume of production over a long period, arise under the influence of cultural, socio-economic and natural (pre)conditions.

**Keywords:** iron production, direct reduction of iron ore, postreduction process, smelting slag, smithing slag, iron bloom, late antiquity, early middle ages, bog iron ore, archaeometallurgy, landscape archaeology

## **1** *Uvod*

## **1**

<b>1.1</b>	<b>Proizvodnja željeza u kasnoj antici i ranome srednjem vijeku na širem srednjoeuropskom prostoru</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>Proces proizvodnje željeza – od sirovine do predmeta</b>	<b>1</b>
<b>1.3</b>	<b>Rudonosna područja i tragovi proizvodnje željeza na prostoru kontinentalne Hrvatske</b>	<b>5</b>
<b>1.4</b>	<b>Područje istraživanja</b>	<b>10</b>
1.4.1	Prirodna obilježja područja Podravine	10
1.4.2	Arheološka istraživanja proizvodnje željeza na prostoru Podravine – povijesni pregled	12
<b>1.5</b>	<b>Ciljevi i hipoteze</b>	<b>13</b>
<b>1.6</b>	<b>Materijali i metodologija istraživanja</b>	<b>14</b>
<b>1.7</b>	<b>Znanstveni doprinos</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b><i>Lokaliteti s metalurškim značajkama na prostoru Podravine</i></b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Površinski terenski pregled</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Geofizička istraživanja i arheološka iskopavanja</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Položaj lokaliteta</b>	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>Arheološki terenski zapis</b>	<b>23</b>
2.4.1	Virje	23
2.4.1.1	Sušine	23
2.4.1.1.1	Sonda 7 i 8	24
2.4.1.1.2	Sonda 5	29
2.4.1.2	Volarski breg	33
2.4.1.2.1	Sonda 1	33
2.4.1.2.2	Sonda 2 i 3	37
2.4.2	Hlebine	39
2.4.2.1	Velike Hlebine	40
2.4.2.2	Dedanovice	45
<b>2.5</b>	<b>Kronologija – relativna i apsolutna datacija istraženih lokaliteta</b>	<b>51</b>
<b>3</b>	<b><i>Eksploatacija i uporaba sirovina</i></b>	<b>55</b>
<b>3.1</b>	<b>Rude</b>	<b>55</b>
3.1.1	Uzorci ruda iz arheološkog i geološkog konteksta	55

3.1.1.1	Podrijetlo i kontekst pronalaska	55
3.1.1.2	Morfološka, mineraloška i geokemijska svojstva	64
3.1.1.3	Geokemijski otisak – problem razlikovanja pojedinačnih ležišta	74
3.1.2	Rekonstrukcija ležišta: studija slučaja položaja Kalinovac – Hrastova greda	77
3.1.2.1	Terenska istraživanja	78
3.1.2.2	Daljinska istraživanja: geoprostorne analize	79
3.1.2.3	Analiza uzoraka	80
3.1.2.4	Svojstva razvojnih faza močvarne željezne rude	80
3.1.2.5	Prostorna distribucija geoloških tvorevina i položaj arheološkog lokaliteta	85
3.1.2.6	Prostor formiranja i fizionomija ležišta	87
3.1.2.7	Mehanizam formiranja i svojstva močvarne željezne rude	89
3.1.2.8	Promjene u krajoliku i njihov utjecaj na održivost ležišta	92
3.1.3	Rudarenje	93
3.1.3.1	Metode i područja eksploatacije	93
3.1.3.2	Prepoznavanje ležišta u krajoliku	94
3.1.4	Oplemenjivanje ruda – priprema za proces redukcije	97
3.1.4.1	Tehnološka iskoristivost ruda: svojstva i utjecaj na postupak taljenja	98
3.1.4.2	Karakter ležišta i tehnološka prilagodba – postupci diskriminacije	100
3.1.4.3	Postupci prženja	107
3.1.4.4	Ostali postupci pripreme	112
3.1.4.5	Područja pripreme sirovina	114
<b>3.2</b>	<b>Ugljen</b>	<b>118</b>
<b>4</b>	<b><i>Analiza zgure i tehničke keramike</i></b>	<b>120</b>
<b>4.1</b>	<b>Kontekst pronalaska i metodološki pristup</b>	<b>120</b>
4.1.1	Makroskopska analiza	120
4.1.2	Mineraloška i kemijska analiza	124
<b>4.2</b>	<b>Zgura</b>	<b>129</b>
4.2.1	Morfološka svojstva i klasifikacija	129
4.2.1.1	Talionička zgura: postupak redukcije	130
4.2.1.1.1	Virje – Sušine	134
4.2.1.1.1.1	Sonda 7	134
4.2.1.1.1.2	Sonda 8	136
4.2.1.1.1.3	Sonda 5	137
4.2.1.1.1.4	Sonde 6, 9, 10 i 11	139
4.2.1.1.2	Virje – Volarski breg	139
4.2.1.1.2.1	Sonda 1	139
4.2.1.1.2.2	Sonda 2a	140
4.2.1.1.2.3	Sonda 3	141
4.2.1.1.2.4	Sonda 2b	142

4.2.1.1.3	Hlebine – Velike Hlebine	142
4.2.1.2	Postredukcijska zgura: postupci kompaktiranja, kovanja i varenja	145
4.2.1.2.1	Amorfni ulomci	146
4.2.1.2.2	Okujina: sfere i listići	146
4.2.1.2.3	Kovačke pogače: zgura s dna peći	146
4.2.1.2.3.1	Virje – Sušine	149
4.2.1.2.3.1.1	Sonda 7	149
4.2.1.2.3.1.2	Sonda 8	153
4.2.1.2.3.1.3	Sonda 5	154
4.2.1.2.3.1.4	Sonda 10	157
4.2.1.2.3.2	Virje – Volarski breg	157
4.2.1.2.3.3	Hlebine – Velike Hlebine	158
4.2.1.2.3.4	Hlebine – Dedanovice	161
4.2.1.2.4	Zgura iz jamskih peći: Virje – Sušine	162
4.2.1.3	Ulomci spužvastog željeza	163
4.2.2	Mineraloška i kemijska svojstva	164
4.2.2.1	Klasifikacija zgure prema tehnološkom procesu	170
4.2.2.2	Varijabilnost iskorištavane sirovine	175
<b>4.3</b>	<b>Tehnička keramika: stijenke peći i sapnice</b>	<b>177</b>
4.3.1	Sapnice	177
4.3.1.1	Funkcionalno-tipološka analiza	189
4.3.1.2	Kronološko-tipološka analiza	192
4.3.2	Stijenke peći	198
4.3.2.1	Virje Sušine	199
4.3.2.1.1	Sonda 5	199
4.3.2.1.2	Sonda 7	200
4.3.2.1.3	Sonde 1, 2a i 3	201
4.3.2.2	Hlebine	201
4.3.2.2.1	Velike Hlebine	201
4.3.2.2.2	Dedanovice	202
<b>5</b>	<b>Tehnologija proizvodnje željeza</b>	<b>204</b>
<b>5.1</b>	<b>Proces direktne redukcije: proizvodnja spužvastog željeza</b>	<b>204</b>
5.1.1	Dizajn peći	204
5.1.2	Operativni parametri: način izvođenja postupka	213
5.1.3	Poluproizvodi i resursi – utrošak i prinos u jednom talioničkom postupku	225
<b>5.2</b>	<b>Proces postredukcije: pročišćavanje, varenje i kovanje</b>	<b>236</b>
5.2.1	Operativni parametri i vrste postredukcijskih procesa	236
5.2.2	Dizajn peći	243

## **6 Radionice za proizvodnju željeza 248**

<b>6.1 Organizacija radnog prostora i proizvodnih aktivnosti</b>	<b>248</b>
6.1.1 kraj 4. – 5. st.: Virje Sušine	248
6.1.2 2/2 5. – 6. st.: Virje – Volarski breg	249
6.1.3 2/2/kraj 6. st. – 2/2 7. st.: Hlebine – Velike Hlebine, Dedanovice, Virje – Sušine	251
6.1.3.1 Priprema sirovina, redukcijski i postredukcijski procesi	251
6.1.3.1.1 Hlebine – Velike Hlebine	251
6.1.3.1.2 Virje – Sušine	264
6.1.3.2 Postredukcijski procesi i skladištenje sirovina: naseobinski kontekst	266
6.1.3.2.1 Hlebine – Dedanovice	266
6.1.4 2/2 7. – 8. st.: Virje – Volarski breg i Sušine	267
6.1.5 8. – 9. st.: Virje – Volarski breg	269
<b>6.2 Dinamika uporabe prostora radionica</b>	<b>273</b>
<b>6.3 Obim proizvodnje</b>	<b>278</b>
<b>6.4 Odabir položaja</b>	<b>283</b>

## **7 Zaključna razmatranja 290**

## **8 Prilozi 297**

<b>1. Eksperimentalna testiranja</b>	<b>297</b>
<b>Tehnološka iskoristivost rude</b>	<b>297</b>
Priprema sirovina: prženje močvarne željezne rude	297
Operativni parametri	297
Karakteristike, tijek postupka i utrošak resursa	299
Fizička, mineraloška i kemijska svojstva rude	302
Talionički postupak: proces direktne redukcije	306
Dizajn peći i operativni parametri	306
Tijek postupaka	308
Fizičke, mineraloške i kemijske karakteristike zgure	310
Kvaliteta rude i uspješnost postupaka taljenja	313
<b>2. Vegetacijski i pedološki pokazatelji prostora ležišta močvarne rude i položaja arheoloških lokaliteta metalurškog karaktera u suvremenom krajoliku: potencijal daljinskih istraživanja</b>	<b>316</b>
<b>Potencijal istraživanja vegetacijskih i pedoloških pokazatelja</b>	<b>316</b>
<b>Metodologija</b>	<b>318</b>
Antropogeni utjecaj na prostornu distribuciju geoloških i arheoloških tvorevina	318
Daljinska istraživanja	319

<b>Analiza pokazatelja</b>	<b>323</b>
Prostor razvoja močvarne željezne rude	323
Arheološki lokaliteti metalurškog karaktera	326
<b>Položaj arheoloških i povijesnih antropogenih tvorevina</b>	<b>327</b>
Vegetacijski i pedološki pokazatelji	329
<b>3. Tablice rezultata analiza</b>	<b>336</b>
<b>Kemijske analize</b>	<b>336</b>
<b>Makroskopska obrada - zgura s dna kovačke peći i jamske peći</b>	<b>341</b>
<b>4. Table</b>	<b>347</b>
Popis tabli	378
<b>9 Popis literature</b>	<b>382</b>



# 1 Uvod

## 1.1 Proizvodnja željeza u kasnoj antici i ranome srednjem vijeku na širem srednjoeuropskom prostoru

Razdoblje kasne antike na širem europskom prostoru obilježeno je značajnim promjenama. U kontekstu proizvodnje i distribucije željeza, destabilizacija komunikacija te društvenih i socio-ekonomskih odnosa rezultirala je raslojavanjem proizvodnih aktivnosti i kontrole distribucije te smanjenjem obima i/ili prestankom proizvodnje željeza u velikim antičkim proizvodnim centrima (Pleiner 2000). Od pogaovitog značaja za prostor koji se promatra u doktorskom istraživanju je dinamika funkcioniranja centara na prostoru rimske provincije Panonije i Dalmacije (SZ i srednje Bosne) te Norika, koji prestaju s radom u razdoblju između 4. st. i kraja 5. i u 6. stoljeću (Cech 2014; Škegro 1999). Arheološki podaci (Pleiner 2000) svjedoče o sporadičnoj pojavi lokalnih/regionalnih radionica na širem europskom prostoru od 5. do 7. stoljeća, no ovi podaci izrazito su rijetki, vremenski i prostorno različiti te je interpretacija šireg društvenog konteksta ovog fenomena izazovna. U narednim stoljećima, od 7. do 9. st. javljaju se veće aglomeracije radionica za proizvodnju željeza koncentrirane oko rudonosnih područja primjerice u Velikoj Moravskoj (Pleiner 2000) i SZ Mađarskoj (Gömöri 2000). Potonji podaci svjedoče o dinamičnim višeslojnim promjenama vidljivim i u organizaciji privrednih djelatnosti na širem srednjoeuropskom području u razdoblju kasne antike i ranoga srednjega vijeka.

## 1.2 Proces proizvodnje željeza – od sirovine do predmeta

Proces proizvodnje željeza je slojevit te podrazumijeva niz postupaka koji iziskuju različite vrste i razine znanja i vještina te značajan utrošak vremena i energije. Prvi korak ka proizvodnji željeza je nabava ili eksploatacija osnovnih sirovina, rude i drva. Daljnji koraci koji prethode samom postupku taljenja podrazumijevaju pripremu sirovina, prvenstveno proizvodnju drvenog ugljena, ali i postupke priprema ruda. Postupci pripreme ruda mogu višestruko pozitivno utjecati na karakteristike rude, odnosno povećati njihovu pogodnost za direktnu redukciju (Cleere 1972; Pleiner 2000: 107; Sauder, Williams 2002: 125; Espelund 2013: 85–87), a podrazumijevaju čišćenje rude od jalovine ispiranjem i/ili ručnim prebiranjem, sušenje i/ili postupak prženja i usitnjavanja ruda (Pleiner 2000: 106).

Osnovni tijek postupka taljenja, podrazumijeva izgradnju i sušenje peći, zagrijavanje s drvenim ugljenom kako bi se postigla dovoljna temperatura i redukcijska atmosfera te postepeno zapunjavanje rudom i ugljenom. Kroz direktan proces redukcije, taljenja željezne rude, nastaje

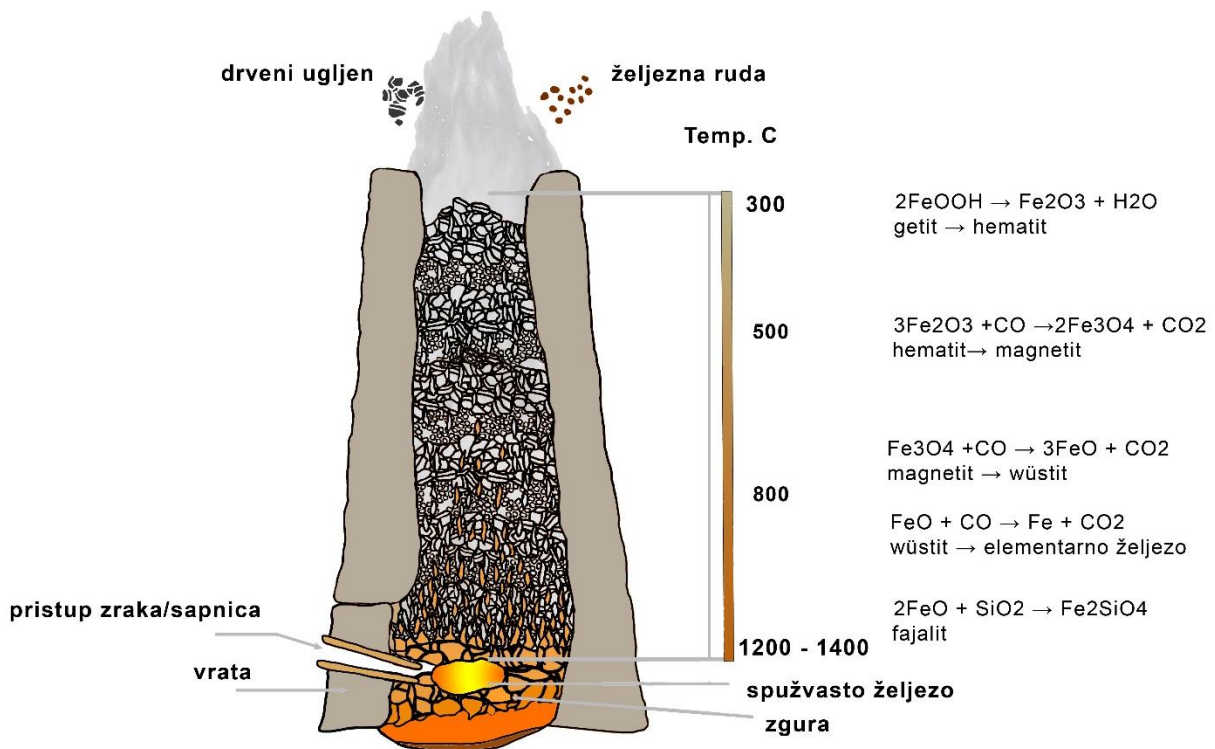
spužvasto željezo (eng. *iron bloom*) te otpad, zgura. Postupak taljenja, izdvajanja željeza iz ruda, odvijao se u talioničkim pećima. Osnovne funkcionalne elemente konstrukcije talioničke peći čine način otklanjanja zgure (nakupljanje ili ispuštanje), način na koji je peć bila toplinski izolirana (ukopane ili slobodno stojeće), oblik i visina nadzemne konstrukcije i mehanizam upuhivanja zraka ili izazivanje propuha (Cleere 1972: 16; 1981: 57–59; Pleiner 2000: 141–196; Fluzin et. al. 2000: fig. 39). Ovi elementi ujedno su i temelj za klasifikaciju peći, čiji oblik varira kroz arheološka razdoblja, ali i geografske te kulturne odrednice (najobimniju klasifikaciju i pregled peći s područja Europe vidi: Pleiner 2000). Peći za taljenje oblikom mogu biti različite, no bez obzira na razlike u konstrukciji peći da bi postupak taljenja željezne rude bio uspješan, proces unutar peći mora se odvijati prema istim načelima termodinamike. Osnova ovoga procesa je kemijska reakcija, redukcija ruda pri čemu ulogu glavnog reducensa igra ugljik (u obliku ugljikova monoksida (CO)). Ugljikov monoksid nastaje nepotpunim sagorijevanjem ugljika tj. pri zagrijavanju kisik reagira s ugljikom te nastaje ugljikov dioksid ( $C + O_2 \rightarrow CO_2$ ), daljnjim procesom ugljikov monoksid ( $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ ). Rude željeza obično se sastoje od željeznih hidroksida i jalovine (u obliku silikata, mangana, fosfora itd.), a cilj talioničkog postupka je redukcija željeznog oksida do željeza i odvajanje od jalovine. Peć djeluje kao zatvoreni sustav, svojevrsna komora unutar koje se ruda postepeno reducira pod utjecajem rastuće temperature, spuštajući se niz okno peći (Sl. 1.1.). Visoka temperatura, redukcijska atmosfera i spuštanje rude niz okno unutar peći postiže se sagorijevanjem ugljena za što je potrebna konstantna opskrbljenost kisikom. Kisik se u talioničku peć upuhuje putem sapnica uz pomoć mijeha, a poznati su i etnološki primjeri gdje se propuh stvara uz pomoć prirodnog protoka zraka (Pleiner 2000). Tijekom proizvodnog procesa ugljikov monoksid reagira s oksidom iz željeznog oksida (rude), te se stupnjevito formiraju sve više reducirani željezni oksidi. Drugim riječima, u slučaju močvarnih ruda kakve su prisutne u Podravini, željezni oksihidroksid getit ( $\alpha\text{-FeO(OH)}$ ) se reducira u hematit ( $Fe_2O_3$ ) te magnetit ( $Fe_3O_4$ ) koji se reducira u wüstit ( $FeO$ ), potom u elementarno željezo. Elementarno željezo<sup>1</sup> izdvaja se relativno visoko u peći, međutim kroz okno peći se spušta u svojevrsnoj čahuri zgure, koja ima izuzetnu funkciju zaštite od oksidacije na području neposredno uz sapnicu te se transformira

---

<sup>1</sup> Čisto elementarno željezo ( $Fe^\circ$ ) ima 3 kristalne forme (alotropske modifikacije):

- alfa-željezo ( $\alpha\text{-Fe}$ ) ili ferit, stabilno ispod 906 °C s volumno centriranom kubičnom kristalnom strukturom magnetično je, a u čvrstom stanju može otopiti vrlo malo ugljika;
- gama-željezo ( $\gamma\text{-Fe}$ ) ili stabilno između 906 i 1403 °C s nemagnetičnom plošno centriranom kubičnom kristalnom strukturom; nemagnetično je i u čvrstom stanju može otopiti mnogo ugljika;
- delta-željezo ( $\delta\text{-Fe}$ ) stabilno iznad 1403 °C s volumno centriranom kubičnom kristalnom strukturom. (HE 2000: željezo)

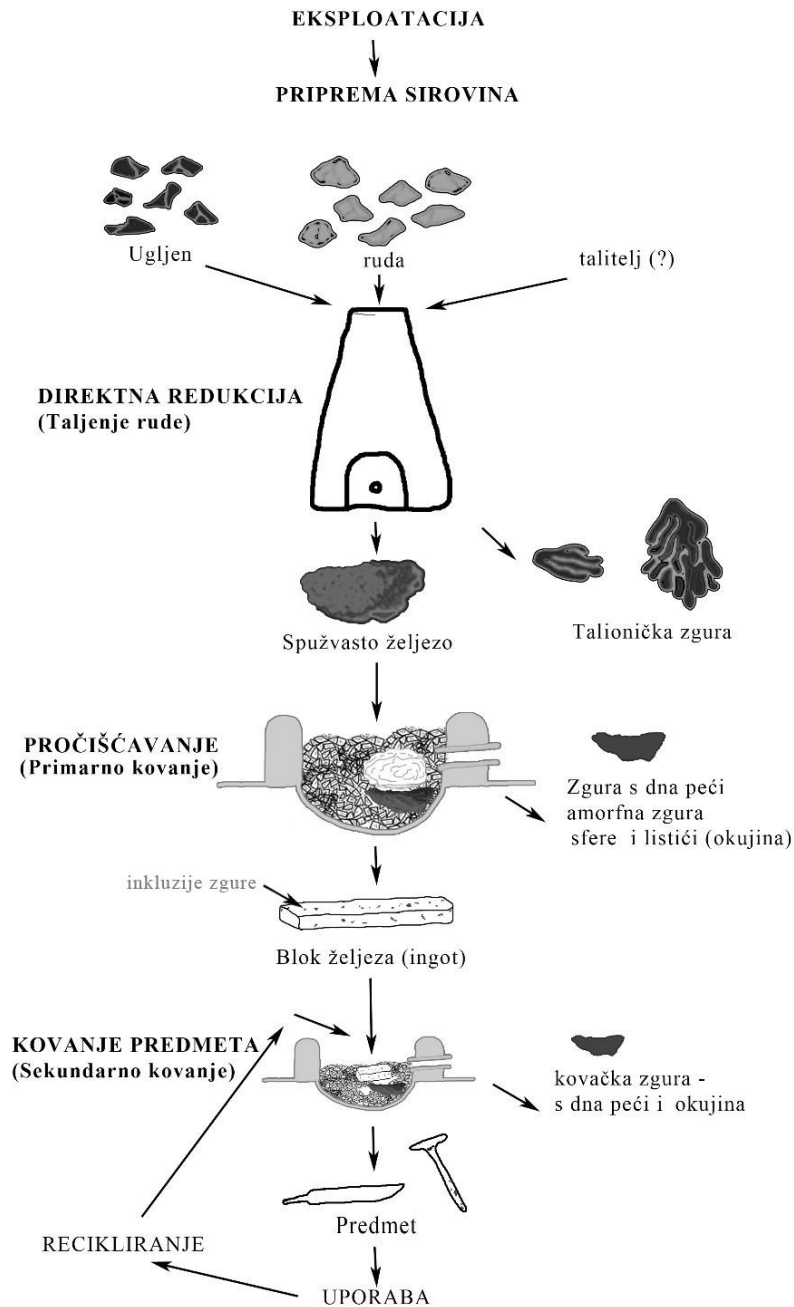
tek po povećanju temperature kada wustit u reakciji s jalovinom iz rude prelazi u olivinski mineral fajalit ( $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$  ili  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), glavnu sastavnicu zgure. Najviše temperature postižu se u ognjištu peći, uz sapnicu ili otvor za pristup zraka, gdje se i formira spužvasto željezo pri temperaturi koja može doseći između 1100 i 1250 °C, ali i do 1400 – 1600 °C (Echenlohr, Seernels 1991: 49–50; Pleiner 2000: 133; Charlton et al. 2010: 353).



Slika 1.1. Shematski prikaz procesa direktne redukcije

Iako je postupak taljenja naizgled jednostavan, uspješnost procesa ovisi o brojnim elementima, prvenstveno svojstvima sirovina, tijekom postupka ali i optimalnoj konstrukciji peći (Karavidović 2021b). Spužvasto željezo nastalo izravnim procesom redukcije je grubo sinterirani, porozni konglomerat željeza, zgure i ugljena koji je potrebno dodatno obraditi tj. sinterirati čestice i izbaciti višak zgure. Neposredno nakon izvlačenja spužvastog željeza iz peći, moguće je djelomično kompaktirati spužvasto željezo pažljivim udaranjem po površini (eng. *compacting*). Postupak je moguće izvoditi tek nekoliko minuta, koliko je potrebno za hlađenje zgure i željeza do granice iznad koje daljnje sabijanje nije moguće. Ovaj (polu)proizvod još uvijek nije kompaktno, pročišćeno željezo pogodno za daljnju obradu u predmet već je potrebno provesti postupak konsolidacije, tzv. primarno kovanje koje podrazumijeva višestruko naizmjenično zagrijavanje i mehaničku obradu kovanjem (Pleiner 2000: 215; Jouttijärvi 2009: 975; 2015: 42). Zagrijavanje je potrebno učiniti na temperaturi pri kojoj će zgura (minerali fajalita) preći

u tekuće stanje, što su temperature slične kao i u talioničkoj peći. Istovremeno, željezo je u stanju austenita koji je stabilan od 900 do 1392 °C (Pleiner 2000: 215). Slijedeći stadij, proizvodnja željeznih predmeta, podrazumijeva daljnje kovačke postupke (sekundarno kovanje). Proces sukcesivnog zagrijavanja bilo je moguće izvesti na otvorenom ložištu (eng. *reheating hearths*) ili ognjištu koje funkcionalno može biti i kovačko (sekundarno kovanje) (Sl.1.2).



Slika 1.2. Proces proizvodnje željeza

### **1.3 Rudonosna područja i tragovi proizvodnje željeza na prostoru kontinentalne Hrvatske**

Prostor kontinentalne Hrvatske bogat je orudnjenjima željeznim rudama (Marković 2000), međutim arheološka istraživanja proizvodnje željeza, kroz sva arheološka razdoblja, su u povojima te se tek nominalno tragovi proizvodnje željeza dovode u vezu s prostorima na kojima su geološki zabilježena orudnjenja željeznom rudom. Također, u geološkoj i arheološkoj literaturi do prije nekoliko godina nije bilo spomena o specifičnom tipu orudnjenja, močvarnoj željeznoj rudi, koja je kroz interdisciplinarnu suradnju geologa i arheologa identificirana na području Podravine, u arheološkom i geološkom kontekstu na prostoru aluvijalnih dravskih terasa (Brenko et al. 2020; 2021).

Na području Hrvatske, ležišta željeznih ruda široko su distribuirana te se pojavljuju na prostoru Hrvatskog zagorja, u ozaljskom kraju, Žumberku, Medvednici, Samoborskom gorju, Baranji, Baniji, Kordunu, Petrovoj gori i Zrinskoj gori, Gorskom kotaru, Lici, okolici Knina te drugdje (Marković 2002: 66–96; Zemljovid IV). Najznačajnija rudonosna područja na kojima su zabilježeni tragovi iskorištavanja u povijesnim razdobljima nalaze se na Petrovoj, Zrinskoj i Trgovskoj Gori (Šebečić 2000), ozaljskom području (Laszowski 1944) te Žumberku i Samoborskom gorju (Vasiljevic, Fabijanec 2016: 74; Marković 2009: 67).

U literaturi se područje Zrinske, Petrove i Trgovske gore učestalo povezuje s eksploatacijom željeznih, bakrovih i/ili srebronosnih ruda u razdoblju antike i/ili u predrimsko doba (Bojanovski 1988: 277; Košćević 1995: 23; Durman 1992; 2002). Pri tome se naglašava prirodna prostorna veza s dolinom Japre, Sane i Une (SZ BiH) te brojnim predrimskim i rimskim lokalitetima s jasnim tragovima proizvodnje željeza nedaleko orudnjenja na ovom prostoru (Pašalić 1954; Basler 1999: 94–96; Bojanovski 1988), ali i geostrateški i administrativni značaj antičke Siscije i njena uloga u proizvodnim procesima, kao i njen značaj u upravljanju proizvodnjom i distribucijom željeza u rimskoj provinciji Dalmaciji i Panoniji (Durman 2002; Košćević 1995; 1997; Škegro 1999: 101,103–104). Iako postoji jasna indirektna implikacija da je željezo na ovom području moglo biti aktivnije proizvedeno, konkretni arheološki dokazi nedostaju. U arheološkoj i geološkoj literaturi donose se toponimi položaja na kojima, prema autorima, postoje tragovi rudarenja na željezne i srebronosne rude i/ili proizvodnih procesa (nakupine zgure) a koji se najčešće dovode u vezu s predrimskim ili rimskim razdobljem. Međutim, podaci su često neujednačeni, izvor pojedinih podataka nije naveden niti je jasno definirano na temelju kojih parametara su donešene ove teze. Bojanovski (Bojanovski 1988: 277) spominje položaje Gorička, Gvozdansko, Topusko i pripisuje im

tragove rudarstva iz arheoloških razdoblja, međutim ne donosi direktne arheološke dokaze koji podupiru ovu tezu. R. Košćević prenosi potonje podatke (1994–1995) te spominje (1995) Zrinjsku, Petrovu i Trgovsku goru u kontekstu predrimske proizvodnje željeza, navodeći pri tome kao izvor i geološku studiju područja Trgovske gore (Tućan 1941). U potonjoj se studiji (Tućan 1941: 151–153) spominju “*stari zapušteni rovovi na limonit*” (položaj Jokin Potok-Ljubina) i “*velika ležišta troske kao ostaci davnog, primitivnog istaljivanja željezne rude*” (položaj kod potoka Vrlande, na putu prema Majdanu i Jokin Potok-Ljubina), bez detaljnijeg opisa. Druge, detaljnije geološke studije (Jurković, Durn 1988; Jurković 1993: 42; Marković 2002: 77) i povijesni pregledi rudarstva (Šebečić 2000: 103) spominju položaj Komorska glavica<sup>2</sup> u vezi s antičkim rudarenjem, a položaj Španov brijeg<sup>3</sup> s postupcima proizvodnje željeza. Dodatno, na Trgovskoj i Petrovoj gori spominju se i položaji na kojima su zabilježeni tragovi rudarenja (rovovi) ili proizvodnje željeza raniji od dostupnih povijesnih izvora iz 17. st. na području oko sela Hrastovica te položaji raniji od izvora iz 18. st. na području Maličke i Perne, Kosne i Vinogradina te Gvozdanskog – Majdan brda (Marković 2002: 77; Šebečić 2000: 102–103, 110, Tab. 1.).<sup>4</sup> Vrijeme prvih rudarskih aktivnosti na ovim položajima teško je pretpostaviti obzirom na dugoročnu intenzivnu eksploataciju ovog područja. Povijesni podaci svjedoče da su na prostoru Samoborskog gorja, Trgovske i Zrinske gore najranije od 13. st., a vjerojatno od sredine 15. st i u 16. st. eksploatirani srebronosni galeniti (Vasiljević i Fabijanec 2016), ali i željezne te bakronosne rude što je isprekidanim ritmom nastavljeno do u 20. st. (Jurković, Durn 1988; Kolar Dimitrijević 1991; Jurković 1993; Šebečić 2000; Marković 2002). Problematične okolnosti koje ne dozvoljavaju neupitno usvajanje ovih položaja kao relevantnih dokaza za antičko i /ili predrimsko te srednjovjekovno rudarenje ili proizvodnju željeza čine: 1) manjak materijalnih arheoloških dokaza i/ili stručnih opisa ili dokumentacije, 2) nedostatak arheoloških terenskih pregleda, 3) neujednačeno i opće nazivlje bazirano na toponimima, 4) višestruka pojava istih toponima na širem prostoru, 5) podudaranje naziva ležišta i rudokopa

---

<sup>2</sup> Jurković (1993: 42) opisuje položaj ležišta i tragove rudarenja. Navodi da je ležište Komorska glavica bilo otvoreno u rimsko doba, rudarilo se manjim površinskim kopovima na južnim padinama dužine 500 m i dubine 30 m. Prema podacima o ležištu rudario bi se tvrdi limonit, nastao oksidacijom ležišta ankerita i siderita. Krajem 19. st. potkopavanjem i eksploatacijom dubljih slojeva ležište je gotovo u potpunosti iscrpljeno.

<sup>3</sup> Marković (2009: 77) spominje da se na osnovu tipa zgure zaključuje kako se željezo proizvodilo u doba Rimljana, ne navodeći pri tome izvor podataka. Na istom mjestu navodi da prvi pisani tragovi iz 1969. bilježe da su oko sela Hrastovice zapaženi stari rudnici željeznih ruda.

<sup>4</sup> Za područje Perne i Maličke spominju se rovovi i prastare peći za taljenje, otkriveni prilikom istraživanja orudnjenja po odredbi Marije Terezije iz 1770. godine (Marković 2009: 77). Prema I. Kruhek (1999) na karti Ivana Nepomuka Sgarjeta iz 1776. godine na području Majdan brda vidljivo je brdo zgure, drobljene rude, talionice, crkve i mlinovi koje pripisuje Sasima. Ostale spomenute lokacije (Hrastovica, Kosna i Vinogradine) označene su kao položaji rudokopa.

kod različitih izvora s drugačijim tumačenjem vremena postanka, 6) visok intenzitet eksploatacije kroz duže vremensko razdoblje te potencijalno zatiranje tragova ranije aktivnosti.<sup>5</sup> Rijetki trag rudarenja koji se dovodi u vezu s arheološkim, prapovijesnim razdobljem su tragovi rudarenja zabilježeni na prostoru Hrvatskog zagorja, na zapadnoj strani prapovijesnog visinskog naselja na Hajdinem zernu, gdje je otkrivena površinska jama promjera oko 5 m, pretpostavljeno za eksploataciju limonita (Špoljar 2015: 103, 108). Na temelju okolnosti zatečenih pri terenskom pregledu autor zaključuje kako je željezna ruda bila eksploatirala već u prapovijesti te da su ovi nalazi izravan dokaz rudarenja u kontekstu prapovijesnog naselja na lokalitetu Hajdin zern.<sup>6</sup> Naselje je prema površinskim nalazima datirano u starije željeznog doba (800. g. pr. Kr. – 450. g. pr. Kr.) te mlađe željezno doba (450. g. pr. Kr. – 1. st. pr. Kr. /1. st. po. Kr.), a pronađeni su i ulomci keramičkih posuda koje je moguće datirati u vrijeme kasne antike i ranog srednjeg vijeka.

Na prostoru kontinentalne Hrvatske nekoliko je lokaliteta, datiranih od željeznog doba, antike te kasne antike i ranosrednjovjekovlja, na kojima su se prema tvrdnjama autora istraživanja odvijale metalurške aktivnosti u vidu primarne obrade željezne rude. Identifikacija ovih aktivnosti najčešće se povezuje s većim količinama otpada (zgure, stijenke peći, sapnice) koji se veže uz postupak taljenja, a rijetko se pronalaze strukture-peći. Međutim, zgura i tehnička keramika s ovih lokaliteta nije detaljnije istraživana niti objavljena u cjelini, stoga pretpostavke o tipu procesa kojima je nastao otpad treba uzimati kao preliminarne. Pojedini lokaliteti nalaze se u neposrednoj blizini poznatih prirodnih orudnjenja, kao što je željeznodobni lokalitet Turska kosa u selu Velika Vranovina kod Topuskog te antički lokalitet Imrijevcu – Polačica.

Lokalitet Turska kosa u selu Velika Vranovina nalazi se u neposrednoj blizini rudonosne Petrove gore. Na položaju Pogledalo istraženo je manje gradinsko naselje koje se formiralo na kraju kasnog brončanog doba, a život nastavlja i u vrijeme starijeg željeznog doba (8. – 4. st. pr. Kr.). Uz sam rub istraženog prostora naselja pronađene su peći, dijelom ukopane u zemlju, za koje se pretpostavlja da su služile za proizvodnju željeza (Čučković et al. 2009: 6, 16, 23–24,

---

<sup>5</sup> Primjere čine; 1) položaj Komorska Glavica kod Gvozdanskog koji se spominje u kontekstu antičkog (i ranijeg) rudarenja u geološkim studijama a aktivno je eksploatiran u 19. st. i 20. st. te vjerojatno iscrpljen (Jurković 1993: 103; Marković 2009: 78; Šebečić 2000: 104, Tab. 2.), 2) Jokin potok, toponim koji se javlja u kontekstu rudarenja iz arheoloških razdoblja (predrimsko doba prema Košćević 1995; Tučan 1941: 153) te kasnijeg rudarenja, u 19. st. i 20. st. (Šebečić 2000: 102–103, 105, Tab. 1.- 2.; Marković 2009: 81; Jurković 1993: 40, 42–43), 3) Majdan – potok Vrlanda/ Majdanski potok koji se tumači kao predrimski ili rimski lokalitet (Košćević 1995) a blizak je pretpostavljenom položaju proizvodnog sklopa koji se pripisuje Sasima (usp. Tučan 1941: 151 - 152; Šebečić 2000: 104, Tab. 2.; Jurković 1993: 40, 42; Kruhek 1999) te položajima rudokopa iz 20. st., 4) položaj Španov Brijeg gdje su zabilježeni ostaci željezne zgure koji se pripisuju antici a rudište je naknadno otkopavano u trima rovovima (Marković 2009: 74,77).

<sup>6</sup> Autor u nastavku dovodi u vezu ovo rudište s grumenjem željezne rude te željeznim predmetima koji potječu iz kasnohalštatske nekropole pod tumulima u Podstenju (Špoljar 2015: 109, 119).

38, sl. 18), a datirane su u kasne faze starijeg željeznog doba. Prisutnost ostataka proizvodnje željeza autor istraživanja spominje i na prostoru označenom kao kultno mjesto 1 (položaj Božjakovina), uz brojne ulomke keramike, alatki za proizvodnju tekstila, stotine antropomorfnih i zoomorfnih figurica. U kratkom izvješću autor spominje pjeskoviti, spaljeni sloj s komadima željezne zgure, ali i kratkih keramičkih cijevi (Čučković et al. 2009: 28, sl. 25, T.72, 73). Nalazi vezani uz pretpostavljenu proizvodnju željeza do sada nisu objavljeni, pa je ovo tumačenje još uvijek nesigurno. Na teorijskoj razini, čini se važnim naglasiti da bi keramičke cijevi, kako ih autor naziva, mogle biti keramičke sapnice korištene kao instrumenti za dovod zraka koji su bili dio konstrukcije peći (talionička ili peć za primarno/sekundarno kovanje). Nalazište se pripisuje plemenu Kolapijana (Čučković 2004: 174–186, 194, 196, 200). Rudarske aktivnosti iz arheoloških razdoblja nisu do sada sa sigurnošću prepoznate na prostoru u neposrednoj blizini lokaliteta Turska Kosa - Velika Vranovina. Međutim, o pogodnosti položaja i blizini značajnih resursa svjedoči podatak da su se u selu Velika Vranovina nalazile talionice za proizvodnju željeza tijekom 19. st. (Majetić 2014: 6), a u neposrednoj blizini odvijala se i površinska eksploatacija limonitne - sideritnih ruda,<sup>7</sup> na području Petrove gore, u slivu rijeke Pecke te gornjem toku rijeke Vojišnice (Šebečić 2000: 104; Marković 2002: 75–76; Majetić 2014: 6).

Lokalitet Imrijevcu - Polačica istraživana je 1999. godine, pri čemu su otkrivena četiri okrugla i/ili ovalna ognjišta/peći (1,0 x 0,60 m) za obradu željezne rude. Voditeljica istraživanja zaključuje kako se ovdje radi o dijelu „*metalurškog pogona gdje se lijevalo željezo u rimsko doba*“ (Sokač-Štimac 2000: 49)<sup>8</sup> te datira ovaj dio nalazišta u 4. stoljeće (Sokač-Štimac 2014: 20). Također, D. Sokač-Štimac zaključuje da sirovina vrlo vjerojatno potječe s područja središnje Bosne, doline rijeke Japre, rudonosne oblasti koja je aktivno bila iskorištavana u razdoblju antike. Ipak, vrijedi istaknuti da se na području Požeške i Dilj gore pojavljuju orudnjenja željeznim rudama i to u stjenovitim predjelima, u kompleksu eruptivnih stijena u obliku žilica i leća hematita (položaji na brdu Sokolovac, brdo Starac i potok Sokolovac te Orovčić SI od Podcrkavlja) te limonita u obliku leća ili manjih slojeva nataloženih unutar nižeg dijela donjomiocenskih pješčenjaka, pijesaka i glina (Duboki dol, 4 km SZ od sela Bzenica, više lokacija na obroncima Dilj gore itd.) (Marković 2000: 72–73, 96, Zemljovid IV.). Također,

---

<sup>7</sup> Ovi podaci odnose se na razdoblje kraja 19. st. kada se spominju dva rudnika i površinski kopovi u dolini rijeke Vojišnice (Šebečić 2000: 104).

<sup>8</sup> U jednom ognjištu, na dubini od 0,30 m, pronađena je željezna posuda s ručkom dužine 0,25 m i promjera 0,15 m u čijem recipijentu se nalazio gar.



M. Bulat (2001 prema: Pavličević 1961: 16) spominje napuštena rudarska okna nepoznate starosti na brdovitom prostoru iznad Pleternice i Blacke na Požeškoj gori. Ovakvi podaci upućuju na mogućnost iskorištavanja lokalnih resursa, površinskom eksploatacijom ili putem kompleksnijih rudarskih sistema.

U kontekstu proizvodnje željeza jedino sustavno istraživanje provedeno je na prostoru današnje Podravine. Kroz posljednja desetljeća, otkriveni su brojni površinski i subpovršinski arheološki ostaci proizvodnje željeza. Površinski terenski pregledi i reambulacija ranije poznatih položaja rezultirala je pronalaskom preko 160 položaja na kojima je utvrđeno postojanje otpada od talioničkih ili kovačkih postupaka (Valent 2017; Valent et al. 2018; 2019; 2021). O vremenu kojemu bi pripadali ovi nalazi teško je govoriti obzirom da dolaze u prostornoj asocijaciji s databilnim arheološkim nalazima koji često pripadaju više arheoloških razdoblja (Valent et al. 2021). Međutim, proizvodnja željeza na ovom prostoru zasigurno je bila prisutna tijekom kasne antike i ranoga srednjega vijeka, o čemu svjedoče rezultati arheoloških iskopavanja i radiokarbonskih datiranja (Botić 2021) nekolicine lokaliteta, provedeni u razdoblju od 2008. do 2019. nedaleko sela Virje i Hlebine definiranih kao radionički prostori za primarnu proizvodnju spužvastog željeza i obradu istog (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021) (podrobnije vidi poglavlje 1.4.1 o povijesti istraživanja te 2.2 o terenskom arheološkom zapisu). Za proizvodnju željeza iskorištavana je lokalna, močvarna željezna ruda. Recentna geoarheološka istraživanja ukazala su na mogućnost formiranja močvarnih ruda na području današnje Podravine (Brenko et al. 2020; 2021) te da je upravo ova ruda bila korištena za proizvodnju željeza na navedenim lokalitetima (Brenko et al. 2022). Močvarne željezne rude iskorištavane su tijekom svih arheoloških razdoblja, na širem prostoru Europe. Na tlu Hrvatske, osim u Podravini do sada nisu identificirane pojave močvarnih ruda, no pojedina područja pokazuju značajan potencijal za razvoj koji se može dovesti i u vezu s arheološkim tragovima proizvodnje željeza. Prema rezultatima mapiranja geokemijskih analiza tla od strane Hrvatskog geološkog instituta (Halamić, Miko 2009: 49) značajnije koncentracije udjela željeza u tlu na prostoru kontinentalne Hrvatske vidljive su na nizinskim predjelima, prostorima riječnih slivova Save i Drave te porječja Kupe, Korane i Mrežnice. Iako se rezultati odnose na površinske koncentracije željeza u tlu na relativnoj dubini 0 – 25 cm te nužno ne označavaju mjesta rudnih depozita, ovaj podatak može se smatrati indikativnim za mogućnosti formiranja močvarne željezne rude, što se pokazalo kao slučaj za područje Podravine (Brenko et al. 2020; 2021). Također, na većini ovog prostora nema zabilježenih željeznih orudjenja (Marković 2000), a pedološka slika ukazuje na fluvijalna i glejna tla (Husnjak 2014) kao dominantna u savskoj i dravskoj dolini te kao inkluzije ili dominantna tla na prostoru porječja Kupe, Korane, Mrežnice.

Ovakva tla, uz niz drugih prirodnih preduvjeta, izrazito su pogodna za stvaranje močvarne željezne rude (De Geyter et al. 1985; Landuydt 1990).

U vezu s iskorištavanjem močvarnih ruda može se dovesti lokalitet Okuje nedaleko Velike Gorice u Turopolju, na prostoru sliva rijeke Save.<sup>9</sup> Geološki slojevi na ovom lokalitetu su fluvijalnog podrijetla a većinom se radi o naslagama šljunaka, pijesaka i prahova do nanosa čiste gline i mješavina šljunaka i gline te šljunaka i prahova (Bugar 2011: 742). Na lokalitetu Okuje I istražena je grupa povezanih jama na površini od 100 m<sup>2</sup> iz kojih je prikupljeno oko 580 kg talioničkog otpada (Bugar 2011). Datacija istraženih cjelina u kojima je pronađena zgura nije u potpunosti razjašnjena, a mogle bi pripadati kasnoantičkom ili ranosrednjovjekovnom razdoblju (Bugar 2021: 263–265).<sup>10</sup> Na osnovu makroskopske te arheometrijske analize zgure i uzorka rude zaključeno je da su pri proizvodnji spužvastog željeza korištena močvarna željezna ruda (Nemet et al. 2018) a postupak taljenja odvijao se u tzv. plitkom ognjištu (Bugar 2011: 742), odnosno peći s ispuštenom zgurom. Podrijetlo rude nije utvrđivano dosadašnjim istraživanjima, no karakteristike Turopoljskog krajolika upućuju na mogućnost stvaranja močvarne željezne rude te time i lokalno podrijetlo sirovine.

## 1.4 Područje istraživanja

### 1.4.1 Prirodna obilježja područja Podravine

Promatrano područje, regija Podravina je nizinski krajolik u kojemu nadmorske visine sežu od 140 do 110 mnv, a jasno je vidljivo longitudinalno zonalno pružanje glavnih reljefnih odrednica te geoloških i pedoloških karakteristika. Geomorfologija kakvu poznajemo danas formirana je u glavini pod utjecajem značajnih klimatskih promjena u razdoblju kraja pleistocena i početka holocena, te recentnijim tektonskim gibanjima, spuštanjem i dizanjem reljefa (Feletar, Feletar 2008). Period zatopljenja prije oko 11,700 (Head 2019) uzrokovao je topljenje leda i snijega na

---

<sup>9</sup> Lokalitet je istražen prilikom zaštitnih arheoloških istraživanja autoceste Zagreb – Sisak. Na ukupnoj površini od 49 000 m<sup>2</sup> (lok. Okuje I, Ia, II, IIa, IIIb) Muzej grada Zagreba je istražio ostatke brončanodobnog i latenskog naselja, antičkog naselja i groblja iz 1.-3. st., te srednjovjekovnog i ranonovovjekovnog naselja (Bugar, Mašić 2013: 44-45, 47-48; Bugar 2011: 741-747).

<sup>10</sup> Ulomci zgure koji nisu do sada detaljnije obrađeni niti objavljeni te nije poznato kojim postupcima su mogli nastati (potencijalno kovačka zgura) pronađeni su u kontekstu jama koje pripadaju antičkom/kasnoantičkom, naseobinskom kontekstu (3.–5. st.) dok je radiokarbonski datum iz uzorka zgure koja potječe iz konteksta slojeva i jama u kojima je pronađena značajna količina zgure iz primarnih proizvodnjih procesa (taljenje) i uzorak močvarne rude (Nemet et al. 2018) pokazao nesto kasniji, ranosrednjovjekovni datum, 7. i 8. st. (Bugar 2021: 265).

Alpskom prostoru, te nasljedno bujice i značajnu fluvijalnu eroziju koja je rezultirala debelim slojevima nanosa pijeska i šljunka nad starijim glinenim i lesnim sedimentima. Akumulacija ovih slojeva te kasnije formiranje humusa oblikovalo je današnju pedološku sliku ovog prostora (Feletar, Feletar 2008). U reljefu Podravine zamjetno je longitudinalno pružanje nizine Drave i Bilogore koje je uvjetovalo i hipsometrijske odnose. Nagib terena spušta se od juga prema sjeveru, odnosno od Bilogore preko pobrđa do dravskog poloja. Snižavanje terena primjetno je i u odnosu na SZ-JI promatranog prostora. Velika aluvijalna ravan rijeke Drave dominira prostorom Podravine, prostirući se u širini 20 – 30 km, a okružuju ju pobrđa od oko 200 – 300 m nadmorske visine, Bilogora i mađarska Legradaska gora. Nizinski dio Podravine, genetski i geomorfološki pripada tektonsko-akumulacijskom tipu reljefa, a čini ga holocenska naplavna pridavska ravan-poloji, kontaktne terase holocenskog i würmskog postanka i fenomen đurđevačkih pijesaka (Feletar, Feletar 2008). Najšira zona naplavne ravni nalazi se uz rijeku Dravu, no niski poloji vidljivi su i u dolinama dravskih pritoka koji se spuštaju s obronaka Kalnika i Bilogore. Upravo na prostoru Podravine rijeka Drava prelazi iz brze gorske rijeke u mirnu nizinsku tekućicu, što uvjetuje i značajno meandriranje te plavljenje, dodatno pojačano rječicama i potocima te visokim podzemnim vodama. Naplavna ravan seže u prosjeku do pet kilometara južno od toka rijeke s dodatnim mikroprostorima zamočvarenja, polojima uz Plitvicu, Bednju, Gliboki, Koprivnicu (Bistru) te nešto manje uz Komarnicu, Zdelju, Tolnicu i Čivićevac (Feletar, Feletar 2008: 177, 201; Petrić 2012: 53–61). Tok rijeke Drave upravo na prostoru Podravine znatno pada slijedeći reljefne zadatosti te je povećana brzina toka i meandriranje u ravnici što pridonosi eroziji tla na koritu rijeke i gomilanju šljunka i pijeska stoga se neposredno uz dravsko korito nalaze mjestimično uzdignuta i ocjedita područja (Feletar, Felar 2008: 177, 195; Petrić 2012: 58). Kontinuirana hirovitost rijeke i meandriranje, ostavilo je u reljefu i danas vidljiva stara korita, mrtvaje, plicine i zamočvarena područja, ali i sprudeve i grede od nanosa šljunka i pijeska na prostoru Dravskog poloja.

Hod oborina kroz godinu kontinentalnog je tipa te se maksimumi padalina javljaju u rano proljeće i ljeto, a sekundarni maksimum u jesen, tijekom listopada i studenog (Feletar 1990; Feletar, Feletar 2008: 134). Rijeka Drava ima nivalno-pluvijalni režim hoda vodostaja, te u skladu s količinom oborina u kasno proljeće i ranu jesen buja, a napaja se i tijekom ljeta zbog otapanja leda na izvorištu, u Alpama. Najviši vodostaj je od svibnja do srpnja, a najniži od prosinca do veljače (Petrić 2012: 59). U ovo doba godine, povijesno su zabilježene i najveće poplave koje su neupitno značajno utjecale na organizaciju života, položaj naselja i njihovu opstojnost (Petrić, Obadić 2007; Petrić 2012; Feletar, Feletar 2008). Podzemne vode kolebaju

plitko ispod površine (Brkić, Briški 2018) te su zasićene željezom, arsenom i manganom (Sekelj Ivančan, Marković 2017; Brenko et al. 2020). Recentnije studije ukazale su na mogućnosti formiranja močvarne željezne rude u tlu, u vezi s taloženjem željeza prisutnog u podzemnim vodama te genetsku i geokemijsku vezu ruda iz geološkog i arheološkog konteksta (Brenko et al. 2020; 2021).

Područje Podravine danas je poljoprivredna regije, što je postignuto stoljećima sustavne hidroregulacije i melioracijskih procesa te krčenja šuma u svrhu stvaranja obradivih površina (Slukan–Altić 2002: 130–132; Feletar, Feletar 2008: 187–189; Petrić 2013; Petrić et al. 2019: 110–119), međutim, u prošlosti ovi prostori bili su značajnije pošumljeni i zamočvareni.

#### **1.4.2 Arheološka istraživanja proizvodnje željeza na prostoru Podravine – povijesni pregled**

Prve naznake postojanja metalurgije željeza na prostoru Podravine zabilježene su prije dva desetljeća. Radilo se o površinskim nalazima komada zgure i ulomaka keramičkih sapnica s lokaliteta Hlebine-Velike Hlebine (Sekelj Ivančan 2001: 22, 101–102, Map 12, Figs. 48, 49) i Torčec-Blaževo pole 6 (Sekelj Ivančan, Zvijerac 1997: 67; Sekelj Ivančan et al. 2003: 121, fus. 3; Sekelj Ivančan 2010a: 49–50) koje su prikupili lokalni zaljubljenici u starine i ustupili podatke Institutu za arheologiju u Zagrebu. Prema ostalim površinskim nalazima, prvenstveno ulomcima keramike, zaključeno je da su oba položaja bila zaposjedana kroz više arheoloških i povijesnih razdoblja (Alečković 1996a; 1996b; Sekelj Ivančan et al. 2003: 120–122). Zaštitno arheološko iskopavanje prvog lokaliteta, na položaju Volarski breg kraj Virja uslijedilo je 2008. godine nakon što su zamijećene izrazite količine zgure prisutne na površini izoranog tla (Sekelj Ivančan 2007; 2009). Sustavan pristup istraživanju od tada je podrazumijevao slijed neinvazivnih arheoloških istraživanja - višestruke kampanje ekstenzivnih terenskih pregleda (Valent et. al 2017; 2018; 2019; 2021) i geofizička istraživanja na odabranim položajima (Mušič, Horn 2021) na temelju kojih su ciljano otvorene arheološke sonde te su provedena iskopavanja. Arheološka iskopavanja na Volarskom bregu trajala su tri godine (2008., 2010. i 2012.) (Sekelj Ivančan 2009; 2010b; 2011a; 2011b; 2013) pri čemu je istraženo više sondi (Sonda 1, 2a i b, 3). U nastavku istraživanja provedeni su terenski pregledi šireg područja u okolici sela Virje te je odabran položaj Sušine za daljnja arheološka istraživanja. Prethodno iskopavanju, položaj Sušine snimljen je geofizičkim metodama (Mušič *et al.* 2013; 2014) koje su pokazale jasno vidljive anomalije koje je bilo moguće dovesti u vezu s položajima nakupina

zgure i tehničke keramike na površini oranica, te su nasljedno odabrane pozicije sonde za arheološka iskopavanja (2012., 2013. i 2014.) (Sekelj Ivančan 2013; 2014a; 2014b; 2015). U nastavku istraživanja nakon intenzivnih terenskih pregleda (Sekelj Ivančan 2016; Kudelić *et al.* 2015; 2017) i geofizičkih istraživanja (Mušič *et al.* 2017) na položajima Velike Hlebine (Sekelj Ivančan, Valent 2017; Sekelj Ivančan 2018a) i Dedanovice (Sekelj Ivančan 2019) provedena su arheološka iskopavanja u kojim su potvrđene pretpostavljene metalurške aktivnosti. Intenzivnija, interdisciplinarna istraživanja provedena su od 2017. do 2021. godine u sklopu znanstveno istraživačkog projekta financiranog odstrane Hrvatske zaklade za znanost: „*Proizvodnja željeza uz rijeku Dravu u antici i srednjem vijeku: stvaranje i transfer znanja, tehnologija i roba*” (IP-06-2016-5047), voditeljice dr. sc. Tajane Sekelj Ivančan. U sklopu projekta, ekstenzivnim terenskim pregledom i reambulacijom područja Gornje Podravine identificirano je 167 položaja na kojima su površinski prikupljeni nalazi metalurškog otpada (Valent 2017; Valent *et al.* 2017; 2018; 2019; 2022) nastalog pri proizvodnji i/ili obradi spužvastog željeza. Površinski prikupljen otpad svjedoči o visokom intenzitetu i postojanju različitih, međusobno povezanih metalurških aktivnosti u ovoj regiji. Dosadašnja istraživanja potvrdila su postojanje radioničkih prostora datiranih su radiokarbonskom metodom (Botić 2021) od kraja 4./5. st. (Virje – Sušine, Sonda 7.), preko 2/2 5./6. – poč. 7. st. (Virje – Volarski breg, Sonda 2a i 3), kraja 6. i 7. st. (Hlebine – Velike Hlebine, Hlebine – Dedanovice, Virje Sušine – Sonda 5 i 7) te 8. i početka 9. st. (Virje – Volarski breg, Virje – Sušine (Sonda 8)). Na ovim položajima prikupljeno je nekoliko tona otpada nastalog kao posljedica direktnog postupka redukcije (proizvodnje spužvastog željeza) i post-redukcijske obrade (primarnog i/ili sekundarnog kovanja). Dosadašnje objave istraženih lokaliteta (Sekelj Ivančan 2009; 2010; 2011; 2013; 2014a; 2014b; 2016; 2018; 2019; Sekelj Ivančan, Valent 2017; Sekelj Ivančan, Tkalčec 2018; Sekelj Ivančan, Karavidović 2021) naglasile su radionički i proizvodni karakter ovih lokaliteta, no nije provedena detaljna arheometalurška analiza otpada, što je izvedeno u sklopu ove doktorske disertacije.

## **1.5 Ciljevi i hipoteze**

Cilj doktorske disertacije je definirati i usporediti karakteristike tehnologije proizvodnje željeza na temelju nalaza s indikativnih lokaliteta na prostoru današnje Podravine (Virje: Volarski breg i Sušine te Hlebine: Velike Hlebine i Dedanovice) te razumjeti spregu utjecaja krajolika i društvenih/socio-ekonomskih (pred)uvjeta na uspostavu, promjene i razvoj tehnologije proizvodnje željeza tijekom kasne antike i ranoga srednjega vijeka. Ciljevi su bazirani na hipotezama: a) u razdoblju kasne antike i ranoga srednjega vijeka na prostoru Podravine željezo

se aktivno proizvodilo te je cjelokupni lanac operacija bio prisutan na lokalnoj razini, b) organizacija rada jasno je strukturirana što svjedoči o visokoj razini organizacije ove privredne grane koja je odraz socio-ekonomskih odnosa te potreba zajednica, c) postojanje proizvodnje na lokalnoj razini, promjene i/ili kontinuitet vidljiv u odabiru tehnoloških rješenja i položaja radionica, organizaciji proizvodnog procesa te intenzitetu i obimu proizvodnje kroz duži vremenski period, nastaju pod utjecajem kulturnih, socio-ekonomskih/društvenih i prirodnih (pred)uvjeta.

## **1.6 Materijali i metodologija istraživanja**

Tehnološki aspekti proizvodnje željeza definirani su na temelju interdisciplinarnog pristupa koji podrazumijeva nekoliko razina prikupljanja, obrade i analize podataka: 1) makroskopsku analizu pokretnih nalaza – rude, zgure i tehničke keramike, 2) analizu kemijskog sastava i mineralnih faza odabranih uzoraka rude i zgure, 3) eksperimentalno testiranje - ciljano osmišljavanje i analizu rezultata arheoloških eksperimenata te 4) prostornu analizu u svrhu rekonstrukcije potencijalnih položaja ležišta, prirodnih obilježja krajolika u odnosu na smještaj lokaliteta s metalurškim značajkama i analizu organizacije prostora istraženih radionica.

Arheološki nalazi koji čine okosnicu istraživanja potječu s istraživanja provedenih na lokalitetima Virje – Volarski breg (S 1 – 3), Virje – Sušine (S 5, 7, 8), Hlebine–Velike Hlebine (S 1 i 2), Hlebine – Dedanovice (S 1 – 4) u nekoliko kampanja provedenih u razdoblju od 2008. do 2018. godine, a pohranjeni su u Muzeju grada Koprivnice. Radi se o nekoliko tona arheološke građe koju čine osnovne skupine nalaza: sirovina (ruda), tehnološki otpad nastao pri proizvodnji spužvastog željeza i postupcima obrade istog (talionička i kovačka zgura) i tehnička keramika (stijenke glinenih peći i sapnica). Uz osnovnu kategorizaciju, na temelju makroskopske analize nalazi su dodatno podijeljeni na osnovu specifičnih dijagnostičkih karakteristika ovisnih o tipu nalaza s ciljem uočavanja promjena, sličnosti i razlika u tehnologiji proizvodnje i izvoru sirovina od 4./5. do 8./9. st. Radi boljeg razumijevanja svih postupaka obrade željeza provedeni su eksperimenti u skladu sa znanstvenim standardima (Kelterborn 1987: 11—12) koji podrazumijevaju jasno postavljene ciljeve i istraživačka pitanja, mjerljivost, ponovljivost te zadovoljavajuću razinu iskustva dionika. Dio provedenih eksperimenata objavljen je u vidu članaka u toku izrade doktorske disertacije te se na njihove rezultate referira u diskusiji (Karavidović 2020a; 2020b). Ostala eksperimentalna testiranja detaljno su opisana te stavljena u Prilog (1). Eksperimenti su osmišljeni s ciljem rekonstrukcije i razumijevanja postupaka vezanih uz pripremu i odabir sirovina (ruda, drvo, ugljen, glina), testiranja varijacija idejnih rekonstrukcija talioničkih peći i kovačkih instalacija i varijacija u postupcima pri

taljenju/kovanju uspostavljenih na temelju makroskopske obrade, te kako bi se nastali otpad i zapis usporedili s arheološkim nalazima i zapisom. Usporedbom rezultata makroskopske analize i eksperimentalnih testiranja izvedeni su zaključci o vrsti i karakteru primijenjenih postupaka i upotrijebljenih tehnoloških rješenja (vrsta i konstrukcija peći za taljenje/kovanje, tip postupaka, tijek postupaka) te ojačana interpretacija pojedinih struktura istraženih na promatranim lokalitetima. U toku eksperimenata zabilježeni su utrošak resursa (ljudskih i sirovinskih, kao i utrošak vremena) te je uspostavljen model za procjenu odnosa utroška svih resursa temeljnih sirovina i ostalih resursa naspram kvantitete izlaznog, finalnog proizvoda (spužvastog željeza i pročišćenog željeza). Kvantitativnom i kvalitativnom analizom različitih kategorija otpada vezanog uz proizvodni proces te usporedbom s rezultatima eksperimenata izvedeni su zaključci o količini proizvedenog željeza, obimu proizvodnje, intenzitetu, ritmu i razini uporabe radionica.

Laboratorijske analize izvedene u svrhu detaljnije klasifikacije odabranih uzoraka, analize karakteristika upotrijebljenih sirovina i nastalog otpada u svrhu utvrđivanja sličnosti i razlike proizvodnog procesa prisutnog u kontekstu promatranih lokaliteta. Podrazumijevaju mineraloške (XRD) i kemijske analize (ICP-MS, AES) odabranih uzoraka sirovina (ruda) i tehnološkog otpada (zgura). Uzorci rude i zgure su usitnjeni na frakciju praha te im je određen mineralni sastav korištenjem rendgenske difrakcije na prahu (XRD). Za određivanje mineralnog sastava korišten je Phillipsov vertikalni goniometar (vrste X'Pert) opremljen bakrenom cijevi i grafitnim monokromatorom. Prilikom mjerenja korišten je napon od 40 kV i struja jakosti 35 mA s veličinom koraka  $0,02^\circ 2\theta$ . Analize su izvedene na Rudarsko geološko naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Kemijske analize napravljene su u MSALabs (Langley, Kanada). korištenjem atomske emisijske spektrometrije uz induktivno spregnutu plazmu (ICP-AES) nakon taljenja uzoraka litijevim boratom. Udjeli manje zastupljenih elemenata određeni su spektrometrijom masa uz induktivno spregnutu plazmu (ICP-MS). Udjeli anorganskog (TIC) i organskog ugljika (TOC) određeni su indukcijom, dok je gubitak mase zagrijavanjem (LOI) određen pri  $1000^\circ\text{C}$ . Odabir uzoraka temelji se na makroskopskoj klasifikaciji nalaza (vrsta nalaza) i tehnološkoj interpretaciji (vrsta i karakteristike postupka nastanka) te prostornim (položaj lokaliteta), temporalnim (apsolutna datacija lokaliteta) i kontekstualnim (arheološka cjelina) svojstvima nalaza. Rezultati su analizirani primjenom kemometrijskih metoda, poglavito multivarijantnom statističkom analizom skupina podataka. Ovakav pristup omogućava detaljnu karakterizaciju i analizu uzoraka (Pollard et al. 2006; Charlton et al. 2010; 2012).

Prirodni preduvjeti koji uvjetuju eksploataciju i uporabu ruda sagledani su kroz analizu ruda s područja Podravine, a kako bi se uspostavio model eksploatacije i uporabe ruda napravljena je rekonstrukcija ležišta na temelju studije slučaja Kalinovac-Hrastova greda.

Društveni kontekst proizvodnje željeza sagledan je kroz analizu: organizacije proizvodnog procesa (razine i vrste aktivnosti u vezi s radioničkim i naseobinskim prostorima, područjima eksploatacije sirovina i organizaciji radnog prostora) te odnosa naselja i radionica (struktura i položaj). Ovaj segment istraživanja podrazumijeva izradu prostorne baze podataka (uporaba GIS softvera) indikativnih lokaliteta (definirani terenskim pregledom i arheološkim istraživanjima), u svrhu izvedbe višeslojne prostorne analize. Pojedinačne istražene radionice promatraju se kao zatvorene cjeline, a na osnovu prostorne analize distribucije nalaza i arheološkog zapisa izvedeni su zaključci o organizaciji radnog prostora i proizvodnog postupka. Potonje nije bilo moguće napraviti za sve lokalitete obzirom na selektivno prikupljanje nalaza pri istraživanju, no u ovom slučaju prostorna organizacija pretpostavljena je na temelju distribucije arheoloških tvorevina definiranih istraživanjem i njihove funkcionalne interpretacije. Analizom odnosa položaja lokaliteta i zatvorenih arheoloških cjelina različitog karaktera (naseobinski, radionički) i vremenske pripadnosti te odnosa naspram prirodnih karakteristika krajolika (hipsometrija, opasnost od plavljenja, izvori prirodnih resursa) izvedeni su zaključci o međusobnoj prostornoj uvjetovanosti i sprezi utjecaja prirodnih i socio-ekonomskih (pred)uvjeta na odabir položaja radionica. U širem kontekstu sagledani su dostupni podaci o pojavi i razvoju proizvodnje i distribucije željeza i/ili poluproizvoda na širem srednjoeuropskom prostoru u vremenu kasne antike i ranoga srednjega vijeka, periodu koji slijedi nakon smanjenja obima i/ili prestanka rada velikih provincijskih proizvodnih centara iz vremena antike diljem Europe i destabilizacije (socio)ekonomskih komunikacija i društvenih odnosa.

## **1.7 Znanstveni doprinos**

Istraživanje kompleksnog, organiziranog sustava poput proizvodnje željeza pruža relevantne znanstvene podatke koji doprinose razumijevanju kulturnog krajolika u razdoblju kasne antike i ranoga srednjega vijeka na promatranom prostoru. Istraživanje po prvi puta donosi spoznaje o tehnologiji proizvodnje željeza te prirodnim i društvenim mehanizmima koji utječu na uspostavu, razvoj i održivost proizvodnje željeza i ulogu ove privredne grane u formiranju kulturnog krajolika tijekom kasne antike i ranoga srednjega vijeka na tlu današnje Podravine.



## **2 Lokaliteti s metalurškim značajkama na prostoru Podravine**

### **2.1 Površinski terenski pregled**

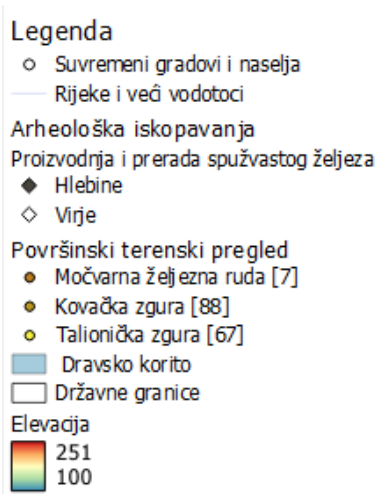
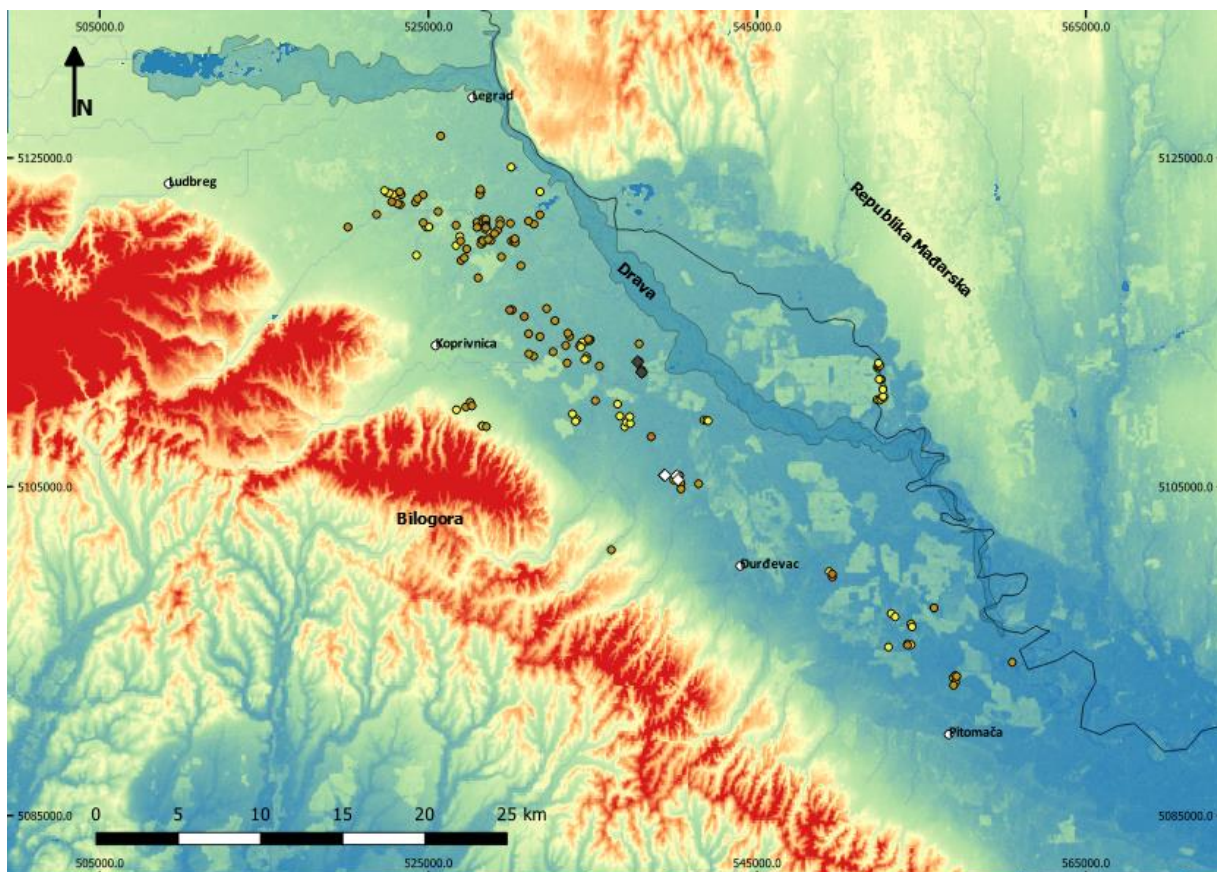
Površinski arheološki terenski pregledi šireg prostora Podravine ukazali su da je na 167 položaja prisutna zgura nastala pri postupku taljenja željezne rude i/ili kovačkim postupcima ili ulomci rude (Kudelić et al. 2017; Valent 2017; Valent et al. 2018; 2019; 2021) (Karta 2.1). Površinski prisutnu zguru talioničkog karaktera čini u glavnini lako prepoznatljiva, tipična ispuštena zgura dok kovačku zguru čine ulomci ili cjelovite kovačke pogače s dna peći. Ulomci zgure pronađeni su u asocijaciji s kronološki osjetljivim arheološkim nalazima iz razdoblja željeznog doba, antike i srednjeg vijeka.

### **2.2 Geofizička istraživanja i arheološka iskopavanja**

Tijekom više istraživačkih kampanja, provedenih od 2008. do 2019. istraženi su lokaliteti koje je moguće dovesti u vezu s aktivnostima vezanim uz proizvodnju željeza i obradu željeznih poluproizvoda. Položaji lokaliteta prvotno su utvrđeni arheološkim terenskim pregledima a dio lokaliteta je prethodno iskopavanju snimljen geofizičkim metodama. Radi se o nalazištima Virje – Volarski breg (Sonda 1, 2a, 3) i Sušine (5,7,8) te Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice (Sekelj Ivančan 2009; 2010; 2011; 2013; 2014a; 2014b; 2016; 2018; 2019; Sekelj Ivančan, Valent 2017; Sekelj Ivančan, Tkalčec 2018).

### **2.3 Položaj lokaliteta**

Lokaliteti s metalurškim značajkama otkriveni terenskim pregledom nalaze se na prostoru Gornje Podravine, u aluvijalnoj nizini rijeke Drave na duž oko 700 km<sup>2</sup> omeđenih na SZ linijom u ravnini s mjestom Legrad, II do Pitomače, južno do obronaka Bilogore i sjeverno državnom granicom s Mađarskom, koja djelomično korespondira koritu rijeke Drave. Povijesno – toponomastički gledano, ovo područje naziva se Koprivnička i nešto južnije Đurđevačka Podravina. Lokaliteti su distribuirani duž i uz rubove druge aluvijalne dravske terase te na prostoru Prekodravlja (Karta 2.1.)



Karta 2.1. Položaj lokaliteta s metalurškim značajkama na prostoru Podravine (podloga: DEM 2020, [www.earthdata.nasa.gov](http://www.earthdata.nasa.gov))

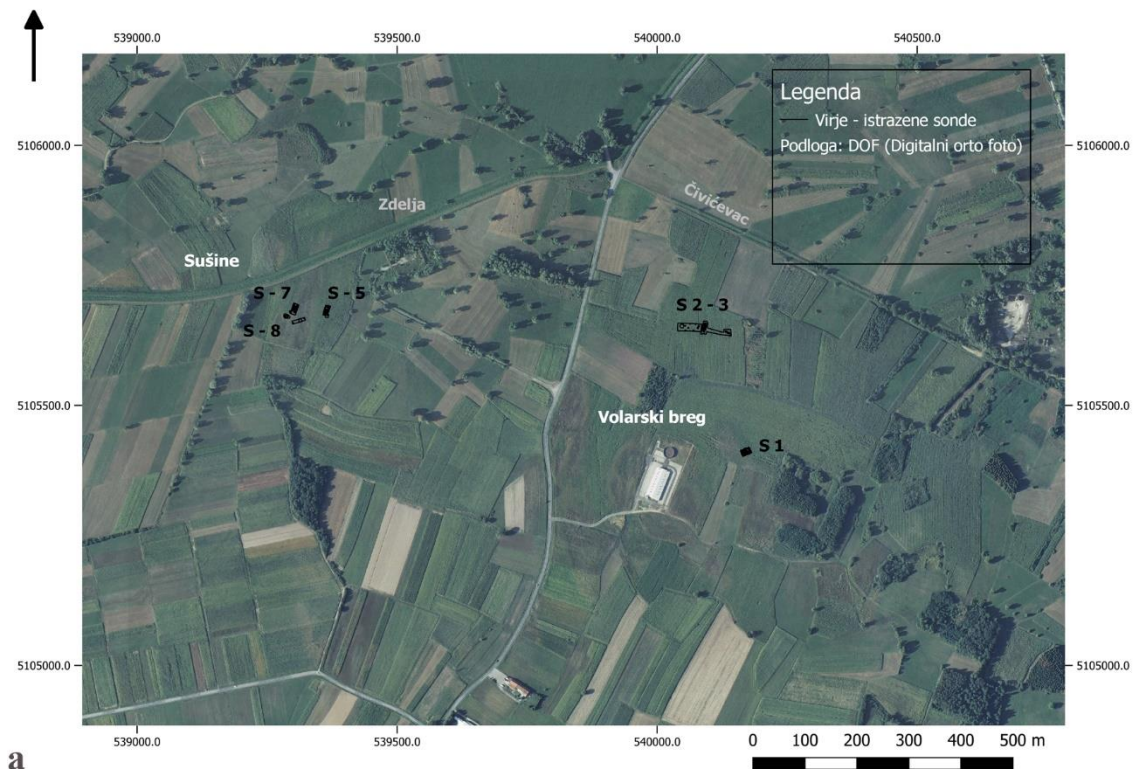
Arheološka nalazišta na položajima Volarski breg i Sušine u okolini mjesta Virje nalaze se na prostoru blagih uzvišenja i podno njih, u generalno nizinskom krajoliku omeđenom dvama potocima – Čivićevac i Zdelja (Karta 2.2.). Oba potoka u recentnijoj povijesti su ukoričena, a prostor se iskorištava kao poljoprivredno zemljište. Položaj Volarski breg (V–VB) čini nekoliko niskih uzvišenja koja okružuju jednu značajniju depresiju te mnoštvo manjih potolina. Lokalitet je istražen u više kampanja pri čemu su otvorene sonde na različitim pozicijama, na temelju prostora rasprostiranja površinskih nalaza koji su upućivali na metalurški karakter

podpovršinskog zapisa (Sonde 1, 2a i 3 te 2b).<sup>11</sup> Ove pozicije nalaze se podno glavnih uzvišenja, na niže pozicioniranim platoima neposredno uz plitke depresije.

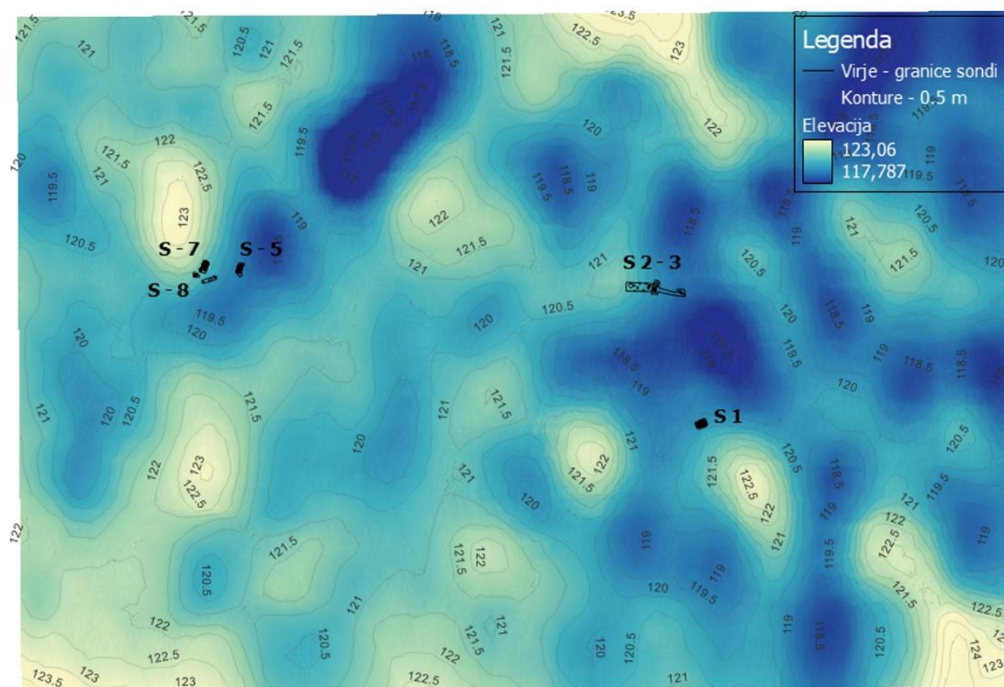
Položaj Sušine (V–S) nalazi se sjeverno od mjesta Virje a čini ga blago uzdignuta greda izdužena smjerom SI–JZ. Pozicioniran je oko 670 metara zračne linije zapadno od položaja Volarski breg. Na lokalitetu su prostori koncentracije površinskih nalaza metalurškog karaktera snimljeni geofizičkim metodama te su kroz nekoliko kampanja ciljano istraženi. Pri tome je otvoreno više Sondi (5–11), a kao zasebne cjeline u vezi s proizvodnjom željeza moguće je promatrati položaje Sonde 7 i 8 te 5. Sve cjeline nalaze se uz rub blagog uzvišenja i na platoima u podnožju istog, neposredno uz rubove prostora okarakteriziranog s više dubljih i prostranijih depresija u odnosu na okolni prostor.

---

<sup>11</sup> U S–1 pronađene su i objekti latenskog naselja (Ložnjak Dizdar, Dizdar 2021).



**a**

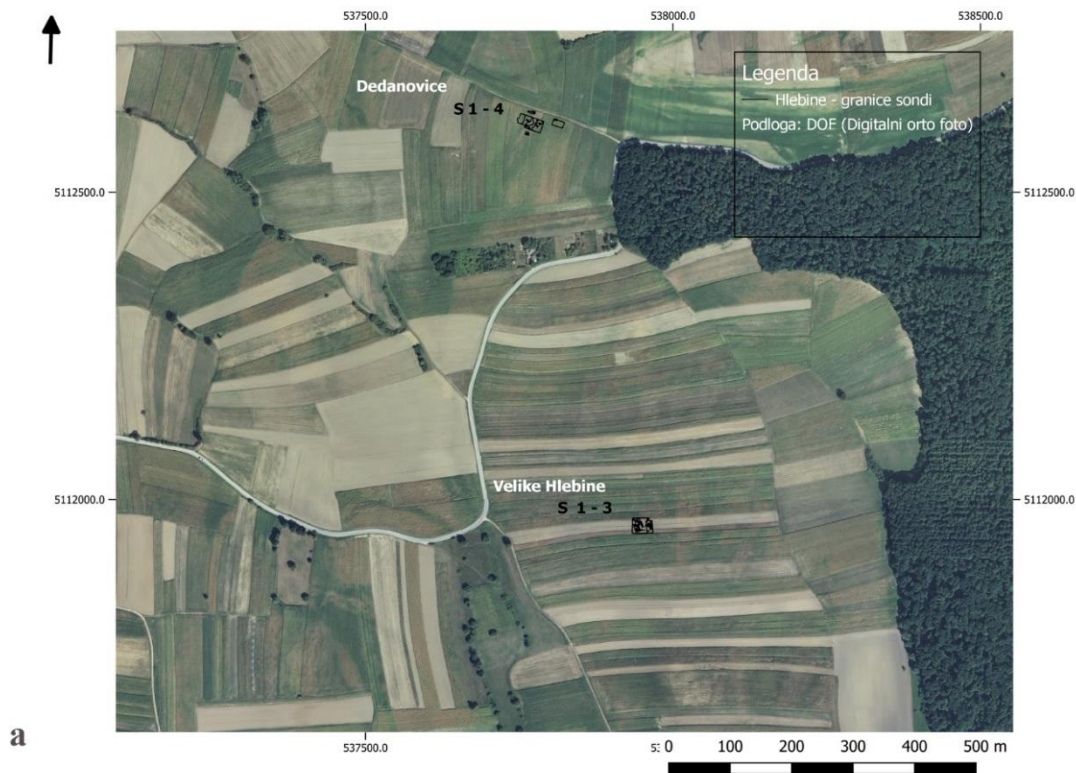


**b**

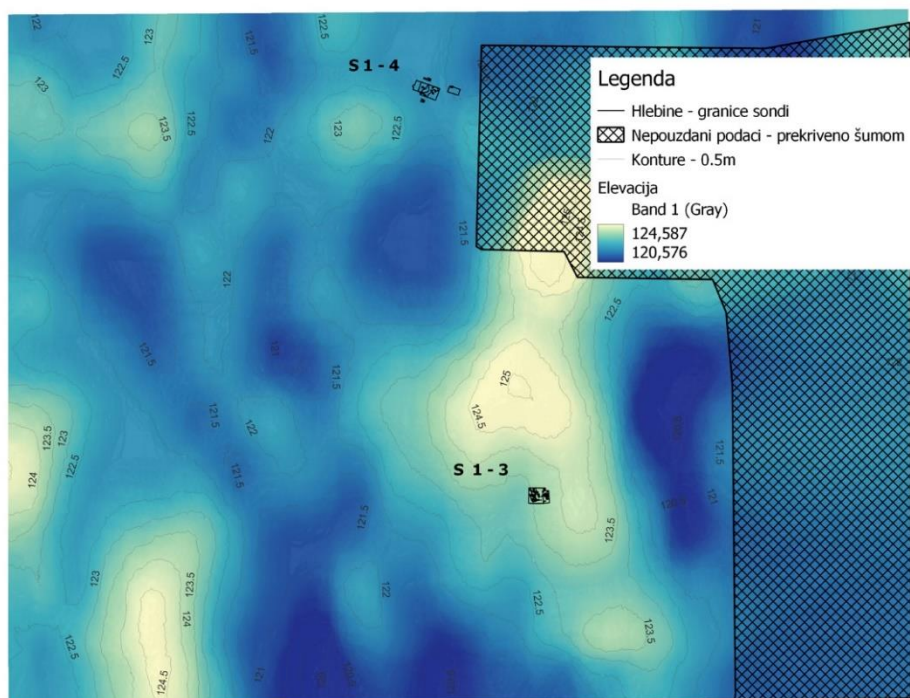
Karta 2.2. a) Geografski položaj lokaliteta Virje Sušine i Volarski breg (podloga: Državna geodetska uprava, DOF (Digital ortophoto) 2018, <https://geoportal.dgu.hr>), b) digitalni model reljefa prostora uz lokalitete Virje Sušine i Volarski breg (model izrađen na temelju podataka s platforme Google Earth pro, 2020, <http://earth.google.com>) (izrada: Tena Karavidović)

Položaj Velike Hlebine (H–VH) nalazi se oko 1,5 km istočno od današnjeg naselja Hlebina, uz cestu koja vodi prema Gabajevoj Gredi. Položaj radionice nalazi se na rubnom dijelu izdignute grede značajnijeg obima, izdužene u smjeru S–J. Greda je okružena s više prirodnih potolina od kojih su veličinom te dubinom najizraženije depresije istočno i južno od grede (Karta 2.3.).

Položaj Dedanovice (H–D) nalazi se oko 1,5 km istočno od današnjeg naselja Hlebina, te oko 700 m sjevernije od položaja Velike Hlebine. Lokalitet se rasprostire na sjevernoj i zapadnoj blagoj padini te na podnožnom platou niskog pješčanog uzvišenja, a okružen je nizom plićih depresija (Karta 2.3.).



a



b

Karta 2.3. a) geografski položaj lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice (podloga: Državna geodetska uprava, DOF (Digital orthophoto) 2018, <https://geoportal.dgu.hr>), b) digitalni model reljefa prostora uz lokalitete Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice (model izrađen na temelju podataka s platforme Google Earth pro, 2020, <http://earth.google.com>) (izrada: Tena Karavidović)

## 2.4 Arheološki terenski zapis

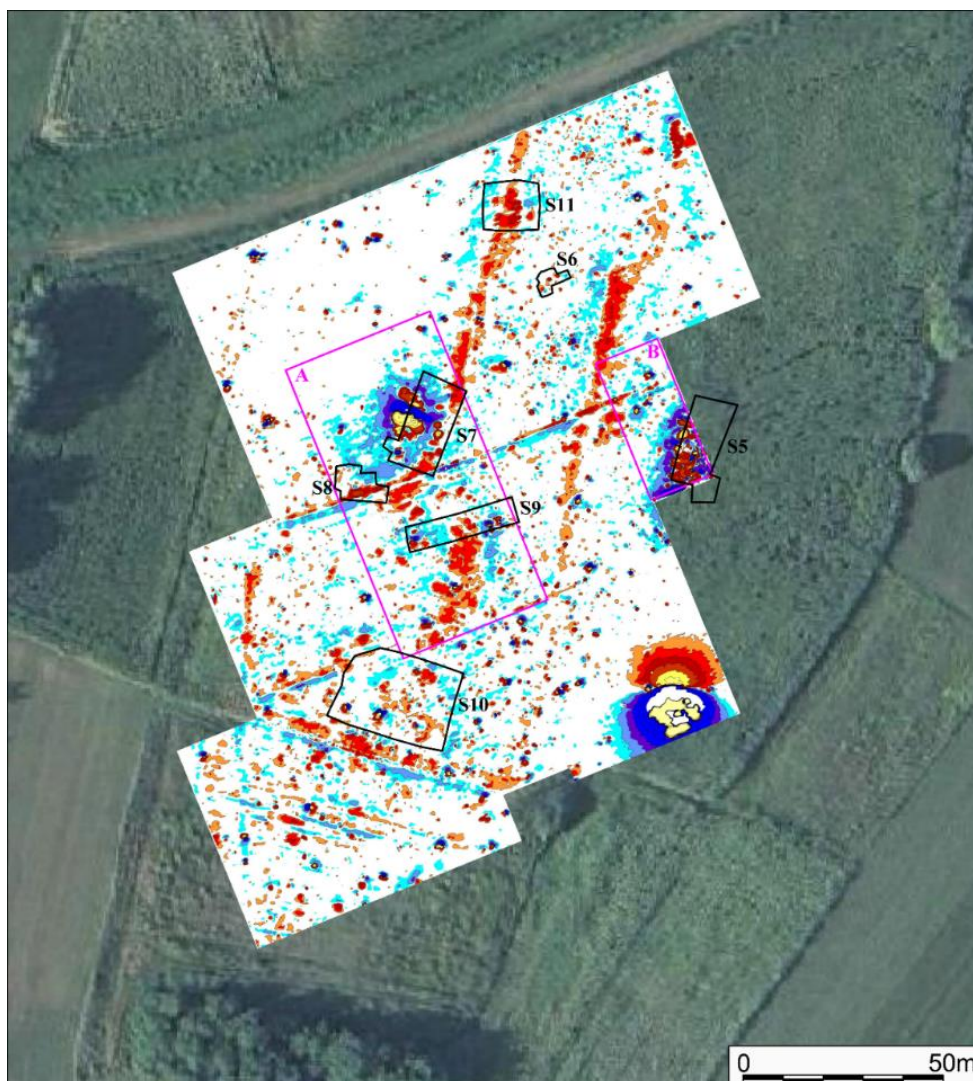
### 2.4.1 Virje

#### 2.4.1.1 Sušine

Položaji na lokalitetu Virje Sušine prvotno su utvrđeni arheološkim terenskim pregledom te potom snimljeni geofizičkim metodama (Karta 2.4.). U nastavku istraživanja, otvorene su Sonde (5–11) (Sekelj Ivančan 2014a), a područja na kojima su jasno prepoznate magnetne anomalije koje su upućivale na podpovršinski zapis metalurškog karaktera (Mušič *et al.* 2013; 2014; Mušič, Horn 2021) definirana su u Sondama 5, 7 i 8, što su u konačnici i potvrdila arheološka iskopavanja. U ostalim sondama (6, 10, 11)<sup>12</sup> identificirani su nasebinski ostaci (Sekelj Ivančan 2021) i ulomci zgure, u sloju naplavine koja je prekrila arheološke tvorevine ili humusnom sloju. Dodatni prostor potencijalne pojave podpovršinskog zapisa metalurškog karaktera su koji su magnetne anomalije 50–tak metara južno od položaja Sonde 5 Mušič *et al.* 2014: 20, sl. 22: E, G). (Karta 2.4.)

---

<sup>12</sup> U ostalim sondama (S–6, S–8, S–9, S–10) istraženima na ovom položaju pronađeni su nasebinski ostaci (Sekelj Ivančan 2021) koji se mogu pripisati ranom srednjem vijeku i željeznom dobu – S 7, 10 (Ložnjak Dizdar, Dizdar 2021)



Karta 2.4. Područje Sušina snimljeno geofizičkim metodama. Rezultati magnetske prospekcije prikazani preko semilogaritamske skale s naznačenim položajem istraženih Sondi (5–11). (Mušič, Horn 2021: 25, Fig.7.)

#### 2.4.1.1.1 Sonda 7 i 8

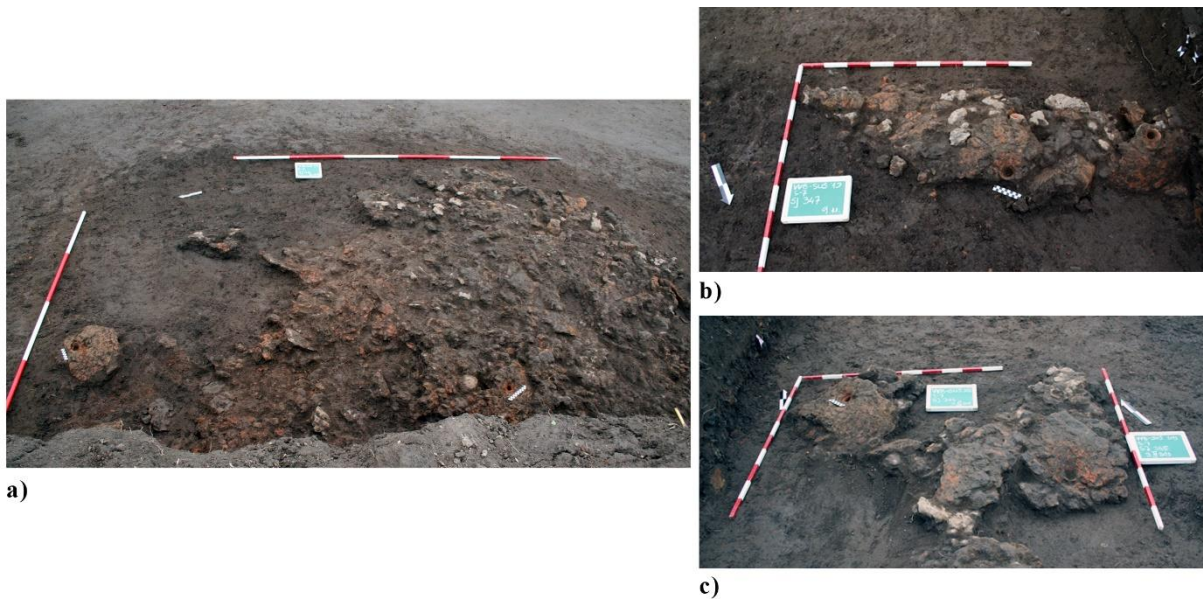
Sonde 7 i 8 istražene su 2013. godine (Sekelj Ivančan 2014a), a nalaze se u neposrednoj blizini (Karta 4.). Najiskazljivija arheološka tvorevina u S–7 je sloj otpada, prepoznat pri istraživanju kao koncentracija proizvodnog otpada, zgure i tehničke keramike (dijelova stijenki talioničkih peći) (Sl. 2.1, 2.2: SJ 314, 317)<sup>13</sup>. Sloj je presječen recentnim kanalom smjera I–Z (Sl. 2.1: SJ 338), a prema rezultatima geofizičkih istraživanja (Karta 2.3) i istočnom profilu iskopa, nije u potpunosti zahvaćen iskopom te se nastavlja istočno od istraženih gabarita sonde. U sloju i pri njegovu dnu su na više mjesta jasno bile vidljive veće nakupine stijenki talioničkih peći<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Sloj otpada bio je debljine do 20–ak cm (SJ 314; SJ 317) prostirao se polukružno uz zapadni profil sonde S–7, u dužini oko 14 metara (linija S–J) i najvećoj širini do 3,5 m (I–Z).

<sup>14</sup> U S–7 ukupno su dokumentirane sedam takvih tvorevina te su uz stijenke prikupljeni i nalazi zgure neposredno uz njih: unutar Sj 314: SJ 339/PN 161(stijenka), SJ 343/PN 134(stijenka); SJ 344/PN 162(stijenka);



(Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: Fig.16b), u glavni s inkorporiranim sapnicama i to više stijenki s sapnicama u neposrednoj blizini, grupirane. Ispod sloja otpada pronađene su i vrlo plitke pojedinačne tvorevine.



Slika 2.1. Virje Sušine, S-7. a) sloj otpada (SJ 314), b i c) koncentracije stijenki peći s inkorporiranim sapnicama (b- SJ 347, c-SJ 344 i 345). (fotografija: Tajana Sekelj Ivančan)

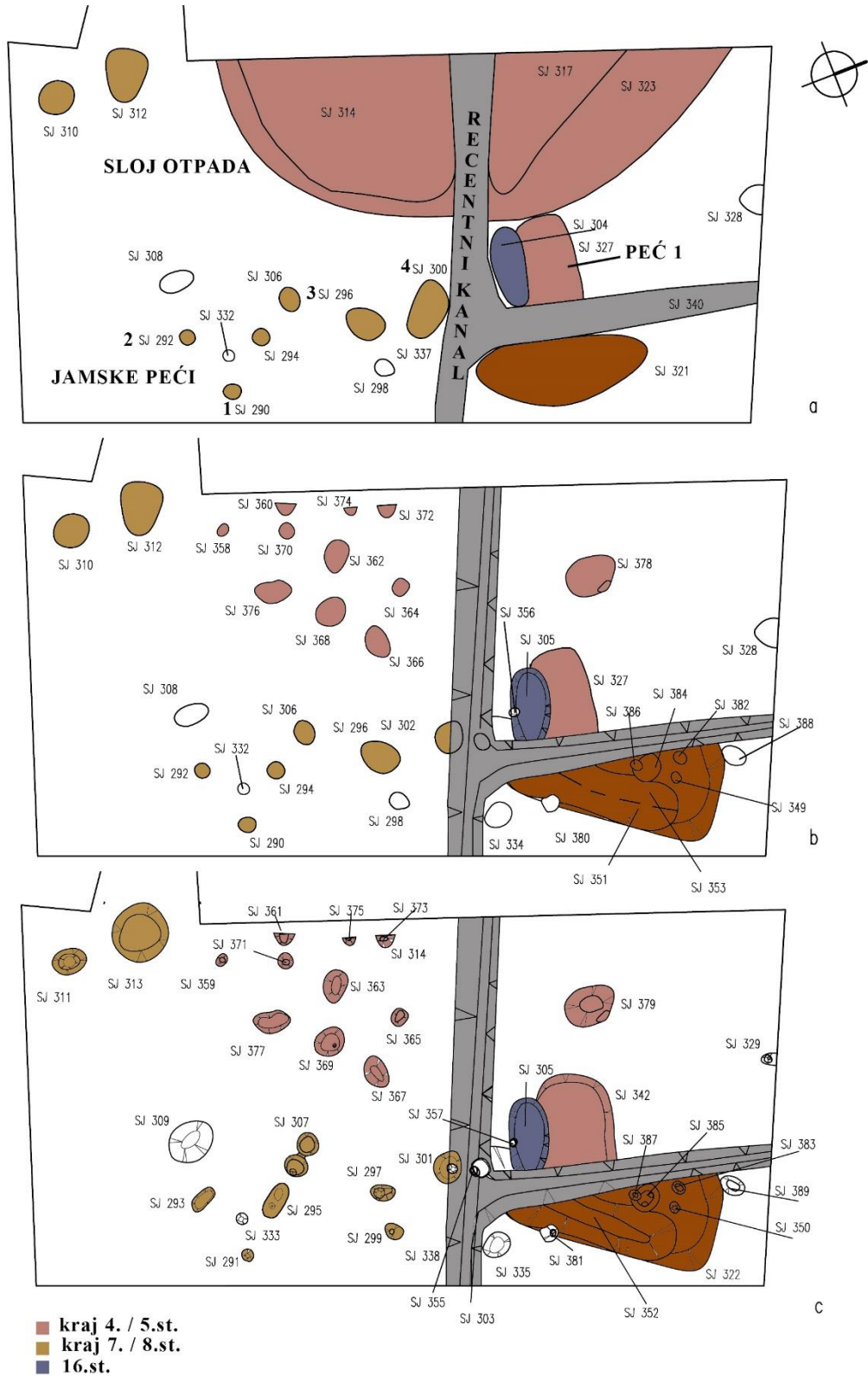
Na poziciji S-7 cjelovit komad talioničke zgure pronađen je u vezi sa stijenkama peći,<sup>15</sup> oko 1,3 m udaljen od koncentracije otpada, te se može smatrati jedinim djelomično očuvanim *in situ* nalazom položaja talioničke peći (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: Fig.18 – Peć 1 (SJ 327)). O vremenu deponiranja otpada svjedoče radiokarbonski datumi koji smještaju nalaze iz Sonde 7 u vrijeme najranije kraja 4. a vjerojatnije oko prve polovine 5. stoljeća (s mogućnošću trajanja do u 6. stoljeće) (Botić 2021: Tablica 1: V-Suš: SJ 314). O nešto kasnijoj fazi korištenja prostora svjedoči i radiokarbonski datum koji smješta nalaz stijenki peći (Botić 2021: Tablica 1: V-Suš: Sj 345), pronađen u neposrednoj prostornoj vezi s koncentracijom otpada (Sl. 2.1, 2.2: SJ 314) u 2/2 6.st. do samog početka 7. st.

---

SJ 345/PN 137(stijenka); SJ 346 (stijenka i zgura)/ N 453 te unutar Sj 317: SJ 347/PN 151, 348/ PN 165-168(sapnice) i zgura (N 471).

<sup>15</sup> Oko sredine zapune (SJ 327) nalazio se veći komad polukružno formirane stijenke peći gotovo crne boje, vidljive u tragovima (?) od koje se prema JI pružala uska i duga linija zgure u jednom većem komadu – talionička peć I.

S 7

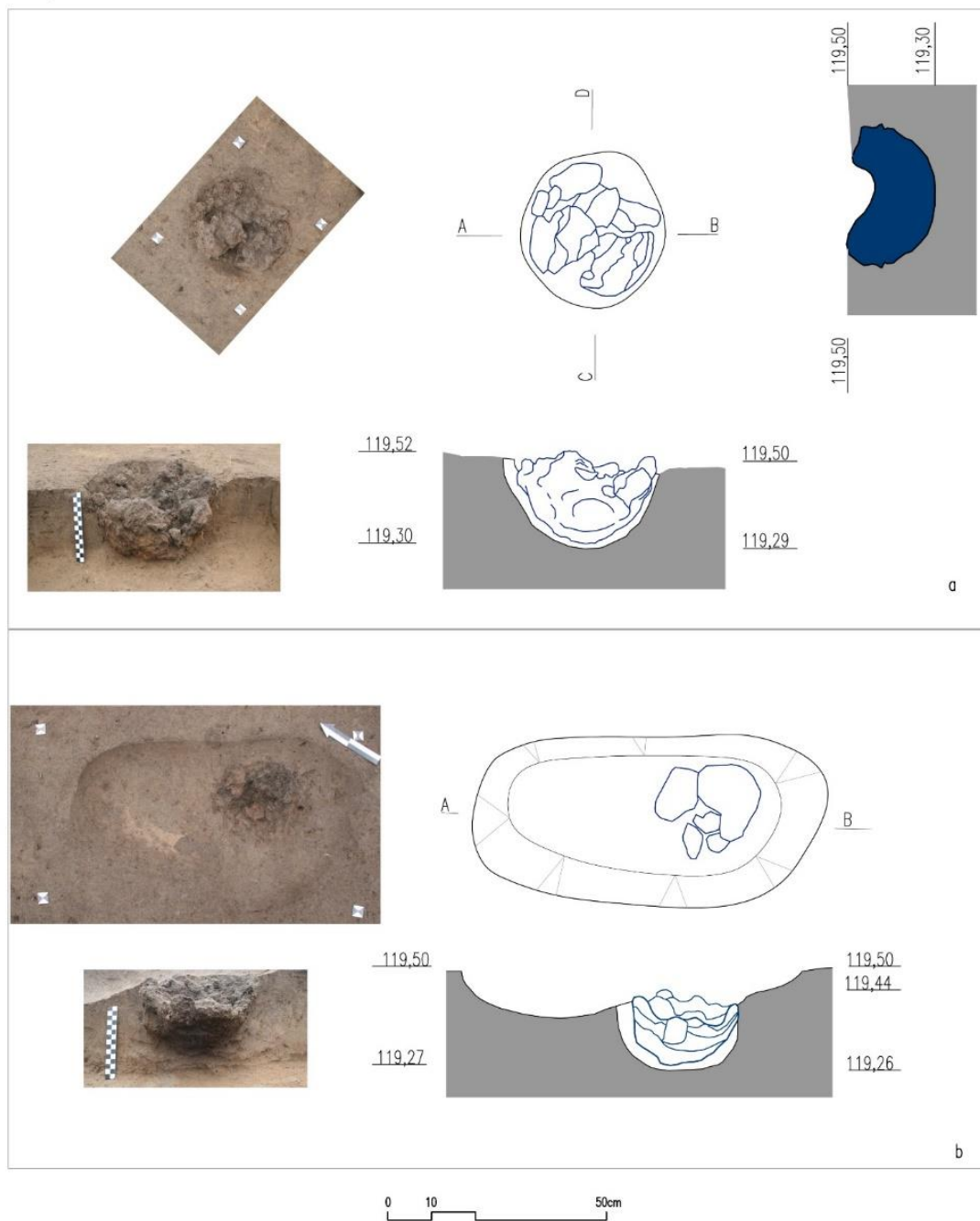


Slika 2.2. Virje Sušine – Sonda 7. Tlocrt istraženih arheoloških tvorevina: a) situacija nakon skidanja humusnog sloja, b) druga faza istraživanja – skidanje sloja otpada, c) istraženi ukopi (modificirano prema tlocrtu: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig. 14)

Na II dijelu istraženog prostora očitovale su se četiri arheološke cjeline (Sl. 2.2.). koje su pokazivale slične značajke te jedna po izgledu njima bliska, ali slabo očuvana jer je presječena recentnim kanalom (Sekelj Ivančan, Karavidović: 65–67 (Peć 1–4)). Površinski su se očitovale kao tamnije pjeskovite zapune, kružnog tlocrta, promjera od 0,38 do 0,46 m, dubine od 22 do 44 cm (Sl. 2.3.).<sup>16</sup> Gornji dio zapune bio je zasićen sitnim komadićima zgure i zapečenim lijepom, ispod kojih se nalazio veći komad slojevite zgure (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: Slika 20) planokonveksnog presjeka. Zgura je ležala nad zapečenom pjeskovito–zemljanom zapunom sa sporadično manjim nepravilno oblikovanim izdancima i sferama zgure u primjesi. Ukop ovih jamskih struktura čini plića jama sa stijenkama koje se blago pod koso spuštaju na konkavno dno – peć 1 (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: Slika 21a) i peć 2 (Sekelj Ivančan, Karavidović: Slika 21b)(Sl. 2.3.). Prema radiokarbonskoj analizi uzorka ugljena iz zgure jedne od ovih peći, može se zaključiti da su, za razliku od obližnjeg talioničkog otpada, bile u funkciji u nešto mlađem razdoblju, tijekom ranoga srednjeg vijeka, krajem 7. i u ½ 8.st. (Botić 2021, V–Suš: Tab. 1: SJ 290) kada se može datirati i tvorevina u JZ kutu iskopa (Botić, 2021, V–Suš: Tab. 1: SJ 310).

---

<sup>16</sup> Peć 1: cjelina istraživana pod stratigrafskim brojem SJ 290/291: zapuna je bila debljine 0,22 m; Ø 0,33 m. Peć 2: cjelina istraživana pod stratigrafskim brojem SJ 292/293: zapuna je bila debljine 0,47 m; 0,79 x 0,38 m. Ova izmjera odnosi se na cjelovitu zapunu peći, ne isključivo na manju jamu zapunjenu zgurom (vidi sliku: 2.3). Jama kružnog tlocrta je Ø 35 cm. Peć 3: cjelina istraživana pod stratigrafskim brojem SJ 296/297: zapuna je bila debljine 0,34 m; 0,70 x 0,46 m. Jama kružnog tlocrta – promjera 30 cm. Peć 4: cjelina istraživana pod stratigrafskim brojem SJ 300/301: zapuna je bila debljine 0,49 m; 0,97 x 0,80 m. Jama kružnog tlocrta presječena recentnim kanalom; mogući promjer oko 27 cm. Peć 5(?): Radi se o cjelini 302/303: zapuna je bila debljine 0,36 m; 0,56 x 0,49 m.



Slika 2.3. Virje Sušine, S-7. Tlocrt i presjek jamskih peći: a) Peć 1, b) Peć 2 (modificirano prema: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig.21, fotografija i crtež: Kristina Jelinčić Vučković).

Prostor položaja Sonde 7 bio je iskorištavan i u 16.st. o čemu svjedoči jedan radiokarbonski datum (Botić 2021: 93, Tab.1. SJ 305) dobiven na temelju ugljena prikupljenog iz zapune manje

jame (Slika 2.2: SJ 305), presječene recentnim kanalom a koja je presjekla plitki ukop unutar kojeg je pronađena cjelovita zgura iz jednog taljenja (Sl. 2.2: SJ 327).

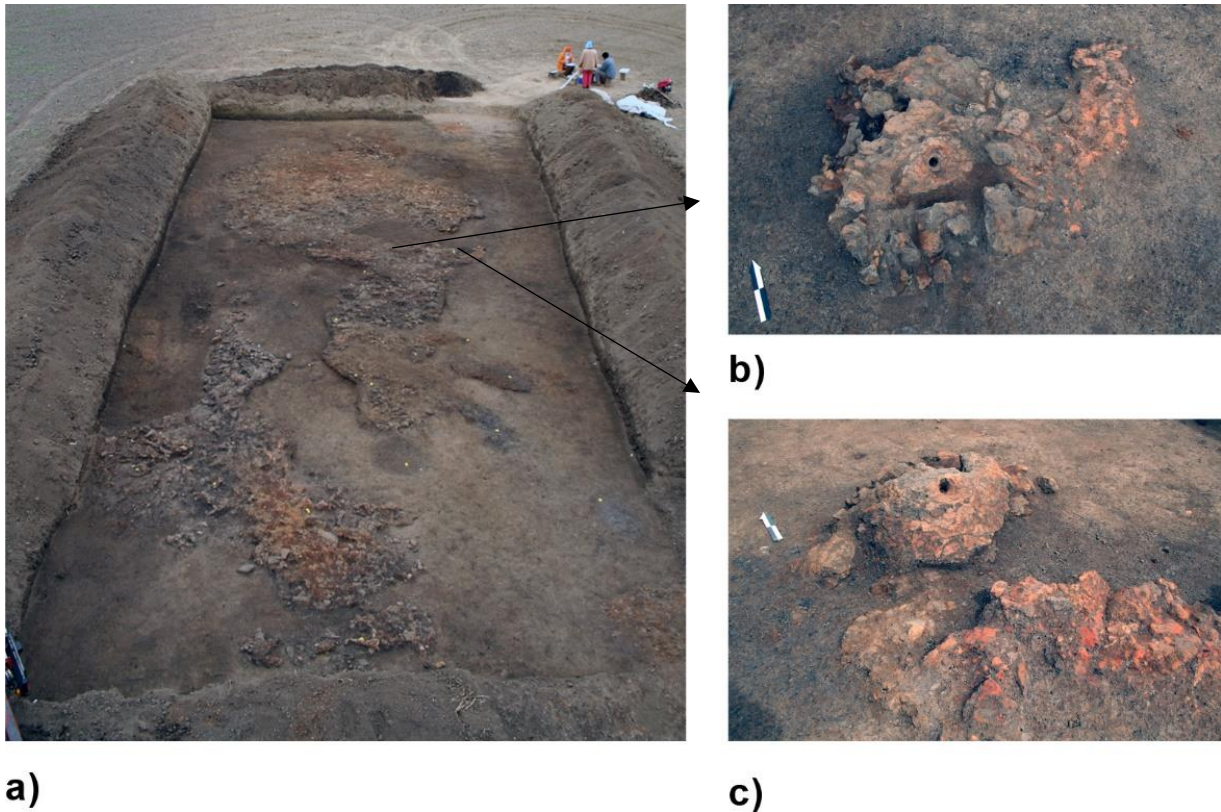
U Sondi 8 istražen je objekt koji prema pokretnim arheološkim nalazima pokazuje naseobinske elemente (Sekelj Ivančan 2021) no prisutan je i metalurški otpad. Relativna datacija (Sekelj Ivančan 2021: 163–168, fig.16.) i radiokarbonski datumi (Botić 2021, V–Suš, Tab. 1 SJ 320) smještaju aktivnosti prepoznate u vezi s ovim objektom u 8 – poč. 9.st.

#### 2.4.1.1.2 Sonda 5

Sonda 5 istražena je 2012. godine (Sekelj Ivančan 2013). Otvoreni gabariti sonde zahvatili su glavninu prostora s površinskim nalazima koji su ukazivali na podpovršinski zapis metalurškog karaktera (Karta 2.3..). Neposredno ispod humusa identificiran je sloj otpada (SJ 214 i 215) koji su prekrili gotovo čitavu sondu. Ispod ovoga sloja ležale su manje koncentracije otpada (Sl. 2.4a, 2.5: SJ 215, 218, 217, 231, 232). Prilikom čišćenja slojeva zasebno su izdvojene i imenovane nakupine stijenki peći<sup>17</sup> s inkorporiranim sapnicama (Slika 2.4: b–c, 2.8b)(Sekelj Ivančan, Karavidović: fig. 16a). Slojevi otpada bili su položeni direktno na zdravicu. Ispod sloja SJ 217 otkriveno je nekoliko manjih, vrlo plitkih obrisa pravilnijeg kružnog oblika tlocrta.

---

<sup>17</sup> Ukupno je dokumentirano šest takvih tvorevina u S–5: SJ 246/PN 42; SJ 248/PN 41; SJ 250/PN 53; SJ 257/PN 57; SJ 259/PN 38; SJ 267/PN 44.



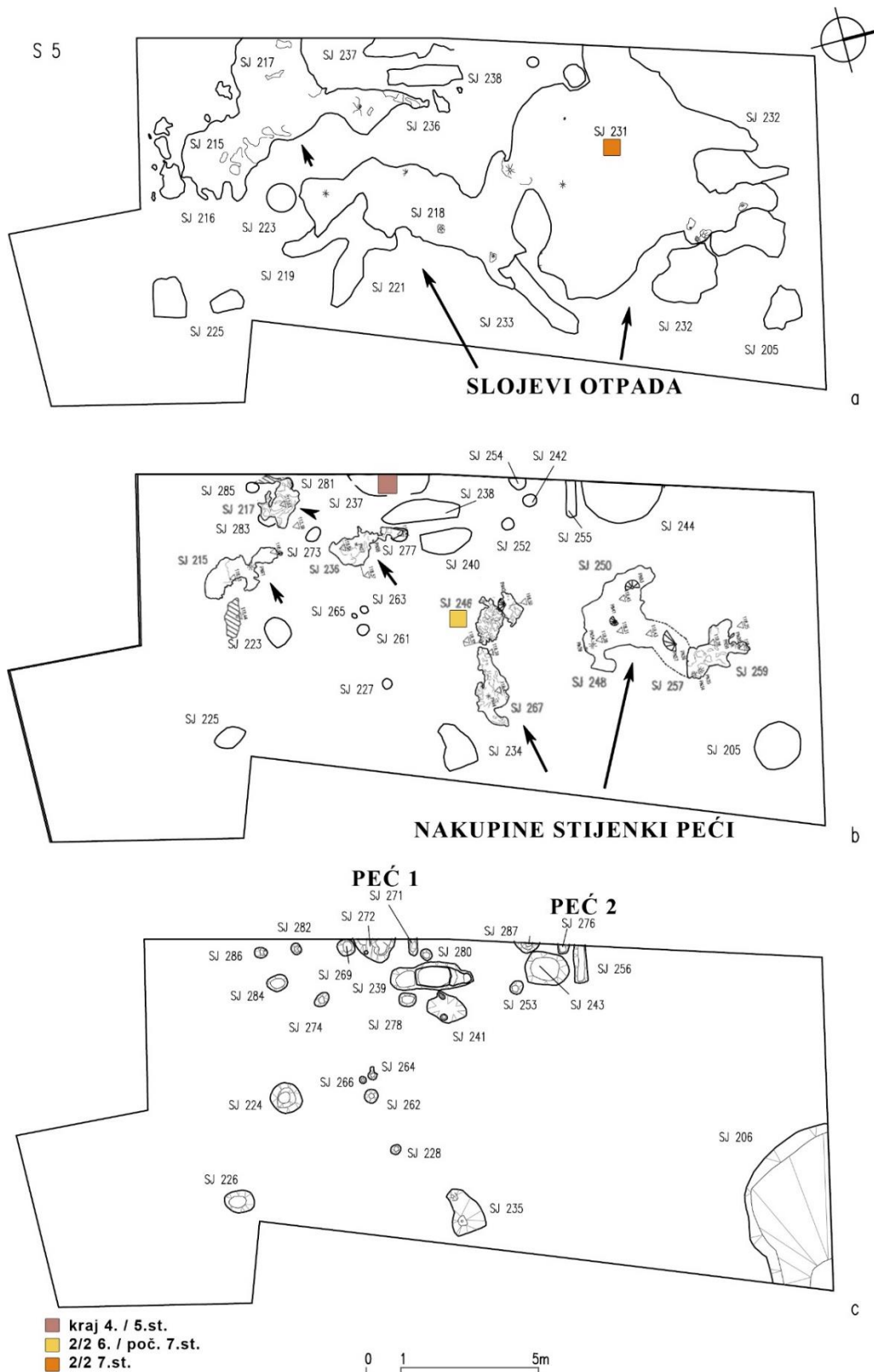
Slika 2.4. Virje Sušine (S-5): a) slojevi koncentriranog otpada ispod Sj 214, nakupina stijenki peći – SJ 267/PN 44, c) SJ 246/PN 42 (snimila: Tajana Sekelj Ivančan, 2012.)

U zapadnom dijelu iskopa, identificirano je nekoliko ukopa, koji u glavnini nisu u cijelosti istraženi jer su se prostirali izvan granica iskopa. Međutim, uz zapadni profil iskopa S-5 na nekoliko je mjesta bilo vidljivo zapečeno dno plitkih ukopa i to manjeg izduženog kanalića i kružne jame (Slika 2.5: b i c)<sup>18</sup> koji bi se mogli dovesti u vezu s dnom ložišta i plitkim kanalićem za istek tekuće zgure odnosno položajem talioničkih peći (Slika 2.5: b-c)(Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 62). Ove tvorevine nalazile su se zapadno od slojeva talioničkog otpada, te su gotovo paralelno postavljene u prostoru.

Analiza uzoraka ugljena iz S-5 ukazuje da su aktivnosti povezane s proizvodnjom željeza na ovom prostoru izvođene u nekoliko navrata kroz duži vremenski period odnosno da je prostor bio iskorištavan u sličnom svojstvu krajem 4. / ½ 5. stoljeća te u vremenu od sredine ili 2/2 6. do sredine 7. stoljeća, najkasnije do u 2/2 7. stoljeća (Botić 2021: Tablica 1: V-Suš: SJ 237, 231 dno, 246). Datumi koji ukazuju na raniju fazu korištenja prostora dobiveni su iz uzorka ugljena pronađenog u zapuni jame uz zapadni rub iskopa koja nije u cijelosti istražena, te je

<sup>18</sup> Peć 1: SJ 270/271 – dimenzije ukopa SJ 271: 0,52 (I-Z) x 0,26 (S-J) m.; Peć 2: SJ 255/256 – dimenzije ukopa SJ 256: 1,13 (I-Z) x 0,38 (S-J) m. SJ 275/276 – dimenzije ukopa SJ 276: 0,29 (I-Z) x 0,32 (S-J) m.

stajala prostorno izdvojena od slojeva otpada (Sl. 2.5: SJ 237). Kasnijoj fazi moguće je pripisati dva radiokarbonska datuma koja iskorištavanje prostora smještaju u kraj 6. –1/2 7. st. i 2/2 7.st. te sugeriraju da je prostor bio kontinuirano iskorištavan u sličnom svojstvu kroz duži vremenski period ili u više navrata, a dobiveni su iz ugljena pronađenog u povezanim slojevima otpada (Slika 2.5 a i b: SJ 231 dno i 246). Stratigrafski odnosi potonjih dvaju nakupina otpada mogli bi upućivati da se prostor na koji je odlagan otpad sustavno zapunjavao, šireći se prostorno ka sjeveru (Slika 2.5).



Slika 2.5. Virje Sušine (S–5). Tlocrt istraženih arheoloških tvorevina: a) faza istraživanja nakon uklanjanja sloja otpada SJ 214, b) faza istraživanja nakon čišćenja slojeva otpada – vidljive pojedinačne nakupine stijenki peći s sapnicama, c) zadnja faza istraživanja – ukopi (dorađeno prema tlocrtu: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig.13).



#### 2.4.1.2 Volarski breg

Položaj Volarski breg također je prepoznat površinskim terenskim pregledima, no nisu napravljena geofizička istraživanja prije iskopavanja (Sekelj Ivančan 2009; Sekelj Ivančan 2010b: 32, Slika 2). Ostaci metalurških aktivnosti identificirani su na tri položaja – Sonda 1, 2a i 3 te 2b.

##### 2.4.1.2.1 Sonda 1

Sonda 1 na Volarskom bregu istražena je 2008. godine (Sekelj Ivančan 2008). Neposredno ispod humusa evidentiran je sloj naplavine (SJ 003) na sjevernom i istočnom dijelu istraženog područja. Prostor rasprostiranja sloja naplavine najniži je dio istraženog područja (118 – 117,80 n.m.v), a teren znakovito pada upravo ka sjeveru i istoku (razlika visinskih kota je oko 40 cm na 3,5 metara dužine (JZ–SI)).

U sondi 1 otkrivena su dna peći u kojima je pronađen *in situ* trag posljednjeg talioničkog postupka (T. 8-10.) (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig. 2,5,7,8). Stanje očuvanosti peći nije bilo jednolično, no u arheološkom zapisu jasno su vidljivi elementi koji čine talioničke peći: kružno ognjište uz koje se nastavlja izduženi kanal unutar kojega je istjecala ispuštena zgura. Radi se o ukupno pet peći (Sekelj Ivančan, Karavidović: 47 – 51 (peć I–V)). Promjer ognjišta peći iznosi 35 – 40cm. Dubina ukopa ložišta, ispod hodne površine iznosi oko 20cm.



Slika 2.6. Talioničke peći tijekom istraživanja (fotografija:Tajana Sekelj Ivančan)(prema: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig. 2)

Uz talioničke peći grupirane u sjeverozapadnom dijelu iskopa, evidentirano je i pet plitkih jama vrlo sličnog sastava i načina uslojavanja zapune te zapečenog dna, sve koncentrirane u istočnom, nižem dijelu arheološke sonde (S-1). Zapune su djelomično prepoznate u sloju naplavine, a jedna jama je bila prekrivena istim (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig.9). Od pet spomenutih jama sa zapečenim dnom u cijelosti su istražene tri dok su dvije zalazile pod južni i istočni profil (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 51 – 53, fig.9. (Jama I–III)). Slojevi zapune jama bili su u velikoj mjeri slični. Gornji sloj je činila masna ilovača tamnije boje zasićena s gorenim kamenjem, zgurom i ulomcima keramičkih sapnica (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 55, fig. 9). Ispod gornjeg sloja zapune nalazio se sloj s komadima kamenja, ispod kojeg je bila intenzivnije crna rastresita zemlja prepuna gorevine i gara, a sve je ležalo na zapečenom tlu. Promjer jama sa zapečenim dnom varira od 1,4 do 1,95 m, a dubina između 0,26 i 0,56 m.



Slika 2.7. Ukopi jama s zapečenim dnom (fotografija: Tajana Sekelj Ivančan)

Sloj zasićen ugljenom (Sl.2.8.: SJ 014h) nalazio se na južnom dijelu istraženog prostora, a zamijećen je neposredno ispod humusa. Sloj je nepravilnog oblika, dimenzija 2,26 x 2,83 m, vrlo male debljine te je ležao na sterilnom sloju zdravice. U neposrednoj blizini nalazila se tvorevina koji čini plitki ukop tlocrtno polukružnog oblika pri čijem dnu su istražene pravilne

kružne rupe, promjera 10–15cm.<sup>19</sup> U istočnom dijelu istraženog prostora nalazio se rastresit sloj (SJ 027) tehničke keramike.

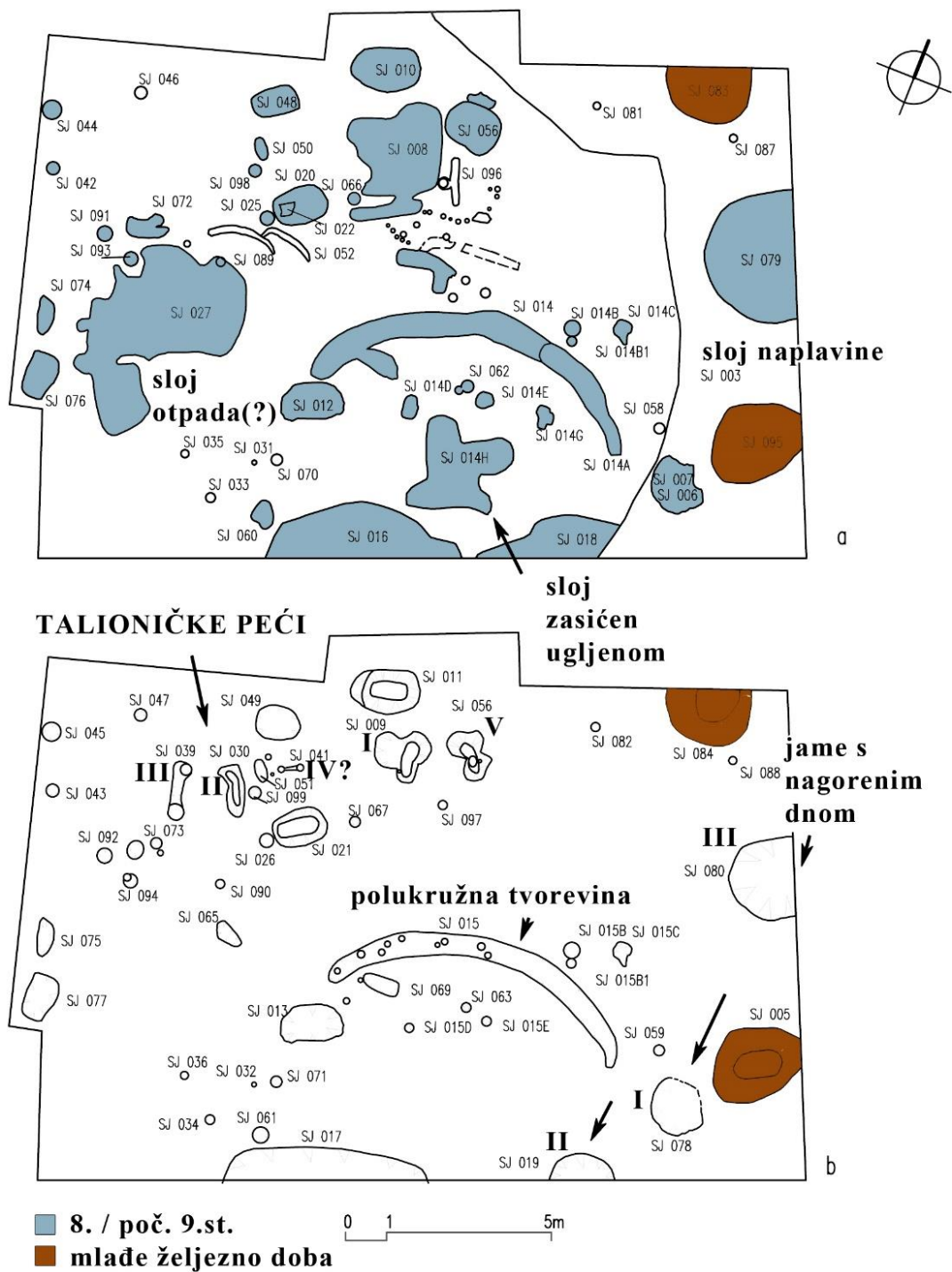
Stratigrafski odnosi te sličnost pokretnih nalaza u istraženim tvorevinama ukazuju na istovremenost spomenutih arheoloških cjelina što je i potvrđeno analizom radioaktivnog ugljika. Uzorci ugljena prikupljeni iz peći I i jame II sa zapečenim dnom svjedoče da su se aktivnosti vezane uz proizvodnju željeza na ovom dijelu lokaliteta odvijale u ranome srednjemu vijeku, u 8. – poč. 9. st. (Botić 2021: Tablica 1: V–VB: SJ 8a, SJ 18).

U Sondi 1 otkrivene su i tvorevine koje se prema radiokarbonskom datumu (Botić 2021: Tab.1. SJ 95) i analizi pokretnog materijala mogu pripisati brončanom i mlađem željeznom dobu (Ložnjak Dizdar, Dizdar 2021)(Sl. 2.8.). Potonje tvorevine otkrivene su ispod sloja naplavine (SJ 003), a mogu se vezati uz naseobinske ostatke otkrivene na blagom uzvišenju neposredno uz sondu 1 istraženom u tijeku ranijih arheoloških istraživanja lokaliteta Virje (Čimin 2011).

---

<sup>19</sup> Ostaci polukružne tvorevine – SJ 014/015 i tvorevina povezanih s njom – SJ 14a–h, SJ 012/013, SJ 062/063, SJ 068/069. Zapuna SJ 014 je bila debljine tek 0,07 m. Dimenzije ukopa SJ 015: ukupna dužina SJ 015+SJ 015a iznosila je 8,65 m, dok je širina varirala 0,53–0,60 m.

S 1



Slika 2.8. Virje Volarski breg, Sonda 1 – tlocrt istraženih arheoloških tvorevina: a) slojevi i zapune nakon skidanja humusa, b) istraženi ukopi (dorađeno prema tlocrtu: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig.1.).

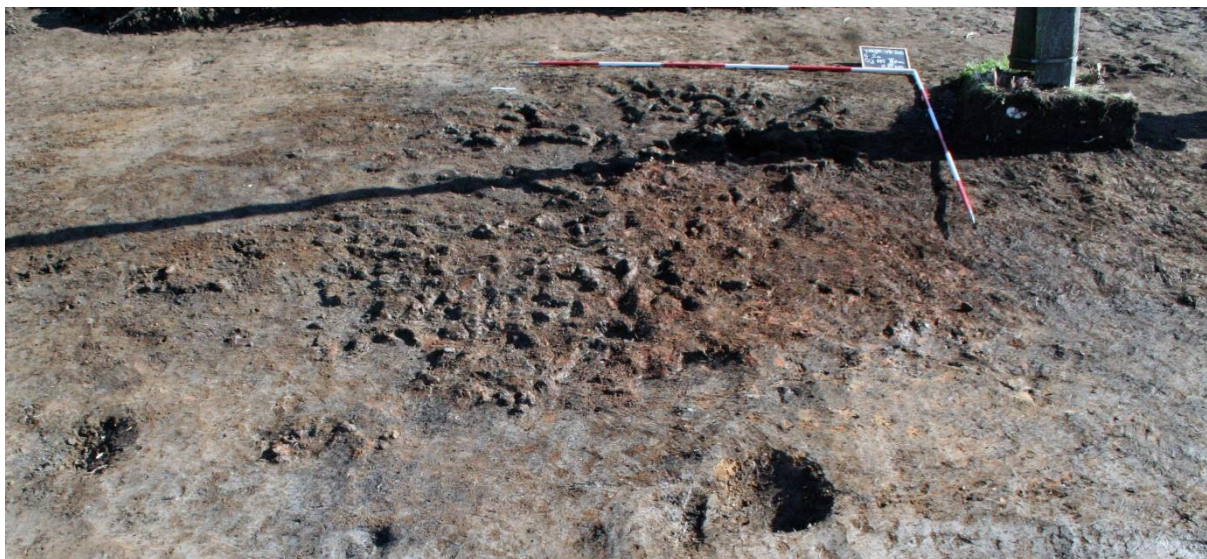
### 2.4.1.2.2 Sonda 2 i 3

Sonda 2a i 3 istražene su 2010. i 2012. godine (Sekelj Ivančan 2010b), a radi se o dvije sonde koje se naslanjaju jedna na drugu te čine jedinstven, povezan prostor (Slika 2.9.). Tijekom kampanje 2010. godine istražena je i Sonda 2b postavljena istočno od Sonde 2a. U potonjoj sondi otkrivene su jamske tvorevine, interpretirane kao naseobinski ostaci (Sekelj Ivančan 2021: 158–163, fig. 11, 12) no sporadično se u zapunama pojavljuje i metalurški otpad (vidi poglavlje 4).



Slika 2.9. Virje Volarski breg, Sonda 2a i 3 – tlocrt istraženih arheoloških tvorevina: a) slojevi i zapune nakon skidanja humusa, b) istraženi ukopi (modificirano prema: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig. 11).

U sondi 2a ispod humusnog sloja nalazio se sloj koncentriranog otpada.<sup>20</sup> Protezao se smjerom S–J i obuhvaćao površinu 7,70 x 5,30 m, te bio srednje izmjerene debljine oko 25 cm. Ostale tvorevine činile su zapune, mahom plitkih ukopa malih dimenzija relativno gusto raspoređene unutar sonde, od koji su se neke očitovale ispod sloja otpada. Prilikom istraživanja pretpostavljeno je da su dva plitka ukopa izdužena u smjeru I–Z ostaci talioničkih peći (Sl. 2.9: SJ 139), vodeći se sličnošću s pećima istraženim 2008. godine na položaju Sonde 1.<sup>21</sup>



Slika 2.10. Virje Sušine, Sonda 2a (SJ 115) – sloj koncentriranog otpada, II.faza čišćenja (snimila: Tajana Sekelj Ivančan)

U Sondi 3 otkriven je sloj zasićen otpadom (SJ 180) i pet plitkih jama, tlocrtno pravilnog kružnog oblika (Sl. 2.9.) (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig.12, Jama A–E).<sup>22</sup> Iako nejednolično očuvane, jame iz S–3 bile su gotovo identične boje, konzistencije i sastava slojeva te slijeda uslojavanja zapune. Ispod gornjeg sloja zapune nalazio se tamniji gotovo crni sloj različite debljine, ovisno o veličini i očuvanosti cjelokupne tvorevine. Jame su bile ukopane u zdravicu, a tlo je pri dnu bilo nagoreno/zapečeno. Na temelju dimenzija (promjera i dubine) moguće je izdvojiti dvije grupe jama: 1) veće dimenzije (promjer 1,81 – 2,31 m, dubina 20 – 30 cm), 2) manje dimenzije (promjer 1,35–1,30 m, dubina 10–12 cm).

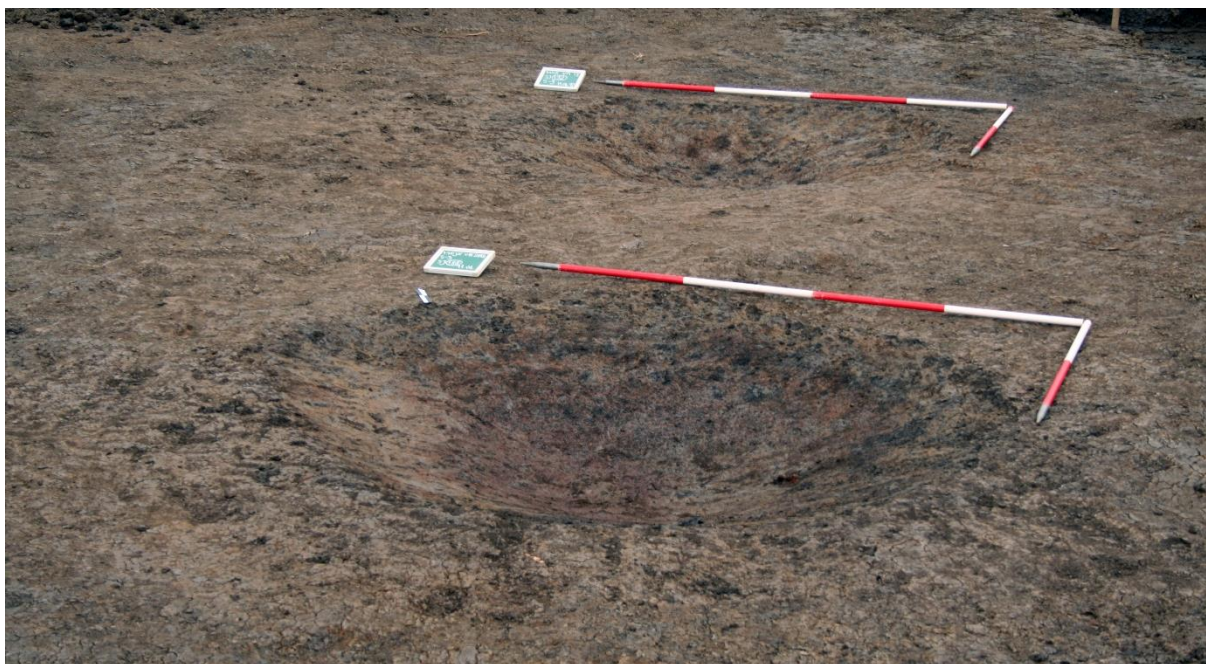
<sup>20</sup> Radi se o tvorevini SJ 115 (debljine 0,25 m) i s njom u vezi zapunom u plitkom ukopu SJ 116/117.

<sup>21</sup> Dimenzije ukopa SJ 139: 0,95 (S)/1,39 (J) x 1,15 m, promjer jugoistočne jamice 0,50 m.

<sup>22</sup> Jama A: SJ 183/184. Zapune su bile debljine 0,12 m. Dimenzije ukopa SJ 184: 1,35 (I–Z) x 0,95 (S–J) m.

Jama B: SJ 185/186. Zapune su bile debljine 0,20 m. Dimenzije ukopa SJ 186: 1,81 (I–Z) x 1,63 (S–J) m. Jama C: SJ 187/188. Zapune su bile debljine 0,34 m. Dimenzije ukopa SJ 188: 2,31 (I–Z) x 2,50 (S–J). Jama D: SJ

191/192. Zapune su bile debljine 0,10 m. Dimenzije ukopa SJ 190: 1,23 (I–Z) x 1,30 (S–J) m.



Slika 2.11. Virje Sušine, Sonda 3 (SJ 187/188 i 191/192). Ukopi jama s zapečenim dnom. (snimila: Tajana Sekelj Ivančan)

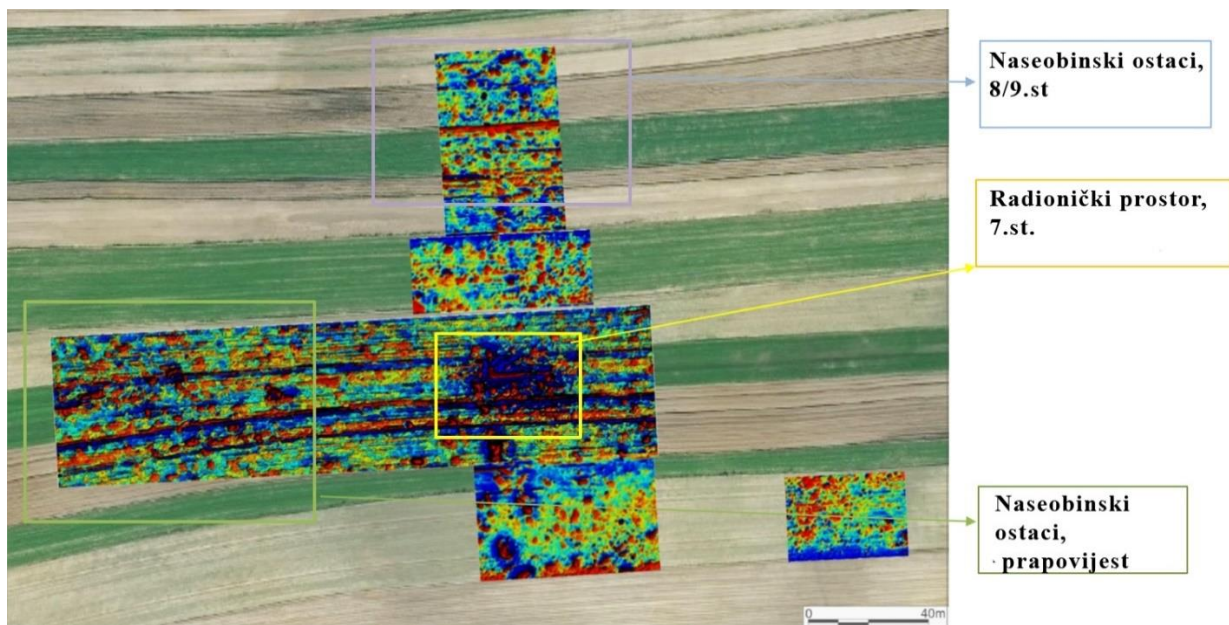
Radiokarbonski datumi smještaju aktivnosti u vezi s proizvodnjom željeza u jedan ili više navrata u razdoblju 5. – ½ 6. st. (Botić 2021: Tab. 1, SJ 191) i 2/2 6. – ½ 7. st. (Botić 2021: Tab.1. SJ 115dno). Raniji datum potječe iz zapune jedne od jama s zapečenim dnom (Slika 2.9: Sonda 3: SJ 191) dok kasniji datum potječe iz sloja otpada u neposrednoj prostornoj vezi s ostalim slojevima i zapunama s metalurškim otpadom u Sondi 2a. U stratigrafskim odnosima nije prepoznato više faza boravka u Sondi 2a. Jame s nagorenim dnom imaju gotovo identičan sastav zapune te jednolične dimenzije u dvije grupe, implicirajući time i jednak mehanizam korištenja i uslojavanja, potencijalnu istovremenost.

#### **2.4.2 Hlebine**

Na području Hlebina istražena su dva lokaliteta koja se mogu dovesti u vezu s proizvodnjom željeza i obradom željeznih poluproizvoda, na položaju Velike Hlebine i Dedanovice. Oba lokaliteta prepoznata su površinskim terenskim pregledom, a geofizičkim istraživanjima potvrđen je prostor visokih magnetskih anomalija koje su ukazale na podpovršinsku zasićenost otpadom od metalurških aktivnosti.

#### 2.4.2.1 Velike Hlebine

Prostor lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine prepoznat je površinskim terenskim pregledom a geofizičkim istraživanjima potvrđen je prostor visokih magnetskih anomalija koje su ukazale na perimetar rasprostiranja otpada od metalurških aktivnosti (Sl. 2.12.) (Mušič *et al.* 2016: 15–17, sl. 16–20; 2021: 29–32). Ovaj prostor je u cijelosti istražen arheološkim iskopavanjima u dvije kampanje, 2016. (S–1) i 2017. (S–2) godine (Sekelj Ivančan and Valent 2017; Sekelj Ivančan 2018a). Dodatno, otvorena je sonda na prostoru sjeverno od radionice (S–3), koja se na temelju analize arheološkog zapisa i pokretnih nalaza i može okarakterizirati kao prostor naseljevanja (Sekelj Ivančan 2021:154 –158) s kraja 7– 8.st. (Botić 2021: Tablica 1: Sj 119 i 121). U zapuni jedne od jamskih tvorevina, pronađen je uzorak močvarne željezne rude (Sekelj Ivančan 2021: fig.10).



Slika 2.12. Rezultati magnetometrije (pozadina: zračna fotografija (DOF)). Područja izrazito visokih magnetskih anomalija koncentrirana su na dijelovima intenzivnije pojave površinskih nalaza zgure. Prostor visokih magnetnih anomalija koncentriran je na jednom mjestu (Mušič *et al.* 2016).

Pri istraživanju 2016. godine na prostoru Sonde 1 (S–1) u arheološkom zapisu prepoznati su ostaci donjih dijelova talioničkih peći. Prostor na kojem su pronađene peći u S–1 prvotno se očitovao kao veća tvorevina četvrtasta oblika tlocrta tamnosivo–crne boje zemlje zasićena talioničkom zgurom i komadima tehničke keramike/stijenke peći (Sl. 2.14:a, SJ 003) (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 67–77, fig. 23a). Sloj je bio debljine desetak centimetara, s jasno vidljivom razlikom u površinskoj koncentraciji određenog tipa nalaza. Na zapadnijem dijelu



bila je vidljiva veća koncentracija tehničke keramike, a u središnjem i istočnom dijelu, zgure. U sloju su bili vidljivi i obrisi dviju tvorevina čvršće zbijene, narančaste zapečene zemlje kružnog tlocrta, ostaci ložišta talioničkih peći: sjeverna i južna. Obje su peći bile položene u smjeru zapad–istok s ložištem na zapadnoj strani, svaka s blagim otklonom jame ispred ložišta (prema sjeveru i jugu). Kod ovih peći (peć II i III) sačuvana je i gotovo cjelovita zgura *in situ*, trag posljednjeg talioničkog postupka. Prema položaju u odnosu na sačuvanu strukturu peći ali i morfološke karakteristike, cjelovito očuvanu zguru moguće je podijeti na: 1) zguru s dna talioničke peći, konkavno konveksnog presjeka pri čijem je dnu zalijepljen trag zapečenog pjeskovitog tla u koji je ložište peći bilo ukopano; 2) nakupine nataložene zgure iz unutrašnjosti peći, neispuštene tijekom postupka taljenja koje se nalaze nad zguram s dna peći; 3) ispuštena zgura (T.8-10). Osim karakteristične zgure, arheološki zapis ukazivao je na postojanje triju glavnih elemenata koji bi upućivali da se radi o pećima sa samostojećom nadzemnom konstrukcijom i plitkim ognjištem kod kojih je zgura ispuštena u tijeku postupka: kružno, plitko ukopano ložište i jamica ispred njega pri čijem je dnu vidljiv trag zapečenog tla izdužene forme s proširenjem na kraju, nastao pod utjecajem istjecanja vrele tekuće zgure (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 67–71 (Peć I–IV), sl. 24.). Ognjište peći bilo je plitko ukopano<sup>23</sup>, promjer unutrašnjeg dijela ložišta kod najcjelovitije očuvanih peći iznosi 28 cm (peć III) i 30 cm (Peć II) a mjereno pri vrhu plitkog ukopa 35 cm (Peć III) i 37 cm (Peć II).

Prema karakterističnim elementima arheološkog zapisa prepoznatog kod peći II i III identificirani su ostaci još dvije peći (I i IV), koje su djelomično bile negirane bolje očuvanim, kasnije izgrađenim pećima (II i III). Dokumentirana terenska situacija ukazuje da se radi o jednoj sigurnoj i drugoj najvjerojatnijoj superpoziciji peći. Kod sjevernije pozicioniranih peći jasno je prepoznata gornja (peć III) od donje peći (I) jer je ona gornja, kasnije podignuta peć bila položena nešto sjevernije. Prostor je u nekom trenutku koji prethodi izgradnji peći bio očišćen od eventualnih ostataka zgure iz ranijeg taljenja, no djelomično je očuvana plitka jama ispred ložišta peći pri čijem je dnu bilo vidljivo karakteristično oblikovano zapečeno tlo, trag utjecaja istjecanja vrele, tekuće zgure ispuštene iz ognjišta peći u tijeku postupka taljenja. Kod južnije pozicioniranih peći takva situacija nije jasno uočena. Gornja, južna peć (II) u značajnoj je mjeri negirala donju i to pozicioniranjem ložišta peći gotovo na isto mjesto. Ipak, položaj ranije peći na ovom mjestu moguće je pretpostaviti prema presječenom, svijetlosivo zapečenom tlu polukružnog oblika (peć IV(?)), kakvo se može pripisati dnu ložišta peći.

---

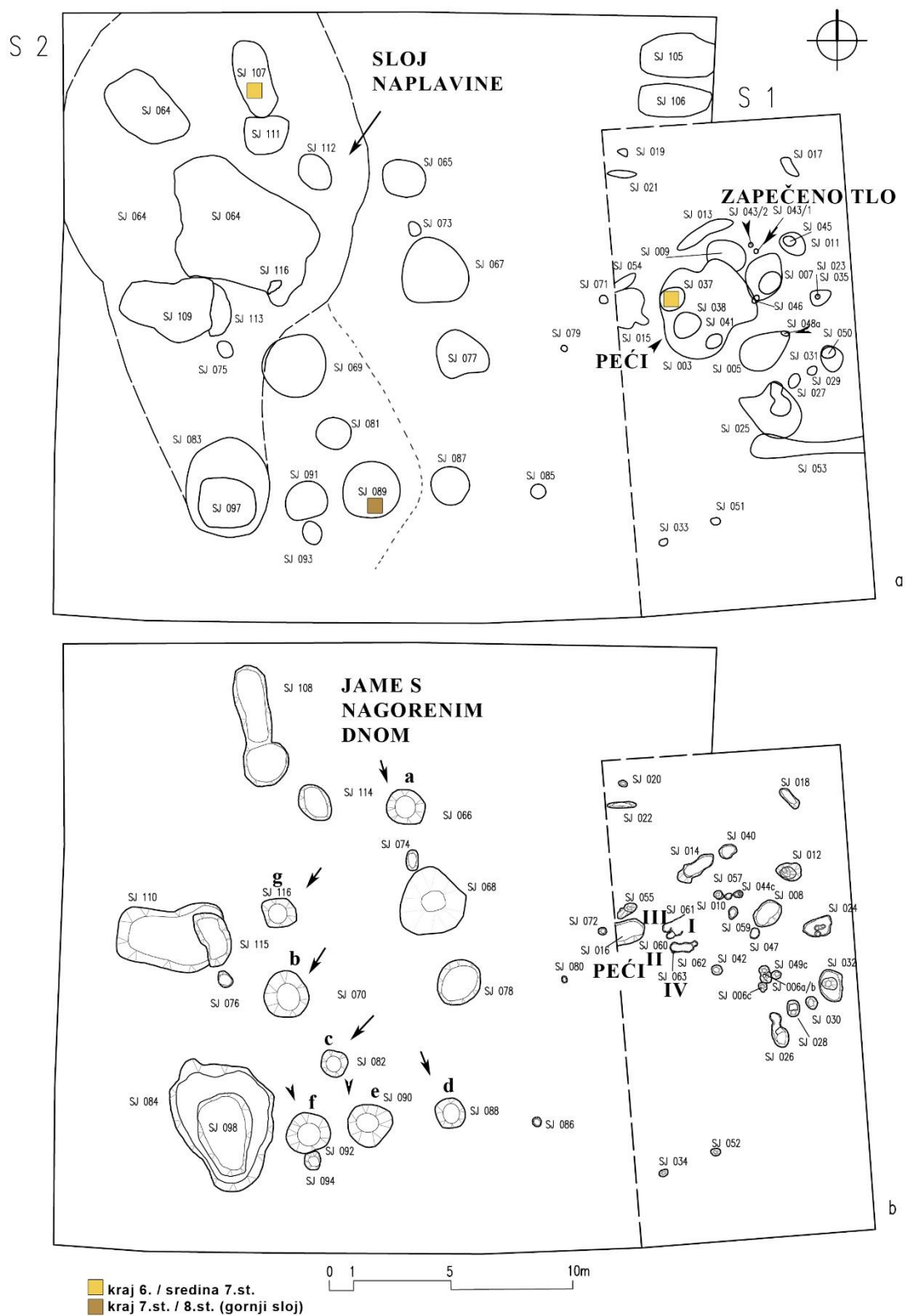
<sup>23</sup> Dubina zapune ognjišta peći obzirom na razinu na kojoj je uočen trag ognjišta iznosi između 11 – 16 cm. (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fn. 37–39)

S obzirom na različitu razinu očuvanosti starijih (I i IV) i mlađih peći (II, III), položaj i usmjerenje pripadajućeg ispusta tekuće zgure i jamice ispred ložišta, moguće je pomišljati da su peći funkcionirale u paru. Smještaj para talioničkih peći na istom mjestu na kojem su već postojale dvije/par talioničkih peći u kojem je postupak bio ranije obavljen, ukazuje da se talionički postupak obavljao na istom mjestu najmanje dva puta i to s određenim vremenskim odmakom.

Na potencijalne ostatke ložišta ili neke aktivnosti koja podrazumijeva termičko djelovanje na tlo svjedoče pravilni tanki obrisi zapečenog tla kružnog tlocrta<sup>24</sup>, pronađeni koncentrirani SI i JI od ognjišta talioničkih peći na udaljenosti od oko 3 metra. Ostale tvorevine u istočnom dijelu istraženog područja (Sl. 2.14 a i b: S-1) čine slojevi manje ili više zasićeni talioničkim otpadom pri čijem su dnu prepoznati plitki ukopi, u prostoru grupirani i postavljeni na manjoj međusobnoj udaljenosti.

---

<sup>24</sup> Plavičasto zapečena zemlja kružnog oblika tlocrta zabilježena je na tri mjesta te istražena pod sljedećim brojevima stratigrafske jedinice: SJ 48a – promjera 16 cm; SJ 43/1 – promjera 14 cm i 43/2 – promjera 18 cm (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fn. 40).



Slika 2.14. Hlebine–Velike Hlebine. Tlocrt istraženih arheoloških tvorevina a) slojevi i zapune nakon skidanja humusnog sloja, b) ukopi istraženih tvorevina (dorađeno prema: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig. 23).

Na zapadnom dijelu istraženog područja (S–2) evidentiran je sloj naplavine (SJ 064) ispod kojega su izdvojeni slojevi većih koncentracija otpada u vidu zgure i tehničke keramike.<sup>25</sup> Moguće je pretpostaviti da su potonje tvorevine koje su pri arheološkom istraživanju obilježene kao ukopi, nastale pod utjecajem repetativnog naplavlivanja te da je otpad dodatno zbog svoje težine i vlažnog, mekanog tla „propao“ čineći tako temelj za dokumentiranje u vidu ukopa. Ovaj dio terena najniži je dio platoa koji je obuhvatila arheološka sonda, a razlika u visini u odnosu na istočni dio čini gotovo 30–40 cm na 32 metra dužine (I–Z).<sup>26</sup> Značajnije snižavanje terena prisutno je upravo na dijelu na kojemu je bio rasprostranjen sloj, arheološki identificiran kao sloj naplavine.

U središnjem dijelu S–2 identificirane su plitke jame, koje su većinom bile zapunjene tamnijom zemljom zasićenom ulomcima zgure, stijenkama peći i ulomcima keramičkih sapnica (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 72–74, fig. 27–29 (jama a–g)). Dno im je bilo nagoreno, plavičasto ciglaste boje tla (Sl. 2.14.). Obzirom na dimenzije i izgled zapečenog dna, ove jame mogu se grupirati u dvije skupine: 1) manjih dimenzija promjera nešto više od 1 do 1, 5 metara (jame c, d, f, g) te 2) promjera gotovo 2 metra (jame b, e) (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig. 28, 29). Manje su jame imale slabije zapečeno dno, tj. u većini slučajeva tek tanki plavičasti sloj ispod kojeg se nalazilo crveno zapečeno pjeskovito tlo. Dvije veće pravilne kružne jame, imale su debelo, tvrdo, sivo zapečeno dno od nekoliko centimetara ispod kojeg je bila crvenkasta zapečena pjeskovita zemlja debljine i do desetak centimetara. Sve su se nalazile koncentrirane zapadno od talioničkih peći, na nižem dijelu terena, tj. uz mjesto gdje se zadržavala voda. Jednu od jama prekrilo je sloj naplavine te se jasno očitovala tek po njegovom uklanjanju.

Radiokarbonska analiza uzoraka ugljena iz zapune kanalića peći (Peć III) i uzorka ugljena zarobljenog unutar komada zgure pronađene na dijelu lokaliteta gdje je odlagan talionički otpad (Botić 2021: Tablica 1: V–VH: SJ 37b; SJ 107) svjedoči da je prostor bio korišten u toku 7.st., u vremenu od kraja 6. do sredine ili najkasnije 2/2 7. st. Stratigrafski odnosi i jednoličnost tvorevina upućuju da se radi o jedinstvenom prostoru koji je cjelokupan funkcionirao istovremeno. Ipak, stratigrafski odnosi između četiriju talioničkih peći ukazuju na vremenski odmak u izgradnji i uporabi peći. Taljenje se moglo odvijati s dužim vremenskim razmakom (sezonski), ali i razmakom od tek nekoliko dana, odnosno odmah po izdvajanju spužvastog

---

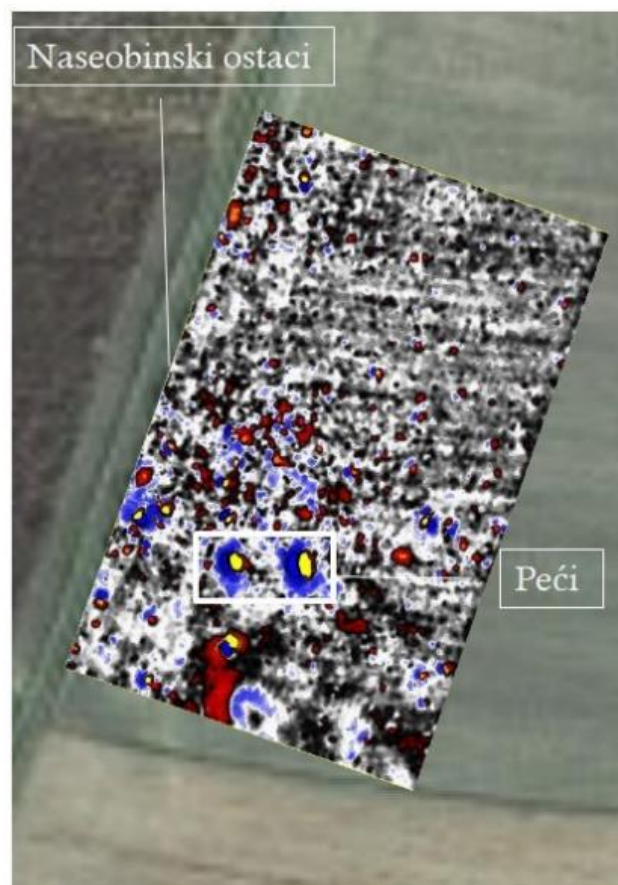
<sup>25</sup> Talionički otpad većinom se nalazio u naplavini SJ 064 i SJ 064/dno te okolnom prostoru (SJ 107, 111/108, SJ 109/110, SJ 112/114, SJ 113/115) kao i u južnijim tvorevinama SJ 083/084 i SJ 097/098.

<sup>26</sup> Zapadni, najniži istražen dio lokaliteta nalazi se u podnožju dijela uzvišenja (apsolutna nadmorska visina: 121,10–120,76 n.m.v), dok se istočni dio na kojemu su pronađene peći nalazi na nešto višoj nadmorskoj visini (121,40–121,45 n.m.v).

željeza iz peći i hlađenja čitavog prostora kako bi se moglo pristupiti novoj izgradnji ili dogradnji. Relativna datacija ulomaka keramičkih posuda pronađenih u sloju naplavine koja je jednim dijelom prekrila jamske tvorevine s nagorenim dnom može svjedočiti o trenutku prestanka metalurških aktivnosti, u krajem 7. ili u 8.st. (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 76–77, Pl. 1.). Tome u prilog ide i položaj te relativna datacija ulomaka keramičke posude s ranosrednjovjekovnim značajkama iz jednog od gornjih slojeva zapune jame sa zapečenim dnom (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: T. 1: 7) te datum dobiven C14 analizom ugljena iz te zapune (Botić, u ovoj publikaciji: Tablica 1: H–VH: SJ 102). Ulomci su najvjerojatnije prodrli u jamu tijekom plavljenja kojem je ovaj lokalitet bio izložen u ranom srednjem vijeku ili kasnije. U ovom vremenu, nedaleko položaja Sonde 1 i 2 funkcioniralo je naselje (Sekelj Ivančan 2021: 154–158), na prostoru istraženom 2017.g. kao Sonda 3.

#### 2.4.2.2 Dedanovice

Lokalitet Dedanovice prepoznat je na temelju terenskih pregleda nakon čega se pristupilo se geofizičkim istraživanjima na većoj površini (Mušič *et al.* 2017: 1, 8–11; sl. 1, 10–17), kako bi se jasnije definirali tragovi metalurških aktivnosti. Rezultati geofizički istraživanja pokazali su magnetske anomalije koje se mogu tumačiti kao peći i ostaci metalurških aktivnosti koncentrirane na jednom mjestu (Sl. 2.15.). Na temelju rezultata ovih neinvazivnih istraživanja, odabrana je pozicija sonde (S 1 – 4) te su provedena arheološka iskopavanja tijekom 2018. godine (Sekelj Ivančan 2019).



Slika 2.15. Rezultati geofizičkih snimanja položaja Dedanovice – magnetne anomalije vidljive na položaju naknadno istraženih peći (Mušič, Horn 2021: fig. 15–17).

Neposredno ispod humusnog sloja uočeni su tanki slojevi, okarakterizirani kao slojevi naplavine koji su se rasprostirali na glavnini prostora istraženog u Sondi 1 (SJ 05 i 06) te su ležali na zdravici, a djelomično su i prekrili neke od arheoloških tvorevina. U svim otvorenim sondama (S 1 – 4) istraženo je sedam plitkih, ukopanih tvorevina ovalnog tlocrta i dvije jamske tvorevine kružnog tlocrta, sve interpretirane kao naseobinski ostaci, temeljem oblikovnih svojstava i analize pokretnog materijala, u glavnini ulomaka keramičkih posuda (Sekelj Ivančan 2021: 150–154, fig. 1–2).

U jugozapadnom dijelu iskopa (S–1) pronađene su ostaci dvije peći (Sekelj Ivančan 2019; Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 79–81 (Peć 1 i 2), fig. 31), čija je nadzemna struktura djelomično ostala očuvana (Sl. 2.16.). Konstrukcija peći 1 i 2 vrlo je slična, a peći su postavljene jedna uz drugu, gotovo zrcalno simetrične. Osnovne strukturne elemente peći čini ložište pravokutna oblika (a) otvoreno prema plićoj jami (b) (Sl. 2.16c). U središtu unutrašnjosti ložišta (a), kod obe peći pronađen je veći komad zgre, ispod kojeg je bio vidljiv kružni obris, crna

zemlja promjera 25 cm (Peć 1)<sup>27</sup> i 27–30 cm (Peć 2)<sup>28</sup>, nakon čijeg uklanjanja je zamijećeno sivkasto, tanko, slabo i djelomično zapečeno dno (Peć 1) dok je tlo koje okružuje ove obrise bilo sive boje, sterilno. Stijenke peći, debljine minimalno 6–7 cm (pretpostavljeno do 10 cm) bile su najjače zapečene na dvjema paralelnim unutrašnjim stranicama (sjevernoj i južnoj), dok je na zapadnom (Peć 1) odnosno istočnom (Peć 2) dijelu ložišta, nasuprot otvoru ka jami, glinena stijenska bila rastresitija i slabije gorena. Unutrašnja ploha dijela jače gorenih stijenki peći bila je intenzivnije gorena, vitrificirana sa zalijepljenom zgurom staklaste teksture, prema čemu je moguće pretpostaviti da je u neposrednoj blizini bila smještena sapnica za dovod zraka u ložište. Uzevši u obzir položaj sapnice, širina unutrašnjosti ložišta je 36 cm (Peć 1) i 40 cm (Peć 2).

---

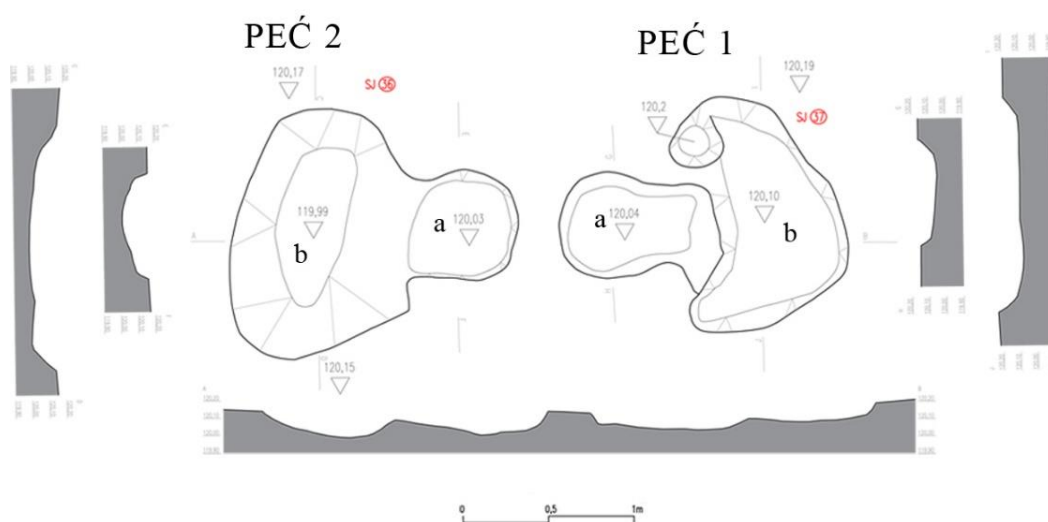
<sup>27</sup> Sjeveroistočna peć 1 je istraživana kao stratigrafska jedinica SJ 031 – zapuna i SJ 037 – ukop. Dimenzije ukopa SJ 037: ukupno 1,69 (I-Z); ložište (a): 0,61 (S-J) x 0,79 (I-Z) m, zapuna je bila debljine 0,16 m; jamica (b): 1,30 (S-J) x 0,78 (I-Z) m, zapuna je bila debljine 0,12 m.

<sup>28</sup> Jugozapadna peć 2 je istraživana kao stratigrafska jedinica SJ 033 – zapuna i SJ 036 – ukop. Dimenzije ukopa SJ 036: ukupno 1,64 (I-Z); ložište (a): 0,62 (S-J) x 0,61 (I-Z) m, zapuna je bila debljine 0,20 m; jamica (b): 1,46 (S-J) x 0,91 (I-Z).



a)

b)



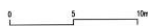
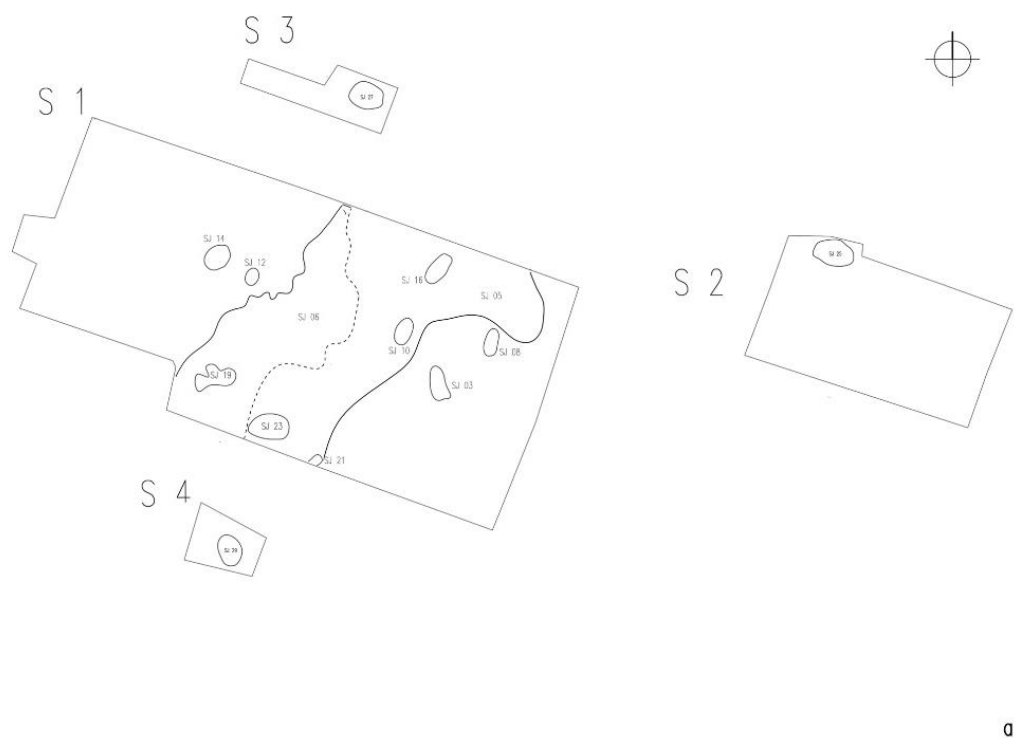
c)

Slika 2.16. Hlebine – Dedanovice: a) peć 1 i 2 – 1 faza čišćenja, b) peć 1 i 2 nakon uklanjanja zapune iz ložišta i jame ispred ložišta peći – vidljive očuvane stijenske u elevaciji, c) Tlocrt i presjek ukopa peći 1 i 2. (crtež: Kristina Turkalj, fotografija: Tajana Sekelj Ivančan, grafička obrada: Tena Karavidović)

Relativna kronologija uspostavljena na temelju analize arheološkog keramičkog materijala (Sekelj Ivančan 2021: 150–154) i radiokarbonski datumi (Botić, 2021: Table 1: H–Ded: SU 10; SU 27) ukazuju da je na ovom položaju moguće izdvojiti dvije faze boravka, krajem 4/5.st. i krajem 6 – 7.st. U potonjoj fazi vidljiva je i razlika u keramičkom materijalu, gdje se u zapuni jedne od tvorevina dominantno pojavljuju ulomci keramičkih posuda (SJ 27 i 29) kakve je moguće pripisati 2/2 7. i početku 8.st. dok su u ostalim zapunama (Sj 8 i 10) pronađeni ulomci



čije karakteristike upućuju na nešto ranije vrijeme kraja 6. i sredine 7.st. (Sekelj Ivančan 2021:150–154; Sekelj Ivančan, Valent 2021). Pronađene peći moguće je datirati kroz cijelo 7.st., vjerojatnije oko sredine 7.–3/4 7. stoljeća na što ukazuje analiza ugljena iz zapune ložišta obiju peći (Botić 2021: Tablica 1: H–Ded: SJ 31b; SJ 33b) te kronološki vezati uz plitke ukopane tvorevine (Sl. 2.17.). Prema rezultatima ekstenzivnog terenskog pregleda, geofizičkih istraživanja, arheoloških iskopavanja i obrade keramičkih nalaza, istražene peći su vjerojatno bile smještene uz rub istovremenog naselja (Sekelj Ivančan 2021: 150–154).



Slika 2.17. Hlebine – Dedanovice. Tlocrt istraženih arheoloških tvorevina a) slojevi i zapune nakon skidanja humusnog sloja, b) ukopi istraženih tvorevina s naglašenom kronološkom pripadnosti (dorađeno prema: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig. 23).

## 2.5 Kronologija – relativna i apsolutna datacija istraženih lokaliteta

Osnova za uspostavljanje vremenskih okvira aktivnosti na istraženim lokalitetima su <sup>14</sup>C analize uzoraka ugljena (Botić 2021), obzirom da relativno kronološki osjetljiv arheološki materijal kontekstualno vezan uz metalurške aktivnosti u glavnini slučajeva izostaje. Jedini lokaliteti na kojima su relativna i apsolutna kronološka determinacija bile moguće su lokalitet Dedanovice i Virje Sušine (položaj sonde 7 i 8). Kod potonjih slučajeva radi se o ostacima postredukcijskih aktivnosti vezanih uz strukture i tvorevine naseobinskog karaktera. Tako se na položaju Dedanovice u vezi s metalurškim pećima javljaju keramički nalazi relativno datirani u kraj 6 – 7.st. (Sekelj Ivančan 2021: 150–154) a na lokalitetu Sušine (Sonda 7 i 8) keramički i metalni (pojasni jezičac) nalazi ukazuju na vrijeme kraja 7.st. i 8.– poč.9. st. Apsolutni datumi smještaju peći na lokalitetu Dedanovice u 7.st. ( $\frac{1}{4}$ – $\frac{3}{4}$  7.st.), u vremenski okvir sukladan relativnim pojmovima datacije. Na lokalitetu Sušine, radiokarbonski datumi dobiveni iz uzorka ugljena pronađenog unutar jamskih peći smještaju ovu aktivnost u kraj 7. –  $\frac{1}{2}$  8. st. što u načelu odgovara relativnoj dataciji keramičkog materijala iz jedne jamske tvorevine u istoj sondi. Ipak, izgleda da se tijekom 8. i početka 9.st. metalurška aktivnost odvijala i u obližnjoj sondi 8 gdje su apsolutni datumi nešto mlađi te pokazuju vrijeme  $\frac{2}{2}$  8. – 9. st. iako značajnija razlika u keramičkom materijalu iz ovih zapuna nije zamijećena. Obe relativne datacije u načelu odgovaraju i apsolutnim datumima.

Prema rezultatima radiokarbonskih datuma (Botić 2021: Tablica 1.), moguće je izdvojiti nekoliko vremenskih odsječaka unutar kojih su izvođene aktivnosti na istraženim položajima nedaleko Virja i Hlebina. Na pojedinim položajima aktivnosti u vezi s proizvodnjom željeza mogu se datirati u više kronološki bliskih ili odvojenih faza. Tvorevine koje se mogu dovesti u vezu s proizvodnjom željeza, a datiraju u kraj 4. i 5.st pronađene su na lokalitetu Virje Sušine, na dva položaja u neposrednoj prostornoj blizini (Sonda 5 i 7). Na položaju Volarski breg S–2a i 3, aktivnosti vezane uz proizvodnju željeza izvodile su se u razdoblju  $\frac{2}{2}$  5 – 6.st. i  $\frac{2}{2}$  6. – poč.7.st., u jednom ili više navrata. Na položaju Sušine (S–7) aktivnosti su se također odvijale u  $\frac{2}{2}$  6 – poč.7.st. dok su se na obližnjem položaju S–5 (S–5) aktivnosti odvijale krajem 6. i u 7. stoljeću. Na ovom položaju dva radiokarbonska datuma, jedan s kraja  $\frac{6}{2}$  7.st. i drugi  $\frac{2}{2}$  7.st. upućuju na kontinuitet ili povremenu uporabu istog prostora kroz 7.st. Relativno istovremeno s funkcioniranjem prostora na Sušinama (S–5), krajem 6 – sredinom 7.st. do u  $\frac{2}{2}$  7.st. u uporabi je bio i prostor na lokalitetu Hlebina–Velike Hlebina i Dedanovice.

Metalurške aktivnosti odvijale su se na položajima Volarski breg (S–1) te Sušine (S–7 i 8) krajem 7. i tijekom 8. / poč. 9. st. O povezanosti proizvodnih procesa s aktivnostima u naselju

u ovom razdoblju svjedoči nalaz rude unutar naseobinskog konteksta na lokalitetu Velike Hlebine datiranog u 8./ poč.9.st.(Sekelj Ivančan 2021: fig 10.) te lokalitetu Log Parag 1 (vidi poglavlje 3.). Na lokalitetu Virje Sušine (S–2b) uz naseobinske ostatke (Sekelj Ivančan 2021: 168–163) pronađeni su i tragovi metalurške aktivnosti, u zapuni jame SJ 111 (vidi poglavlje 4.).

O vremenskoj pripadnosti ostalih lokaliteta prepoznatih površinskim terenskim pregledima diljem Podravine, teško je govoriti obzirom na razinu podataka kojima raspolažemo. Prvenstveno, tehnologija proizvodnje i sukladno tomu otpad nedovoljno se razlikuje kroz do sada utvrđen period proizvodnje od kraja 4/5.st – poč.9.st., da bi se jasno odvojila vremenska pripadnost izrazitije fragmentiranih površinskih nalaza. Nadalje, lokaliteti prepoznati površinskim terenskim pregledom redovito se pojavljuju u prostornoj vezi s kronološki osjetljivim arheološkim nalazima (mahom keramičkih posuda) iz više razdoblja, a do sada cjelovitije istraženi lokaliteti s primarnom metalurškom djelatnošću (talionički postupci) datirani u kasnu antiku i rani srednji vijek pokazuju jedinstven uzorak – proizvodni prostori u pravilu su lišeni istovremenih arheoloških pokretnih nalaza izuzev metalurškog otpada te su izdvojeni iz istovremenih naselja. O problematici kronološke determinacije svjedoče i nalazi keramike iz kasnijih ili ranijih perioda prisutni u naplavinskim slojevima na opisanim lokalitetima, koji prekrivaju i dio istraženih arheoloških struktura te povremeno korištenje istog ili bliskog prostora za naseljavanje, u ranijim ili kasnijim periodima. Također, prema primjeru istraženih lokaliteta, proizvodne aktivnosti odvijale su se na istim položajima u vremenski potpuno nezavisnim okvirima ali i kroz duži period, potencijalno u kontinuitetu.

Za lokalitete s površinski prisutnom talioničkom zgurom, princip usvajanja kronološke determinacije mogao bi ići prema načelu isključivanja, pri čemu je potrebno isključiti sva razdoblja koja su vidljiva iz kronološki osjetljivog arheološkog materijala. U tom slučaju, od ukupno 74 lokaliteta na kojima je prisutna talionička zgura dolazimo do tek devet lokaliteta koje je moguće pripisati širokom vremenskom okviru kasne antike i ranoga srednjega vijeka, od 4./5. – 8./poč. 9. st. (Banovice, Poljane 6, Poljane 7, Kopčice III, Pod humcem, Vapnenice, Jandrotine II A, Moždanci III B, Mulji 2a). U pokušaju sužavanja kronološkog okvira, prema principu isključivanja, moguće je isključiti samo razdoblje promatranja no ovakav princip manjkav je obzirom na razinu dosadašnjih saznanja. Potonje se odnosi na potpuni izostanak dokaza za lokalnu proizvodnju željeza u svim ostalim arheološkim razdobljima i, ako je postojala, način organizacije ove privredne grane. Stoga ovaj princip promatranja načelno podrazumijeva isključivanje i drugih arheoloških razdoblja o kojima nemamo jasnih podataka

koji podrazumijevaju mlađe i starije željezno doba, antiku te razvijeni i kasni srednji vijek. Ako uzmemo u obzir tehnologiju proizvodnje u kasnom srednjem vijeku poznatu s prostora Europe, u 16. stoljeću pojavljuju se peći za indirektni proces proizvodnje željeza koje imaju sasvim drugačiji otpad, kakav nije zamijećen na tlu Podravine. Ipak, ovaj podatak nužno ne isključuje proizvodnju željeza direktnim procesom i u ovom razdoblju, te time ni otpad kakav je prisutan na području Podravine. U mlađem željeznom dobu, korištene su peći ukopanog ognjišta na širem europskom prostoru iako, noviji podaci ukazuju i na mogućnost korištenja peći s nešto plićim ognjištem. Drugačiji tip peći implicira i drugačiji tip otpada, koji nije s sigurnošću do sada identificiran na tlu Podravine, iako naznake obrade željeznih poluproizvoda u mlađem željeznom dobu postoje (Valent 2022). Iz istog razloga načelno možemo isključiti ovu mogućnost. Pod potonjim argumentima, maksimalan broj lokaliteta sačinjavalo bi isključivanje lokaliteta gdje su površinski prisutni nalazi naseobinskog karaktera iz promatranog razdoblja a minimalan broj oni kod kojih su isključena sva ostala arheološka razdoblja, osim željeznog doba i novog vijeka. U ovom slučaju broj lokaliteta s tragovima primarne obrade željezne rude (talionički postupci) koji se mogu pripisati ranom srednjem vijeku od 7. do poč. 9. st. je maksimalno 40 i minimalno 12, a razdoblju od kraja 4./5. st. maksimalno 42 i minimalno šest. Brojčane vrijednosti za ranosrednjovjekovne lokalitete mogle bi biti i veće obzirom da se na istraženim lokalitetima Virje i Hlebine pojavljuju radionice gdje je u tijeku ranog srednjeg vijeka, položaj iskorišten prvotno za proizvodnju a nešto kasnije, također u okvirima ranog srednjeg vijeka, pojavljuju se arheološki nalazi u vezi s naseljavanjem (naplavinski slojevi) i naselja u neposrednoj blizini (studija slučaja – Hlebine Velike Hlebine). Stoga je maksimalan broj lokaliteta koje je moguće datirati u rani srednji vijek 74 – što ujedno čini i ukupan broj lokaliteta s tragovima talioničke aktivnosti u Podravini. Potonje stoga ima nisku razinu vjerojatnosti, obzirom da je proizvodnja postojala na lokalnoj razini i u ranijim razdobljima i to na prostorno vrlo bliskim položajima.

Zaseban su slučaj lokaliteta kod kojih je prisutna isključivo kovačka zgura i strukture, a u vezi su s naseljima (primjer lokaliteta Dedanovice i Sušine). Analiza broja i položaja lokaliteta na kojima bi se odvijala ova, sekundarna, metaloprerađivačka aktivnost, na temelju rezultata površinskih terenskih pregleda (Valent et al. 2021), jedino je referentna ako kao polaznu točku uzmemo da je standardni način funkcioniranja ove privredne grane asocijacija prostora kovanja s naseobinskim prostorima i to prema primjeru lokaliteta s jasnijom arheološkom slikom (iskopavanja i datacija), koji su prisutni u ranom srednjem vijeku, u 7. i 8./poč. 9. st. (Dedanovice i Virje Sušine S-7 i 8). Pri tome, potrebno je dodatno izdvojiti lokalitete s

površinski prisutnom isključivo kovačkom zgurom i jednoobrazno datiranim ostalim arheološkim površinskim nalazima koji upućuju na trajniji boravak (nalazi ulomaka keramičkih posuda). Uzevši u obzir oba preduvjeta analizi – dolazimo do nezavidnog brojčanog stanja, koji označava minimalni broj naseobinskih lokaliteta na kojima su se odvijale sekundarne metalurške aktivnosti u ranom srednjem vijeku, od 7. – poč. 9. st., a radi se o tek pet lokaliteta (Valent et al. 2021: Tab. 1: Vujčec I-3, Peski I, Blaževo pole 5, Blaževo pole 6, Prečno pole 4A) od ukupno 64 lokaliteta na kojima je površinski prisutna kovačka zgura. Prijelazu 4./5. st. nije sa sigurnošću moguće pripisati niti jedan lokalitet, prvenstveno jer ne postoje arheološke potvrde za organizaciju rada u ovom razdoblju, no i bez obzira na potonje, asocijacija isključivo kasnoantičkih, databilnih nalaza i kovačke zgure nije prisutna niti u jednom primjeru. Ipak, mogućnost da neki od ovih lokaliteta pripadaju tom periodu ostaje otvorena jer se kovačka i talionička zgura pojavljuju u asocijaciji s keramičkim materijalom iz ovog razdoblja, ali u pravilu i materijalom drugih arheoloških razdoblja. Zanimljivo je da prema istom principu promatranja, lokaliteta relativno datiranih isključivo u antičko razdoblje na kojima je površinski prisutna kovačka zgura ima ukupno 13 (Valent et al. 2021: Tab. 1: Veliko polje, Močvar I A, Vidak II A, B, Vlaško polje, Oružana, Kod poklonca, Gradina, Cerine 2A, Novi krči I (parcela Ivica Varge), Moždanci I, Moždanci IV, Moždanci V, Ogradine II B). Međutim, kovačke aktivnosti kao sekundarna aktivnosti u procesu proizvodnje željeza ne svjedoče sa sigurnošću o lokalnoj proizvodnji željeznih poluproizvoda, spužvastog željeza.

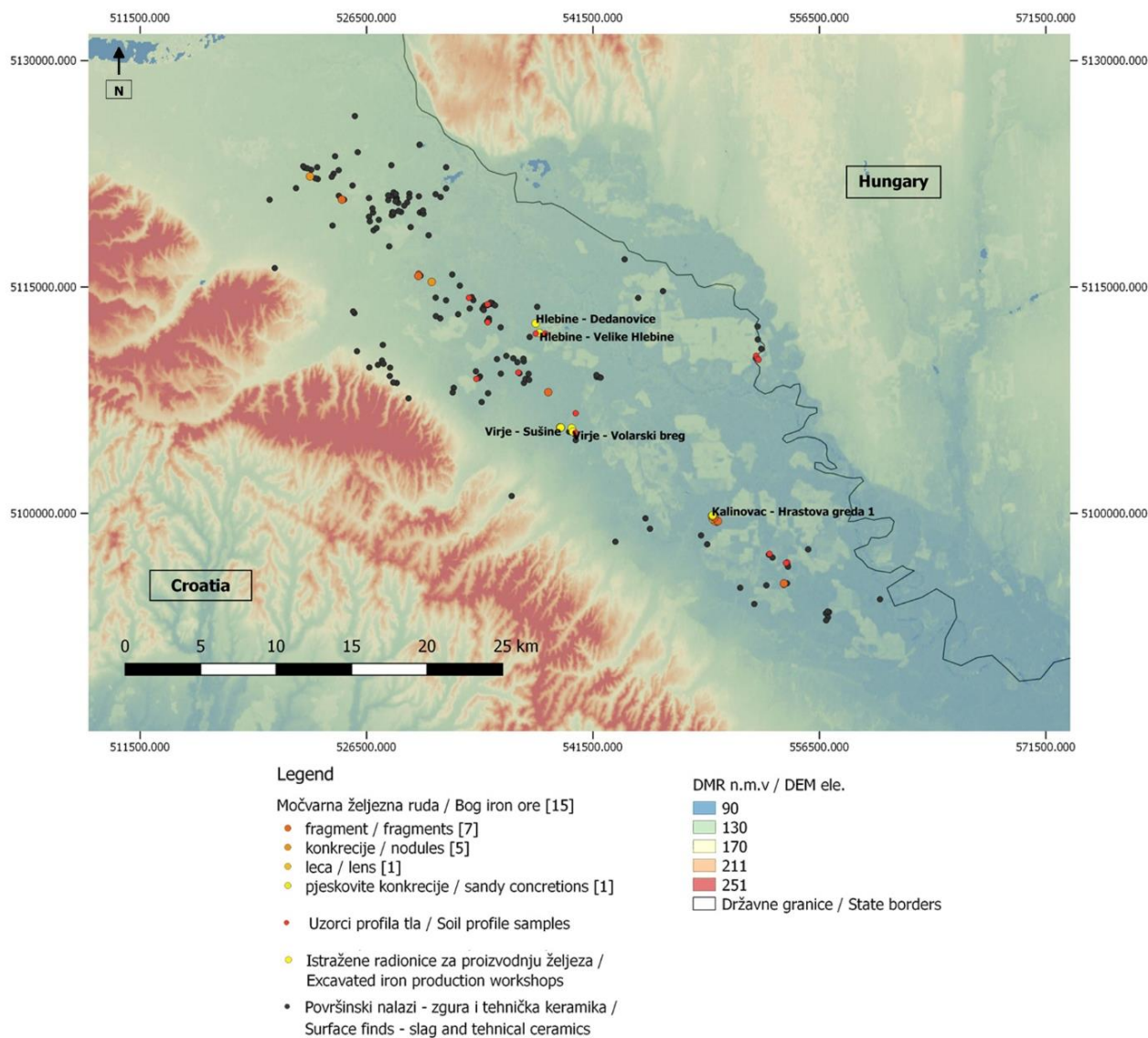
## **3 Eksploatacija i uporaba sirovina**

### **3.1 Rude**

#### **3.1.1 Uzorci ruda iz arheološkog i geološkog konteksta**

##### **3.1.1.1 Podrijetlo i kontekst pronalaska**

Područje Podravine je idealno prirodno okruženje za razvoj močvarnih željeznih ruda (Slika 3.1.). Recentnija geoarheološka istraživanja ukazala su na potencijal razvoja močvarnih ruda, analizom sastava podzemnih voda (Sekelj Ivančan, Marković 2017), mineraloških i geokemijskih karakteristika uzoraka razvojnih faza rude (Brenko et al. 2020; Brenko et al. 2021) te prirodnih preduvjeta potrebnih za razvoj močvarnih ruda. Niz terenskih pregleda, proveden u tijeku znanstveno – istraživačkog projekta TransFER (IP–06–2016–5047), ukazao je na postojanje površinskih i podpovršinskih tragova razvoja močvarnih željeznih ruda u tlu. Definirane su tri osnovne faze razvoja: tlo zasićeno željeznim oksihidroksidom getitom, nakupine konkrecija (nodula) te fragmenti formiranih ruda koji potječu iz obližnjih podpovršinskih ležišta (Brenko et al. 2021). Potonje dvije razvojne faze definirane su površinski, putem terenskih pregleda te svjedoče o progresivnom razaranju postojećih ležišta uzrokovanom u glavnini suvremenim mehanizmima iskorištavanja krajolika u svrhu poljoprivredne proizvodnje (Vidi poglavlje 3.1.2.) Uzorci pronađeni na površini prilikom terenskog pregleda, na prostoru bez tragova podpovršinskog arheološkog zapisa (Tablica 3.1: položaji Novigrad Podravski, Peteranec – Ciglene, Kalinovac – Hrastova greda, Draganci – Bokčev grob), rasprostranjeni su uzduž (longitudinalno, u smjeru SZ –JI ) širokog pojasa druge dravske aluvijalne terase, nekoliko stotina metara udaljeni od današnjeg toka rijeke Drave (Karta 3.1.). Tragovi orudnjenja nisu pronađeni izvan ovog prostora, na marginama, prvoj ili trećoj dravskoj terasi, neposredno uz rijeku Dravu ili uz Bilogoru. Potonja situacija može biti odraz stanja istraživanjima odnosno obuhvata terenskih pregleda provedenih u glavnini na prostoru druge dravske terase i prirode položaja ležišta koja se pojavljuju na dubini od 30 – 80/100 cm ispod razine tla te nedostatka poljoprivredne obrade koja bi zahvatila područje ležišta te iznjedrila ulomke rude na površinu. Međutim, moguće je i da su prirodni preduvjeti za stvaranje močvarnih ruda na ovom prostoru idealno zadovoljeni. Prema prirodnim geomorfološkim, hidrološkim preduvjetima ovakav prostor pojave odgovara drugim položajima na kojima su identificirana ležišta močvarne rude (Kaczorek, Sommer 2003; Banning 2008; Thelemann et al. 2017).



Karta 3.1 Nizinski prostor Podravine s označenim položajima površinskih nalaza tragova proizvodnje željeza i močvarne željezne rude, bušotina profila tla te istraženih radionica za proizvodnju željeza (Podloga: DMR 2020, [www.earthdata.nasa.gov](http://www.earthdata.nasa.gov))

Uzorci močvarnih željeznih ruda pronađeni u arheološkom kontekstu istraženih lokaliteta, datirani su u široki vremenski okvir kasne antike i ranog srednjeg vijeka<sup>29</sup> (Tab. 3.1). Malobrojni uzorci potječu iz konteksta: 1) radionica za proizvodnju željeza datiranih u kraj 4.–1/2 5. st. (Virje – Sušine (Sonda 7)) te kraj 6. – 1/2 7. st. (Hlebine – Velike Hlebine), 2) lokaliteta

<sup>29</sup> Radiokarbonske datume vidi: Botić 2021, relativnu kronologiju vidi: Sekelj Ivančan 2021. Datacije: kraj 4. / poč. 5. st. (Virje – Sušine, Sonda 7; Botić 2021: 93, Tabla 1: V – S, Sonda 7, SJ 314), kraj 6. – 1/2 7. st. (Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice; Botić 2021: 93, Tabla 1: H – VH i H – DED; Sekelj Ivančan 2021: 148 – 158), 2/2 7. st – 8. st. (Virje – Sušine, Sonda 7; Botić 2021: 93, Tabla 1: V – S, Sonda 7, SJ 310; Koprivnički Ivanec – Log Parag 1; Valent 2021) te u kraj 8 /poč. 9. st. (Virje – Sušine Sonda 8, Virje – Volarski breg, Sonda 2b; Hlebine – Velike Hlebine, Sonda 3; Botić 2021: 93, Tabla 1: V – S, sonda 8, V – VB, Sonda; Sekelj Ivančan 2021: 158 – 167).



s naseobinskim obilježjima, 3) konteksta neposredno vezanog uz tragove obrade željeznih poluproizvoda datiranim u kraj 6. – 1/2 7. st. (Hlebine – Dedanovice) i 2/2 7. – 8. st. (Virje – Sušine, Sonda 7) te 8./poč. 9. st. (Virje – Sušine (Sonda 8))<sup>30</sup> te u nešto širi vremenski raspon 2/2 7.–8. st. (Koprivnički Ivanec–Log Parag 1). Jedan uzorak (Tab.3.1: V–SS7 9) prema radiokarbonskoj dataciji konteksta (Botić 2021: 93, Tabla 1. Sonda 7/SJ 305) moguće je datirati u 16. st., no ostaci proizvodnje željeza u vidu nakupine otpada iz talioničkih postupaka, pronađeni u neposrednoj blizini unutar iste sonde, datiraju u kraj 4. i početak 5. st., a ostaci obrade željeznih poluproizvoda u kraj 7. st. i 8. – poč. 9. st. (Botić 2021: 93, Tabla 1: Sonda 7/SJ 290 i 310) stoga je moguće da ovaj uzorak pripada i drugom vremenskom razdoblju. Pojedini uzorci (Tab. 3.1: H-VHS3 1, V-VBS2B 1-3) potječu iz naseobinskog konteksta lišenog prostorno izravno vezanih, istovremenih nalaza i struktura (unutar istraženih sondi) koje je moguće pripisati proizvodnji i/ili obradi željeza (Hlebine – Velike Hlebine, Sonda 3; Virje Volarski breg (Sonda 2b)), no ovi položaji prostorno su bliski istovremenim radionicama za proizvodnju željeza (Virje – Volarski breg, Sonda 1), a pripadaju sredini 8. – poč. 9. st.<sup>31</sup> Dio nalaza nije moguće sa sigurnošću povezati uz određene arheološke cjeline, prvenstveno jer su površinski nalazi s lokaliteta na kojima je ustanovljena okupacija kroz više arheoloških razdoblja (H–DL 1, lok. Hlebine – Dlakovice) ili potječu s arheoloških iskopavanja, no nemaju jasnu kontekstualnu povezanost s određenim arheološki definiranim cjelinama ili slojevima (V–SS9 1, lok. Virje Sušine, Sonda 9). Uzorak rude (Tab.3.1: KR–R) pronađen je i među nalazima ranijih arheoloških istraživanja na lokalitetu Koprivnička Reka – Rudina (Marković 1979), međutim, u ovom slučaju vrlo je vjerojatno da se radi o geološkom uzorku, obzirom na neposredni kontekst pronalaska (humusni sloj u sondi bez arheoloških tragova) te karakter istraženog lokaliteta definiranog u obližnjim sondama (naselje eneolitičke, Vučedolske kulture).<sup>32</sup>

---

<sup>30</sup> O istraživanju, strukturama, arheološkim nalazima i relativnoj dataciji vidi: Sekelj Ivančan 2017b; 2018; 2021: 163–170. Apsolutnu dataciju lokaliteta vidi: Botić 2021: Tab.1, Sample 8/U 145; Fig.1)

<sup>31</sup> Lokalitet Virje Volarski breg (Sonda 2b) na osnovu keramičkog materijala relativno je datiran u sredinu i 2/2 8. st. (Sekelj Ivančan 2017a; Sekelj Ivančan 2021: 158 – 163, Fig. 11.) dok je na istom lokalitetu, na prostornoj udaljenosti od 200 metara zračne linije istražena radionica za proizvodnju željeza (Sonda 1) datirana radiokarbonskom metodom u 2/2 8. St. – 9. st. (Botić 2021: Tab. 1; Sample 1/ U 28, 14; Fig. 1). Uzorci ugljena s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine (Sonda 3), prikupljeni iz iste stratigrafske jedinice kao i uzorak rude (SJ 119), pružili su generalno nešto raniji, no preklapajuć datum, 2/2 te kraj 7. – 3/4 8. s mogućnošću trajanja u 9. st. (Botić Tab. 1, Sample 3/U 84; Fig 1.), a relativno kronološka datacija uspostavljena na temelju keramičkog materijala potvrđuje ovakvu dataciju implicirajući uži vremenski period od samog kraja 7. – 3/4 8. st. (Sekelj Ivančan 2021: 154 – 158).

<sup>32</sup> Uzorak iz Koprivničke Reke – Rudine pronađen je tijekom arheološkog istraživanja 1978. godine (Marković, 1979) u rovu V u kojemu nisu definirane arheološke strukture ni nalazi, stoga je arheološki kontekst nalaza upitan. U obližnjim istraženim sondama autor definira tragove eneolitičkog naselja Vučedolske kulture.

Genetska, geokemijska veza između uzoraka rude iz arheološkog i geološkog konteksta potvrđena je studijom provenijencije, te je za sve analizirane rude ali i uzorke zgure s indikativnih lokaliteta obrađenih u doktorskom radu određeno regionalno podrijetlo (Brenko et al. 2020; 2021). Međutim, intaktno ležište/a nisu definirana dosadašnjim istraživanjima, dok je jedini položaj na kojemu su pronađene sve tri razvojne faze Kalinovac – Hrastova greda 1 – 3, stoga je ovaj položaj analiziran kao studija slučaja mehanizama razvoja, prostora pojave i karaktera ležišta na području Podravine (Poglavlje 3.1.2).

Tablica 3.1 Uzorci rude (fragmenti i noduli) pronađeni u arheološkim istraživanjima (iskopavanjima lokaliteta s tragovima proizvodnje željeza i naseobinskog karaktera te arheološkom terenskom pregledu) i pri geoarheološkom terenskom pregledu područja Podravine.

Brenko et al. 2021	ID uzorka	Lokalitet	Vrsta istraživanja / Kontekst	Cjelina	Sonda	SJ	N/U/PN	Težina /g	Br. ulomaka	Datacija konteksta	Tip uzorka	Opis
<b>Uzorci iz arheološkog konteksta (iskopavanje)</b>												
V-S 1	V-SS7 1	Virje – Sušine	Arheološko iskopavanje – Radionica za proizvodnju spužvastog željeza	sloj otpada	7	314	N 295/51	27	1	kraj 4. - poč.5.st	Fragment	Smeđe-crvenkaste boje. Struktura granulasta. Nepravilnog oblika, gomoljast. Blago magnetan.
V-S 5	V-SS7 2				7	314	N 295/37	19	1			Blago crvenkasta i narančasta – mjestimično, u glavnini tamno sive boje. Struktura granulasta. Nepravilnog oblika, gomoljast. Blago magnetan.
V-S 6	V-SS7 3				7	314	N 295/38	60	1			Blago crvenkaste, tamno sive boje, mjestimično naračaste. Nisu jasno vidljive granule u strukturi. Nepravilnog oblika, gomoljast. Blago magnetan.
/	V-SS7 4				7	314	N 295/ 44	13	1			Crvenkaste boje i mjestimično narančasto. Struktura granulasta. Nepravilnog oblika, gomoljast. Nemagnetan.
/	V-SS7 5				7	323	N 486/ 6	9	1			Crvenkaste boje i mjestimično narančasto. Struktura granulasta. Nepravilnog oblika, gomoljast. U presjeku olovnosive boje, podsjeća na zguru. Nemagnetan.
/	V-SS7 6				7	314	295/ 13	18	1			Crvenkaste boje, mjestimično naračaste žilice. Nepravilnog oblika, gomoljast. Struktura granulasta. Nemagnetan.
/	V-SS7 7				7	343	PN 133/3	13	3			Površinski crvenkaste boje. Struktura granulasta. Ulomci djelomično magnetni, moguće polureducirana ili pržena ruda.
/	V-SS7 9				7	304/305	N 282/1	11	1			16. st. (?)
/	V-SS7 10			7	310	N 388/5	22+20	2	kraj 7.–8. st.	Struktura je granulasta, crvenkaste boje i mjestimično hrđava. Nepravilnog oblika, gomoljasti. Nemagnetni.		
H-D 1	H-DS3 1			Hlebine – Dedanovice	Arheološko iskopavanje – Naseobinski i radionica –	zapuna jama s keramičkim materijalom	3	27	U 71 /1,2	262		24
H-D 2	H-DS1 1	1	10			U 26 /1	409,7	17				

H-D 3	H-DS1 2		primarno kovanje		1	16	U 45/1	30	12		
H-D 4	H-DS1 3				1	8	U 11/1	117	9		
/	H-DS1 4			peć za primarno kovanje	1	31	U 91/1	159	1		Narančasto smeđa, mjestimično crvenkasta. Granulaste strukture. Nepravilnog oblika.
/	H-DS2 1			zapuna jame s keramičkim materijalom	2	25	U 90/1	15	2		Jarko tamnocrvene boje, mjestimično tamno sivo. Granulasta struktura. Nepravilnog oblika, gomoljasti. Nemagnetni.
H-VH 1	H- VHS2 1			slaj otpada	2	83	N 242/2	26	1		
H-VH 2	H- VHS2 2			zapuna jame za prženje rude	2	88/90	N 213/8		1		Smeđe, narančasto, sive boje. Nepravilnog oblika. Slabo vidljive granule. Nemagnetan.
H-VH 3	H- VHS2 3				2	102/90	N 223	42	1		Tamno-sivosmeđe i crvenkaste boje. Granulacija slabo vidljiva. Nepravilnog oblika, gomoljast.
/	H- VHS2 4			slaj otpada	2	64	N 253	6	1		Smeđe, crvenkasto – narančasto siva. Slabo vidljiva granulasta struktura. Nepravilnog oblika. Nemagnetan.
/	H- VHS2 5			humus iznad sloja s otpadom	2	1/64	N 162/2,2/7 a,b	13	2		Gomljasti ulomci. Smeđe, sivo, površinski narančaste boje. Nisu vidljive granule. Nemagnetan,
/	H- VHS2 6			zapuna plitke jame s otpadom	2	67	N 164- 1/5b	/	1		Smeđe, narančasto siva boja. Hrapava i nepravilna struktura. Slabo vidljive granule. Nemagnetno.
/	H- VHS2 7			slaj otpada	2	97	N 207/6	43	1		Smeđe, narančasto sive boje. Granulasta struktura. Nepravilnog oblika. Nemagnetan.
/	H- VHS1 1			slaj otpada	1	13	N 21/1	6	1		Sitan uzorak. Tamnocrvene, sivocrne boje. Struktura granulasta (?). Nepravilan oblik. Nemagnetan.
/	H- VHS1 2			talionička peć	1	37b	N 138/2	4	1		Sitan uzorak. Crvenkasto –sivo, okorinski narančasto. Nepraviln oblik. Nemagnetan.
/	H- VHS1 3			humus iznad talioničkih peći	1	1/3	N 19/4	6	1		Sitan uzorak. Smeđe, narančasto, sive boje. Granulasta struktura. Nepravilnog oblika. Nemagnetan.
/	H- VHS3 1			Arheološko iskopavanje – Naseobinski	3	119	N 295/3 – UA 36	312	1		Smeđe, narančasto, sive boje. Granulasta struktura. Nepravilnog oblika. Nemagnetan.
V-S 2	V-SS8 1	Virje – Sušine	Arheološko iskopavanje – Naseobinski(?) – boravišni	objekt naseobinski (?) – u asocijaciji s keramičkim	8	320	N 315	19	1	kraj 8. – poč. 9.st. (apsolutna i relativna)	Tamnocrvene i cno-tamnospive boje, mjestimično blijedožute inkluzije. Nema vidljivih granulica, tekstura površinski hrapava. Nemagnetan.

/	V-SS8 2		peći za objedinjavanje – varenje spužvastog željeza	materijalom kuhinjskog posuđa, željezni nož, predica od bronce (Sekelj Ivančan 2021: 149, 167–168, Tab.1, Pl.11, 12.)	8	315 ili 324	N 332/3	39,18,5	3			Crvenkaste i mjestimično sivo – crne granulice i blijedožuti površinski sloj. Struktura granulasta površinski, u presjeku gusta ali s nepravilnim poroznostima. Nemagnetni.
/	V-SS8 3				8	318	N 342/18	19	1			Boja površinska – crvenkaste granulice i blijedožuti površinski sloj, mjestimično granulice sivocrne boje. Struktura granulasta. Nemagnetan.
/	V-SS7 8				7	310	N 388/5	42	2			kraj 7.–8.st. (apsolutna)
V-S 4	V – SS10b 1		Arheološko iskopavanje – Naseobinski	zapuna jame – u asocijaciji s keramičkim materijalom kuhinjskog posuđa, željezni nož	10b	436	N 631	39	1	2/2– kraj 7. – 3/4 8.st. (relativna i apsolutna)	Nodul u glini	Zapečena tehnička keramika (stijenka peći?) s vidljivim nodulom rude u strukturi (dim. 1,2 x 0,8 cm)
V-VB 1	V- VBS2B 1	Virje – Volarski Breg	Arheološko iskopavanje – Naseobinski	zapuna jame – u asocijaciji s keramičkim posuđem	2b	107	N 113/1	52	3	kraj 8– poč. 9.st. (relativna)		Smeđe, narančasto, sivo–crna boja. Mjestimično zastupljene granule, crne–tamnosive boje. Nepravilnog oblika. Nemagnetan.
V-VB 2	V- VBS2B 2				2b	111	N 122/2	96	3			Smeđe – narančasto, blijedo oker boje. Nepravilnog oblika, gomoljast. Nemagnetan.
V-VB 3	V- VBS2B 3				2b	111	N 130/1	36	1			Smeđe – narančasto, blijedo oker boje. Nepravilnog oblika, gomoljast. Nemagnetan.
KI-LP 5	KI-LP 1	Koprivnički Ivanec – Log Parag 1	Arheološko iskopavanje – naseobinski i radionički (?)	humus	5	/	/	/	/	2/2 7. – 8.st. (relativna) (?)	Fragment	Oker, smeđe, narančaste boje. Mjestimično vidljive granule a mjestimično glina, sitni šljunak. Nemagnetan.
KI-LP	KI-LP 2	Koprivnički Ivanec – Log Parag 1	Arheološko iskopavanje– naseobinski i radionički (?)	zapuna jame – u asocijaciji s talioničkom (blizina) i zgurom iz primarnog kovanja (SJ)	5	199	U 73	/	/			/

Arheološki uzorci iz površinskog terenskog pregleda i nesigurne vremenske atribucije												
V-S 3	V-SS9 1	Virje – Sušine	Arheološko iskopavanje – blizina radionice za proizvodnju željeza i obradu poluproizvoda	humus	9	1/2	N 546/545	16	2	kraj 4.–5. st. ili kraj 8/9.st. (?)	Fragment	Tamnocrvene – sivo–crne, sporadično narančaste boje. Kompaktni. Struktura granulasta. Nemagnetni.
/	H-DL 1	Hlebine – Dlakovice	Površinski terenski pregled – prostor arheološkog lokaliteta (Kudelić et al. 2017)	Površinski nalaz u prostornoj asocijaciji s ispuštenom talioničkom zgurom.		/	183	/	/	NV, KSRV, LT, BD		/
KR –R	KR –R	Koprivnička reka – Rudina	Arheološko iskopavanje (Marković 1978) – nejasan kontekst – geološki uzorak?		V	/	/	/	/	/		Smeđe, oker, sivo – crno i mjestimično narančasto. Struktura heterogena, granule i glina, sitni šljunak. Nemagnetan.
Geološki uzorci												
NP-MB 16	NP-MB 16	Novigrad Podravski – Milakov Berek	Površinski terenski pregled – Geološki uzorak – razoreni depozit		/	/	/	2500	/	/	Fragment	Smeđe – sivo – crna u glavini, mjestimično oker i narančasta boja. Struktura granulasta, kompaktni. Nepravilnog oblika. Nemagnetan.
NP-MB 17	NP-MB 17	Novigrad Podravski – Milakov Berek		/	/	/	/		/	Smeđe – sivo – crna, mjestimično blijedo oker i narančasta boja. Struktura granulasta, kompaktni. Nepravilnog oblika. Nemagnetan.		
NP-MB 18	NP-MB 18	Novigrad Podravski – Milakov Berek		/	/	/	/		/	Smeđe – oker, sivo–crna boja. Struktura granulasta, kompaktni. Nepravilnog oblika. Nemagnetan.		
/	K-HG F	Kalinovac – Hrastova Greda		/	/	/	/	/	Oker, smeđe, crvenkasto, sivo – kapilarno. Struktura heterogena, granule i glina, pijesak, šljunak sitni. Nemagnetan.			
K-HG 1	K-HG N	Kalinovac – Hrastova Greda	Površinski terenski pregled – Geološki uzorak –		/	/	/	/	/	/	Noduli	Narančasto crveni noduli, veličine od 2,0x1,0 – 1,0x1,0 cm.
D-BG	D-BG	Draganci – Bokčev Grob		/	/	/	/	/	/	/		Narančasti noduli, veličine od 2,0x1,0 – 1,0x1,0 cm.

P-C	P-C	Peteranec – Ciglene	potencijalno (neo)formira- nje ležišta		/	/	/	/	/	/		Narančasto crveni noduli, veličine od 2,0x1,0 – 1,0x1,0 cm.
-----	-----	------------------------	--	--	---	---	---	---	---	---	--	--

### 3.1.1.2 Morfološka, mineraloška i geokemijska svojstva

Mineraloška i kemijska analiza izvedena je nad 23 arheološka uzorka fragmenata ruda te 5 geoloških uzoraka fragmenata i 3 uzorka nodula. Analize dijela uzoraka ranije su objavljene u koautorskom radu (Brenko et al. 2021) u svrhu definiranja provenijencije arheoloških ruda. Mineraloška analiza uzoraka (Tab.3.2.) ukazuje na osnovnu razliku između prikupljenih uzoraka fragmenata ruda – rude koje su termički obrađene te rude u elementarnom, prirodnom stanju. U kontekstu proizvodnje željeza termička obrada može se pripisati pripremi ruda, postupku prženja (Tab. 3.2., detaljnije vidi poglavlje 3.1.4.3).

Arheološki uzorci sirovih, pirometalurški neobrađenih ruda pronađeni su u kontekstu lokaliteta s naseobinskim elementima datiranog u 8./9. st. (Tab. 3.1.: Virje – Volarski breg, Sonda 2b: V-VBS2B 1 – 3 i Hlebine – Velike Hlebine, Sonda 3: H-VHS3 1), 2/2 7.–8. st. (Koprivnički Ivanec – Log Parag 1: KI-LP 1) te u asocijaciji s talioničkim otpadom datiranim u 4./5. st. (Virje – Sušine, Sonda 7: V-SS7 1). Svi geološki i arheološki uzorci rude u prirodnom stanju u sastavu imaju getit ( $\alpha$ -FeOOH), željezni oksihidroksid i kvarc ( $\text{SiO}_2$ ) kao glavne komponente, a u manjim omjerima se javljaju minerali glina, feldspati (plagioklasi i ortoklasi) te amorfne tvari. Specifično, kod uzoraka s položaja Novigrad Podravski (Slika 3.1: b) javljaju se piroluzit i kalcit koji upućuju na povišene razine manganovih i kalcijevih oksida, vidljive i u rezultatima kemijske analize (Tab. 3.3, Prilog 3, Tab.1: NP-MB 16–18). Temeljna razlika između arheoloških i geoloških uzoraka sirovih (neprženih) ruda vidljiva je u izostanku minerala gline u sastavu kod ruda iz arheološkog konteksta (izuzev uzorka KI-LP 1).

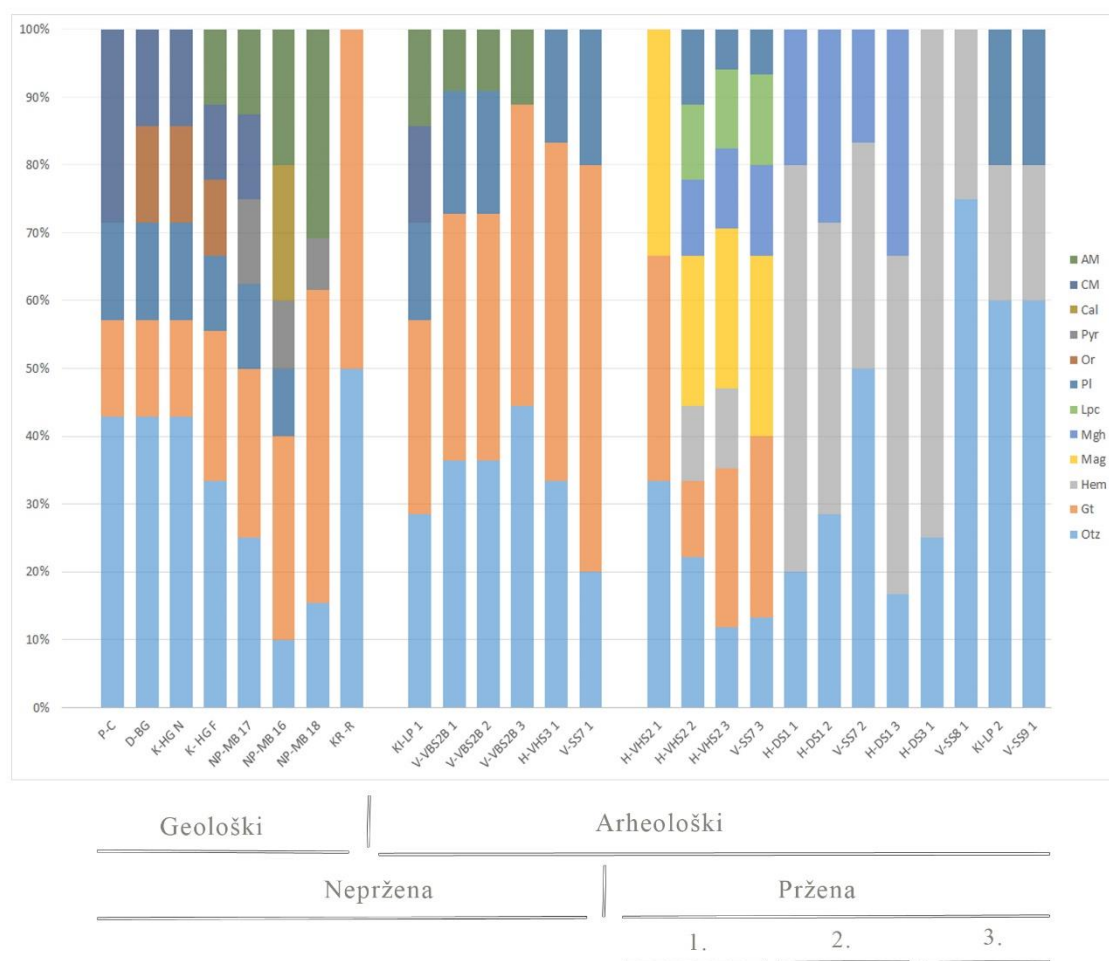
Termički obrađene rude pronađene su u kontekstu s naseobinskim elementima (Hlebine – Dedanovice, Sonda 1 i 3: H-D) i elementima radionice za proizvodnju spužvastog željeza (Hlebine – Velike Hlebine, Sonda 1 i 2: H-VH) datiranih u kraj 6./ sred. 7. st., talioničkom otpadu u radionici za proizvodnju spužvastog željeza datiranoj u kraj 4./5. st. (Virje – Sušine, Sonda 7: V-SS7 2–3) i u kontekstu s naseobinskim elementima datiranim u 2/2 7.–8. st. (Koprivnički Ivanec – Log Parag 1: KI-LP 2) te kraj 8./9. st. (Virje – Sušine, Sonda 8: V-SS8 1). Kod termički obrađenih uzoraka ruda vidljiva je heterogenost u sadržaju faza željezovih minerala, a čine ih: 1) kombinacija getita ( $\alpha$ -FeOOH), hematita ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) i maghemita ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) te lepidokrokita ( $\gamma$ -FeOOH), 2) kombinacija hematita i maghemita, te 3) isključivo hematit (Tab.3.2, Sl. 3.2). Kod svih skupina u manjem ili većem omjeru pojavljuje





Tablica 3.2 Rezultati mineraloške analize uzoraka rude. + – relativni sadržaj minerala (kvantitativnavrijednost nije pridružena); +++ glavna komponenta, ++ sporedna komponenta; + komponenta u tragovima, ?: nedovoljno iskazljivo za sigurnu determinaciju. G – geološki uzorak, A – arheološki uzorak, CM – minerali gline; Gt – getit; Lpc – lepidokrokite; Hem – hematit; Mag – magnetit; Mgh – maghemit; Pl – plagioklas; Qz – kvarc; AM – amorfna tvar; Cal – kalcit;– Pyr – piroluzit.

ID uzorka	Qtz	Gt	Hem	Mag	Mgh	Pl	Or	Pyr	Cal	Lpc	CM	AM	Tip uzorka
<b>Ruda u prirodnom / termički neobrađenom stanju</b>													
KI-LP 1	++	++					+				+	+	
V-VBS2B 1	++	++					+					?	
V-VBS2B 2	++	++					+					?	
V-VBS2B 3	++	++										?	A
H-VHS3 1	++	+++					+						
V-SS7 1	+	+++					+						
K-HG F	+++	++					+	+			+	+	
KR -R	++	++											
NP-MB 17	++	++					+	+			+	+	
NP-MB 16	+	+++					+	+	++			++	
NP-MB 18	+	+++						?				++	G
D-BG	+++	+					+	+			+		
K-HG N	+++	+					+	+			+		
P-C	+++	+					+				++		
<b>Termički obrađena ruda</b>													
H-DS1 1	+		+++		+								
H-DS1 2	++		+++		++								
H-DS1 3	+		+++		++								
H-DS3 1	+		+++										
KI-LP 2	+++		+				+						
V-SS7 2	+++		++		+								A
V-SS8 1	+++		+										
V-SS9 1	+++		+				+						
H-VHS2 1	++	++		++									
V-SS7 3	+	++		++	+	?				+			
H-VHS2 2	++	+	+	++	+	+					+		
H-VHS2 3	+	++	+	++	+	?					+		



Slika 3.2 Grafički prikaz zastupljenosti mineralnih faza kod uzoraka iz geološkog konteksta te arheoloških uzoraka pržene i nepržene rude.

Geokemijski, svi uzorci ruda imaju sastav tipičan za močvarne željezne rude kakve se pojavljuju na širem Europskom prostoru u arheološkom i geološkom kontekstu (Graupner 1982; Joosten et al. 1998: 132, Tab. 1; Joosten 2004: 56, 68, Tab.13.; Thiele 2010; Thiele, Török 2011: Tab.1; Puttkammer 2012; Ratajzák, Rzepa 2012; Török, Thiele 2013: 13, Tab.1; Rijk, Joosten 2014: 71, Tab.3; Thiele, Kerčsmár 2014: 62, Tab. 1.; Török et al. 2015: 230, T. 1.; Thellemann et. al. 2017; Nemet et al. 2018). Čine ih: željezo (III) oksid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), silicij dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), manganov oksid ( $\text{MnO}$ ), difosforov pentoksid ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), kalcijev oksid ( $\text{CaO}$ ), natrijevi spojevi i voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ) te elemente u nižim koncentracijama (aluminij ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), kalij ( $\text{K}_2\text{O}$ ), barij ( $\text{BaO}$ ), magnezij ( $\text{MgO}$ ) i natrij oksid ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), titan – dioksid ( $\text{TiO}_2$ )) te ukupni organski ugljik (TOC) i ukupni anorganski ugljik (TIC)) (Tab.3.3.). Niz elemenata rijetkih zemalja i elemenata u tragovima također je analiziran i prepoznat kod uzoraka ruda (Prilog 2., Tab. 1).

Tablica 3.3. Glavni oksidi kod uzoraka rude (ICP–AES)

ID uzorka	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	SrO	TiO <sub>2</sub>	LOI	TOC	TIC + gc	Total
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
V-SS7 1	1.90	0.09	0.34	<0.01	70.89	0.30	0.14	0.98	0.13	0.49	10.12	<0.01	0.03	11.91	0.04	0.60	97.31
V-SS7 2	11.29	0.15	1.37	0.02	19.65	2.09	0.74	4.80	0.46	2.68	49.36	0.02	0.92	6.82	0.08	0.49	100.38
V-SS7 3	7.28	0.04	0.87	0.02	45.57	1.10	0.45	0.36	0.34	0.91	29.88	<0.01	0.45	9.79	*	*	97.06
H-DS3 1	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	0.13	0.13	94.45
H-DS1 1	1.20	0.01	0.33	<0.01	84.97	0.18	0.10	0.37	<0.01	0.36	5.64	<0.01	0.02	2.83	0.15	0.12	96.02
H-DS1 2	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	0.16	0.12	98.14
H-DS1 3	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	0.03	0.30	94.77
H-VHS2 1	3.08	0.01	0.47	0.02	73.20	0.58	0.26	0.06	0.29	0.65	16.74	<0.01	0.13	2.39	*	*	97.88
H-VHS2 2	4.44	0.02	0.53	0.03	61.56	0.76	0.39	0.10	0.41	0.40	23.08	<0.01	0.25	6.98	*	*	98.95
H-VHS2 3	1.19	<0.01	0.30	<0.01	76.16	0.23	0.08	0.02	0.11	0.44	6.54	<0.01	0.03	11.6	0.06	1.30	96.71
H-VHS3 1	3.69	0.07	0.49	<0.01	55.54	0.61	0.32	1.28	0.44	0.76	20.50	<0.01	0.23	12.24	*	*	96.19
V-SS8 1	11.65	0.17	0.84	0.05	20.78	1.79	0.50	3.87	0.44	2.48	49.18	0.02	0.91	7.99	*	*	100.66
V-VBS2B 1	8.72	0.15	0.97	0.01	37.28	0.86	0.59	5.25	0.34	0.24	24.16	<0.01	0.30	15.45	0.04	0.46	94.32
V-VBS2B 2	8.58	0.07	0.72	0.01	38.94	0.90	0.59	1.59	0.46	0.66	30.67	<0.01	0.37	13.29	0.04	0.43	96.86
V-VBS2B 3	7.52	0.06	0.60	0.02	46.86	0.80	0.48	1.69	0.34	0.45	25.92	<0.01	0.29	13.43	0.03	0.42	98.46
V-SS9 1	9.86	0.42	0.35	0.07	21.51	1.38	0.33	5.49	0.34	1.59	46.87	0.01	0.88	6.51	<0.02	0.22	95.62
KR -R	5.99	0.02	1.28	0.21	45.82	1.07	0.83	0.04	0.27	0.28	29.09	<0.01	0.45	10.57	*	*	95.91
KI-LP 2	15.27	0.10	0.66	0.04	16.92	2.50	0.76	3.42	0.62	2.33	50.85	0.01	1.05	6.36	<0.02	0.28	100.91
KI-LP 1	4.53	0.19	1.27	<0.01	49.45	0.79	0.65	3.13	0.42	1.90	16.67	0.01	0.12	16.02	0.02	0.48	95.15
NP-MB 16	2.50	0.76	5.67	<0.01	32.03	0.42	0.70	21.04	0.44	0.62	8.69	0.15	0.06	21.39	0.81	0.51	94.46
NP-MB 17	3.25	0.74	1.18	<0.01	45.35	0.45	0.48	14.85	0.36	0.70	10.98	0.09	0.07	15.95	0.03	0.43	94.44
NP-MB 18	0.57	0.12	0.62	<0.01	68.41	0.12	0.16	5.68	0.08	1.00	3.59	0.02	<0.01	15.14	0.03	0.41	95.52
K- HGF	5.05	0.14	0.72	<0.01	35.56	0.64	0.49	1.54	0.55	0.93	43.26	0.02	0.27	11.74	*	*	100.91
K-HGN	5.67	0.30	0.72	0.04	36.02	0.72	0.47	2.89	0.69	0.54	38.46	0.01	0.32	11.49	0.03	0.61	98.35
D-BG	7.29	0.24	1.04	0.03	39.54	0.94	0.76	4.32	0.74	1.86	27.06	0.01	0.39	15.31	0.03	1.62	99.53
P-C	12.24	0.08	0.78	0.04	22.99	1.76	0.95	0.57	0.96	1.87	44.10	0.01	0.76	11.29	0.05	1.02	98.42

Osnovna karakteristika kemijskog sastava uzoraka ruda je izrazita varijabilnost u zastupljenosti glavnih oksida, a posebno je izražena kod najzastupljenijih oksida, željezo (III) oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) i silicijevog dioksida (SiO<sub>2</sub>). Osim razlike u udjelima najzastupljenijih oksida, značajnija varijabilnost vidljiva je i kod drugih oksida manje zastupljenosti, u prvom redu MnO (0.02–21.04%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1.15–15.27%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.24–2.68%), CaO (0.3–5.67%) (Tab. 3.3.). U pravilu, zastupljenost jalovih<sup>33</sup> spojeva obrnuto je proporcionalna zastupljenosti željezovog oksida. Kod nodula, druge razvojne faze rude, udjeli Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> su 22.99 – 39.95% a SiO<sub>2</sub> 27.06 – 44.10 % masenog udjela. Kod fragmenata ruda, kao pretpostavljene zadnje razvojne faze, zastupljenost Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> je 16.92 – 84.97% a SiO<sub>2</sub> 3.59 – 50.85 % masenog udjela. Izrazita prisutnost MnO prepoznata je kod uzoraka s lokacije Novigrad Podravski – Milakov Berek (NP – MB 17 i 16) te je u ranijoj studiji (Brenko et al. 2021) protumačena kao lokalna karakteristika, prisutna u prvom redu zbog drugačijih Eh/Ph uvjeta u tlu te izvora podzemne vode i evolucije rude uslijed čega je i taloženje mangana izraženije.

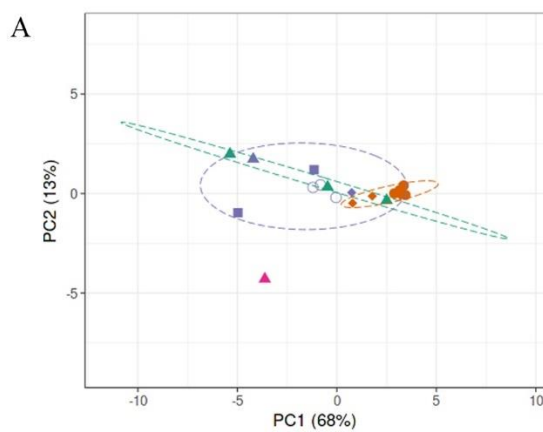
<sup>33</sup> Jalovinu čine spojevi vezani uz rudu (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, CaO, MgO).

Ako uzmemo u obzir isključivo arheološke uzorke ruda, varijabilnost u zastupljenosti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  kod prženih ruda je 16.92–82.97% , a obrnuto proporcionalno zastupljeni su ostali glavni oksidi, jalovi spojevi,  $\text{SiO}_2$  (50,85–5,64%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (15,27–1,2%),  $\text{MnO}$  (3,42–0,37%),  $\text{CaO}$  (0,3–1,37). Uzorci s udjelom  $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 50\%$  čine 36,3 % uzorka, a uzorci sa zastupljenošću željezovih oksida od 62 do 85% čine glavninu (72,7%) ukupnog uzorka. Uzorci izrazito male zastupljenosti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\leq 20\%$ ) i dominantne zastupljenosti  $\text{SiO}_2$  te uzorak manje zastupljenosti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $20\% < \text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$ ) imaju različitu kontekstualnu, vremensku i prostornu odrednicu te pripadaju lokalitetima na kojima su utvrđeni ostaci radionice za proizvodnju željeza (Tab. 3.1 – 3.3: Virje Sušine, V–SS7 2,3) datiranima u kraj 4./5. st. te lokalitetima s naseobinskim obilježjima i nalazima u vezi s preradom spužvastog željeza (Tab. 3.1- 3.3: Virje – Sušine, V–SS8 1, Koprivnički Ivanec – Log Parag 1, KI–LP 1–2) datiranima u 2/2 7.–8. st. i 8./poč. 9. st. Uzorci s većom zastupljenosti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\geq 50\%$ , 61,56–84,97 %) i značajno manjom zastupljenosti jalovih spojeva pripadaju istovremenim, prostorno i kontekstualno povezanim lokalitetima, radionici za proizvodnju spužvastog željeza (Tab. 3.1- 3.3: Hlebine – Velike Hlebine, H–VHS2 1–3) i lokalitetu s naseobinskim obilježjima na kojemu su ustanovljene peći za obradu spužvastog željeza / primarno kovanje (Tab. 3.1- 3.3: Hlebine – Dedanovice: H–DS1 1–3, H–DS3 1).

Kod neprženih ruda, zastupljenost  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  je generalno manja a raspon je 21,51–70,89%, od čega glavnina uzoraka (5 uzoraka = 71% ukupnog uzorka) ima udjele  $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 50\%$ , jedan oko 50% (14,2% ukupog uzorka) i jedan oko 70% (14,2% ukupnog uzorka). Uzorci izrazito malih udjela ( $< 50\%$ ) potječu s lokaliteta s naseobinskim obilježjima datiranih u 8./poč. 9. st. na položaju Virje – Volarski breg (V–VBS2B 1 – 3), Koprivnički Ivanec – Log Parag 1 (KP – LP 1), kao i uzorak niže zastupljenosti (oko 50%) – Hlebine – Velike Hlebine (H–VH S3 1). Uzorak kvalitetnije rude (V–SS7 1) potječe iz sloja u kojemu je pronađen otpad u glavnini pripisan talioničkim postupcima unutar radionice za proizvodnju željeza datirane u kraj 4./5. st. na lokalitetu Virje – Sušine (Sonda 7).

Sastav ruda, a poglavito udjeli glavnih oksida (u prvom redu željezovih naspram jalovih sastavnica) mogu se dovesti u vezu potencijalom rude za proizvodnju spužvastog željeza odnosno tehnološkom iskoristivosti pri postupku direktne redukcije, a komparativna analiza svojstava ruda prema vremenskom i prostornom kontekstu pronalaska može doprinjeti interpretaciji mehanizama eksploatacije i uporabe rude. Stoga je za jasniju predodžbu sličnosti i razlika u sastavu te kvaliteti rude izvedena multivarijatna analiza glavnih komponenti. Analiza glavnih komponenti (*Principal component analysis* (PCA)) za glavne okside rezultirala je s 13

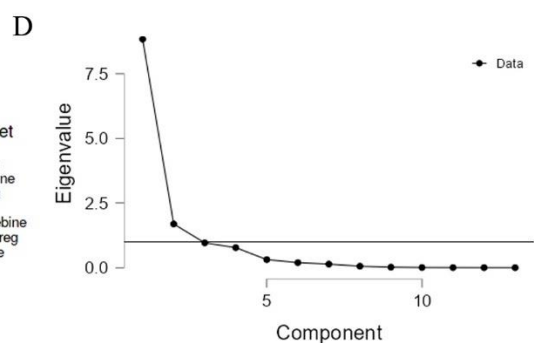
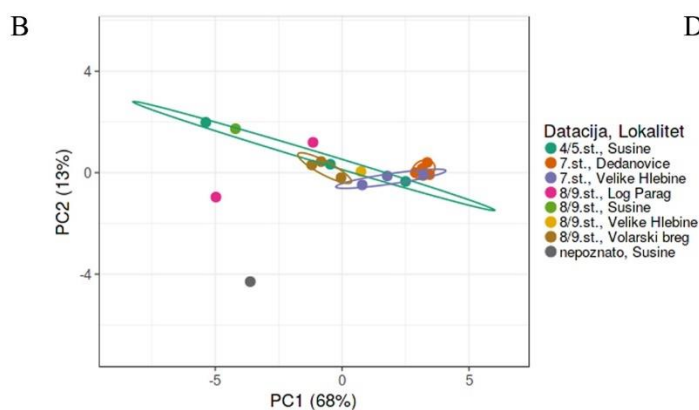
glavnih komponenti (PC–a). Prve dvije komponente odgovorne su za 68% (PC 1) i 13% (PC 2) ukupne varijacije (Slika 3.3). Prema vrijednostima PC–a, PC1 osobito predstavlja okside Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>. Povećanje PC1 vrijednosti u pravilu predstavlja više vrijednosti Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i obrnuto proporcionalno, niže vrijednosti SiO<sub>2</sub> u prvom redu ali i ostalih oksida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>. U potonjoj relaciji izrazitu važnost za tehnološku iskoristivost ruda ima odnos dvaju glavnih oksida – željezovog i silicijevog. PC 2 osobito predstavlja BaO, CaO, SrO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, odnosno viši PC 2 predstavlja više vrijednosti CaO, SrO a niži Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i BaO. Scatter–plot vrijednosti ukazuje na široku i nejednoličnu distribuciju uzoraka, ali i određene pravilnosti te klastere koje je moguće dovesti u vezu s prostornom, vremenskom i kontekstualnom odrednicom uzoraka.



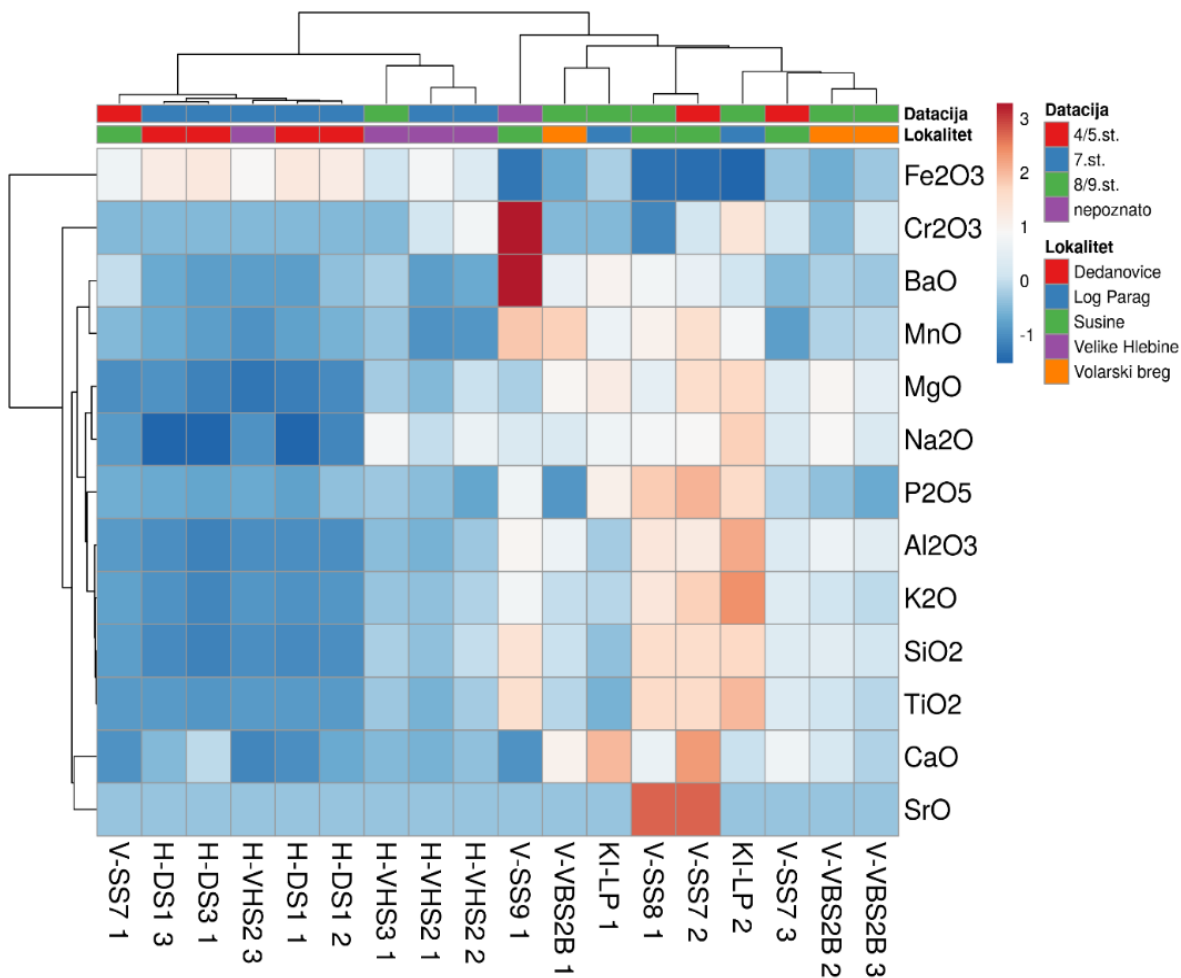
**C**

	Component Loadings		
	PC1	PC2	Uniqueness
Fe2O3	-0.978	-0.059	0.041
SiO2	0.968	0.100	0.054
K2O	0.961	-0.015	0.076
Al2O3	0.955	0.047	0.085
TiO2	0.947	0.131	0.086
MgO	0.864	-0.246	0.193
P2O5	0.852	-0.173	0.243
Na2O	0.839	-0.049	0.293
MnO	0.831	0.118	0.295
BaO	0.665	0.464	0.343
CaO	0.610	-0.608	0.258
SrO	0.586	-0.520	0.387
Cr2O3	0.434	0.834	0.115

	Component Characteristics		
	Eigenvalue	Proportion var.	Cumulative
Component 1	8.840	0.680	0.680
Component 2	1.691	0.130	0.810



Slika 3.3. a) PCA plot PC 1 i 2 glavnih oksida u arheološkim uzorcima ruda s predikcijskom elipsom (0,95) prema dataciji arheološkog konteksta uzorka, b) PCA plot PC 1 i 2 glavnih oksida u arheološkim uzorcima ruda s predikcijskom elipsom (0,95) prema prostornoj i vremenskoj odrednici pronalaska uzorka (lokalitet – datacija), c) učitane vrijednosti glavnih komponenata (PC 1 i 2) ruda, d) grafički prikaz kovarijance svih 13 glavnih komponenti



Slika 3.4. Hijerarhijska klaster analiza arheoloških uzoraka ruda i heatmap zastupljenosti glavnih oksida.

Hijerarhijska klaster analiza i vizualizacija zastupljenosti glavnih oksida u sastavu ukazuje na obrnuto proporcionalan odnos zastupljenosti željezovih oksida naspram ostalih glavnih oksida u sastavu kod uzoraka ruda. Vidljiva su i dva glavna klastera, ruda sličnog sastava: 1) rude s većom zastupljenosti željezovih oksida i proporcionalno manjom ostalih (uzorci s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice te Virje – Sušine) i 2) rude s nižom zastupljenosti željezovih i većom zastupljenosti ostalih oksida (uzorci s lokaliteta Virje – Sušine i Volarski breg, Koprivnička Reka – Rudina).

Razlike i sličnosti u omjeru prisutnosti glavnih oksida koje reflektiraju kvalitetu ruda vidljive su u odnosu na lokalitet na kojemu su pronađeni uzorci. Generalno, klasteri uzoraka s istih lokaliteta se u velikoj mjeri preklapaju, ukazujući time na sveopću sličnost u sastavu uzoraka, no određene razlike su vidljive (Slika 3.3.). Konzistentnost i najizraženija sličnost u sastavu

vidljiva je na uzorcima rude najviše kvalitete s lokaliteta Hlebine – Dedanovice datiranim u 7. st. te niže kvalitete s lokaliteta Virje – Volarski breg datiranim u 8./9. st. Nešto manju međusobnu sličnost pokazuju uzorci više kvalitete s lokaliteta Velike Hlebine datiranih u 7. st. Sličnost u sastavu vidljiva je kod uzoraka s lokaliteta Velike Hlebine, bez obzira na različiti kontekst pronalaska – radionica za proizvodnju željeza (H–VHS2 1–2, Sonda 1 i 2) iz 7. st. te naseobinski kontekst (H–VHS 3, Sonda 3) datiran u 8./poč. 9. st. Široka varijabilnost sastava može se uočiti kod ruda s lokaliteta Virje – Sušine koje pripadaju kontekstu iste radionice za proizvodnju željeza, datirane u 4./5. st. Uzorci s lokaliteta Koprivnički Ivanec – Log Parag, datiranog u 2/2 7.– 8. st. također pokazuju značajnije razlike u sastavu. U ostalim, pojedinačnim kontekstima (Virje – Sušine (nepoznata datacija, Sonda 9 i Sonda 8 – naseobinski kontekst, 8./9. st.) i Hlebina – Velike Hlebine (naselje, 8./9. st. Sonda 3) pronađen je premali broj uzoraka za promatranje međusobne sličnosti (1 uzorak).

U kontekstu vremenske i prostorne pripadnosti uzoraka naspram sastava također su vidljive određene pravilnosti, iako se i ovdje određene grupe uzoraka preklapaju. Rude s najvećim udjelom željezovih oksida, odnosno rude najbolje kvalitete među analiziranim uzorcima su pržene rude pronađene na lokalitetima na području Hlebina koji datiraju u 7. st. – Dedanovice (82,93 – 84,97%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) i Velike Hlebine (61,56 – 76,16%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Kod ovih uzoraka vidljiva je najveća konzistentnost u kvaliteti rude u odnosu na vremensku i prostornu pripadnost. Niske vrijednosti zastupljenosti željezovih oksida, ali i izrazito varijabilan sastav, pokazuju uzorci prženih i neprženih ruda koje pripadaju kontekstu 8./9. st. (lokaliteti Virje – Volarski breg, Sušine, Velike Hlebine, Log Parag 1) gdje je udio željezovih oksida manji ili oko 50% (16,92– 49,45 i 55,54%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) te proporcionalno veći udio ostalih, jalovih elemenata kod svih uzoraka (Sl. 3.3, 3.4). Unutar ove grupe uzoraka razvidna je sličnost u sastavu obzirom na prostorni arheološki kontekst, gdje uzorci s lokaliteta Volarski breg (Sonda 2b) pokazuju veću međusobnu sličnost u sastavu u odnosu na ostale uzorke (37,28 – 46,86%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Uzorci ruda koji pripadaju 4./5. st. potječu iz jedinstvenog konteksta, radionice za proizvodnju željeza (SJ 314, Virje – Sušine, Sonda 7) te pokazuju izrazito varijabilan sastav ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  19,65– 70,89%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) koji seže od vrlo male do velike zastupljenosti željezovih oksida i obrnuto proporcionalno, jalovih oksida.

Morfološki, uzorci ruda pokazuju zajedničke karakteristike (Tab. 3.1.), ali i razlike koje se mogu dovesti u vezu s mineraloškim (Tab. 3.2.) i geokemijskim sastavom (Tab. 3.3., Prilog 2: Tab.2.) te mehanizmima formiranja ruda, a u širem kontekstu ukazuju na mogućnost vizualne diskriminacije ruda prema svojstvima i prepoznavanja postupaka pripreme kroz koje je prošla



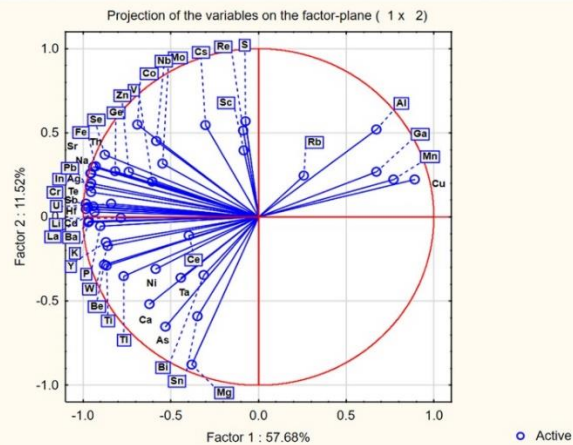
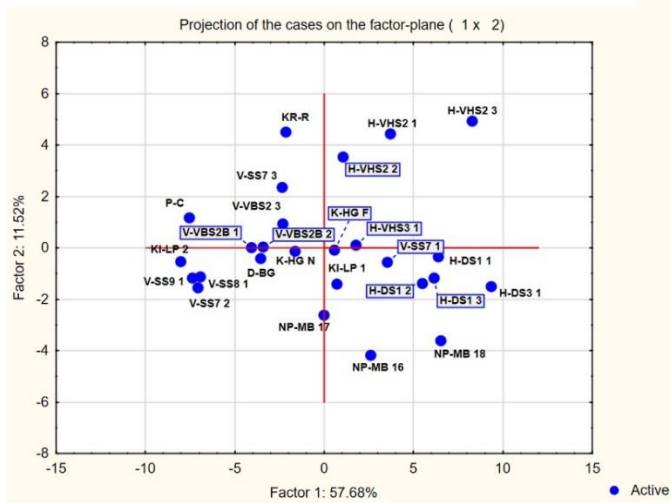
ruda. Granulasta struktura vidljiva je kod većine analiziranih uzoraka, a svjedoči o načinu formacije ruda, cementaciji pojedinačnih nodula (druge razvojne faze rude) u tvrdi sloj/leću – ležište odnosno veće fragmente (treća razvojna faza), kakvi su uzorci analizirane rude iz arheološkog konteksta (Tab. 3.1.). Heterogenost kompozita u čijoj su strukturi vidljive granule te mjestimično glina i sitni šljunak/pijesak prvenstveno se ogleda u dominantnoj pojavi kvarca uz getit te minerala gline, glinenaca (plagioklasa i ortoklasa) i amorfne tvari te generalno manjoj zastupljenosti željezovih oksida i većoj zastupljenosti aluminijskih i silicijevih oksida (K – HG F). Getit u sastavu se može dovesti u vezu s oker, smeđom i narančastom, a ponekad i blago crvenkastom bojom uzoraka (K–HG F, KI – LP 1, V – SS7 1, V – VBS2B 1 – 3, NP – MB 16 – 18). Kod potonjih uzoraka pojava tamno – sive/crne boje može se dovesti u vezu s većom zastupljenosti mangana (NP – MB 16 – 18, V – VB2B 1) a relativna, vizualna uočljivost boje proporcionalna je zastupljenosti mangana na geokemijskoj razini (usp. NP – MB 16 – 18). Uzorci kod kojih je getit dominantan mineral uz kvarc, te nasljedno imaju višu razinu željezovitih oksida izrazitije su smeđe i blago crvenkaste boje (H – VHS3 1, V – SS7 1, NP – MB 16, NP – MB 18), dok je kod uzoraka manje zastupljenosti getita zamjetna prisutnost blijede, oker boje (KI – LP 1, V – VBS2B 1 – 3, NP – MB 17). Razlika u strukturi u nekoj se mjeri očituje među uzorcima više i niže zastupljenosti getita odnosno željezovih oksida. Uzorci s jasno vidljivim granulama (nodulima) općenito imaju veću zastupljenost  $Fe_2O_3$  (55,54–70,89% masenog udjela). Kod uzoraka s nižom zastupljenosti  $Fe_2O_3$  (32,03 – 49,45% masenog udjela) granulirana struktura nije jasno vidljiva odnosno tek sporadično je moguće izdvojiti pojedinačne nodule u rudnom konglomeratu, a uzorci su generalno gomoljastog, nepravilnog oblika i hrapave površine. Ujednačena jarko crvena boja može se pripisati dominantnoj pojavi hematita (H – DS1 1 – 3, H – DS3 1) dok bi sporadična pojava tamnije sive boje kod ovih uzoraka mogla označavati prisutnost magnetita odnosno maghemita, koji mogu nastati zagrijavanjem hematita u redukcijskim uvjetima (vidi poglavlje 5.1.). Struktura kod potonjih uzoraka izrazito je granulirana a uzorci kompaktni te nije vidljiva primjesa jalovih materijala poput pijeska i gline. Kombinacija ovih dvaju parametara označava i izrazitije visok udio  $Fe_2O_3$  (82,93 – 84,94%) te niže udjele ostalih oksida, poglavito u pravilu jače zastupljenih aluminijskih i silicijevih oksida. Nešto niža zastupljenost hematita i dominantna zastupljenost kvarca očituje se kroz neujednačenosti u boji te tamnije crveno – sivo boju površine, a kod pojedinih uzoraka granuliranost u strukturi nije jasno vidljiva (Tab. 3.1.). Kod ovih uzoraka zastupljenost željeznih oksida je niža te neznajno varira 46,87 – 49,36 % mase. Heterogenost boje generalno označava i varijabilnost u sastavu. Uzorci kod kojih je vidljiva šarolikost u boji (tamno – sivo – smeđa i crvenkasto – narančasta) u glavnini imaju heterogen mineralni sastav,

gdje se svjetliji oker – smeđe sivi tonovi mogu dovesti u vezu s getitom, ali i mineralima iz skupine glinenaca (plagioklasi) i kvarcom, dok se tamniji sivi tonovi mogu dovesti u vezu s magnetitom odnosno maghemitom a crvenkasti – narančasti tonovi s hematitom i lepidokrokitom (H – VHS2 1 – 3, V – SS7 3). Kemijski sastav kod ovih uzoraka izrazito varira i osjetna je značajnija raspodjela udjela prisutnosti među svim oksidima (za razliku od jednostrane dominantne prisutnosti željezovih i/ili aluminijskih i silicijevih oksida kod uzoraka jednoličnije boje), a generalno imaju udjele željezovih oksida oko ili < 50% mase (45,57 – 76,16%). Željezoviti noduli su crvenkasto – smeđe boje te ne pokazuju značajnije i/ili indikativne razlike obzirom na sastav, koji je u pravilu vrlo sličan, a dominantno je prisutan kvarc te slabije zastupljen getit, minerali glina plagioklasi i ortoklasi, a zastupljenost Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varira 22,39 – 39,54% mase. Očekivano, noduli kao nepotpuna razvojna faza ruda u odnosu na razvijeniji rudni konglomerat (fragmenti), imaju manja zastupljenost Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> te više SiO<sub>2</sub>, dvije glavne komponente sastava čiji se omjer razvojem ruda u pravilu proporcionalno mijenja u korist Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. (Brenko et al. 2021; Thelleman et al. 2017: Fig.4). Ipak, očekivane razlike u omjeru Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : SiO<sub>2</sub> između nodula i fragmenata, koje nastaju kao posljedica cemetacijskog procesa i razvoja ruda, nisu prisutne u odnosu na sve uzorke fragmenata ruda (usp. H – HF F, NP – MB 16, KI – LP 2, V – SS9 1, V – SS8 1, V – SS7 2) što se može pripisati različitim razinama razvoja uzoraka s različitim lokacija i potencijalu obogaćenja Fe matriksom uvjetovanom prirodnim preduvjetima nastanka.

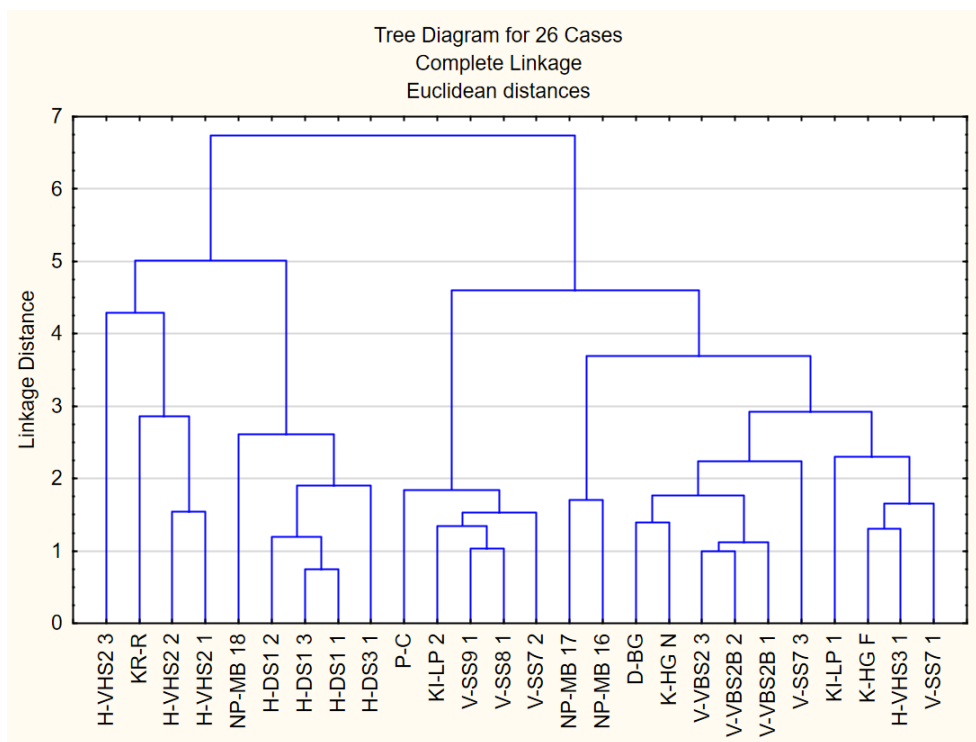
### 3.1.1.3 Geokemijski otisak – problem razlikovanja pojedinačnih ležišta

Komparativna analiza elementnog sastava triju razvojnih faza ruda te geoloških i arheoloških uzoraka pržene i nepržene rude kao i zgure (Brenko et al. 2021; 2022) ukazala je na jedinstven regionalni geokemijski otisak, poveznicu ruda i zgure odnosno regionalno podrijetlo ruda od kojih je dobivano spužvasto željezo na prostoru Podravine u svim analiziranim arheološkim kontekstima, tijekom kasne antike i ranoga srednjeg vijeka. Pri analizi su primjećene i određene zajedničke karakteristike koje mogu implicirati usku povezanost izvorišta rude, odnosno lokalizaciju rude određenih karakteristika. Potonje je uočeno za rude pronađene u kontekstu lokaliteta Virje – Sušine i geoloških uzoraka s položaja Novigrad Podravski – Milakov Berek, a karakterizira ih povišen udio Mn (Brenko et al. 2021). Prema istom načelu ovim uzorcima mogao bi se pridružiti i uzorak s lokaliteta Volarski breg (V-VB2B 1). Uzorci sa Sušina i Volarskog brega s povišenim udjelom mangana pripadaju istom vremenskom kontekstu 8./9. st. (V-SS8 1, V-SS2B 1). Položaj Novigrad Podravski nalazi se na zračnoj udaljenosti od 2484 – 2895 m, na jednakoj pedološkoj i geološkoj podlozi. Međutim, lokalizirane geokemijske

varijacije za sve arheološke uzorke ruda koje bi se mogla direktno dovesti u vezu s prostornim ili vremenskim arheološkim kontekstom nisu ustanovljene dosadašnjim istraživanjima. Lokalizirana provenijencija ruda odnosno usko ubiciranje i razlikovanje pojedinih ležišta močvarne rude unutar iste regije predstavlja značajan izazov, prvenstveno zbog mogućnosti vrlo male razlike u sastavu unutar regije u kojoj su prirodni preduvjeti i mehanizam formiranja vrlo slični. Recentne studije provenijencije otpada od proizvodnje željeza ili željeznih poluproizvoda i predmeta većinom su bazirane na promatranju rijetkih elemenata i elemenata u tragovima (Costures et al. 2003; Schwab et al 2006; Desaulty et al. 2009; Navasaitis et al. 2010; Desai 2018) te analize izotopa (Milot et al. 2016; Rose et al. 2019.). Analiza većeg obima elemenata, uključujući rijetke zemlje i elemente u tragovima mogla bi ukazati na sličnost ruda koje se potencijalno mogu dovesti u vezu s prostornim i/ili temporalnim podrijetlom rude i nasljedno ubiciranjem ležišta. U tu svrhu izvedena je PCA i hijerarhijska klaster analiza u koju je uključeno ukupno 48 elementa; glavnih, elemenata u tragovima i rijetkih zemalja (Prilog 3: Tab.1.). Potonja analiza pokazuje sličnost uzoraka unutar istog lokaliteta (Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice) te međusobnu sličnost ruda s ovih lokaliteta u odnosu na ostale uzorke (Sl. 3.5–3.6.). Ovi lokaliteti se nalaze u neposrednoj prostornoj blizini (Karta 2.2.) te pripadaju istom vremenskom razdoblju, 2/2 6. – 7. st. Izražena sličnost u odnosu na ostale uzorke može sugerirati višu vjerojatnost podrijetla iz istog, lokaliziranijeg izvorišta no ostale rude. Kod ostalih arheoloških uzoraka vidljiva je generalna međusobna sličnost uzoraka s više položaja različite vremenske pripadnosti u okolici Virja (Volarski Breg i Sušine), ali i uzoraka s lokaliteta na položaju Hlebine – Velike Hlebine te Log Parag 1 (Sl. 3.5–3.6). Unutar ove široke skupine, moguće je izdvojiti dvije podskupine više razine međusobne sličnosti, no jednostranu poveznicu grupe sličnih uzoraka s prostornim ili vremenskim kontekstom nije moguće razlučiti. Moguće je izdvojiti skupinu uzoraka s lokaliteta Volarski Breg (Sonda 2b) datiranog u kraj 8./9. st. i u širem kontekstu uvidjeti sličnost ovih uzoraka s dijelom uzoraka s lokaliteta Virje – Sušine koji pripadaju 4./5. st. te Hlebine – Velike Hlebine koji pripada 8./9. st. i Log Parag 1 koji pripada 2/2 7. st. – 8. st. Drugu podskupinu čine uzorci s položaja Sušine, različite datacije (8./9. st te 4./5. st.) i položaja Log Parag 1 datiranog u 8./9. st.



Slika 3.5. PCA analiza uzoraka ruda temeljena na elementnom profiliranju (ukupno 48 elemenata).



Slika 3.6. Hijerarhijski klaster uzoraka rude

### **3.1.2 Rekonstrukcija ležišta: studija slučaja položaja Kalinovac – Hrastova greda**

Proizvodnja željeza uvelike se oslanja na mogućnost eksploatacije ili nabave prirodnih resursa, u prvom redu rude i drveta odnosno drvenog ugljena. Unutar arheološkog konteksta istraženih radionica, ali i istovremenih naseobinskih struktura, pronađeni su uzorci močvarnih željeznih ruda (Tab. 3.1. – 3.3 ) koji svjedoče o karakteru temeljne sirovine iskorištavane tijekom kasne antike i ranoga srednjeg vijeka u svrhu proizvodnje željeza. Međutim, tek recentna istraživanja ukazala su na prisutnost i mogućnost formiranja močvarne željezne rude na prostoru Podravine (Sekelj Ivančan, Marković 2017; Brenko et al. 2020) (Karta 3.1.) te na genetsku, geokemijsku vezu između uzoraka prirodne i termički obrađene rude iz arheološkog i geološkog konteksta (Brenko et al. 2021). Potonja istraživanja podrazumijevala su gearheološke površinske terenske preglede i uzorkovanje profila tla te detaljne mineraloške i geokemijske analize uzoraka ruda iz geološkog i arheološkog konteksta. Ekstenzivni arheološki terenski pregledi i geološka prospekcija rezultirali su pronalaskom površinskih i subpovršinskih tragova mogućih (neo)formacija močvarnih željeznih ruda, međutim, na cjelokupnom istraženom području Podravine samo su na položaju Kalinovac – Hrastova greda 1 – 3 identificirane sve razvojne faze močvarne željezne rude i depozit u primarnom okruženju/položaju. Mehanizam formiranja močvarnih željeznih ruda podrazumijeva tri osnovne faze ili razvojne forme rude: a) početnu – meku formu u obliku tla obogaćenog željezom, b) razvojnu – kugličaste tvorevine željezovitih oksihidroksida (konkrecije ili grumenje), te c) razvijenu – čvrsti, u potpunosti formirani sloj rude (Thelemann et al. 2017; Kaczorek, Sommer 2003). Močvarne željezne rude su obnovljivog karaktera, ali proces formacije izrazito je osjetljiv te ovisi o pogodnosti i stabilnosti prirodnih preduvjeta. Promjene okoliša uvjetovane ljudskim aktivnostima i klimatske promjene u odnosu na arheološka razdoblja mogu utjecati na mogućnost formiranja močvarne rude (Kaczorek, Sommer 2003: 400–401; Sitschick et al. 2005; Puttkamer 2012), ali i prepoznavanje te rekonstrukciju ležišta koja su bila eksploatirana u prošlosti. Ubikacija potencijalnih prostora razvoja ležišta te analiza karaktera ležišta (mehanizam formiranja, fizionomija, obim, sastav rude) značajno može doprinjeti istraživanju strategije eksploatacije i uporabe rude u prošlosti. Obzirom da su na položaju Kalinovac – Hrastova greda identificirane sve razvojne faze i istraženo jedino do sada poznato ležište u Podravini, cilj ovog poglavlja je kroz studiju slučaja uspostaviti model razvoja močvarnih željeznih ruda (u suvremenom krajoliku) Podravine te definirati karakteristike ležišta u vezi s reljefnim značajkama te hidrološkim, pedološkim i geološkim preduvjetima razvoja kako bi se razumjeli prirodni, neizbježni mehanizmi koji su mogli uvjetovati eksploataciju i uporabu ruda u prošlosti. Ciljevi se ostvaruju kroz: 1. analizu razvojnih faza, mehanizma formiranja i karakteristika močvarne željezne rude s položaja

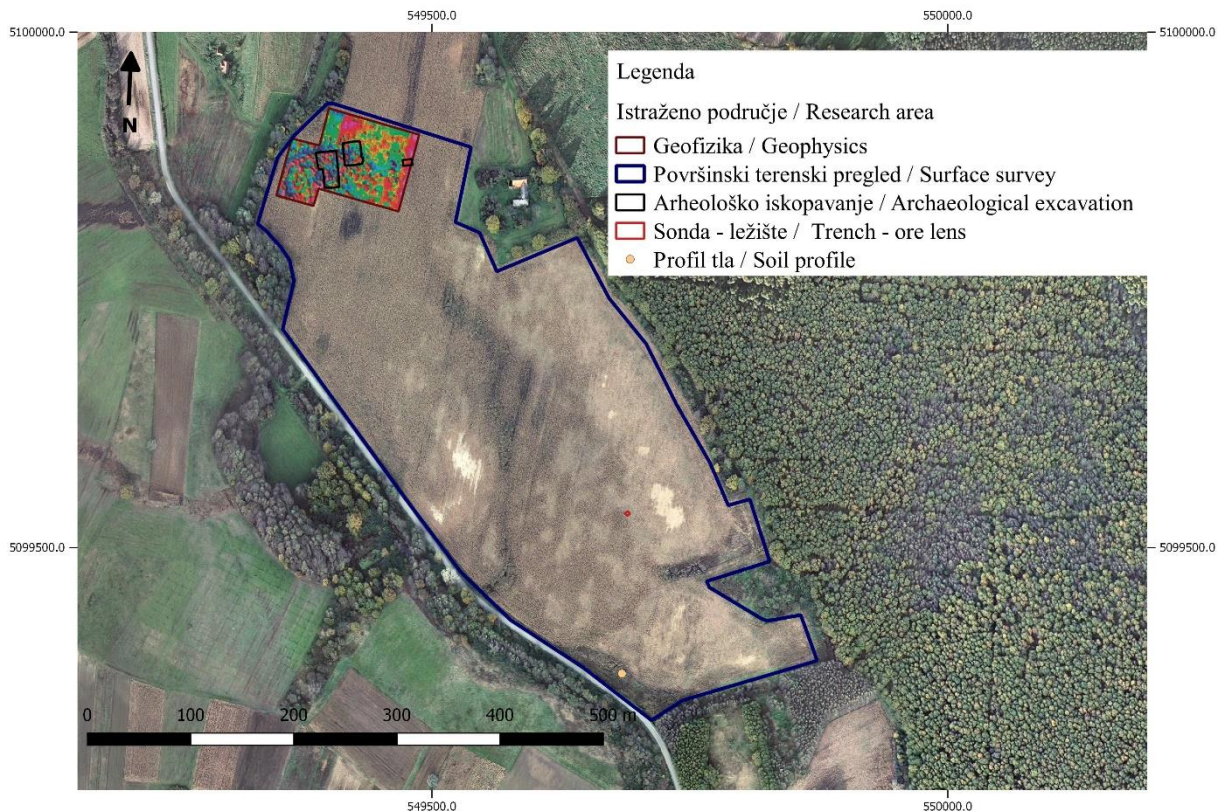
Kalinovac – Hrastova greda, na temelju makroskopske, mineraloške (XRD) i kemijske analize (ICP–AES), 2. analizu fizionomije ležišta i prostora potencijalne formacije rude u odnosu na reljefne, hidrološke, geološke i pedološke značajke.

### 3.1.2.1 Terenska istraživanja

Terenski pregledi položaja Kalinovac – Hrastova greda (Karta 3.2.) izvedeni su kroz više kampanja, s ciljem utvrđivanja položaja potencijalnih arheoloških lokaliteta i geoloških tvorevina koje bi se mogle dovesti u vezu s močvarnom željeznom rudom, temeljnom sirovinom za proizvodnju željeza na širem prostoru Podravine tijekom spomenutih arheoloških razdoblja. Položaj je poljoprivredno zemljište, te se sustavno obrađuje.<sup>34</sup> Površinski nalazi ukazali su na karakter lokaliteta na kojemu su se odvijale aktivnosti u vezi s proizvodnjom željeza (Valent et al. 2017: 17–18; 2021: Fig. 2.). Područje najintenzivnije koncentracije površinskih nalaza snimljeno je geofizičkim metodama (Mušič et al. 2019) koje su dodatno potvrdile metalurški karakter lokaliteta i opseg podpovršinskog arheološkog zapisa. Prostor na kojemu su pretpostavljeni tragovi metalurških aktivnosti djelomično je arheološki istražen, u kampanji provednoj 2019. godine (Sekelj Ivančan 2020). Makroskopska analiza (Karavidović 2021a) nalaza vezanih uz proizvodnju željeza s lokaliteta Kalinovac – Hrastova greda 1 pokazala je da se zgura može pripisati postupku taljenja željezne rude i proizvodnje spužvastog željeza, ali i primarnom kovanju, postupku pročišćavanja spužvastog željeza. Izvan prostora pojave površinskih koncentracija zgure i pretpostavljenog opsega podpovršinskog arheološkog zapisa, tijekom površinskih terenskih pregleda otkrivene su geološke tvorevine koje ukazuju na visoku zasićenost tla željezom i mogućnost (neo)formacija močvarne željezne rude. Potonje podrazumijevaju koncentracije izrazitije crvenkastog tla, konkrecije i fragmente pretpostavljene močvarne željezne rude, te željezovite pedotvorevine. Na području visoke koncentracije većih fragmenata rude, napravljena je probna sonda kako bi se definiralo potencijalno ležište, koje je potom istraženo. Profil tla izbušen je augerom nedaleko položaja na kojima su bile vidljive površinske pojave izoranog tla crvenkaste boje. Uzorci profila tla, konkrecija i fragmenata prikupljenog iz ležišta te željezovitih pedotvorevina (pjeskovite konkrecije) analizirani su sa svrhom utvrđivanja mogućnosti (neo)formacija te karakteristika postojeće močvarne željezne rude.

---

<sup>34</sup> Višegodišnja obrada zemljišta i sadnja poljoprivrednih kultura vidljiva je iz satelitskih snimki od 2011. do 2021. godine pregledanih preko Google Earth platforme (Prilog 2: Sl.1.).



Karta 3.2. Prostor obuhvata terenskih istraživanja na položaju Kalinovac – Hrastova greda (podloga: Državna geodetska uprava, DOF (Digitalni ortofoto) 2014, <https://geoportal.dgu.hr>) (izrada: T. Karavidović, 2021).

### 3.1.2.2 Daljinska istraživanja: geoprostorne analize

Pozicije indikativnih geoloških tvorevina te položaj arheološkog lokaliteta zabilježeni su tijekom terenskih istraživanja. U svrhu analize prostorne distribucije geoloških tvorevina i arheoloških nalaza u odnosu na reljefne značajke položaja Kalinovac – Hrastova greda izrađen je digitalni model reljefa. Podaci za generiranje digitalnog modela reljefa prikupljeni su iz zračnih snimki putem programa Google Earth Pro. Za izradu modela korišten je softver Quantum GIS (QGIS 2.18.), a primjenjena je Kriging metoda (*Simple kriging*) interpolacije točaka. Na temelju digitalnog modela reljefa izvedene su dodatne analize hidroloških i geomorfoloških značajki prostora proučavanja kako bi se jasnije razumjele okolnosti formacije močvarne rude, položaja i fizionomija ležišta. Potonje podrazumijevaju izračun i vizualizaciju topografskog indeksa vlažnosti (*TWI – Topographic wetness index*), potencijala akumulacije oborinskih voda (*Flow Accumulation*) te izdvajanje zatvorenih depresija u krajoliku (*Closed Depression*) prema Wang i Liu (2006) te modulu Basic Terrain Analysis. Ove analize provedene su u softveru System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA GIS 2.3.2.), a

vizualizacija je upotpunjena korištenjem QGIS 2.18. U svrhu izražavanja potencijala pojave ležišta unutar istraženog prostora, površinski vidljive pojave faza razvoja močvarne željezne rude su kategorizirane prema odmaklosti razvoja (crveno tlo – konkrecije – fragmenti) te je izrađena vizualizacija prostorne zastupljenosti.

### 3.1.2.3 Analiza uzoraka

Uzorci tla, konkrecija i fragmenta rude (prikupljeni iz ležišta), analizirani su makroskopski, mineraloški i kemijski. Prethodno objavljeni mineraloški i geokemijski podaci uzoraka tla i konkrecija močvarne željezne rude (Brenko et al. 2020; 2021) koriste se za usporedbu razvojnih faza rude.

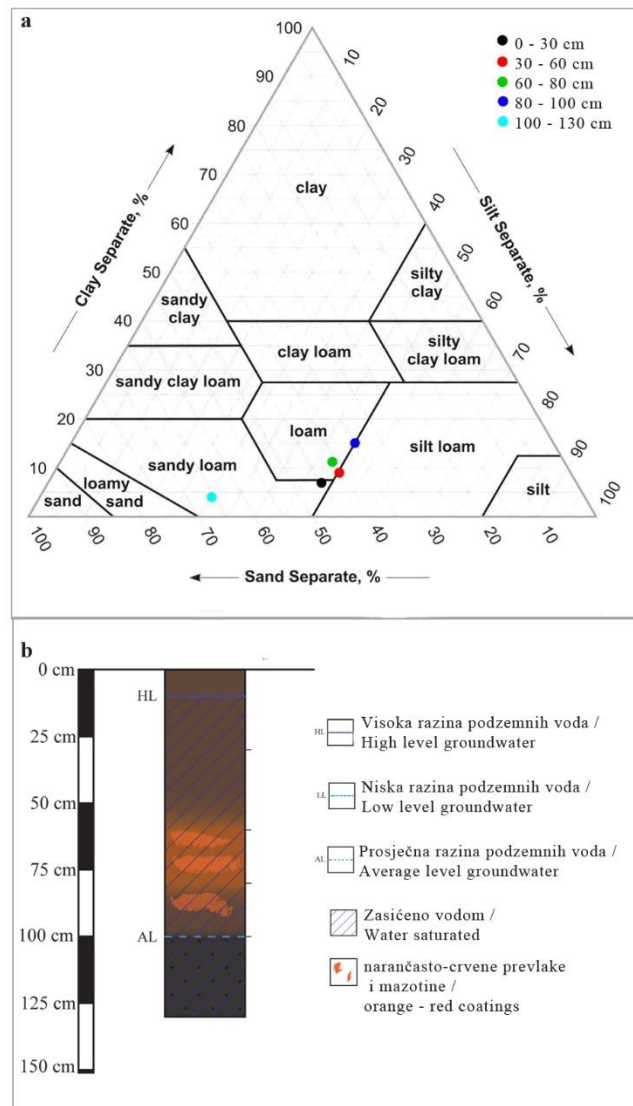
### 3.1.2.4 Svojstva razvojnih faza močvarne željezne rude

Granulometrijska analiza profila tla na lokalitetu Kalinovac – Hrastova greda (sl. 3.4: a) pokazuje da se uzorak tla klasificira između ilovače i siltozne ilovače, dok je u njegovom najdubljem intervalu zastupljena pjeskovita ilovača. Makroskopska analiza profila tla pokazuje prisutnost željeza koje se očituje kao narančasto–smeđe taložine i prevlake na česticama tla, u vidu mekih mazotina. Boja intervala tla zasićenog željezom očituje se kao narančasto – crvenkasta, a najveće koncentracije željeza zabilježene su na intervalu dubine 60 – 80 cm (Sl. 3.7: b), što je potvrdila i mineraloška te geokemijska analiza (Tab. 3.5–3.6: 1, 2). Mineraloška analiza pokazuje pojavu getita ( $\alpha$ -FeOOH) kao najzastupljenije mineralne faze, uz kvarc ( $\text{SiO}_2$ ), u intervalu dubine od 60 do 100 cm. Usporedba vrijednosti koncentracije željezovih oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) između uzorkovanih profila tla s niza položaja na prostoru Podravine pokazuje da se najviše izmjerene vrijednosti nalaze upravo na uzorku tla s položaja Kalinovac – Hrastova greda (Brenko et al. 2020),<sup>35</sup> a dosežu do 31,52 mas. % (interval dubine 60 – 80 cm). Interval dubine 60 – 100 cm zasićen getitom, odnosno s povišenim udjelima željezo (III) oksida može se dovesti u vezu s prvom razvojnom fazom močvarnih željeznih ruda, tzv. mekom, nestabilnom formom.

---

<sup>35</sup> Geološka istraživanja karakteristika tala na prostoru Podravine koja su za cilj imala utvrđivanje mogućnosti formiranja močvarne željezne rude ukazuju da na položaju Kalinovac – Hrastova greda postoji najveća vjerojatnost (neo)formacije močvarnih željeznih ruda. Ukupno je makroskopski analizirano 34 profila sa šireg područja Podravine, a dodatne geokemijske i mineraloške analize izvedene su na šest profila s najvećim potencijalom pojave znakova orudnjenja (Brenko et al. 2020).





Slika 3.7. a) granulometrijska klasifikacija profila tla na lokalitetu Kalinovac – Hrastova Greda, trokomponentni dijagram prema klasifikaciji Ministarstva poljoprivrede Sjedinjenih Američkih Država (USDA), b) shematski prikaz profila tla na položaju Kalinovac – Hrastova greda (modificirano prema: Brenko et al. 2020: fig.3) (izrada: T. Brenko i T. Karavidović, 2021).

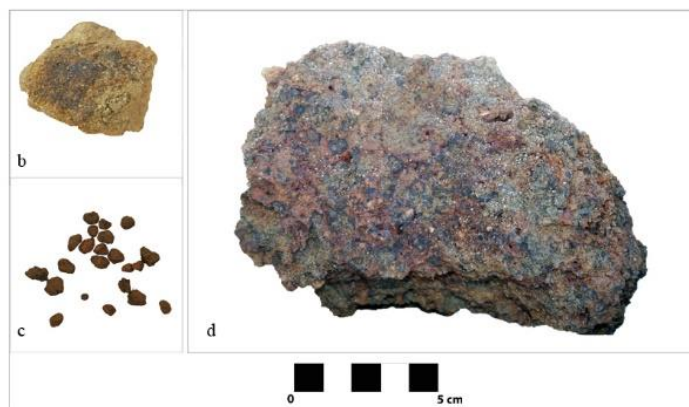
Konkrecije pronađene na izoranoj površini uobičajeno su blago nepravilnog globularnog oblika, promjera 0.3 – 2 cm, crvenkaste do smeđe boje, (Sl. 3.8: b; Tab. 3.5: 3). Konkrecije se ističu od tla unutar kojeg su pronađene po svojoj tvrdoći, što se može dovesti u vezu s uznapredovalim procesom cementacije Fe oksihidroksidima (Brenko et al. 2021). Mineraloška analiza ponovno ukazuje na getit kao glavnu željezovitu mineralnu fazu, kvarc te u manjoj mjeri na plagioklase i ortoklas, kao tipične minerale tla (Tab. 3.5: 3). Maseni udio  $Fe_2O_3$  iznosi 36,02% što je nešto više no u najzasićenijem intervalu uzorka profila tla (tab. 3.6: 3). Ove

geološke tvorevine mogu se dovesti u vezu s drugom razvojnom fazom močvarnih željeznih ruda, tzv. prijelaznom fazom.

Na prostoru površinske koncentracije fragmenata močvarne željezne rude iskopana je geoarheološka sonda s ciljem definiranja potencijalnog ležišta. Na dubini 10 – 15 cm ispod površine otkriven je dio mehanički razorenog ležišta s vidljivim tragovima pluga (Slika 3.5:e). Veći komadi močvarne rude ležali su koncentrirani u rahlom, izoranom sloju, djelomično dislocirani od primarnog depozita. Kako bi se dokumentirao ostatak potencijalnog ležišta, iskopana je manja sonda do dubine od 100 cm. Ispod oranog sloja (0 – 40/50 cm) bio je vidljiv tanji, neravnomjerno debeo sloj lećastog presjeka (dubine 50 – 55/70 cm, 5 – 20 cm debljine) blago zasićen sitnim koncentracijama željezovitih nakupina, meke strukture i kuglastog oblika. Ova tvorevina predstavlja dno depozita, nad kojim je bio čvršće formirani sloj močvarne željezne rude razoren agrarnim aktivnostima i dubokim oranjem. Ispod potonjeg sloja, nalazi se glinoviti, žuti sloj s vrlo sporadično vidljivim mekim kuglastim tvorevinama narančasto – crvene boje i sivo–plavičastim mikrozonama, a prostire se na dubini od oko 70 – 100 cm (najveća iskopana dubina). Fragmenti močvarne željezne rude, makroskopski se mogu okarakterizirati kao konglomerat pojedinačnih globularnih konkreција (Sl. 3.8: d; Tab. 3.5 – 3.6: 4). Boja konglomerata varira od oker do crvenkasto smeđe s tamnijim smeđim dijelovima. U uzorcima su vidljive nakupine pijeska, i manjeg šljunka te tla/gline. Struktura je djelomično porozna, no ulomke odlikuje određena razina čvrstoće te su lomljivi tek pod jačim, mehaničkim pritiskom. Iz izgleda i položaja nakupine ulomaka razorenih oranjem, moguće je zaključiti da se radilo o sloju čvršće formirane močvarne željezne rude, debljine oko 15 – 20 cm. Iz ovog depozita prikupljeno je oko 150 kg rude. Iako je otvorena sonda na širem području oko ostataka razorena ležišta, dodatni tragovi *in situ* depozita nisu prepoznati. Mineraloška analiza uzorka rude ukazuje na najveću zastupljenost getita, kvarca i plagioklasa, te minerala glina u tragovima (Tab. 3.5: 4). Geokemijska analiza glavnih oksida pokazuje udio  $Fe_2O_3$  od 35,56 % (Tab. 3.6: 4). Zadnju razvojnu formu močvarnih željeznih ruda karakteriziraju masivni, čvrsti slojevi koji teku u kontinuitetu ili se javljaju isprekidano, čemu bi se prema strukturi i pojavi u tlu mogli pripisati fragmenti pronađeni na položaju Kalinovac – Hrastova greda.



a



b

c

d

0 5 cm



e

Slika 3.8. Indikativne tvorevine i močvarna željezna ruda: a) izorano tlo crvene boje, b) željezovita pedotvorevina – pjeskovita konkreција sa željezovitim matriksom (tab. 3.5–3.6: 5), c) globularne konkreције – druga razvojna faza močvarne željezne rude (tab. 3.5–3.6: 3), d) grumen močvarne željezne rude prikupljen iz razorenog ležišta – treća razvojna faza (tab. 3.5–3.6: 4), e) tragovi plugom razorenog ležišta močvarne željezne rude, vidljivi neposredno ispod površine humusnog sloja i djelomično u njemu (fotografija i digitalna obrada: T. Karavidović, 2021).

Tablica 3.5. Fizička obilježja i rezultati mineraloške analiza uzoraka razvojnih faza močvarne željezne rude (XRD). + – relativni sadržaj minerala (kvantitativna vrijednost nije pridružena); +++ glavna komponenta, ++ sporedna komponenta; + komponenta u tragovima.

Uzorak	Faza razvoja močvarne rude	Boja	Struktura	Konzistencija	Qtz	Gt	Pl	Or	CM	AM
1	tlo (dub. profila 80 - 100 cm)	naračasto – crvenkasto	ilovasto tlo s narančasto-crvenim prevlakama i mazotinama, plavičaste, sivozelene mikrozone	mekano s tvrdim praškastim mazotinama	+++	+	+		+	+
2	tlo (dub. profila 60 - 80 cm)	naračasto – crvenkasto	ilovasto tlo s narančasto-crvenim prevlakama i mazotinama	mekano s tvrdim praškastim mazotinama	++	++	+		?	+
3	konkrecije	smeđe, crvenkasto	hrapava vanjska površina, homogena masa, gusto	tvrd, lomljivo pod jačim pritiskom, rukom	+++	+	+	+	+	+
4	fragmenti	oker, smeđe, crvenkasto, sivo - kapilarno	hrapava vanjska površina, heterogeni kompozit - globularne	tvrd, lomljivo pod jačim pritiskom, rukom	+++	++	+	+	+	+
5	pjeskovita konkrecija s željezovitim matriksom	vanjština - oker, presjek - tamno sivo, smeđe	hrapavi sloj pijeskovite okorine, središte - nepravilna homogena nakupina	lomljivo pod jačim mehaničkim pritiskom, mrvi se okorinski dio	+++	+	+	+		

Tablica 3.6. Rezultati kemijske analize uzoraka razvojnih faza rude (ICP – AES). Vrijednosti izražene u u masenim udjelima (%) za okside, TIC, TOC.

Uzorak	Faza razvoja močvarne rude	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	TIC	TOC	Total
1	tlo	63,38	0,44	7,34	14,43	0,67	0,1	0,83	0,92	0,97	0,38	0,03	0,02	9,03	0,04	0,64	98,52
2	tlo	50,75	0,38	6,82	27,93	0,68	0,31	0,83	0,85	0,9	0,31	0,04	0,02	9,27	0,04	0,66	99,07
3	konkrecija	38,46	0,32	5,67	36,02	0,47	2,89	0,72	0,72	0,69	0,54	0,3	0,04	11,49	0,03	0,61	98,3
4	fragment	43,26	0,27	5,05	35,56	0,49	1,54	0,72	0,64	0,55	0,93	0,14	<0,01	11,74	/	/	100,91

Geokemijski, sva tri uzorka razvojnih faza imaju sastav tipičan za močvarne željezne rude, a glavne komponente u izmjenjivim omjerima čine željezo (III) oksid i silicijev dioksid.

Pri terenskom pregledu prikupljeni su i uzorci amorfnih prirodnih tvorevina, čija je vanjska površina pjeskovite strukture, a unutrašnjost crvenkasto – crna i kompaktna, relativno porozna, no bez naznaka kugličastih tvorevina u strukturi. Mineraloški, ove pedotvorenine karakterizira nizak udio getita te visok udio kvarca. U tragovima se pojavljuju minerali gline (ilit) i minerali iz skupine feldspata/plagioklasa. Ove nakupine u sastavu sadržavaju getit tipičan za močvarne željezne rude, no u značajno manjoj količini nego uzorci konkrecija i fragmenata definirani kao razvojne faze močvarne željezne rude.<sup>36</sup>

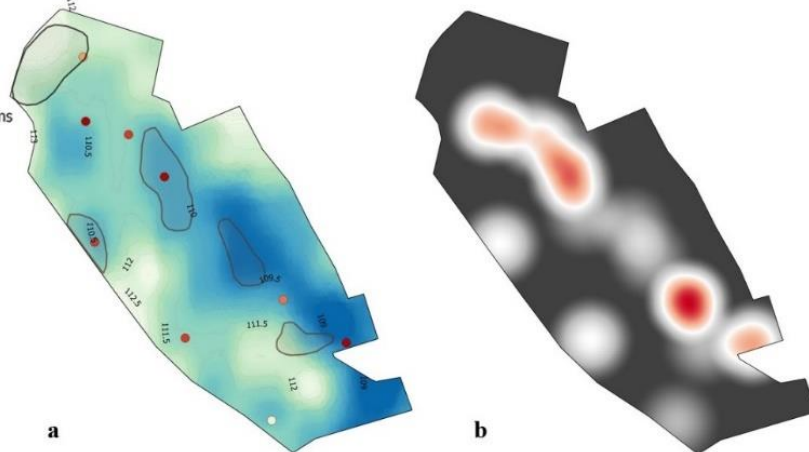
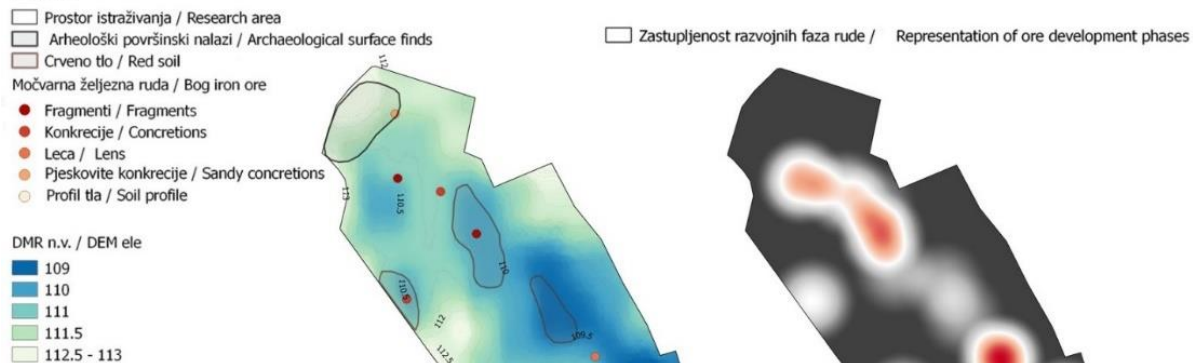
### 3.1.2.5 Prostorna distribucija geoloških tvorevina i položaj arheološkog lokaliteta

Površinski nalazi geoloških tvorevina koje označavaju faze razvoja močvarne željezne rude i istraženo ležište nalaze se u plitkim potolinama (Karta 3.3: a). Uzorci željezovitih pedotvorenina pronađeni su na padini blagog pjeskovitog uzvišenja. Pojedine mikrolokacije unutar depresija pokazuju veći intenzitet površinske pojave razvijenijih faza formacije rude (Karta 3.3: b). Arheološki lokalitet metalurškog karaktera, čiji je položaj i obim definiran kroz površinski terenski pregled, geofizička istraživanja i iskopavanja, rasprostire se po ocjeditom uzvišenju, niskoj pjeskovitoj gredi (Karta 3.3: a), na položaju zaštićenom od plavljenja u scenarijima svih vjerojatnosti (Prilog 2: Sl. 7) te bez mogućnosti značajnije akumulacije oborinskih voda (karta 3.3: e). Topografski indeks vlažnosti pokazuje da je na prostoru plitkih potolina moguće očekivati izrazitiju zasićenost vlagom (karta 3.3: c). U reljefu položaja Kalinovac – Hrastova greda nalazi se više zatvorenih depresija, sličnih dubina i različita obima (karta 3.3: d). Potonje su ujedno prostori s najvišim indeksom vlažnosti. Pojedini, mahom najdublji dijelovi depresija imaju značajniju predikciju akumulacije oborinskih voda. Mogućnost akumulacije je vidljiva uz same rubove blagih uzvišenja, okružujući ih, ali u manjoj mjeri i na prostoru vrlo blago izdignutih područja (otjecanje vode).

---

<sup>36</sup> Ove tvorevine nisu cjelovito geokemijski analizirane, ali je napravljena analiza udjela Fe (180862 ppm = 18,086 % Fe = 25,86 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Iz mineraloškog i geokemijskog sastava vidljiva je jasna razlika u zastupljenosti željeza naspram uzoraka fragmenata močvarne rude prikupljenih iz ležišta.

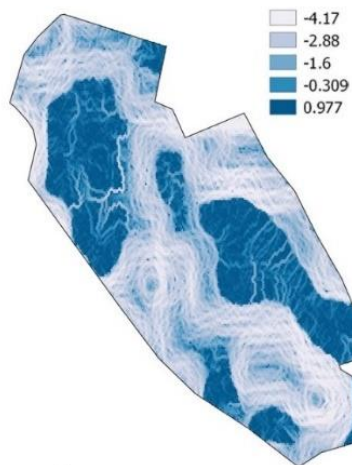
### Legend



a

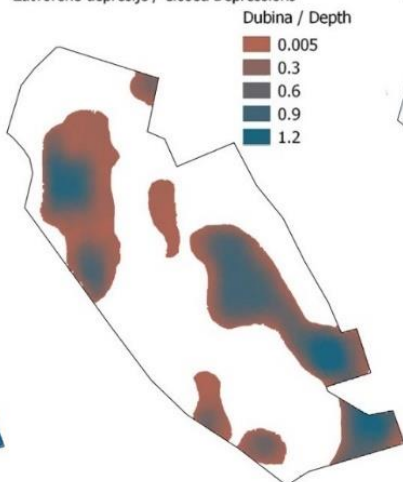
b

Topografski indeks vlažnosti / Topographic Wetness Index



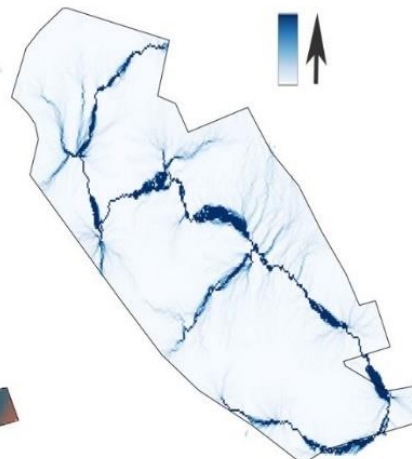
c

Zatvorene depresije / Closed Depressions



d

Flow Accumulation - Akumulacija vode - oborine



e

Karta 3.3.

- prostorna distribucija geoloških tvorevina i položaj arheološkog lokaliteta u odnosu na reljefne značajke položaja Kalinovac – Hrastova greda,
- intenzitet pojave indikativnih geoloških tvorevina, kategorizacija prema fazi razvoja,
- vizualizacija topografskog indeksa vlažnosti,
- vizualizacija zatvorenih depresija,
- vizualizacija potencijala za akumulaciju oborinskih

### 3.1.2.6 Prostor formiranja i fizionomija ležišta

Prisutnost različitih razvojnih faza, njihova široka prostorna distribucija i diskontinuitet pojave na istraženom položaju (karta 3.2: a) svjedoči da na nekoliko mikrolokacija trenutno postoje osnovni preduvjeti za razvojni proces močvarnih željeznih ruda i potencijalno više, prostorno odvojenih ležišta. U potpunosti formirani slojevi (treća razvojna faza), vjerojatno se stvaraju na pojedinačnim mikrolokacijama u formi leća čvrsto konsolidirane močvarne željezne rude ili isprekidanih slojeva različite debljine, ovisno o preduvjetima za akumulaciju željeza i formaciju rude u tlu. Trenutno nema indikacija da se ruda razvija u vidu neprekinutih, masivnijih slojeva kakav je slučaj kod nekih poznatih ležišta (Thelemann et al. 2017: 478 i pripadajuće reference). Prirodni preduvjeti nastanka ovakvog tipa ležišta, povezani su s tokovima podzemnih voda, njihovom oscilacijom te geomorfologijom ove prostorne mikrocjeline. Oscilacija razine podzemne vode kroz hidrološku godinu i njena visina bitan su faktor pri nastanku močvarnih željeznih ruda, a idealne preduvjete za akumulaciju željezne rude u tlu čini kontaktna zona na kojoj se razina podzemne vode mijenja, odnosno močvarno tj. nizinsko vlažno područje koje periodično poplavljuje (Werońska 2009: 24). Prosječna dubina razine podzemne vode na profilu tla Kalinovac–Hrastova greda je oko 100 cm, a najplića dubina do 10 cm ispod površine tijekom razdoblja visokih podzemnih voda (Brenko et al. 2020: fig. 3) zahvaćajući time humusno – akumulativni horizont (sl. 3.7: b). Analiza profila tla ukazuje na prisustvo i najveću zasićenost s getitom u intervalu dubine od 60 do 80 cm te nešto nižu u slijedećem intervalu do 100 cm dubine (tab. 3.5–3.6: 1, 2), dok je iz stratigrafije slojeva razorenog ležišta moguće zaključiti da su čvrsti slojevi močvarne rude bili formirani na dubini oko 30 – 50/70 cm, a u dubljim slojevima, makroskopski su prepoznati sporadični tragovi željezovitih nakupina (do maksimalno 100 cm dubine). Oba podatka potvrđuju da se zona formiranja nalazi na dubini 30 – 70 cm, do maksimalno 80/100 cm dubine unutar koje i podzemne vode najizraženije osciliraju tijekom hidrološke godine (karta. 3.3: b). Ovakvi podaci poklapaju se s općim podacima u vezi sa zonom formiranja močvarne željezne rude (Stoops 1983; Kaczorek, Sommer 2003) te dubinom oksidacijskih (50 – 60 cm dubine) i reduktivnih uvjeta u tlu (zona ispod oksidacijske), ali i dubinom podzemne vode u odnosu na nadmorsku visinu terena u širem okruženju položaja Kalinovac – Hrastova greda (112 – 111 n.m.v. prema: Brkić, Briški 2018: Supl. 1). Ležišta močvarne željezne rude na području srednje i sjeverne Europe nalaze se na dubini od 20 do 60 cm (Thelemann et al. 2017: 480) što u načelu odgovara podacima dobivenim na položaju Kalinovac – Hrastova greda. Uzevši u obzir podatke dobivene sondiranjem razorenog ležišta,

moгуće je zaključiti i da su postojeća ležišta relativno tanki (15 – 20 cm), vjerojatno isprekidani slojevi lećaste forme.

O položaju potencijalnih ležišta svjedoči prostorna distribucija indikativnih geoloških tvorevina uočenih pri terenskom pregledu i sondiranju u odnosu na reljefne značajke (karta 3.3: a, c, d). Koncentracije tla zasićenog željezovim oksidima (crvena, rahla zemlja), kongrecija i fragmenata rude vidljivih na površini kao posljedica oranja dubljih slojeva te položaj istraženog ležišta, nalaze se na najnižim dijelovima terena, plićim i prostorno ograničenim pojedinačnim potolinama smještenim podno blagih uzvišenja, gdje je mogućnost plavljenja i zadržavanja vode najviša. Na ovim prostorima primjećena je stajaća voda i veća vlažnost površinskog tla dok se blage uzvisine mogu okarakterizirati kao ocjedite, s pjeskovitijim tlom. Prediktivno modeliranje topografskog indeksa vlažnosti (karta 3.3: c) u velikoj mjeri odgovara situaciji zatečenoj pri terenskom pregledu, iako algoritam ove analize u osnovi označava potencijal vlažnosti tla uzrokovan slijevanjem i zadržavanjem oborinskih voda, a vlažnost tla na položaju Kalinovac – Hrastova greda može biti uzrokovana i visinom podzemnih voda naspram relativne dubine potolina odnosno nadmorske visine, obzirom da u razdoblju visokih voda dosežu humusno – akumulativni sloj. Pedološki, tlo je na cijelom promatranom prostoru položaja Kalinovac – Hrastova greda klasificirano kao močvarno glejno (Envi 2021) i kao takvo je pogodno za nastanak močvarnih ruda (Kaczorek, Zagórski 2007). Međutim, prostori na kojima se zadržava voda rezervirani su za plitke potoline na ovoj mikrolokaciji. Također, na gredama blago izdignutim iz krajolika tlo je pjeskovito i ocjedito te podzemne vode ne dosežu površinske slojeve, stoga ovi položaji ne predstavljaju idealne okolišne uvjete za razvoj močvarnih željeznih ruda. Dodatnu potvrdu nepotpunih uvjeta za formaciju željezne rude na prostoru blagih uzvišenja čine i pedotvorevine pronađene na padinama (sl. 3.8: b; tab. 3.5: 5; karta 3.3: a). Obzirom na sastav i nešto viši položaj pronalaska uz rubove blagih uzvišenja, mogućnost taloženja je vrlo vjerojatno smanjena zbog niske razine utjecaja podzemnih voda te vrste okruženja, tla. Prostorna distribucija indikativnih geoloških tvorevina pronađenih na površini tla pokazuje određene pravilnosti te može svjedočiti i o potencijalu prostora za razvoj rudnih ležišta (karta 3.3: a, b). Najviši potencijal, pretpostavljen obzirom na prisutnost uznapredovale faze razvoja (fragmenti), imaju dijelovi plitkih depresija čiji se vrh nalazi na nadmorskoj visini nešto višoj ili istovjetnoj s gornjom granicom zone fluktuacije podzemnih voda, vidljivoj na uzorku profila tla (sl. 3.7: b; karta 3.3: a, b). Potonje se može dovesti u vezu s preduvjetima za taloženje željeza i procesom razvoja močvarne rude. Pretpostavljena kontinuirana prisutnost u



dubljim dijelovima depresija dovodi do pojave reduktivnih uvjeta u tlu, pri čemu je  $\text{Fe}^{2+}$  mobilno, te nisu ostvareni idealni preduvjeti za značajnije taloženje željeza.

Lećasti ili gnjezdoliki tip ležišta, prema primjeru široko rasprostranjenih ležišta u Europi, uobičajeno se pojavljuje na vlažnim nizinskim prostorima (Zwahr et al. 2000: 83, sl. 7; Banning, 2008; Werońska 2009: 27), dok se neprekinuti horizonti rudnih naslaga javljaju najčešće na pjeskovitim rubovima vlažnih depresija (Zwahr et al. 2000: 83, sl. 7; Thelleman et al. 2017: 476; Kaczorek, Sommer 2003). Na položaju Kalinovac – Hrastova greda moguće je izdvojiti više pojedinačnih depresija zatvorenog tipa, različitih dimenzija odnosno volumena, ali prilično ujednačene nadmorske visine i odnosa naspram uzvišenja (karta 3.3: d). Obzirom da su na ovim prostorima ostvareni svi teoretski preduvjeti razvoja a površinski su prisutni i indikativni elementi, moguće je zaključiti da bi potencijalne leće močvarne rude mogle biti različitog obima, a pojavljivale bi se isprekidano unutar određene reljefne mikrocjeline. Razlike u dubini i obliku depresija mogle bi upućivati na razlike u fizionomiji ležišta, prvenstveno obliku i debljini sloja rude. Širi prostor Podravine, poglavito longitudinalna zona (SZ – II) druge dravske terase, geomorfološki je vrlo sličan promatranom položaju Kalinovac – Hrastova greda, a u krajoliku dominiraju niska uzvišenja među potolinama i starim rukavcima rijeke Drave te se dinamično izmjenjuju zamočvarena i ocjedita područja. Iz tog razloga moguće je očekivati slične mehanizme formiranja rude, izgled i položaje ležišta diljem regije, iako nije isključeno postojanje drugih tipova ležišta močvarne rude poput neprekinutih horizonata i/ili sekundarnog nanosa, depozita pri dnu jezera kakav je poznat na prostoru regije Somogy (Thiele, Kercsmar 2014, jezero nedaleko mjesta Petesmalon, Republika Mađarska).

### 3.1.2.7 Mehanizam formiranja i svojstva močvarne željezne rude

Močvarne željezne rude su sedimentni tip depozita koji se pojavljuje na nizinskim područjima okarakteriziranim s močvarama, livadama i riječnim dolinama kod kojih je razina podzemnih voda u neposrednoj blizini površine tla (Stoops 1983; Stanton et al. 2007: 693–694; Ramanaidou, Wells 2014). Riječ je o kopnenim naslagama željezovitih minerala, poglavito Fe oksida i hidroksida, a često se formiraju u hidromorfnim, ilovastim, pjeskovitim i glinovitim aluvijima i tlu (De Geyter et al. 1985; Landuydt 1990). Pogodno pedološko okruženje za formiranje ovog tipa ruda čine glejna tla u asocijaciji s aluvijalnim pijescima (Kaczorek, Zagórski 2007) s promjenjivim redoks potencijalima i stalnim protokom vode obogaćene s  $\text{Fe}^{2+}$  ionima (Graupner 1982; Kaczorek et al. 2004). Prirodni preduvjeti na položaju Kalinovac – Hrastova greda, ali i u širem prostornom kontekstu područja Podravine, pogodni su za razvoj

močvarnih željeznih ruda kakve su iskorištavane u prošlosti (Sekelj Ivančan, Marković 2017; Brenko et al. 2020; 2021).

Sastav močvarne željezne rude uvelike ovisi o kemijskom sastavu matičnog supstrata, na što utječu geološki i hidrološki čimbenici, te protok materijala zbog fluktuacije podzemnih voda. Mineralogija močvarnih željeznih ruda može biti raznolika zbog promjenjivih fizikalno–kemijskih uvjeta i redoks potencijala. Zbog sezonskih oscilacija visine podzemnih voda, u tlu se izmjenjuju vlažna i sušna razdoblja, stvarajući oksidacijsku zonu u plićem intervalu profila tla, od 50 do 80 cm dubine, i redukcijsku zonu u dubljim dijelovima profila tla (Stoops 1983; Kaczorek, Sommer 2003). Močvarne rude prvenstveno se sastoje od amorfnih i kristalnih Fe oksihidroksida (uglavnom getita,  $\alpha$ -FeOOH),<sup>37</sup> nastalih u oksidacijskim uvjetima, te željeznih karbonata (siderit, FeCO<sub>3</sub>), fosfata (vivianit, Fe<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 8H<sub>2</sub>O) i sulfata (pirit, FeS<sub>2</sub>), nastalih u redukcijskim uvjetima (Stoops 1983; De Geyter et al. 1985; Banning 2008: 642; Werońska 2009: 30–34; Kaczorek, Sommer 2003; Rzepa et al. 2016). Prisutnost getita kao glavne mineralne faze i izostanak sulfata, fosfata i pirita kod fragmenata i konkrecija rude s položaja Kalinovac – Hrastova greda svjedoči da su dominantni uvjeti pri formaciji rude oksidacijski. Prema analiziranom profilu tla ovakvi uvjeti najviše se ostvaruju u zoni od 60 – 80 cm dubine, gdje je zasićenost getitom najveća, a vizualno je primjetna intenzivnija pojava narančasto – crvenih mazotina, znakova oksidacije željeza i promjenjivih redoks uvjeta uslijed oscilacije visine podzemnih voda (Husnjak 2014: 257). Ovakvi uvjeti mogu se pretpostaviti za sve rude pronađene na području Podravine u arheološkom i geološkom kontekstu (Tablica 3.1. – 3.2., slika 3.1), obzirom na konzistentnu pojavu getita i izostanak minerala koji bi upućivali na razvoj pri redukcijskim uvjetima. Analiza profila tla uzduž Podravine, pokazala je na slične, relativne dubine pojave slojeva zasićenih getitom i to na profilima s položaja Novigrad Podravski i Imbriovec – Berek na dubini 25 – 100 cm (Sekelj Ivančan, Marković 2017: 150; Brenko et al. 2020).

Analiza sastava močvarnih ruda s prostora srednje i sjeverne Europe, prisutnih u arheološkom kontekstu i izvan njega (Joosten et al. 1998: 132, Tab.1; 2004: 116, 66, Tab.13; Kaczorek, Sommer 2003: 396–397; Sitschick et al. 2005: 120–121, 124–125, Tab.1; Thelemann et al. 2017: Tab 4. i 1.; Charlton et al. 2010: Tab.3) pokazuje da zastupljenost Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> većinom varira između 35 i 50 % ukupne mase uzorka, no pojedini primjeri sadrže i znatno niže ali i vrlo visoke udjele koji mogu doseći i oko 95 % ukupne mase. Maseni udio Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kod uzorka rude izdvojene

---

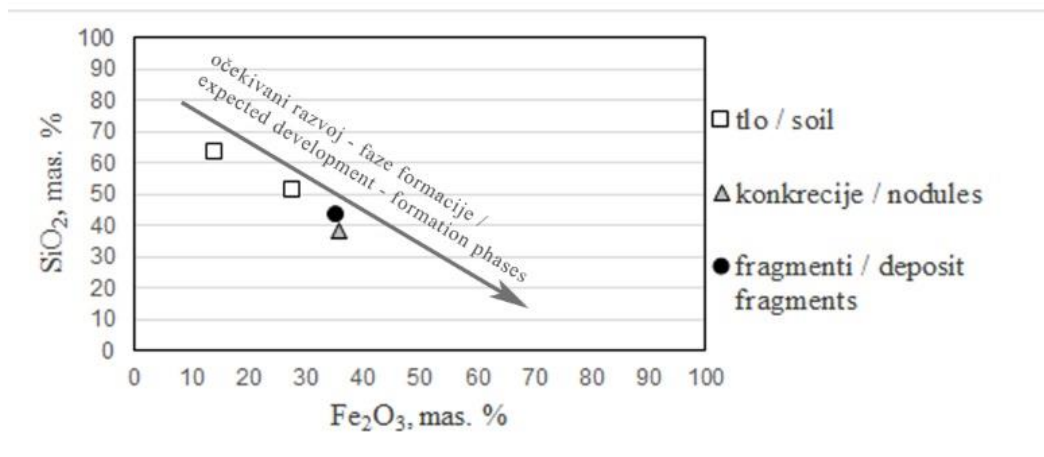
<sup>37</sup> Močvarne željezne rude mogu sadržavati i željezne okside: hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) te magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), što ovisi o izvorištu i uvjetima pri formiranju ruda (Banning 2008: 642).

iz razorenog depozita s položaja Kalinovac – Hrastova greda doseže 35,56 %, što ga svrstava na donju granicu udjela naspram analognih primjera s područja Europe, te se može smatrati rudom lošije kvalitete u smislu tehnološke iskoristivosti, kako u suvremenoj proizvodnji željeza tako i za tehnološka rješenja prisutna u arheološkim razdobljima. Potonji zaključak ne može se smatrati isključivim pravilom za rude s prostora Podravine, o čemu svjedoči širi raspon i varijabilnost udjela glavnih oksida kod oformljenih ruda i njihovih stadija razvoja pronađenih u arheološkom i/ili geološkom kontekstu, kod kojih udjeli  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sežu većinom od 37 do 49 % i rjeđe od 68 do 70% (Brenko et al. 2020; 2021).<sup>38</sup> Značajna varijabilnost udjela željeza u pojedinim rudama mogla bi se objasniti širokom prostornom distribucijom uspoređenih uzoraka te kompleksnim mehanizmima formiranja koji su izrazito ovisni o mikrookolišnim uvjetima u tlu, odnosno neposrednim okruženjem u kojemu se formira ruda. Formiranje ležišta močvarne željezne rude traje nekoliko stotina do tisuća godina (Banning 2008), što ih svrstava u brzoformirajuća ležišta. Prema nekim studijama močvarne željezne rude su obnovljiv resurs, te je proces obnavljanja ležišta moguć tijekom 8 – 10 i/ili 25 godina (Ramanaidou, Wells 2014: 343), dok kod drugih ležišta takva regeneracija nije uočena (Thelemann et al. 2017: 479). Stoga se postavlja pitanje predstavlja li ležište pronađeno na položaju Kalinovac – Hrastova greda neoformaciju i u kojoj mjeri je ruda prošla kroz razvojni proces te postoje li optimalni preduvjeti za neometan razvoj. Formativni proces močvarnih željeznih ruda u osnovi ima tri razvojna stadija, koji sežu od meke nestabilne forme do čvrstih konkretnih slojeva. Činjenica da su sve tri razvojne faze močvarne željezne rude utvrđene u neposrednoj blizini na položaju Kalinovac – Hrastova greda govori u prilog da je proces formacije rude moguć i aktivan u suvremenom krajoliku. Međutim, da bi se močvarna željezna ruda u potpunosti razvila, niz prethodno spomenutih preduvjeta mora biti zadovoljen, a uvjeti u tlu stabilni. Osim fizičke evolucije u formi (meka nestabilna – tvrda stabilna), proces razvoja rude obilježava i izmjena odnosa udjela glavnih oksida vidljiva na geokemijskoj razini. Razvojem rude u pravilu je moguće očekivati primjetne razlike u udjelima dvaju glavnih oksida, željezovog i silicijevog. Tako će se kroz proces razvoja očitovati povećanje  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dok će se udio  $\text{SiO}_2$  snižavati (Brenko et al. 2021: 18, sl. 3; Thelleman et al. 2017: 478). Razlike u geokemijskom sastavu različitih faza formacije močvarne željezne rude mogu se pratiti na dijagramu regresije. Dva uzorka tla (tab. 3.6) imaju

---

<sup>38</sup> Raspon se odnosi na razlike u sastavu ruda koje nisu podvrgnute postupku prženja, a koji je prema mineraloškoj analizi nalaza rude iz arheoloških cjelina bio korišten kao priprema za taljenje tijekom promatranh arheoloških razdoblja (kasna antika i rani srednji vijek). Postupkom prženja udio željezovih oksida u pravilu se povećava te se ne može smatrati komparativnim materijalom. Ipak, kod uzoraka prženih željeznih ruda lokalnog podrijetla pronađenih u arheološkom kontekstu, zabilježene su znatno više i niže vrijednosti od spomenutih, uključujući uzorak s položaja Kalinovac – Hrastova greda (Tab. 3.3.: usp. K-HG).

najviše udjele  $\text{SiO}_2$  te najniže udjele  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . To se može dovesti u vezu s načinom formiranja močvarne željezne rude, gdje prva faza predstavlja tlo obogaćeno s Fe matriksom, te na taj način i sadrži djelomično povišen udio Fe (Brenko et al. 2021). Močvarne željezne konkrecije nastaju tijekom naprednijeg stadija cementacije Fe matriksom. Stoga se po fizikalnim svojstvima, poput tvrdoće, konkrecije i ističu od močvarno željeznog tla (tab. 3.5). Fragmenti, kao završna faza formiranja, nastaju aglomeracijom većeg broja konkrecija ili vrlo intenzivnom Fe cementacijom gdje dolazi do potiskivanja alumosilikatnog matriksa s Fe matriksom (Brenko et al. 2021). Stoga bi fragmenti trebali imati najveći udio  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , te najniži udio  $\text{SiO}_2$ . Prema rezultatima usporedbe odnosa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{SiO}_2$  (sl. 3.9.) između pretpostavljenih razvojnih faza, analizirani fragmenti iz razorenog depozita na položaju Kalinovac – Hrastova greda mogu se smatrati nepotpuno razvijenom rudom, to jest početnim stadijom zadnje faze (neo)formacije.



Slika 3.9. Dijagram regresije uzoraka močvarnog željeznog tla, konkrecija i fragmenta rude s položaja Kalinovac – Hrastova greda 1 – 3 (izradili: T. Karavidović i T. Brenko, 2021).

### 3.1.2.8 Promjene u krajoliku i njihov utjecaj na održivost ležišta

Stanje u kojemu je otkriven depozit i činjenica da su ostale razvojne faze pronađene na površini tla, svjedoči o inhibiciji razvoja i održanja ležišta. Uslijed dubokog oranja, ležište je razoreno i djelomično dislocirano iz primarnog položaja. Prema podacima prikupljenim pri sondiranju ležišta, sloj oranja dubok je 40/50 cm, što se u stručnoj terminologiji naziva dubokim oranjem (ili oranje s podrivanjem). Ovakav tip oranja, uz kombinaciju gnojiva te tehničke melioracijske mjere pogodno djeluje na uspješnost kultivacije i prinos kod određenih kultura na glejnim i psudeglejnim tlima (Butorac et al. 2000; Vukadinović, Vukadinović 2011: 57—58) kakva su prisutna na prostoru donje Podravine, i položaju Kalinovac – Hrastova greda. Međutim, osim neposrednih mehaničkih oštećenja ležišta suvremenim metodama poljoprivredne obrade zemljišta, druge melioracijske mjere te čimbenici poput eksploatacije rude i klimatske promjene

moгу onemogućiti formaciju močvarnih ruda ili degradirati postojeće depozite (Kaczorek, Sommer 2003: 400–401; Sticksick et al. 2005; Puttkamer 2012; Thelemann et al. 2017: 479). Na širem prostoru Podravine, time i položaju Kalinovac – Hrastova greda, upravo su spomenuti antropogeni utjecaji prisutni kroz povijesna, ali i arheološka razdoblja. Eksploatacija lokalne močvarne željezne rude posredno je dokumentirana nalazima rude na arheološkim lokalitetima u okolici sela Virje i Hlebine (tab. 3.1.) (Karavidović 2020a; Brenko et al. 2021), a na položaju Kalinovac – Hrastova greda moguće ju je pretpostaviti obzirom na karakter istraženog arheološkog lokaliteta. Podravina je danas uglavnom poljoprivredna regija, što je omogućeno kroz niz melioracijskih mjera primjenjenih u proteklim stoljećima. Poznati su rani primjeri krčenja šuma u svrhu stvaranja obradivih zemljišta iz 17.–19. st. (Feletar 1989: 279; Petrić 2012: 64–69), a intenzivni hidroregulacijski radovi započeli su u 19. st. te se od tada dinamično primjenjuju (Slukan–Altić 2002: 130–132; Petrić 2013; Petrić et al. 2019: 110–119). Najznačajniji utjecaj na okoliš vjerojatno je iniciran izgradnjom hidroelektrana na gornjem toku rijeke Drave. Posljedica rada hidroelektrana je postepeno smanjenje razine vode (površinske i podzemne), sužavanje vodene površine korita Drave i povećanje plavne doline, isušivanje pritoka, smanjenje učestalosti pojave i trajanja poplava kao i pojačana erozija (Kiss, Andrašić 2019: 163–166, 172–173).<sup>39</sup> Za očekivati je da su kontinuirane i intenzivne promjene koje utječu na dinamiku i stabilnost uvjeta u tlu značajno utjecale i na razvoj te održivost ležišta močvarne željezne rude, o čemu osim stanja ležišta na položaju Kalinovac – Hrastova greda, može svjedočiti i malobrojnost te široka prostorna distribucija površinski prikupljenih uzoraka rude diljem Podravine (karta 3.1).

### **3.1.3 Rudarenje**

#### **3.1.3.1 Metode i područja eksploatacije**

Genetska, geokemijska veza između ruda pronađenih u kontekstu radionica za proizvodnju željeza na prostoru Podravine i geoloških uzoraka iz terenskog pregleda, neupitno je pokazala da su se za proizvodnju željeza tijekom kasne antike i ranoga srednjeg vijeka koristile rude lokalnog/regionalnog podrijetla (Brenko et al. 2021). Prema primjeru pretpostavljenih prostora ležišta na položaju Kalinovac – Hrastova greda, slojevi rude su isprekidano rasprostranjeni unutar prirodnih depresija, stoga je metoda eksploatacije tijekom arheoloških razdoblja mogla podrazumijevati kopanje plićih jama (50 – 100 cm ili pliće), rovova ili kanala nepravilnog oblika. Sudeći prema geomorfologiji ove mikrolokacije i varijabilnim dimenzijama depresija,

---

<sup>39</sup> Ovi zaključci temelje se na istraživanju užeg područja između mjesta Botovo i Gola, oko 13 km dugom prostoru rijeke Drave i njezine plavne nizine.

pojedinačna ležišta mogla su biti različitog obima pri čemu bi dugoročna eksploatacija podrazumijevala iskope uzduž rudnog tijela. Ovakav način eksploatacije neće se nužno odraziti u arheološkom površinskom ili subpovršinskom zapisu kao sustav tlocrtno organiziranih, pravilnih ili jednoličnih oblika, već je mogao u značajnoj mjeri biti pod utjecajem rastera raspoloživih ležišta odnosno u slučaju pretpostavljenih mjesta na kojima se formira močvarna ruda, geomorfologije. Mogućnost regeneracije i/ili stvaranje novih ležišta u relativno kratkim vremenskim okvirima, ali i utjecaj intenzivnog ljudskog djelovanja na okoliš, može negirati ili izmijeniti tragove eksploatacije iz prošlosti, stoga ubikacija ležišta iskorištavanih u arheološkim razdobljima predstavlja značajan izazov. Međutim, primjena modela prostora pojave ležišta na Kalinovcu na širi kontekst krajolika Podravine u kojemu su prisutni arheološki lokaliteti s tragovima proizvodnje željeza pokazuje određene pravilnosti. Na temelju geomorfoloških karakteristika prostora oko lokaliteta na položaju Kalinovac – Hrastova greda, ali i ostalih lokaliteta sličnog karaktera na tlu Podravine, na položajima Virje (Volarski breg i Sušine) te Hlebine (Velike Hlebine), moguće je pretpostaviti da su izvorišta rude mogla biti u neposrednoj blizini radionica za proizvodnju željeza datiranih u kasnu antiku i rani srednji vijek. Istražene radionice za proizvodnju i obradu željeza na prostoru Podravine, redovito su bile izdvojene iz naselja i pozicionirane uz rubove plavnih područja (Karta 2.2–2.3), odnosno na niska uzvišenja, okružena plitkim depresijama, potencijalnim prostorima formacije rude. Prisutnost željeza u tlu na položajima nedaleko lokaliteta Volarski breg i Sušine te Hlebine – Velike Hlebine potvrđena je i ranijim istraživanjima (Sekelj Ivančan, Marković 2017; Brenko et al. 2020). Odabir položaja radionica i smještaj izvan naselja mogao je biti uvjetovan blizinom i lakom dostupnošću osnovnih sirovina, rude ali i drva.

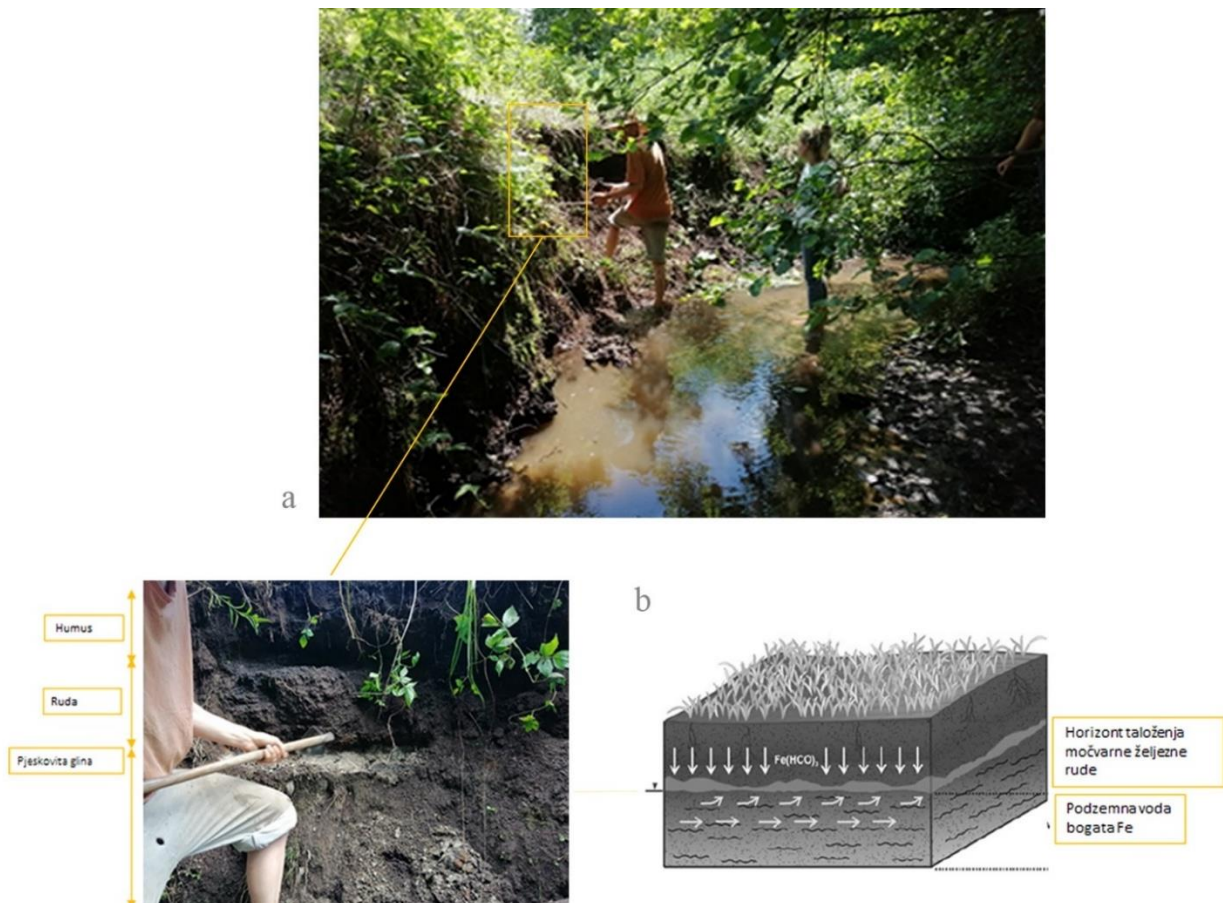
### 3.1.3.2 Prepoznavanje ležišta u krajoliku

Prepoznavanje ležišta u krajoliku u prošlosti se moralo oslanjati na reljefne, hidrološke, pedološke i vegetacijske pokazatelje. Obzirom na vrstu i intenzitet čovjekovog utjecaja kroz protekla stoljeća moguće je pretpostaviti značajne promjene okoliša u vidu smanjenja areala pokrivenosti šumskom i močvarnom vegetacijom, učestalosti i režimu plavljenja te snižavanju razine podzemnih voda (Kevey 2019: 330; Slukan Altić 2002; 2003). Posredno, ovakve promjene utječu i na mikroklimatske uvjete koji osiguravaju daljnje promjene u vrsti i prostoru rasprostiranja određenog tipa vegetacije. Iz istog razloga, elementi prepoznavanja ležišta prisutni u suvremenom krajoliku tek su relativno referentni za diskusiju o eksploataciji u prošlosti. Ipak, pojedine okolišne konstante poput mehanizma i područja formiranja ruda mogu dati uvid u način pronalaska ležišta u prošlosti. Ležišta ruda pojavljuju se unutar depresija gdje

podzemne vode dosežu humusno akumulativni horizont, stoga bi periodično plavljenje i nakupljanje oborinskih voda te potoline u reljefu mogle bi biti jedan od prostornih markera postojanja ležišta močvarne rude i u prošlosti (slika 3.10). Također, otvoreni profili slojeva tla uz rubove korita potoka i /ili rukavaca rijeka mogli bi predstavljati jednu od opcija prepoznavanja depozita u nizinskom krajoliku riječnih dolina. Ovakva situacija prepoznata je pri ubikaciji ležišta rude korištene za eksperimentalno testiranje (Karavidović 2020a; 2020b), na prostoru zaštićenog prirodnog rezervata na prostoru regije Somogy, Republika Mađarska (Sl. 3.11.).



Slika 3.10. a) pogled na lokalitet Virje – Volarski breg (Sonda 1), b) okoliš nedaleko lokaliteta Virje Volarski breg i Sušine, povremena/sezonska plavljenja (fotografija: Tajana Sekelj Ivančan)



Slika 3.11. a) Ležište močvarne željezne rude prepoznato uz rub korita potoka, potok Aranyos, u blizini Libickozma–e, Somogy regija, Republika Mađarska (fotografija: Tena Karavidović, Mario Bodružić), b) shematski prikaz mehanizma taloženja močvarne željezne rude u tlu (prema: Werońska 2009)

Samonikla vegetacija, jedan od glavnih čimbenika raspoznavanja tla zasićenog željezom i potencijalnih depozita (Thelleman et al. 2017), u suvremenom krajoliku negirana je kontinuiranim poljoprivrednim aktivnostima u blizini arheoloških lokaliteta, i općenito na prostoru današnje Podravine. Iako suvremeni mehanizmi prepoznavanja prostora depozita putem vegetacijskih pokazatelja kod usjeva (kukuruz) na lokalitetu Kalinovac –Hrastova greda (Prilog 2) nisu doslovni odraz pojava kakve su mogle postojati u prošlosti, neke zaključke ipak je potrebno sagledati kao okolišno uvjetovane poveznice, svojevrsne konstantne utjecaje prirodnih odlika krajolika. U potonjoj analizi (Prilog 2) prepoznat je kumulativni utjecaj zasićenosti tla vlagom te tla i podzemnih voda željezom na ritam rasta i razvoja kao i boju postojeće vegetacije (usjeva). Zasićenost tla željezom u slojevima potencijalnog razvoja ruda ali i mekoti iznad tih položaja prelazi granicu toksičnosti za bilje, iako nije primjećen značajan negativan efekt. Obzirom na inhibiciju razvoja ruda i snižavanje razine podzemnih voda u



odnosu na prošlost, moguće je da je utjecaj željeza i apsorpcija kod biljaka bila značajnija tijekom arheoloških razdoblja. U tom smislu, pojava određene vrste vegetacije ili poremećaja suviška željeza u tkivu biljke koji se odražava u boji lišća i korjenja mogao je biti indikator postojanja ležišta. Suvišak željeza nije učestala pojava, te se događa u vrlo kiselim, slabo prozračenim tlima. Negativan utjecaj odnosno toksično djelovanje suviška željeza moguće je prepoznati kroz inhibiciju vegetacijskog rasta te boju lišća i korjenja (tamnom, plavozelenom lišću i mrkoj boji korijena) (Vukadinović, Vukadinović 2011: 218). Prema analizi postojećih ležišta na područjima niže razine ljudske intervencije od prostora Podravine, mjesta depozita u okolišu bez poljoprivrednih aktivnosti, odnosno relativno neizmijenjenom okolišu odlikovalo bi izrazito vlažno tlo s pripadajućom hidrofilnom vegetacijom u kojoj dominiraju trave, te potencijalno karakteristično crvenkasto – smeđi film na površini u obližnjim vodotocima i/ili rukavcima rijeka (Stanton et al. 2007: 710; Theleman et.al. 2017: 480).<sup>40</sup>

Optimalno vrijeme prospekcije za rudom također je element koji je mogao igrati ulogu u prošlosti. Prema studiji vegetacijskih pokazatelja u suvremenom krajoliku (Prilog 2), oni se izrazitije očituju tijekom razdoblja rasta i razvoja vegetacije, u slučaju usjeva kukuruza proljeća i ranog ljeta.<sup>41</sup> Vrijeme ranog proljeća je razdoblje značajnijih oborina, dizanja razine Drave i podzemnih voda te poplavlivanja (Feletar, Feletar 2008: 134), kada bi načelno i drugi indikatori mogli biti prisutni. Potonje razdoblje iz istog razloga možda nije optimalno za prospekciju i rudarenje, o čemu bi mogli svjedočiti povijesni izvori koji naglašavaju velike poplave upravo u ovom dijelu godine i neprohodnost poplavljenih područja (Petrić, Obadić 2007; Petrić 2012: 59–62).

### **3.1.4 Oplemenjivanje ruda – priprema za proces redukcije**

Proces pripreme ruda može biti dio lanca operacija koji vodi proizvodnji spužvastog željeza, a izvodi se s ciljem obogaćivanja ruda odnosno povećanja njihove pogodnosti za direktan postupak redukcije (Cleere 1981: 208; Pleiner 2000: 107; Sauder, Williams 2002: 125; Joosten 2004: 11; Espelund 2013: 85–87). Teoretski, može podrazumijevati više postupaka: mehaničko čišćenje i/ili ispiranje od jalovine, probiranje/diskriminaciju metalonosne rude od jalovih minerala odnosno diskriminacija dijelova rudnog konglomerata, sušenje i prženje te usitnjavanje rude (Pleiner 2000: 106–107). Iza primjene svakog od ovih postupaka stoji

---

<sup>40</sup> Ovaj film pojavljuje se zbog bakterije *Leptothrix* koja pospješuje taloženje željeza u močvarnom okruženju (Stanton et al. 2007: 710, fig. 8).

<sup>41</sup> Drugi, pedološki pokazatelji, nisu u potpunosti primjenjivi na okoliš prošlosti obzirom da su prisutni većinom zbog suvremenih načina mehanizirane obrade zemljišta.

tehnološki uvjetovana logika promišljanja, a efekti primjene određenih postupaka direktno se ogledaju u povećanju pogodnosti rude za proces direktne redukcije.

#### 3.1.4.1 Tehnološka iskoristivost ruda: svojstva i utjecaj na postupak taljenja

Močvarne željezne rude iskorištavane su kroz sva arheološka razdoblja, prostorne i kulturne dimenzije te uporabom različitih tehnoloških rješenja talioničkih postupaka. Laka dostupnost ležišta i jednostavnost rudarenja, ali i pogodnost za taljenje direktnim postupkom redukcije kakav je prisutan u arheološkim razdobljima zasigurno su utjecali na njihovu aktivnu eksploataciju. Sastav sirovina korištenih pri procesu redukcije, odabir i način pripreme sirovina te uvjeti unutar peći odnosno način na koji se izvodi postupak, manjim ili većim utjecajem diktiraju mogućnost ekstrakcije željeza te sastav zgre i spužvastog željeza. Ipak, primarni i najznačajniji utjecaj na mogućnost ekstrakcije željeza ima sastav izvorišne sirovine, rude.

Močvarne željezne rude lako se reduciraju, prvenstvo zbog poroznosti te kompleksnog kemijskog sastava, koji uz željezove spojeve sadrži niz pratioca te jalovih elemenata čija prisutnost može pozitivno utjecati na proces redukcije (Pleiner 2000: 88; Charlton et al. 2010: 365). Međutim, obzirom da sastav močvarnih ruda u velikoj mjeri ovisi o preduvjetima pri formiranju, udio željezovih oksida naspram jalovih sastavnica je vrlo često varijabilan, a ove oscilacije u zastupljenosti glavnih oksida mogu uvelike utjecati na uspješnost postupka taljenja, mogućnost ekstrakcije željeza odnosno tehnološku iskoristivost ruda.

Pojedini spojevi jalovine u rudi utječu na mogućnost stvaranja spužvastog željeza i odvajanja zgre. Primjerice,  $\text{SiO}_2$  ima iznimnu, dvoznačnu ulogu (Tylecote et al. 1971: 360; Pleiner 2000: 136; Charlton et al. 2010: 353); on na sebe veže željezni oksid, ali i druge okside iz rude te ima značajnu ulogu u formaciji zgre. Ako je udio  $\text{SiO}_2$  visok postoji mogućnost ranog formiranja fajalita ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) uslijed čega formacija spužvastog željeza može biti ometena zbog nemogućnosti pristupa reduktivnih agenata (CO). S druge strane, ako je udio  $\text{SiO}_2$  nizak (2–3%) redukcija željeznih oksida je otežana te dobar udio može završiti u masi zgre ili kao zasebne, nesinterirane čestice željeza. Manganov oksid (MnO) nije moguće reducirati kroz direktni postupak, ali ima visok afinitet vezivanja uz silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ) umjesto željeza te pouspješuje redukciju, pozitivno utječe na formaciju tekuće zgre i pougljičenje željeza (Charlton et al. 2010: 356; Pleiner 2000: 136; Joosten 2004), a pri specifičnim omjerima u odnosu  $\text{SiO}_2$ : FeO: MnO može djelovati i na smanjenje ili povećanje točke tališta željeza (Theleman et al. prema Graupner 1982, Illes 2014; Zhang et al. 2011).

R. Pleiner (Pleiner 2000: 87) empirijski je postavio teoretsku granicu tehnološke iskoristivosti ruda te navodi da su u arheološkim razdobljima iskorištavane rude s udjelom željeza manjim od 55–60% (ekvivalent 79–86 % ukupne mase  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dok suvremeni mehanizmi iskorištavanja ruda uzimaju u obzir stijene ili sedimente koji sadrže više od 20% željeza za proizvodnju željeza (Dorian et al. 1993: 371; Joosten 2004: 10). Eksperimentalna testiranja direktne redukcije ruda poznata iz literature (Crew 1991a; 1991b; Crew, Salter 1991; Seernells, Crew 1997; Crew, Charlton 2007; Crew et al. 2011; Thiele 2010) ukazala su da je moguće istaliti močvarne rude niske zastupljenosti željeznih oksida, do 49 % masenog udjela  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ali i niže, ako su korištene u kombinaciji s kvalitetnijim rudama (Crew et al. 2011). Sličnu mogućnost tehnološke prilagodbe donose i povijesni izvori s područja Irske, poznate po brojnim izvorštima močvarnih ruda. Autor R. Kane (2011: Chapter IV) prenosi da su močvarne željezne rude miješane s kvalitetnijim rudama kako bi se osigurala njihova iskoristivost, jer bi se u protivnom ruda izuzetno brzo talila te bi posljedično zgura začepila usta talioničke peći. Ovakva situacija u potpunosti je usporediva s rezultatima eksperimentalnog taljenja ruda s položaja Kalinovac – Hrastova greda (detaljni opis eksperimenta i raspravu vidi: Prilog 1.), gdje je izrazito visok udio udjela  $\text{SiO}_2$  doveo do ranog stvaranja fajalita (ubrzane redukcije) te rezultirao čepljenjem sapnice za dovod zraka i neuspješnim odvajanjem spužvastog željeza. Komparativno s rezultatima ranije spomenutih eksperimenta, testiranje tehnološke iskoristivosti lokalne rude s položaja Kalinovac – Hrastova greda u čijem je sastavu dominantan silicijev dioksid (43,26 – 45,09%) naspram željezovog oksida (35,09% nepržena i 40,11% pržena) pokazuje da je granicu tehnološke iskoristivosti u slučaju samostalnog korištenja ruda moguće uspostaviti svakako iznad 35% (sirova) – 40% (termički obrađena–pržena) te minimalno oko 49 – 50 % udjela  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , poglavito ako su u sastavu dominantno prisutni jalovi minerali koji djeluju kao talitelji, poput  $\text{SiO}_2$  ili  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Rezultati analize glavnih oksida prisutnih u željeznim rudama iz arheološkog konteksta obrađenih lokaliteta (vidi poglavlje 3.1.1.2.) ukazali su na širok raspon zastupljenosti željezovih oksida kod prženih i neprženih ruda (38 – 84.97 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), što se može pripisati kompleksnim mehanizmima formiranja rude, ovisnim o položaju ležišta i uvjetima u tlu, vremenu nastanka i fazi razvoja, te u manjoj mjeri i termičkoj obradi. Prema razini zastupljenosti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ali i relativnom odnosu u zastupljenosti sa  $\text{SiO}_2$ , uzorci s lokaliteta datiranih u kraj 6./7. st. (Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice) te 4./5. st. (Virje – Sušine) i 8./9. st. (Hlebine – Velike Hlebine) mogu se smatrati dovoljno kvalitetnim i tehnološki iskoristivim rudama s visokim udjelom željeznih oksida i nižim udjelom jalovina. No, rude lošije kvalitete, s udjelom željezovih oksida ispod granice tehnološke iskoristivosti (<50%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 16,92– 49,45%), pronađene su na lokalitetima Virje –

Volarski breg i Sušine te Koprivnički Ivanec – Log Parag 1. Ovi uzorci potječu iz zatvorenih arheoloških cjelina (Tab.3.1.): radionice za proizvodnju željeza iz kraja 4./poč. 5. st. (Virje – Sušine, Sonda 7 – poglavlje 2.) te struktura pripisanim naseobinskom kontekstu iz kraja 8./poč. 9. st. (Sekelj Ivančan 2021: 158–163, 167–171) te 2/2 7.– 8. st. (vjerojatnija relativna datacija 8. st.; Valent 2021), što pokazuje da su rude niže kvalitete u nekoj mjeri bile eksploatirane u kasnoj antici i ranom srednjem vijeku. Kroz multivarijatne analize (vidi poglavlje 3.1.1.2: Slika 3.3–3.4) je primijećena i konzistentna pojava ruda niske kvalitete u arheološkim naseobinskim kontekstima, na različitim lokalitetima datiranim u 8./poč. 9. st. Nasuprot tome, rude visoke kvalitete konzistentno se pojavljuju u naseobinskom i radioničkom kontekstu lokaliteta datiranih u kraj 6./7. st., dok se rude sa značajnim oscilacijama u kvaliteti pojavljuju na lokalitetu datiranom u 4./5. st. Obzirom na pojavu ruda lošije kvalitete kroz arheološka razdoblja te jasnu sliku uspješnosti talioničkih postupaka na temelju analize zgure na istraženim lokalitetima postavlja se pitanje jesu li ove rude doista bile korištene (samostalno ili u kombinaciji s kvalitetnijim rudama) za proizvodnju spužvastog željeza i nasljedno, kako je moguće objasniti obrazac pojave ruda niske kvalitete kroz arheološka razdoblja na prostoru istraženih lokaliteta, odnosno, što je uvjetovalo eksploataciju ruda lošije kvalitete, što je detaljnije adresirano u narednom poglavlju.

#### 3.1.4.2 Karakter ležišta i tehnološka prilagodba – postupci diskriminacije

Eksploatacija močvarnih ruda niske kvalitete mogla je biti uzrokovana nizom čimbenika, poput nemogućnosti prepoznavanja ležišta kvalitetne i/ili potpuno razvijene rude ili izostanka istih uslijed eksploatacije, no prirodno uvjetovan razlog svakako je karakter ležišta močvarnih ruda. Močvarne rude generalno imaju vrlo varijabilan kemijski sastav, o čemu svjedoči značajna varijabilnost sastava kod uzoraka arheoloških i geoloških uzoraka rude regionalnog podrijetla s prostora Podravine i na širem Europskom prostoru (vidi poglavlje 3.1.1.2). Razlike u sastavu i kvaliteti moguće je očekivati čak i unutar istog ležišta. Ležišta na istoj lokaciji mogu sadržavati rudu varijabilnog sastava, na što ukazuje razlika u sastavu konkrecija i fragmenta izdvojenih iz rudne leće s položaja Kalinovac – Hrastova greda te zastupljenost minerala getita odnosno željeznih oksida na različitim dubinama tla uzorkovanog na prostoru mogućeg razvoja ležišta (vidi poglavlje 3.1.2., Tab. 3.5–3.6: 1, 2). Konkrecije kao razvojna faza rude, u ovom slučaju imaju potencijal postati kvalitetnijom rudom od fragmenata iz otkrivenog ležišta, ako se pretpostavi daljnji razvoj i obogaćenje Fe matriksom, obzirom da već u ovoj fazi imaju viši udio  $Fe_2O_3$  i sukladno niži udio jalovine. Analiza uzoraka tla s položaja Kalinovac – Hrastova greda ukazuje na viši i niži potencijal razvoja močvarne željezne rude odnosno obogaćenja Fe

matriksom u odnosu na dubinu unutar potencijalnog ležišta, što je moguće dovesti u vezu s zonom oscilacije podzemnih voda koja osigurava manje ili više pogodne uvjete za taloženje željeza. Također, u potpunosti razvijeni uzorci podravske rude s položaja Novigrad Podravski – Milakov Berek (Tab. 3.1–3.3), pronađeni disperzirani po površini tla uslijed iskopa za plinovod, pokazuju značajne razlike u zastupljenosti glavnih oksida, a obzirom na prostornu disperziju i rezultate studije provenijencije (Brenko et al. 2021; 2022), vrlo vjerojatno potječu iz istog ležišta. Eksploatacija ruda različite kvalitete, iz jednog ili više ležišta, posvjedočena je i arheološkim nalazima ruda s lokaliteta Virje – Sušine datiranog u kasnu antiku (kraj 4. st. i početak 5. st.). U istom kontekstu, u sloju otpada (Sonda 7, SJ 314) unutar radionice pronađeni su uzorci ruda različitog omjera prisutnosti glavnih oksida, i to u slučaju željezovih oksida 19,65%, 45, 57% te 70, 89%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Tab. 3.3: V–SS7 1–3)

Drugi uzrok eksploatacije ruda lošije kvalitete koji je moguće pripisati prirodnim zadatostima i karakteru ležišta močvarnih ruda odnosi se na njihovu obnovljivu prirodu postanka i mehanizme razvoja (vidi poglavlje 3.1.2.). Progresivni karakter taloženja željeza označava obogaćenje Fe matriksom te obrnuto proporcionalno snižavanje razine prisutnosti silikata, kroz razvojne faze (Thelleman et al. 2017; Brenko et al. 2021). Prema primjeru ležišta na položaju Kalinovac – Hrastova greda te komparativne analize svojstava fragmenata (treća razvojna faza) i nodula (druga razvojna faza), koncentracija rude na određenom položaju ne mora nužno označavati potpuno razvijeno ležište, stoga je moguće da je u prošlosti dolazilo do eksploatacije nepotpuno razvijenih ruda. Razlozi iza ovakve prakse mogli su se ogledati u nedostupnosti kvalitetnih i/ili potpuno razvijenih ležišta uslijed eksploatacije postojećih ležišta i posljedično nepotpunog razvoja novih ruda ili nemogućnosti prepoznavanja ležišta kvalitetne rude. U istom kontekstu jedna od mogućnosti konzistentne pojave ruda loše kvalitete u 8./9. st. mogla bi se načelno dovesti u vezu s izostankom ruda bolje kvalitete te pripisati utjecaju antropogenih i prirodnih čimbenika vezanih uz područja eksploataciju i klimatske preduvjete. Rude loše kvalitete datirane kroz arheološki kontekst u 8./poč. 9. st. mahom su pronađene na prostorno bliskim položajima, a glavnina u okolici sela Virje – položaji Sušine i Volarski breg. Na ovom području, na istom ili prostorno bliskom prostoru posvjedočeni su višestruki postupci proizvodnje spužvastog željeza i/ili talioničke radionice kroz duži vremenski period, u 4./5. st. (Sušine, Sonda 5 i 7), 5./6. st. (Volarski breg, Sonda 2a i 3), 2/2 6.–poč. 7. st. i 2/2 7. st. (Sušine, Sonda 5) te krajem 8./poč. 9. st. (Volarski breg, Sonda 1), a u neposrednoj okolini zadovoljeni su i osnovni prirodni preduvjeti za razvoj močvarnih ruda (Sekelj Ivančan, Marković 2017; Poglavlje 3.1.3). Moguće je da se eksploatacija ruda kroz dug vremenski period odvijala na

prostoru u blizini radionica te da su lokalno prisutni resursi dinamički iskorištavani te su do 8. st. značajno narušeni ili u potpunosti iscrpljeni zbog čega se eksploatacija u nekoj mjeri morala ograničiti na nepotpuno razvijene rude ili dijelove ležišta koji sadrže rude lošije kvalitete (donji slojevi prema primjeru ležišta Kalinovac – Hrastova greda). Proces obnove ruda može trajati nekoliko stotina ili tisuća godina (Puttkamer 2012), a obnova kroz relativno kratak period od 8/10 do 25 godina, posvjedočena je tek u malobrojnim studijama (Ramanaidou, Wells 2014: 343). No analiza razvojnih faza i ležišta na podravskom lokalitetu Kalinovac – Hrastova greda pokazuje da je proces obnove na tlu Podravine moguć te prisutan i u suvremenom krajoliku, pod značajno narušenim prirodnim preduvjetima (vidi poglavlje 3.1.2), stoga je moguće pretpostaviti regeneraciju ležišta na tlu Podravine i kroz arheološka razdoblja. Ipak, razvoj novih ležišta, trajanje razvojnog procesa i finalno kvaliteta rude koja se povećava progresijom u razvoju vezani su uz stabilnost i postojanje niza prirodnih preduvjeta (vidi poglavlje 3.1.2), pa i onih klimatskih. Idealne klimatske preduvjete čini stabilna blaga, toplija i vlažna klima, što je posredno moguće zaključiti na primjeru razvijenih ležišta na prostoru Europe koje nastaju tijekom kasnog Boreala i početka Atlantika (Graupner 1982; Sitschick et al. 2005). Nepovoljni uvjeti za razvoj mogu inhibirati ili produžiti trajanje obnove ležišta. Period koji prethodi 8. st. obilježen je značajnim klimatskim promjenama pod utjecajem jednog od cikličkih solarnih minimuma, poznatom kao Bond 1 (540 – 700. godine) koji generalno predstavlja hladnije i suše razdoblje u Europi (Bond et al. 1997; 2001; Büntgen et al. 2011: 580–581, Fig. 2.,4.; Lubick 2011, Fig.1.), a zabilježeno je i pomicanje alpskih glečera (Dotterweich 2008: 197, fig.3; McCormick et al. 2012: fig 11). Ovakve klimatske prilike mogle su utjecati i na druge preduvjete, poput razine podzemnih voda i režima plavljenja te inhibirati razvoj novih ležišta (Botić 2021: 96), ali i otežati pronalazak i ekstrakciju ruda iz ležišta.

Ipak, ostaje otvoreno pitanje jesu li sve rude pronađene u arheološkom kontekstu, pa i one loše kvalitete, doista bile upotrebljavane u proizvodnji spužvastog željeza. U slučaju iskorištavanja ruda niže kvalitete, moguće je pretpostaviti da će prinos u spužvastom željezu biti niži u odnosu na kvalitetnije rude, a upitna je i kvaliteta krajnjeg proizvoda (ovisno o ostalom sastavu rude), dva čimbenika koja su mogla imati značajnu ulogu u arheološkim razdobljima. Postupci pripreme ruda i prilagodba operativnih parametara teoretski bi mogli utjecati na tehnološku iskoristivost ruda. Međutim, upitna je razina poboljšanja svojstava rude i/ili utjecaj moderiranja operativnih parametara na uspješnost postupka taljenja, poglavito kod ruda kod kojih je udio jalovine dominantna sastavnica, što je slučaj kod nekih arheoloških uzoraka iz 4./5. st. te 8./9. st. (Tab. 3.2–3.3) kao i eksperimentalno testirane rude s položaja Kalinovac – Hrastova greda

(Prilog 1). Taljenje nekvalitetne rude, u svakom slučaju, nosi visok rizik od potpune neuspješnosti procesa ili niskog prinosa, posljedično nepotrebnog utroška resursa. Postupak diskriminacije nekvalitetnih ruda ili jalovine u rudnom konglomeratu u nekoj mjeri bi smanjio rizik, a mogao je biti dio pripreme ruda.

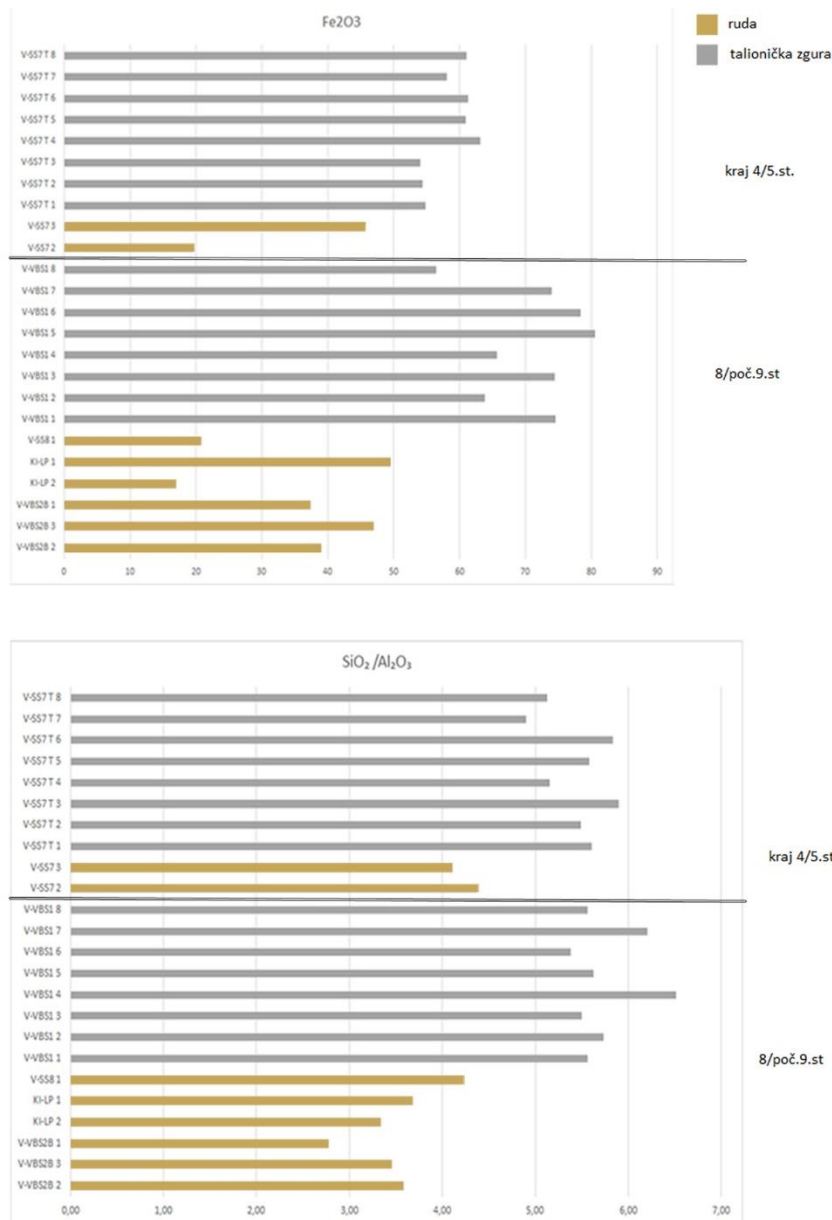
Priprema je mogla podrazumijevati čišćenje od jalovine i diskriminaciju (prebiranje, mehaničko čišćenje rude od jalovina, ispiranje), sušenje, prženje ruda i usitnjavanje (Pleiner 2000: 106–107). Prema mineraloškoj analizi, rude lošije kvalitete pronađene u kontekstu radionice za proizvodnju željeza iz kraja 4./ poč. 5. st. na lokalitetu Virje – Sušine (Sonda 7), prošle su kroz postupak prženja (Tab. 3.2.; Sl. 3.2: V–SS7 2–3) što posredno otvara i mogućnost izvođenja drugih postupaka pripreme, poput diskriminacije ili mehaničkog čišćenja od jalovina, čiji arheološki tragovi neće biti jasno zabilježeni. Ovi uzorci pronađeni su u sloju zasićenom otpadom od talioničkih postupaka (Sl. 2.5: SJ 314), vjerojatno odlagalištu otpada pri rubu radionice što također može sugerirati postupak diskriminacije i odbacivanja (Brenko et al. 2021) i to kao dio radnih aktivnosti unutar talioničke radionice. Činjenica da su rude niske kvalitete pronađene u naseobinskom kontekstu 8./9. st. na lokalitetima Virje – Sušine (pržena, Sonda 8) i Volarski breg (nepržena, Sonda 2b) te Koprivnički Ivanec–Log Parag 1 (pržena i nepržena), a ne u direktnoj vezi s radionicom unutar koje se talilo (Volarski breg, Sonda 1), otvara mogućnost da ovi uzorci, iako prikupljeni iz ležišta, nisu bili korišteni za proizvodnju željeza. U ranijim studijama uspostavljena je jasna geokemijska poveznica između geoloških i arheoloških uzoraka ruda s područja Podravine te talioničke zgure s istih ili istovremenih lokaliteta, na temelju analize rijetkih elemenata i elemenata u tragovima i jedinstvenosti njihova geokemijskog otiska (Brenko et al. 2020; 2021). Ova poveznica znači da su rude korištene u postupcima u kojima je nastala zgura istog genetskog, regionalnog podrijetla kao i rude pronađene u arheološkom kontekstu. Međutim, usporedbom s kemijskim sastavom analizirane talioničke zgure iz istog konteksta radionice datirane u 4./5. st. (slojevi otpada SJ 314, 317, Sonda 7, Virje – Sušine) i kod usporedbe ruda koje pripadaju naseobinskim kontekstima 8./poč. 9. st. sa zgurom s prostorno bliskog i istovremenog lokaliteta Virje – Volarski breg (Sonda 1), moguće je zaključiti da analizirane rude niske kvalitete nisu korištene u postupcima kojima je nastala zgura (Sl. 3.12.). Generalno, pri taljenju direktnim postupkom oko 10 – 20% Fe se ekstrahira u spužvasto željezo (Puttkamer 2012; Sperling 2003), a ostali dio prelazi u zguru. Udio željezovih oksida u zguri značajno je viši no kod analiziranih ruda što svjedoči da je i izvorišna sirovina morala imati viši udio željezovih oksida. Također, obzirom na karakter i utjecaj jalovina na proces direktne redukcije, odnos  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$  u postupku direktne redukcije

trebao bi ostati isti između izvorišne rude i zgure. Vrijednosti u odnosu ruda : zgura odstupaju, generalno su prisutne niže vrijednosti kod ruda no kod zgure na temelju čega je moguće pretpostaviti da uzorci ruda niske kvalitete nisu korišteni u postupcima u kojima su nastali uzorci zgure (Tab. 3.3; sl. 3.12.). Potonje čini dodatni argument za interpretaciju ovih ruda kao diskriminiranih, jalovih dijelova rudnih konglomerata. Ovakva interpretacija ujedno bi pružila objašnjenje za konzistentnu pojavu rude lošije kvalitete na prostoru naseobinskih lokaliteta 8./9. st. i istovremenu pojavu radionica za proizvodnju željeza na kojima je pronađena zgura nastala postupcima taljenja kvalitetnijih ruda lokalne provenijencije te ukazala na dio organizacijskog procesa u 8./9. st. U tom slučaju, moguće je zaključiti da su rude prikupljane iz ležišta te nakon postupka diskriminacije koji se odvijao izvan talioničke radionice korištene za talioničke procese. Međutim, obzirom da uzorci analizirane zgure predstavljaju tek segment talioničkih postupaka izvedenih u radionicama ostaje otvorena mogućnost da su analizirani uzorci rude ipak korišteni za proizvodnju željeza, samostalno ili u kombinaciji s kvalitetnijim rudama, no upitan je rezultat ovakvog taljenja. Samostalna uporaba vrlo vjerojatno nije prakticirana obzirom na dokazanu neuspješnost postupka kroz eksperimentalno testiranje i nedostatak dokaza o ovakvoj praksi koja bi se morala očitovati kroz makroskopsku analizu sve zgure prisutne u usporedivom kontekstu. Makroskopska analiza zgure nije pokazala značajniju prisutnost zgure koja bi imala odlike kakve su vidljive iz rezultata analize zgure iz eksperimentalnog taljenja rude s položaja Kalinovac – Hrastova greda (Prilog 1), a svjedoče o zasićenosti zgure sa silikatima i neuspješnosti procesa. Tek pojedini uzorci zgure iz konteksta 8./9. st i 4./5. st. nose obilježja nešto veće prisutnosti silikata u sastavu vidljivih kroz izraženiju svijetlije sivo zelenkastu boju (vidi poglavlje 4) te svjedoče o varijabilnom sastavu ruda i potencijalno nemogućnosti potpune diskriminacije ruda lošije kvalitete.



Tablica 3.7. Vrijednosti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  između ruda niske kvalitete i talioničke zgure s istovremenih (Virje – Volarski breg (V–VBS1 i V–VBS2b), Sonda 2b i 1; Virje – Sušine, Sonda 8 (V–SS8) i Koprivnički Ivanec – Log Parag 1 (LI–LP)) lokaliteta datiranih u 8./9 .st. i istog lokaliteta datiranog u 4./5. st. (Virje – Sušine, Sonda 7 (V–SS7)). Originalni podaci izdvojeni iz Tab. 3.3. (ruda) i Tab. 4.5. (zgura)

Datacija	Vrsta uzorka	ID	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
8./poč. 9. St.	ruda	V–VBS2B 2	30,67	8,58	3,57	38,94
		V–VBS2B 3	25,92	7,52	3,45	46,86
		V–VBS2B 1	24,16	8,72	2,77	37,28
		KI–LP 2	50,85	15,27	3,33	16,92
		KI–LP 1	16,67	4,53	3,68	49,45
		V–SS8 1	49,18	11,65	4,22	20,78
	talionička zgura	V–VBS1 1	22,82	4,10	5,57	74,52
		V–VBS1 2	28,96	5,05	5,73	63,85
		V–VBS1 3	22,70	4,13	5,50	74,49
		V–VBS1 4	29,10	4,47	6,51	65,64
		V–VBS1 5	16,54	2,94	5,63	80,56
		V–VBS1 6	21,42	3,98	5,38	78,33
		V–VBS1 7	22,85	3,68	6,21	73,97
		V–VBS1 8	27,96	5,03	5,56	56,49
ruda	V–SS7 2	49,36	11,29	4,37	19,65	
	V–SS7 3	29,88	7,28	4,10	45,57	
kraj 4./5. st.	talionička zgura	V–SS7 T 1	25,72	4,59	5,60	54,87
		V–SS7 T 2	25,20	4,59	5,49	54,43
		V–SS7 T 3	21,28	3,61	5,89	54,04
		V–SS7 T 4	29,19	5,66	5,16	63,12
		V–SS7 T 5	20,88	3,74	5,58	61,02
		V–SS7 T 6	25,91	4,44	5,84	61,29
		V–SS7 T 7	35,41	7,23	4,90	58,03
		V–SS7 T 8	27,96	5,45	5,13	61,11



Slika 3.12 Grafički prikaz  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  između ruda niske kvalitete i talioničke zgure s istovremenih (Virje – Volarski breg (V–VBS1 i V–VBS2b), Sonda 2b i 1; Virje – Sušine, Sonda 8 (V–SS8) i Koprivnički Ivanec – Log Parag 1 (LI–LP)) lokaliteta datiranih u 8./9. st. i istog lokaliteta datiranog u 4./5. st. (Virje – Sušine, Sonda 7 (V–SS7)).

Primjena postupaka pripreme, poglavito diskriminacije predstavlja tehnološki uvjetovanu prilagodbu koja je u prošlosti morala biti utemeljena na iskustvenom i/ili prenešenom, tradicijskom znanju. Ishod postupka taljenja ovisi o karakteristikama upotrijebljenih sirovina (ruda, ugljen) ali i konstrukcijskim (dizajn peći) te operativnim parametrima (način na koji se izvodi postupak i priprema sirovina), te je u većoj ili manjoj mjeri osjetljiv na promjene ovih izvedbenih (pred)uvjeta (Karavidović 2021b: 235–240). Pretpostavimo li da su se unutar jedne

zatvorene arheološke cjeline, radionice za proizvodnju željeza, sustavno primjenjivali isti operativni parametri pri postupku taljenja te da je dizajn peći bio isti, neuspjeh bi se pripisao jedinoj preostaloj varijabli, rudi. Također, u prošlosti je direktni pokazatelj uzroka neuspješnosti postupka ili niskog prinosa mogla biti zgura. Prema primjeru zgure proizašle iz postupka eksperimentalnog taljenja kalinovačke rude, izrazita prisutnost jalovine (u prvom redu silikata) očituje se u boji, strukturi i konzistenciji zgure (Prilog 1). Zguru karakterizira svijetlije sivozelenkasta boja vanjske površine i presjeka, vidljive čestice kvarca u presjeku i porozna struktura (niska razina viskoznosti) (Prilog 1: Sl. 8; tab. 6: 6 i 7). Potonje je mogao biti vizualni indikator i u tijeku postupka taljenja, pri ispuštanju zgure, kada se razina viskoznosti zgure očituje primarno u brzini istjecanja. U istom kontekstu, diskriminacija ruda po kvaliteti u prošlosti morala bi se oslanjati na prepoznavanje morfoloških pokazatelja lošije kvalitete (struktura, boja, težina). Komparativna analiza fizičkih, mineraloških i kemijskih svojstva uzoraka ruda iz arheološkog i geološkog konteksta s područja Podravine pokazuje da je na osnovu vizualne inspekcije moguće u nekoj mjeri pretpostaviti sastav te posljedično kvalitetu rude (vidi poglavlje 3.1.1.2.), poglavito ako je dominantno prisutna jalovina u sastavu, time i niža kvaliteta. Upravo visok udio jalovina, u prvom redu silicijevog dioksida odnosno silikatnih minerala (kvarca, glinenaca (feldšpata) – plagioklasa) prisutan je kod rude s položaja Kalinovac – Hrastova greda (H–HG F) te arheoloških uzoraka s lokaliteta Virje – Sušine (V–SS7 2, V–SS8 1, V–SS9 1), Volarski breg (V–VBS2B 1–3) i Koprivnički Ivanec – Log Parag 1 (KI–LP 2) (tab. 3.3; sl. 3.4). Tako bi heterogenost kompozita, s primjesom sitnijeg pijeska ili šljunka te gline u strukturi mogla upućivati na potrebu dodatne obrade nekim od postupaka pripreme ili diskriminaciju nepovoljnih dijelova rudnih konglomerata. Usporedbom karakteristika grumenja pjeskovitih konkrecija s Fe matriksom i rude iz ležišta na položaju Kalinovac – Hrastova greda moguće je uočiti razliku u strukturi, gdje rude koje su prošle kroz opisane razvojne stadije (kvalitetnije rude) imaju vidljive aglomeracije pojedinačnih globularnih konkrecija (Sl. 3.8: b,d.; Tab. 3.5–3.6: 4, 5). Komparativna analiza svojstava ruda s područja Podravine (vidi poglavlje 3.1.1.2) pokazala je da je općenito granulirana struktura bez mnoštva primjesa, ali i kompaktnost i težina kompozita mogla upućivati na višu kvalitetu rude. Boja sirove, neprerađene rude također je bitan čimbenik, te su tamnije smeđi – oker i crvenkasta boja površine naspram blijedo oker mogli služiti kao reper za sadržaj željeza u rudi.

#### 3.1.4.3 Postupci prženja

Mineraloška analiza ruda iz arheološkog konteksta ukazala je na pojavu željezovih mineralnih faza kod uzoraka ruda, koje se mogu dovesti u vezu s termički uvjetovanom reakcijom,

zagrijavanjem ruda koje se u kontekstu proizvodnje željeza naziva prženjem (Tab. 3.2). Termički neobrađeni uzorci, iz geološkog i arheološkog konteksta u glavnini sadrže željezni oksihidroksid getit i silikatnu komponentu – kvarc. Uzorci kod kojih je moguće pretpostaviti postupke prženja imaju heterogen sastav mineralnih faza željeza te je načelno moguće izdvojiti tri podskupine (Sl. 3.2): 1) izrazito heterogen sastav – u asocijaciji se pojavljuju željezove faze – getit, magnetit, hematit, maghemit te silikatni (kvarc) i alumosilikatni (plagioklasi) minerali, 2) heterogen sastav – hematit i maghemit, silikatni minerali (kvarc), 3) uniforman – hematit i silikatni mineral (kvarc) i alumosilikati (plagioklasi). Skupine uzoraka mogu se dovesti u vezu s arheološkim kontekstom te se tako na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice (kraj 6/1/2. 7. st.) konzistentno vidljive iste ili slične karakteristike rude (1 i 2), dok se na lokalitetu Virje – Sušine (4./5. st.) javljaju nepržene i pržene rude dviju skupina (2 i 3). Na lokalitetima Koprivnički Ivanec – Log Parag 1 (2/2 7.–8. st.) i Virje – Sušine (kraj 8./poč. 9. st.) s kojih potječe po jedan uzorak rude javljaju se rude iste skupine (3).

Mineralni kao i kemijski sastav ruda odražava kompleksnost njihova nastanka te se poneke skupine minerala mogu razviti i pojaviti pod različitim uvjetima stoga tumačenje antropogeno uvjetovanih procesa kroz koje su rude prošle nije uvijek jednoobrazno. Postupak prženja podrazumijeva zagrijavanje rude na temperaturi od 200 °C – 800 °C uz pristup kisika (Cleere 1971: 208; Pleiner 2000: 107). Pri prženju oksidne rude će dodatno izgubiti vodu koja je u slučaju getita kemijski vezana uz željezni oksid a pri zagrijavanju uz pristup kisika, getit prelazi u hematit ( $2\text{FeO}\cdot\text{OH} + \text{toplina} \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ) pri temperaturi od 300 do 500 °C. Daljnjim povećanjem temperature (500 – 800 °C) i pri redukcijskim uvjetima hematit će se reducirati u magnetit ( $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$ ) (Pleiner 2000: 108). Kod uzoraka rude s lokaliteta Koprivnički Ivanec – Log Parag 1 (2/2 7.–8. st.) i Virje – Sušine (8./poč. 9. st.) jedini željezov mineral je hematit te su ove rude zasigurno prošle kroz proces prženja pri temperaturi od 300 – 500 °C u oksidativnim uvjetima poput otvorene vatre. Međutim, pojava magnetita zabilježena je i kod neprocesuiranih ruda, a pripisuje se bakterijski uvjetovanoj redukciji pri nastanku ruda jednako kao i pojava vivianita te siderita (Banning 2008: 642). Obzirom da kod geoloških uzoraka rude nije primijećena pojava minerala koji nastaju u ovakvim, redukcijskim uvjetima, moguće je pretpostaviti da je pojava magnetita kod arheoloških ruda odraz utjecaja prženja, koje je u tom slučaju moralo u nekoj mjeri teći pod reduktivnim uvjetima. Maghemit je željezni mineral koji može nastati pod utjecajem atmosferilija, oksidacijom magnetita ili zagrijavanjem na niskim temperaturama a razvija se čak i pri vrlo niskim, sobnim temperaturama (Murad, Schwertmann 1993; Rzepa et al. 2016) te dehidracijom željeznih oksihidroksida poput

lepidokrokita. Lepidokrokit se može pojaviti u močvarnim željeznim rudama kao osnovni mineral uz getit pri prirodnim preduvjetima formiranja, no može se razviti i pod utjecajem atmosferilija ili vodom zasićenog okruženja iz getita, a prolazi i kroz promjene uzrokovane povećanjem temperature (Rzepa et al. 2016). Pojavu potonje dvije mineralne faze kod ruda heterogenog sastava moguće je tumačiti dvojako: kao posljedicu prirodnog okruženja (pri nastanku ili posdepozitnog?) ili uvjeta pri prženju. Kroz prirodni proces maghemit se mogao razviti oksidacijom ulomaka kod kojih je prisutan magnetit, dok se razvoj lepidokrokita može vezati uz vlažno okruženje, uvjete pri depoziciji (ili posdepozitno) a razvio bi se iz getita. Lepidokrokit se pojavljuje u asocijaciji s getitom, maghemitom i hematitom kod uzoraka s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine koji su pronađeni unutar plitke jame sa zapečenim dnom za koju je na osnovu analize zapune i stratigrafskih odnosa slojeva pretpostavljeno da je u nekom trenutku bila pod utjecajem plavljenja, arheološki evidentiranim kroz naplavinski sloj koji je djelomično prekrrio jamu (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 75, fn. 48), što potencijalno objašnjava humidno, postdepozitno okruženje. Kod istih uzoraka pojavljuje se i maghemit te magnetit, što dovodi u pitanje i mogućnost dehidraciju lepidokrokita ili oksidaciju magnetita te posljedičnu pojavu maghemita (sušenje i/ili postupak prženja) zbog čega nije moguće sa sigurnošću razlučiti izvor pojave ove dvije mineralne faze kod uzoraka. Ipak, kod dvaju uzoraka (HVHS2 2–3) ove mineralne faze pojavljuju se u kombinaciji s hematitom koji je zasigurno produkt termalne reakcije, zagrijavanja, dehidracije i oksidacije getita te magnetitom koji nastaje daljnim procesom redukcije. Bez obzira na izvor pojave mineralnih faza magnetita i lepidokrokita moguće je zaključiti da su ovi uzorci prošli kroz proces prženja. Također, arheološki kontekst pronalaska u zapuni jama s nagorenim dnom učvrstio bi ovakvu interpretaciju (tab.3.1.: HVHS2 2–3). Plitke jame s nagorenim dnom pronađene na lokalitetu Velike Hlebine (vidi poglavlje 2: sl. 2.15) se na temelju zapisa proizašlog iz eksperimentalnih testiranja mogu interpretirati kao prostor nad kojim je pržena močvarna ruda te sugeriraju prženje na otvorenoj vatri, odnosno otvorenoj ložišnoj konstrukciji (Karavidović 2020a). Pojavu maghemita u asocijaciji s hematitom kod uzoraka s lokaliteta Hlebine – Dedanovice, također je moguće tumačiti kao posljedicu termalno uvjetovane reakcije, prženja. Hematit pod redukcijskim uvjetima i povećanjem topline prelazi u magnetit, a pri izraženijim oksidativnim uvjetima može se pojaviti i maghemit. Ulomci s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice prošli su kroz proces prženja, vrlo vjerojatno pod promjenjivim, oksidativno – reduktivnim uvjetima te temperaturom od 300 do 750°C. Redukcijski uvjeti teoretski nisu tipični za otvorenu vatru, no rezultati eksperimentalnih testiranja ukazali su na izrazitu nejednoličnost uvjeta prženja u istom postupku te mogućnost pojave reduktivnih uvjeta

dovoljnih za pougljičenje drveta (Prilog 1.), u samom središtu konstrukcije ložišta za prženje. Mineraloška analiza pržene rude iz istog eksperimenta pokazala je pojavu magnetita (?) i maghemita uz hematita kod jednog uzorka rude. Heterogen mineraloški sastav pokazuje i ulomak s lokaliteta Virje – Sušine (Tab. 3.1–3.2, sl. 3.2: V–SS7 3) kod kojega se u asocijaciji javljaju getit, lepidokrokrit i magnetit uz ostale silikatne i alumosilikatne minerale. Potonji ulomak pronađen je u sloju otpada (sl. 2.5: SJ 314) iz kojega potječu i uzorak rude (Tab. 3.1–3.2, sl. 3.2: V–SS7 1) koja zasigurno nije bila pržena, a koji u sastavu nosi getit kao isključivu mineralnu fazu željeza te ulomak pržene rude s pojavom hematita i maghemita (Tab. 3.1–3.2, sl. 3.2: V–SS7 2). Za ovaj uzorak heterogenog sastava na temelju mineraloške analize nije sa sigurnošću moguće tvrditi je li pržen, no moguće je zaključiti da je postupak prženja bio primijenjen u kontekstu radionice na lokalitetu Virje – Sušine (kraj 4.–5. st.).

Međusobne razlike u mineralnom sastavu kod uzoraka mogu se pripisati prirodnoj heterogenosti samih uzoraka ruda i načinu uzorkovanja odnosno mogućnosti uvida u tek sitan dio arheološkog uzorka kroz mineralošku analizu. Eksperimentalno testiranje postupka prženja pokazalo je da se u istom postupku mogu očekivati različiti uvjeti na ložišnoj konstrukciji koji se mogu odraziti i na razlike u sastavu mineralnih faza ruda, što je vidljivo iz makroskopskih karakteristika rude (boja), ali i mineraloške analize dvaju uzoraka pržene rude iz eksperimenta, kod kojih je vidljiva razlika u zastupljenosti različitih mineralnih faza željeza (Prilog 1) (Karavidović 2019). Međutim, izražena sličnost međusobno kontekstualno (isti lokalitet) povezanih uzoraka i razlike koje se konzistentno očituju na vremenski i/ili prostorno različitim arheološkim kontekstima, ipak zahtijevaju pomniji pristup interpretaciji i otvaraju mogućnost za uočavanje razlika u načinu pripreme i izvođenja postupka. Razlike u sastavu mogu biti odraz manje ili više ujednačenih uvjeta pri prženju te veličine, vrste prethodne pripreme i položaja ulomaka rude unutar ložišne konstrukcije, vrste ložišne konstrukcije, dužine trajanja postupka i vrste korištenog goriva. Izglednost ovakvih preduvjeta i njihov utjecaj posvjedočeni su kroz eksperimentalno testiranje postupka prženja. Kako bi se testirali efekti prženja na svojstva rude, izvedena su tri eksperimentalna testiranja postupka s tri osnovne mjerljive varijable – vrsta ložišne konstrukcije, dužina trajanja postupka i veličina ulomaka rude (Karavidović 2020a). Rekonstrukcija ložišne konstrukcije utemeljena je na arheološkim tragovima jama sa zapečenim dnom kakve su prepoznate upravo na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine (kraj 6. – ½ – sred. 7. st.) s kojega potječu ulomci ruda izrazitije heterogenog sastava (Slika 3.2, skupina 1: H-VH2 1-3), a koji je istovremen i prostorno povezan s lokalitetom Hlebine – Dedanovice s kojega potječu ulomci manje izraženog, heterogenog sastava (Slika 3.2, skupina 2: H-DS1 1–

3). Radi se o sustavu prženja na otvorenoj vatri kakav je na temelju mineraloške analize moguće pretpostaviti i za uzorke s ostalih lokaliteta na osnovu pojave hematita i maghemita, odnosno oksidativnih uvjeta pri prženju. Testirane su dvije mogućnosti konstrukcije ložišta – rešetka i stožac. Eksperimenti su pokazali nejednoličnost u temperaturnom režimu na različitim dijelovima konstrukcije, ali i uvjetima prženja koji imaju direktni utjecaj na pojavu određene mineralne faze te međuovisnost razine prženja o vrsti konstrukcije, dužini trajanja procesa i veličini ulomaka. Prema rezultatima eksperimenata, glavne željezove mineralne faze kakve se pojavljuju kod uzoraka skupine 1 moguće je očekivati kod slabo (pojava getita u asocijaciji) i nejednolično (heterogenost sastava) pržene rude pod izmjenjivim redukcijско–oksidacijskim uvjetima. Temperature koje su djelovale na uzorke vjerojatno su oko 300–750/800 °C, no maksimalni je raspon temperatura u ložištu kao cjelini mogao biti i veći te doseći oko 1040 °C. Niska razina prženja mogla bi se dovesti u vezu s kraćim trajanjem postupka te moguće niskom razinom prethodne pripreme (ulomci zasićeni vodom, veće dimenzije). Izmjenjivi, oksidacijsko–redukcijски uvjeti neminovno su bili prisutni u svim eksperimentalnim testiranjima, a mogu se dovesti u vezu s promjenjivim položajem ulomaka (obrušavanje konstrukcije pri izgaranju) ili veličinom ulomaka (velika površina). Kod analiziranih ulomaka skupine 2 uvjeti prženja mogli su biti nešto jednoličniji te oksidacijski, a postignute temperature vrlo slične kao i kod skupine 1. Moguće je i da su uzorci bili pomnije pripremljeni za prženje, prvenstveno u odnosu na razinu vlage (osušeni?), ali i da je proces trajao duže pod jednoličnijim, stabilnijim uvjetima. Kod uzoraka skupine 3 vidljivi su najjednoličniji i oksidacijski uvjeti kroz singularnu pojava hematita u sastavu. Postignute temperature vjerojatno nisu dugoročno prelazile 500 – 550 °C. Rezultati eksperimenta impliciraju i da je jednoličnije prženje bilo moguće postići na rešetkastoj naspram stožaste ložišne konstrukcije (Prilog 1; Karavidović 2020a). Efekti prženja na uzorcima rude prepoznati su prema promjenama u boji uzoraka, koja implicira pretvorbu mineralne faze. Oblik konstrukcije može stajati u direktnoj vezi s dužinom trajanja procesa, odnosno količinom utrošenog drva, pri čemu je rešetkasta konstrukcija uvjetuje duže trajanje i značajniji utrošak drva, ali je optimalniji izbor za jednoličnije prženje kakvo je prisutno na lokalitetima Hlebine – Dedanovice, Virje – Sušine i Log Parag 1. Postupci prženja u eksperimentalnim testiranjima trajali su između 2 (konstrukcija stošca – slabija razina prženja) i 6 sati (rešetkasta konstrukcija – intenzivnije prženje) sati aktivnog zagrijavanja (Karavidović 2020a).

Komparativna analiza mineraloških karakteristika i eksperimentalnog testiranja postupaka prženja implicira određene razlike u stupnju prženja ruda koje se može dovesti u vezu s načinom

izvođenja postupka. Razlike su vidljive među uzorcima koji pripadaju različitom vremenskom i prostornom kontekstu. Obzirom na ujednačenu pojavu ruda istih mineraloških karakteristika na lokalitetima s kojih je analizirano više uzoraka moguće je pretpostaviti i određenu razinu standardizacije postupaka odnosno načina izvođenja postupka prženja. U tom kontekstu, razlike između grupa određenih na temelju mineraloške analize (Sl. 3.2: 1– 3) mogu se smatrati utjecajem međusobno neovisno izvedenih postupaka prženja, s osnovnom razlikom u načinu pripreme sirovina koja prethodi prženju (veličina ulomaka, razina vlage) i dužini trajanja postupka, a posljedično možda i razlici u konstrukciji ložišta. Ipak, potrebno je imati na umu razinu vjerodostojnosti ovako detaljne interpretacije obzirom na neravnomjeran i nizak broj uzoraka iz pojedinih konteksta. Odnos razlikovnih i sličnih elemenata, ipak, ukazuje na generalnu sličnost u načinu izvođenja postupka prženja na otvorenoj ložišnoj konstrukciji poput rešetke i/ili stošca kod koje je moguće očekivati izmjenjive, nejednolične uvjete što bi objasnilo heterogenost u sastavu pojedinih uzoraka ruda, ali i međusobne razlike skupina uzoraka.

#### 3.1.4.4 Ostali postupci pripreme

Indikacije za dodatne postupke pripreme vidljive su iz nedostatka minerala gline kod svih ruda iz arheološkog konteksta naspram geoloških uzoraka (Tab. 3.2, Sl. 3.2), što je potencijalno moguće postići dijelom kroz proces prženja i dekompoziciju minerala gline, ali i ispiranjem ulomaka rude. Posebice niske udjele rijetkih zemljanih elemenata (REE) koji su većinom vezani uz gline imaju rude s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice (Prilog 3: Tab.1.), što je potencijalno također odraz primjene postupka ispiranja (Brenko et al. 2021). Ispiranje ulomaka rude moglo se obavljati u potocima, kojima je zasigurno bio premrežen nizinski krajolik Podravine u prošlosti, a proces ispiranja mogao je biti primijenjen prije prženja koje bi potom isušilo natopljene ulomke rude. Ispiranje kao i mehaničko čišćenje funkcionalno uklanja jalove dijelove rudnih konglomerata, ostatke glina i tla vezane uz metalonosnu rudu, čime se izbjegava negativan utjecaj jalovine na talionički proces, a smanjuje se i količina rudnog konglomerata koja ulazi u sustav peći, nasljedno i količina goriva potrebnog za redukciju te vremena trajanja procesa. Ostale postupke obogaćivanja ruda poput usitnjavanja, arheološki je moguće pretpostaviti posredno, imajući na umu tehnološke uvjete talioničkih postupaka. Svi uzorci ruda pronađeni u arheološkom kontekstu manjih su dimenzija, od 2/5 x 12 cm te je moguće pretpostaviti da je usitnjavanje bilo primjenjivano, iako ovakva situacija može biti i odraz postdepozitnog usitnjavanja. Usitnjavanjem ruda povećava se površinu reakcije pri redukciji u talioničkoj peći i time osigurava ravnomjernija i brža redukcija (Pleiner 2000). Eksperimentalna testiranja ukazuju da je optimalna veličina ruda znatan čimbenik uspješnosti



procesa redukcije (Karavidović 2020b). Testiranje različite granulacije močvarnih ruda pokazalo je da je jedna od optimalnih veličina rude oko 2–5 cm promjera. Kod taljenja ruda ispod 1 cm promjera i rudnog praha, proces redukcije bio je djelomično uspješan odnosno istaljene čestice željeza nisu se sinterirale pravilno u jedinstven blok spužvastog željeza. Potonje je moguće pripisati brzom propadanju sitnih ulomaka i rudnog praha niz okno peći, prevelikoj površini za redukciju i ubrzanom procesu te raspršivanju čestica željeza zbog nepravilnog propadanja. S druge strane, veći komadi rude potencijalno bi se neravnomjerno talili te je upitan rezultat ovakvog postupka. Optimalni trenutak za postupak usitnjavanja u slijedu pripreme rude je nakon prženja, kada ruda postaje poroznija te ju je time lakše i usitniti.

Postupkom prženja gubi se vezana vlaga te struktura rude postaje poroznija, povećava se udio željezovih oksida kroz termalnu reakciju, djeluje na smanjenje udjela sumpora što povećava pogodnost ruda za direktnu redukciju (Pleiner 2000: 106–107; Joosten 2004: 10–11; Tylecote, Clough 1983). Logika primjene postupka prženja prvenstveno je uvjetovana sastavom ruda, te je ova vrsta pirometalurške pripreme (oplemenivanja) potrebna kod ruda koje sadrže spojeve koje nije moguće reducirati direktnim procesom do metala (HE: pirometalurgija). Primjerice, sulfidne rude termički se obrađuju kako bi se metalni sulfidi pretvorili u okside (oksidacijsko prženje). Istu svrhu ima i prženje karbonatnih ruda (kalcinacija), koje se primjenjuje za željezni karbonat (sideritne rude). Prženje oksidnih ruda također ima izvjesne prednosti, poput povećanja poroznosti te nasljedno lakše redukcije ili omekšavanja rude za usitnjavanje, što može biti potrebno kod ruda poput visokokvalitetnog hematita (Pleiner 2000: 108). Močvarne željezne rude su oksidne te se u načelu lako tale prvenstveno zbog prirodne poroznosti i prisutnosti ostalih elementa u sastavu koji pozitivno utječu na redukciju djelujući kao talitelji (Charlton et al. 2010). Postupak prženja nije nužno neophodan za uspješnu redukciju močvarnih ruda na što su ukazala eksperimentalna testiranja lokalnih/regionalnih ruda (Karavidović 2020b), stoga kao takav predstavlja tehnološki odabir. Pojava prženja oksidnih i močvarnih ruda poznata je iz povijesnih izvora 16.–18. st. (detaljnije izvore vidi: Pleiner 2000: 108) te arheoloških konteksta iz različitih razdoblja i kulturnih pripadnosti (Tylecote 1967: fig. 9.; Török et al. 2015: 230, Table 1: Z89/I, K19/I; Espelund 2013: 85). Termička reakcija kakva se odvija pri prženju, dogodila bi se u gornjim slojevima zapune talioničke peći, a taljenje nepržene rude nužno ne utječe značajno na proces, krajnji proizvod ni utrošak gorivog elementa (ugljen) (Karavidović 2020b). Ovakav odabir moguće je razmotriti kroz prizmu tradicije, ali i izrazitog poznavanja sirovine i postupka taljenja, pri čemu su i manje razlike u kvaliteti i količini proizvedenog spužvastog željeza i potencijalni utjecaj na smanjenje utroška gorivog

elementa (ugljen) u talioničkoj peći pomno ocijenjene te je primijenjen optimalniji tehnološki odabir poput prženja. S druge strane, moguće je da su preduvjeti odabiru izvođenja postupka prženja povezani s organizacijom rada i stanjem rude neposredno prije no što je podvrgnuta postupku prženja, poput razine vlažnosti. U tom kontekstu slabija razina prženja, kakva je prisutna kod ruda s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine imala bi više ulogu sušenja nego postizanja značajnije termičke reakcije kao priprema za taljenje ruda. Ovakva primjena postupka prženja može biti uzrokovana vlažnom svojstvu rude netom iskopane iz ležišta. Prema arheološkom zapisu (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021) i analiziranim uzorcima rude, postupak prženja primjenjivan je pri proizvodnji željeza na lokalitetu Virje – Sušine datiranom u kraj 4./5. st. i u kontekstima kraja 6. – 1/2 7. st. (Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice) kao i kasnije, u 2/2 7.–8. st. i krajem 8. st./poč. 9. st. (Hlebine – Velike Hlebine i Log Parag 1). Uzorci ruda u kontekstima lokaliteta datiranih u 2/2 5.–6. i 2/2 7.–8. st. (Virje – Sušine – Sonda 5 i 7 i Virje – Volarski breg – sonda 2a i 3) nisu pronađeni. Arheološki terenski zapis ukazao je na postojanje plitkih jama kružnog tlocrta sa zapečenim dnom na lokalitetu Virje – Volarski breg (sl. 2.11: Sonda 3 (2/2 5.–6. st.) i sl. 2.10: Sonda 1 (8.–poč. 9. st.)) koje se mogu dovesti u vezu s pripremom sirovina i talioničkim postupcima čiji su tragovi pronađeni u neposrednoj blizini. Međutim, iako je očigledan utjecaj povišene temperature odnosno gorenja pri dnu ovih jama, nije sasvim razvidno jesu li ove tvorevine tragovi prženja ruda ili ih je moguće vezati uz proces proizvodnje ugljena u ugljenicama (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 51–58, fig. 9,10, 12).

Kružne, jednostavne tvorevine sa zapečenim dnom kakve su pronađene na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine imaju analogije diljem Europe u različitim vremenskim razdobljima (Pleiner 2000: 110), a u vremenu 6./7. st. poznati su primjeri s lokaliteta Gayvoron u Ukrajini (Pleiner 2000: 110) i Boecourt u Švicarskoj (Echenlohr, Seernels 1991: 94, fig. 76). Na potonjem lokalitetu one su pronađene, slično kao i na Hlebinama, u neposrednoj blizini peći za taljenje, što svjedoči o neposrednoj vezi primjene ovih dvaju postupaka u oba slučaja.

#### 3.1.4.5 Područja pripreme sirovina

Na lokalitetu Hlebine–Velike Hlebine ustanovljeni su tragovi prženja, plitke jame kružnog tlocrta sa zapečenim dnom (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 72–75, fig. 27–29.) koje svjedoče da se postupak odvijao unutar radionice za proizvodnju spužvastog željeza. O sustavnom izvođenju ovih postupaka svjedoči postojanje više plitkih jama sa zapečenim dnom, prostorno blisko raspoređenih u odnosu na ostale arheološke cjeline na području radionice. Potonji arheološki zapis dovodi u prostorno–temporalnu vezu izvedbu postupaka pripreme i taljenja u procesu proizvodnje željeza, te otvara pitanja uzroka ovakve prakse, ali i organizacije

radnih aktivnosti. Područje u neposrednoj blizini radionice na položaju Velike Hlebine prema svojim reljefnim, pedološkim i hidrološkim preduvjetima potencijalno je pogodno za razvoj močvarnih ruda, te je moguće očekivati postojanje ležišta u neposrednoj blizini lokaliteta (vidi poglavlje 3.1.3.). S tim u vezu može se dovesti i činjenica da se položaj radionice nalazi oko 300 metara zračne udaljenosti od istovremenih struktura kod kojih su prepoznati nasebinski elementi na lokalitetu Hlebine–Dedanovice, što može implicirati odabir položaja radionice u odnosu na blizinu izvora sirovine, rude. Moguće je da se eksploatacija, a potom priprema rude, izvodila neposredno prije ili u vremenskim okvirima bliskim izvedbi postupka taljenja. Prostorna povezanost područja eksploatacije, pripreme i redukcije ruda u svakom slučaju nosi određene dobrobiti vezane uz ekonomičnost procesa proizvodnje željeza i utrošak energije. Prema eksperimentalnim testiranjima (Prilog 1; Karavidović 2020a), ruda postupkom prženja značajno gubi na težini, prvenstveno zbog gubitka vlage u strukturi i sagorjevanja organskih primjesa (Buchwald 1998: 22–23; Rzepa et al. 2016: 618–619) te postaje rahlija i lomljivija. Također, eksperimenti su ukazali na značajan gubitak u ukupnoj masi zbog usitnjavanja koje se može pripisati pucanju ulomaka prilikom prženja, uzrokovanog pritisku koji stvara voda u strukturi rude u trenutku u kojemu dosegne temperaturu vrenja (Pleiner 2000: 114). Ukupan gubitak na težini uzrokovan ovim dvama čimbenicima pri eksperimentalnom testiranju je iznosio 48–55% (Prilog 1; Karavidović 2020a). U slučaju izvođenja postupaka pročišćavanja, poput ispiranja ili mehaničkog čišćenja rude, koji su vjerojatno bili primjenjivani nad ovim uzorcima gubitci u cjelokupnoj težini bili bi još značajniji. Dalekosežni transport vlažne, netom iskopane rude nad kojom nisu primijenjeni postupci pročišćavanja, diskriminacije i prženja uvjetovao bi značajniji utrošak energije time i nižu razinu ekonomičnosti. Prema dostupnim podacima, moguće je pretpostaviti da su ova dva postupka bila u neposrednoj vezi, što bi ujedno označavalo i da su oba postupka izvođena od strane iste odnosno jedinstvene ili u najmanju ruku povezane skupine. Dodatni argument neposrednoj povezanosti postupaka prženja s eksploatacijom sirovine je i implikacija o prženju većih, potencijalno vlažnijih ulomaka rude na lokalitetu Velike Hlebine, donesena ranije na temelju mineraloške analize uzoraka (vidi poglavlje 3.1.4.3.). U tom slučaju, postupak prženja, iako nema značajniji utjecaj na rezultate taljenja u odnosu na osušenu rudu (Karavidović 2020b), imao bi primarno funkciju sušenja rude, bez potrebe značajnijeg termodinamičkog utjecaja, što bi objasnilo pretpostavljenu kraću i/ili slabiju razinu prženja vidljivu u mineraloškom sastavu ruda s lokaliteta Velike Hlebine. Uzorci vrlo kvalitetnih prženih ruda pronađeni su i u kontekstu prostorno i vremenski bliskog lokaliteta Hlebine – Dedanovice. Obzirom na uzak raspon i gotovo identične datume dobivene radiokarbonskom analizom (Botić 2021), moguće je pretpostaviti i povezanost aktivnosti

izvođenih na ove dvije arheološke cjeline. U tom smislu pronalazak rude u kontekstu naseobinskog karaktera mogao bi implicirati skladištenje rude i sezonalnost ili isprekidan ritam proizvodnje spužvastog željeza unutar radionice na Velikim Hlebinama. Tome u prilog išli bi i stratigrafski odnosi uočeni na prostoru pojave talioničkih peći, iz kojih je razvidan vremenski odmak u podizanju i/ili korištenju peći (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 67–72, fig. 24). Alternativno, pojava ruda na Dedanovicama mogla bi označavati raznolikost u organizaciji aktivnosti vezanih uz proizvodnju željeza u ovom vremenskom razdoblju. Idealni vremenski preduvjeti za taljenje rude svakako bi pripadali dobu godine kada su vremenske prilike stabilne odnosno razina vlage je niža, kako bi se dugotrajni postupak taljenja mogao neometano odvijati. Nalaz otiska lista u ulomku zgure s lokaliteta Velike Hlebine svjedoči o trenutku izvođenja jednog od mnogobrojnih postupaka taljenja odnosno neposredne posredkujske obrade<sup>42</sup> izvedenih unutar prostora radionice. Arheobotanička analiza pokazala je da se radi o mladom listu crne johe (*Alnus glutinosa*) kakav je prisutan tijekom sezone rasta, u proljeće i rano ljeto (Šoštarić, Vilović 2021: 217–218). Upravo u ovom razdoblju vremenske prilike su idealne za izvođenje taljenja, a moguće je pretpostaviti i optimalne uvjete za eksploataciju ruda u vidu pojačane vidljivosti okolišnih indikatora (vidi poglavlje 3.1.3.) te nižih vodostaja i razine podzemnih voda odnosno niske mogućnosti poplavljanja plitkih depresija kakve su prisutne u neposrednoj blizini radionice, a u kojima se pretpostavljaju optimalni preduvjeti za formaciju ležišta rude. Geokemijsku povezanost ruda s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice moguće je uočiti i kroz multivarijatnu PCA i hijerarhijsku klaster analizu, u koju su uključeni glavni, elementi u tragovima i elementi rijetkih zemalja (Sl. 3.5-3.6). Ova skupina jasno se izdvaja od ostalih arheoloških uzoraka s drugih lokacija, te uzorci pokazuju međusobno značajne sličnosti koje mogu upućivati na slične uvjete pri formaciji ruda, odnosno isto ili vrlo blisko izvorište.

Uzorci neprženih ruda loše kvalitete iz arheološkog konteksta 8./poč. 9. st. s lokaliteta Virje – Volarski breg (Tab.3.1-3.3: VVBS2B 1–3), pronađeni su u asocijaciji s naseobinskim elementima dok se na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine (Tab.3.1-3.3: HVHS 3 1) pojavljuje uzorak nepržene rude nešto bolje kvalitete, također u kontekstu s naseobinskim elementima. Prisutnost postupka prženja u 8./poč. 9. st. posvjedočena je uzorkom rude loše kvalitete na lokalitetu Virje – Sušine (Tab.3.1-3.3: VSS8 1), u kontekstu s naseobinskim elementima (Sekelj Ivančan 2021:167–170), ali i ostacima postupaka vezanih uz postredkujsku obradu

---

<sup>42</sup> Uzorak zgure prema makroskopskim karakteristikama mogao bi pripadati zguri iz unutrašnjosti talioničke peći ili zguri iz kompaktiranja spužvastog željeza.

spužvastog željeza (vidi poglavlje 2.4.), a postupak prženja izveden je i nad ulomcima s lokaliteta Log Parag 1 (Tab.3.1-3.3: L-P), koji datiraju u 2/2 7. st. i 8. st.. Komparativna analiza svojstava ruda i zgure te analiza tehnološke iskoristivosti ovih uzoraka ruda pokazala je da nisu korištene pri analiziranim postupcima taljenja u sklopu istovremene radionice na lokalitetu Virje – Volarski breg (vidi poglavlje 3.1.4.1: sl. 3.12). Unutar prostora istražene radionice za proizvodnju spužvastog željeza koja datira u kraj 8./poč. 9. st, približno isto vrijeme kada i nalazi ruda s lokaliteta Virje – Volarski breg i Sušine, nisu sa sigurnošću definirane strukture ili ostaci koji se mogu dovesti u isključivu vezu s postupkom prženja (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 51, 54–55), a na samom lokalitetu nije pronađen niti jedan uzorak rude. S druge strane, uzorak pržene, vrlo vjerojatno diskriminiranog dijela rudnog konglomerata pronađen je u asocijaciji s naseobinskim elementima i postredukcijskom obradom spužvastog željeza. Moguće je da je ovakva slika uvjetovana pripremom sirovina na prostoru odvojenom od talioničkih postupaka u ovom razdoblju. Međutim nije moguće sa sigurnošću utvrditi gdje bi se ovaj postupak izvodio. Priprema rude neposredno uz područje eksploatacije umanjila bi utrošak energije i povećala ekonomičnost procesa proizvodnje, kako je ranije naglašeno, no u tom slučaju upitno je jesu li rudari uistinu bili vični prepoznati povoljne od nepovoljnih karakteristika ruda i obaviti proces pripreme. Ovakva razina poznavanja utjecaja sirovine na krajnji proizvod na iskustvenoj razini vezana je prvenstveno uz aktere koji izvode postupke taljenja. Postoji mogućnost da obe faze proizvodnje obavlja ista skupina, odnosno da su rudari ujedno i talioničari. Arheološki kontekst u kojemu su pronađene rude govori nam da su neki od postupaka pripreme ruda mogli biti obavljani u sklopu boravišnog/naseobinskog prostora. Većina ruda koje pripadaju ovom razdoblju su nepržene rude iz konteksta s naseobinskim elementima, izuzev uzorka s lokaliteta Virje – Sušine (VSS8 1) i jednog od dvaju uzoraka s lokaliteta Log Parag 1 (KI– LP 2) koji je prema relativno dataciji na temelju keramike moguće datirati u nešto širi vremenski period (2/2 7. – 8. st.) od ostalih radiokarbonski i relativno datiranih lokaliteta na položajima Virje – Volarski breg i Sušine (Botić 2021, Sekelj Ivančan 2021). Potonje implicira moguću različitu praksu s vremenskim odmakom, no u oba slučaja prženje ruda vrlo vjerojatno nije prostorno vezano neposredno uz talioničke radionice. Uzorci niske kvalitete s lokaliteta Virje – Volarski breg i Sušine vrlo vjerojatno su diskriminirani dijelovi rudnog konglomerata od kojih je jedan i pržen što implicira djelomičnu pripremu uz naseobinski/boravišni prostor, ali i vezu između postupaka postredukcijske obrade (Sušine, Sonda 8) spužvastog željeza i sirovine za njegovu proizvodnju, odnosno povezanost ovih dviju faza postupaka proizvodnje. Dodatno, uzorci ruda koje pripadaju 8./9. st. bez obzira na sličnosti u kvaliteti rude, prema ukupnom geokemijskom sastavu pokazuju značajniju međusobnu

varijabilnost koja može implicirati njihovo porijeklo odnosno eksploataciju iz različitih ležišta, raznolikost u području eksploatacije, a time potencijalno i različite skupine rudara. Potonje može implicirati i postojanje određene razine specijalizacije, odvojenost skupine rudara i talioničara, kojima se može pripisati i priprema sirovina izvedena djelomično u sklopu boravišnog/naseobinskog prostora (pročišćavanje – diskriminacija).

Rude kontekstualno datirane u kraj 4./5. st. (VSS 7 1– 3) potječu s jednog lokaliteta (Virje – Sušine, sonda 7), iz istog sloja otpada (SJ 314). Geokemijski uzorci pokazuju najveću varijabilnost u sastavu pri čemu je moguće pomišljati na različito izvorište (varijacija položaja ležišta) ovih uzoraka. Mineraloški sastav ukazuje da su dva od tri uzorka bila pržena pod nejednakim uvjetima (Sl. 3.2: skupina 1 i 3), dok jedan uzorak rude nije prošao kroz proces prženja. Obzirom na lošu kvalitetu ruda (dva od tri uzorka) i kontekst pronalaska u sloju otpada, ove rude mogu se smatrati diskriminiranim dijelovima rudnog konglomerata (vidi poglavlje 3.1.4.1). Potonje implicira da su rude vrlo vjerojatno bile pripremane u sklopu radionica, iako tragovi prženja nisu prepoznati u arheološkom zapisu. Obim sonde arheološkog iskopavanja nije zahvatio cjelokupni prostor pretpostavljene radionice, što je vidljivo iz rezultata geofizičkih istraživanja (poglavlje 2: sl. 2.3; Mušič, Horn 2021: 26–27, fig.7– 8.), stoga je moguće da se tragovi (ako postoje) nalaze u neposrednoj blizini istraženog prostora, odnosno radionice za proizvodnju željeza. S druge strane, rude pronađene u kontekstu ove radionice pokazuju najveću varijabilnost u sastavu (poglavlje 3.1.1.2: sl. 3.3-3.4) u kontekstu tehnološke iskoristivosti, ali i ukupnog elementnog sastava (Sl. 3.5) koji se može dovesti u vezu s lokalizacijom izvorišta te je moguće da su prikupljane iz više ležišta. Na osnovu sličnosti s ostalim rudama pronađenim u kontekstu lokaliteta na širem području Virja, bez obzira na njihovu vremensku i prostornu pripadnost (položaji sonde u okviru nekoliko stotina metara) moguće je pomišljati da su izvori sirovina bili slični, moguće neposredno uz radionice. Na postojanje preduvjeta za formaciju ruda na ovom području upućivale bi i reljefni, geološki i hidrološki preduvjeti.

## **3.2 Ugljen**

Analiza ugljena iz arheološkog konteksta jasno povezanog s aktivnostima proizvodnje željeza (zapuna ložišta talioničkih peći, jame za pripremu sirovina, slojevi otpada od proizvodnje željeza) s lokaliteta na Virju i Hlebinama ukazuje da su u proizvodnim aktivnostima tijekom kasne antike i ranoga srednjega vijeka korištene lokalne, lako dostupne vrste drva. Prema udjelu zastupljenosti u analiziranim uzorcima, glavninu drvnih resursa, na svim istraženim položajima i u svim razdobljima čini hrast (*Quercus*), a značajnije udjele moguće je pripisati jasenu

(*Fraxinus*) dok se sporadično pojavljuje i grab (*Carpinus*), javor (*Acer*), joha (*Alnus*) i topola (*Populus*), brijest (*Ulmus*), orah (*Juglans*) (Sekelj Ivančan et al. 2018; Botić, Culibeg 2021). Razlike u zastupljenosti određenih vrsta na istraženim položajima moguće je tumačiti kroz spregu odnosa kronološke pripadnosti, klimatoloških uvjeta razdoblja ali i funkcionalnog odabira majstora metalurga, no sve identificirane vrste mogle su biti prisutne u neposrednoj blizini radionica, na područjima zasićenim vlagom ili nešto višlje aluvijalne ravnice (Kevey 2019: 303, 317-318, fig. 18.4, 18.8-18.9).

O preradi i/ili proizvodnji sirovina na prostoru na kojemu se odvijalo i taljenje te pročišćavanje spužvastog željeza svjedoči arheološki zapis, jame sa zapečenim dnom koje se pojavljuju u kontekstu cjelovitije istraženih ranosrednjovjekovnih i kasnoantičkih metalurških radionica na lokalitetu Virje–Volarski breg (Sonda 1 i 3) i Hlebine–Velike Hlebine. Proizvodnji ugljena potencijalno bi se mogle pripisati tvorevine na lokalitetu Virje – Volarski breg i to u dvije radionice (Sonda 1 i 3). Iako kod ovih tvorevina nije moguće sa sigurnošću definirati ukazuju li one na tragove ugljenica ili ložišta za prženje rude, slojevi zapune zasićeni ugljenom pri dnu jama s Volarskog brega (vidi poglavlje 5) upućuju da bi se ovdje ipak moglo raditi o zapisu kakav bi nastao proizvodnjom ugljena. Jame na oba položaja vrlo su plitka ukopa te imaju sličan slijed zapunjavanja, s izraženim slojevima zasićenim garom ili sipkom gorevinom i zapečenim tlom dna (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021). Ovakav zapis upućivao bi na način proizvodnje ugljena u nadzemnim ugljenicama plitkog dna/baze. Određene razlike u dimenzijama, te sastavu gornjih slojeva zapune su prisutne, no čini se kako u 5./6. st. (S–3) i u 8./9. st. (S–1) nije bilo značajnije promjene u načinu izvođenja postupaka pripreme sirovina.

## **4 Analiza zgure i tehničke keramike**

### **4.1 Kontekst pronalaska i metodološki pristup**

Nalazi koje se može dovesti u vezu s metalurškim aktivnostima, obrađeni u ovom poglavlju, potječu s lokaliteta: Virje – Volarski breg (Sonda 1, 2a i 3, 2b), Virje – Sušine (Sonda 5, 7, 8), Hlebine – Velike Hlebine (Sonda 1 i 2) i Dedanovice (Sonda 1–4). Obrađeni su i nalazi s istih nalazištakoji u glavnini pokazuju značajke kakve je moguće dovesti u vezu s naseobinskim prostorima (strukture i vrsta arheoloških pokretnih nalaza) (Sekelj Ivančan 2021) - Virje – Sušine (Sonda 6, 10 i 11) i Volarski breg (Sonda 2b).

Ovdje obrađeni nalazi koje velikom većinom čini metalurški otpad s lokaliteta Virje – Volarski breg i Sušine selektivno su (2008) i u cijelosti (2010, 2012–2014) prikupljeni tijekom terenskih istraživanja te su prvi puta preliminarno obrađeni u razdoblju 2015–2017. godine kada je napravljena njihova osnovna morfološka klasifikacija, kvantifikacija prikupljenih nalaza, a odabrani uzorci su detaljno katalogizirani (Hrovatin, Sekelj Ivančan 2015; 2017).<sup>43</sup> Arheološki nalazi s lokaliteta Hlebine–Velike Hlebine i Dedanovice, istraženih 2016–2018. godine, prikupljeni su u cijelosti te obrađeni kvantitativno i kvalitativno dok su s lokaliteta Virje – Sušine i Volarski breg obrađeni postojeći, prethodno selektirani nalazi koji čine osnovnu bazu podataka ove vrste arheološke građe i pohranjeni su u Muzeju grada Koprivnice. Slijedom primjene selektivne metodologije prikupljanja otpada za postojeću bazu i otpisivanja dijela otpada nakon primarne analize u nadležnom muzeju, interpretacija poput obima proizvodnje i sustavne usporedbe materijala iz svih sondi vrlo je ograničena.

#### **4.1.1 Makroskopska analiza**

Makroskopska analiza sirovina, otpada, dijelova struktura i poluproizvoda osnovni je pristup arheološkog istraživanja postupaka vezanih uz proizvodnju željeza te temelj za odabir uzoraka za daljnje arheometrijske analize. Svi dostupni nalazi pregledani su i obrađeni makroskopski te su revidirani rezultati prvotne makroskopske analize (Tab. 4.1, 4.2.) (Hrovatin, Sekelj Ivančan 2015). Izrađena je njihova osnovna klasifikacija prema morfološkim karakteristikama te su ulomci opredijeljeni prema tipu nalaza (tehnička keramika: stijenke peći i sapnice), zgura, poluproizvod) i pripadnosti određenim postupcima u procesu proizvodnje (redukcija–taljenje,

---

<sup>43</sup> Dio zguze sa Sušina koji nije katalogiziran korišten je u eksperimentalnim testiranjima provedenim kao dio javne prezentacije Muzeja grada Koprivnice tijekom Renesansnog festivala u Koprivnici 2011. i 2012. godine (Čimin 2021). Nalazi koji nisu katalogizirani prethodno su dokumentirani kvantitativno te fotografski, a dokumentacija se čuva u arhivi Instituta za arheologiju.



postredukcija – kompaktiranje, primarno kovanje, varenje), dok je dio nalaza zgure s nedovoljno iskazljivim fizičkim karakteristikama uvršten u skupinu neodređeno.

Tablica 4.1 Ukupna količina svih nalaza vezanih uz proizvodnju željeza prema prostoru istraživanja. \*nalazi prikupljeni selektivno, nepotpun podatak. (revidirano prema: Hrovatin, Sekelj Ivančan 2015)

<b>Lokalitet</b>	<b>Sonda</b>	<b>Težina (g)</b>
	1 i 2	656.376,00
Hlebine – Velike Hlebine	3	195,00
	<b>Ukupno</b>	<b>656.377,95</b>
	1	42.321,00
	2	791,00
Hlebine – Dedanovice	3	790,00
	4	334,00
	<b>Ukupno</b>	<b>42.670,81</b>
	1*	<b>42.415,00</b>
Virje – Volarski breg	2a i 3	<b>207.640,00</b>
	2b	<b>15.349,00</b>
	5	<b>1119830,00</b>
	7	<b>774.162,00</b>
Virje – Sušine	8	<b>74.075,00</b>
	6	<b>175,00</b>
	10b	<b>2.715,00</b>
	9	<b>862,00</b>
		<b>2.517.248,76</b>

Tablica 4.2. Osnovne kvantitativne vrijednosti za analizirane nalaze prema lokalitetu i vrsti nalaza

LOKALITET			ZGURA						SIROVINA	OTPAD/FE	PREDMET	TEHNIČKA KERAMIKA						
Područje - lokalitet	Položaj	Datacija	Sonda	REDUKCIJA		POSTREDUKCIJA				Ruda	Izrazito magnetičan otpad - željezo	Fe predmet	Stijenke peći		Sapnica			
				Talionička		Primamo kovanje i kompaktiranje / sekundarno kovanje		Primamo kovanje - varenje					Necodređeno		g	kom.	g	kom.
				g	kom.	g	kom.	g	kom.	g	kom.	g	kom.	g	kom.	ul.	g	kom. min.
Volarski Breg	8./poč.9.st.	1	25.764	248					9.310	62				7.341	74	85		35
		2b	10.235	145	309				494	12	186	7			4.121	181	12	
	2/2 5.-6./poč.7.st.	2a - 3	131.042	1.146	2.565	5			25.317	281				47.957	945	27		25
Virje	kraj 4.-2/2 7.st.	5	649.001	2.739	58.676	157			180.456	729		2.582	21	229.115	1.838	282	27.049	124
		6	143	10										32	3			
	Sušine	kraj 4.-8./poč.9.st.	7	331.110	5.149	19.498		21.971	313	55.317	900	141	10	326.258	8.971	276	8.815	57
		8./poč. 9.st.	8	45.599	5.395	2.006	32			9.625	215	123	6	16.066	660	65	707	2
		kraj 4.-8./poč.9.st.	9	397	10					161	9			276	17	1	8	1
		10a								306	31			348	24			
		2/2 7.- 8./poč. 9.st.	10b	188	4	133	1			957	10			963	15	1	42	1
?	11	418	9					227	9			37	4					
Hlebine	2/2 6.-7.st.	1	43.303	1.932	12.896	90			21.451	1.387	175	8	15.437	1.026	32	195	4	
		2	238.662	3.848	2.689	15			5.180	135	10	2	313.788	6.079	182	19.410	69	
	8./poč.9.st.	3	?	?	168	1			1.129	24	312	1	107	6	3	45	1	
Dedanovice	2/2 6.-7.st.	1			11.595	555					716	39	16.193	774	34	1.780	9	

LOKALITET				ZGURA				SIROVINA	OTPAD/FE	PREDMET	TEHNIČKA KERAMIKA							
Područje - lokalitet	Položaj	Datacija	Sonda	REDUKCIJA		POSTREDUKCIJA		Necodređeno	Ruda	Izrazito magnetičan otpad - željezo	Fe predmet	Stijenke peći		Sapnica				
				g	kom.	g	kom.					g	kom.	g	kom.	ul.	g	kom. min.
Dedanovice	2/2 6.-7.st.	2		351	14				15	2		53	1	31	4			
		3		3.080	114				262	24	74	3		2.428	160	5	79	1
		4		197	14						42	2		95	3			

#### 4.1.2 **Mineraloška i kemijska analiza**

Mineraloška i kemijska analiza izvedena je nad 75 uzoraka zgure. Mineraloška analiza izvedena je nad 71 uzorkom od kojih je kemijski analizirano 68 uzoraka. Ovim uzorcima pridružene su i analize glavnih oksida i elemenata s lokaliteta Virje Volarski breg (Sonda 1 ) kod kojih nije prethodno napravljena mineraloška analiza. Uzorci su odabrani prema pripadnosti različitim postupcima u proizvodnom lancu operacija (redukcija (tri tipa zgure iz talioničkog postupka) i postredukcija (odmaklost procesa) te kontekstualnim - prostornim (lokalitet, kontekst unutar lokaliteta) i temporalnim (datacija lokaliteta) odrednicama. Mineraloške i kemijske analize zgure mogu jasnije odrediti tip procesa kroz koji je zgura prošla odnosno klasifikaciju određenih tipova, ali i ukazati na uvjete u peći, način izvođenja postupaka te u širem kontekstu i evoluciju talioničkih i kovačkih recepata (Bachman 1982; Joosten 2004; Blakelock et al. 2009; Charlton et al. 2010; 2012; Ion et al. 2015; Eliyahu–Behar et al. 2008; Portillo et al. 2018). Sve analize učinjene su s ciljem sagledavanja karakteristika upotrijebljenih sirovina, nastalog otpada i finalnog proizvoda te kako bi se utvrdile sličnosti i razlike proizvodnog procesa prisutnog u kontekstu promatranih lokaliteta.

Tablica 4.3 Analizirani uzorci talioničke i postredukcijske zgure – podaci o kontekstu. IZ – ispuštena zgura, ZDP – zgura s dna talioničke peći, DP – dno ognjišta peći – zgura i zalijepljen pijesak, PK- zgura iz primarnog kovanja (zgura s dna kovačke peći), V-PK – zgura iz procesa pročišćavanja i/ili varenja

Lab.br. (XRD)	ID uzorka	Lokalitet	Sonda	SJ	N/U/KAT.BR.	Podvrsta	Kontekst	Datacija
<b>Talionička zgura: postupak redukcije</b>								
7882	VVB S3 T IZ 1	VIRJE – VOLARSKI BREG	3	191	U 55 1	IZ	zapuna sa zgurom i ugljenom zapečeno dno ukopa oko 2.5 m promjera	2/2 5. – 6. St. – poč. 7. St.
7884	VVB S3 T IZ 2		3	001/180	U 56 3	IZ – STAKL	kontakt humusa i sloja s otpadom	
7877	VVB S3 T ZDP 1		3	201	U 74/1 4	ZDP/DP	Zapuna – jama s otpadom	
7878	VVB S3 T ZDP 2		3	201	U 74/2 1	ZDP/DP	zapuna – jama s otpadom	
7880	VVB S3 T ZDP 3		3	201	U 80 1	ZDP	zapuna – jama s otpadom	
7881	VVB S3 T ZDP 4		3	187	U 2	ZDP	zapuna sa zgurom, sapnicama, zapečeno dno ukopa oko 2.5 m promjera	
7883	VVB S3 T ZDP 5		3	001/180	U 56A 2	ZDP	vrh sloja s otpadom	
7885	VVB S3 T ZDP 6		3	001/180	U 56B 9	ZDP	vrh sloja s otpadom	
7879	VVB S3 T ZDP 7		3	201	U 74 5	ZDP	zapuna – jama s otpadom	
7891	VVB2a T IZ 1		2a	138(sjever)	N 140 1a	IZ	dno talioničke peći (?)	kraj 6. st. – poč. 7. st.
7890	VVB2a T IZ 2	2a	138(sjever)	N 140 1b	IZ	dno talioničke peći (?)		
7892	VVB S1 T ZDP 1	1	38	N 95 2	ZDP/DP	in situ zgura u peći – Peć 3	8./poč. 9.st.	
NA	VVB S1 K 1		44	N 22 1	PK	zapuna plitke jame – mjesto kovanja		
NA	VVB S1 T IZ 1		8	N 67 1	IZ	in situ zgura u peći – Peć 1		
NA	VVB S1 T ZDP 2		8	N 90 1	ZDP	in situ zgura u peći – Peć 1		

NA	VVB S1 T IZ 3			29B/C	N 93 6	IZ	in situ zgura u peći – Peć 2	
NA	VVB S1 T ZDP 3			29A	N 94 1	ZDP	in situ zgura u peći – Peć 2	
NA	VVB S1 T ZUP 1			38A	N 95 1	ZUP	in situ zgura u peći – Peć 3	
NA	VVB S1 T ZUP 2			56A	N 59 1	ZUP	in situ zgura u peći – Peć 5	
NA	VVB S1 T IZ 2			56B	N 83 5	IZ	in situ zgura u peći – Peć 5	
7863	VS S8 T IZ 1	VIRJE – SUŠINE	8	330	N 348 1	IZ	jama – u asocijaciji s ranosrednjovjekovnom keramikom	8./poč. 9. st. (apsolutna i relativna)
7992	VS S5 T IZ 1		5	217	U 124 6	IZ	sloj otpada	kraj 4. – 1/2 5. st.
7994	VS S5 T IZ 2		5	237	U 126 1	IZ	jama s otpadom uz rub profila – nije istražena u cijelosti	kraj 4. – 5. st.
7860	VS S7 T ZDP 1		7	327	N 432 A	ZDP	cjelovita zgura iz jednog taljenja	
7861	VS S7 T IZ 1		7	327	N 427/1 B	IZ	cjelovita zgura iz jednog taljenja	
7986	VS S7 T IZ 2		7	314	N 295/1 5	IZ	sloj otpada	
7987	VS S7 T IZ 3		7	317_305	U 37	IZ	sloj otpada	
7988	VS S7 T IZ 4		7	314	N 295/7 86	IZ	sloj otpada	
7989	VS S7 T IZ 5		7	314	N 295/14 116	IZ	sloj otpada	
7874	VS S7 ZUP 1		7	314	N 295 114	ZUP	sloj otpada	
6665	VS S7 B		7	314	N 295/8 89	BL	sloj otpada	
7991	VS S5 T IZ 3		5	270	U 125 2	IZ	zapuna plitkog ukopa uz rub profila – zgura in situ u peći? Talionička zgura u zapuni	2/2 6. – 2/2 7. st.
7993	VS S5 T IZ 4		5	240	U 115 2	IZ	zapuna jame s talioničkom zgurom	
7634	HVH T IZ 1	HLEBINE – VELIKE HLEBINE	1	38B	N 133 14	IZ	zgura in situ – peć	kraj 6. – 7. st.
7648	HVH T IZ 2		1	37A/1	N 140 7	IZ	zgura in situ – peć	
7653	HVH T IZ 3		2	109/110	N 251 1	IZ	sloja otpada/posdepozitna naplavina	
7661	HVH T IZ 4		2	109/110	N 251 2	IZ	sloja otpada/posdepozitna naplavina	
7651	HVH T IZ 5		2	97/98	15	IZ	sloj otpada	
7655	HVH T IZ 6		2	65	N 169 4	IZ	Zapuna – jama s otpadom	
7654	HVH T IZ 7		2	69	N 166 5	IZ	zapuna – jama s otpadom	

7659	HVH T IZ 8		2	113	N 270 6	IZ	sloja otpada/posdepozitna naplavina – najdublji dio	
7633-1	HVH T ZDP 1		1	38A	N 135 15A	ZDP	zgura in situ – peč	
7635	HVH T ZDP 2		1	37A	N 144 3	ZDP	zgura in situ – peč	
7641	HVH T ZDP		1	37A/1	N 137 3A	ZDP	zgura in situ – peč	
7650	HVH T SKL 3		1	001/25	N 36 3A 1 B	ZDP/DP	kontaktni sloj iznad zapune s otpadom	
7636	HVH T ZDP 4		1	37A/1	N 137 3B	ZDP	zgura in situ – peč	
7633-2	HVH T ZUP 1		1	38A	N 135 15B	ZUP	zgura in situ – peč	
7643	HVH T ZUP 2		1	37A/1	N 137 2	ZUP	zgura in situ – peč	
7660	HVH T ZUP 4		2	113	N 266 14	ZUP	sloja otpada/posdepozitna naplavina – najdublji dio	
7644	HVH T SKL 1		1	37A/1	N 145 6	ZDP/DP	zgura in situ – peč	
<b>Postredukcijska zgura</b>								
7903	HD K 1	HIEBINE- DEDANOVICE	1	33a	U 85	PK	zapuna ognjišta peći 1	kraj 6. – 7. St.
7904	HD K 2		1	33a	N 27 2	PK	zapuna ognjišta peći 1	
7905	HD K 3		1	31b	U 63 6	PK	zapuna jame ispred ognjišta peći 1	
7906	HD K 4		1	33a	U 57 7 a i b	PK	zapuna ognjišta peći 0	
7645	HVH K 1	HLEBINE-VELIKE HLEBINE	1	7	N 87 4	PK	sloj otpada	
7662-2	HVH K 10		1	46 – dno	N 75 6	PK	zapuna plitke jame	
7647	HVH K 2		1	5A	N 128 3	PK	sloj otpada	
7646	HVH K 3		1	5A	N 128 1	PK	sloj otpada	
7640	HVH K 4		1	5A	N 128 2	PK	sloj otpada	
7639	HVH K 5		1	5A	N 128 4	PK	sloj otpada	
7642	HVH K 6		1	7	N 87 1	PK	sloj otpada	
7649	HVH K 7		1	48c	N 89 1	PK	zapuna plitke jame – sloj otpada	
7652	HVH K 8		1	31	N 74 5	PK	zapuna plitke jame – sloj otpada	
7662-1	HVH K 9		1	45 – dno	N 75 5	PK	zapuna plitke jame – sloj otpada	
7873	VS S7 K 1	VIRJE – SUŠINE	7	314	N 295 98	PK	sloj otpada	kraj 4. – 5. st. ili 2/2 6./poč. 7.st.
7990	VS S7 K 2		7	314	N 295 59	PK	sloj otpada	
7875	VS S10B K 1		10b	436	N 632 3	PK	naseobinski objekt (?)	2/2 – kraj 7. – 3/4 8. st.. (relativna i apsolutna)
7876	VS S10B K 2		10b	436	N 632 4	PK	naseobinski objekt (?)	

7855	VS S7 VK 1	VIRJE VOLARSKI BREG	7	296	N 364 5	PK	jamska peć	2/2 7.– 8.st.
7854	VS S7 VK 2		7	296	N 364 5	PK	jamska peć	
7853	VS S7 VK 3		7	296	N 411/1 1	V	jamska peć	
	VS S7 VK 4		7	296	N 411/1	V	jamska peć	
7866	VS S8 K 1		8	318	N 320 12	PK	objekt naseobinski (?) – u asocijaciji s keramičkim materijalom kuhinjskog posuđa, željezni nož, trapezoidna željezna predica, jezičac od bronce (Sekelj Ivančan 2021: 149, 167–168, Tab.1, Pl.11, 12.)	8/poč. 9.st. (apsolutna i relativna)
7867	VS S8 K 2		8	315	N 302 3	PK		
7871	VS S8 K 3		8	315	N 294 14	PK		
7864	VS S8 K 4		8	318	N 342 17	PK		
7865	VS S8 K 5		8	318	N 342 17	PK		
7868	VS S8 K 6		8	315	N 294 10	PK		
7869	VS S8 K 7		8	315	N 294 11	PK		
7889	VVB S2A K 1		2a	116	N 260 1	PK	sloj otpada (u vezi sa SJ 115)	kraj 6.– poč.7.st.
7887	VVB S2A K 2		2a	148	N 144 1	PK	zapuna jame s kovačkom zgurom	
7886	VVB S2A K 3		2a	173	U 51 1	PK	zapuna jame s kovačkom zgurom	
7888	VVB S2B K 1	2b	107	N 114 1	PK	zapuna – u asocijaciji s keramičkim materijalom (Sekelj Ivančan 2021: 149, 158–163, Tab. 1., Pl.6.)	2/2 7.– 8/poč. 9.st. (relativna)	



## 4.2 Zgura

### 4.2.1 Morfološka svojstva i klasifikacija

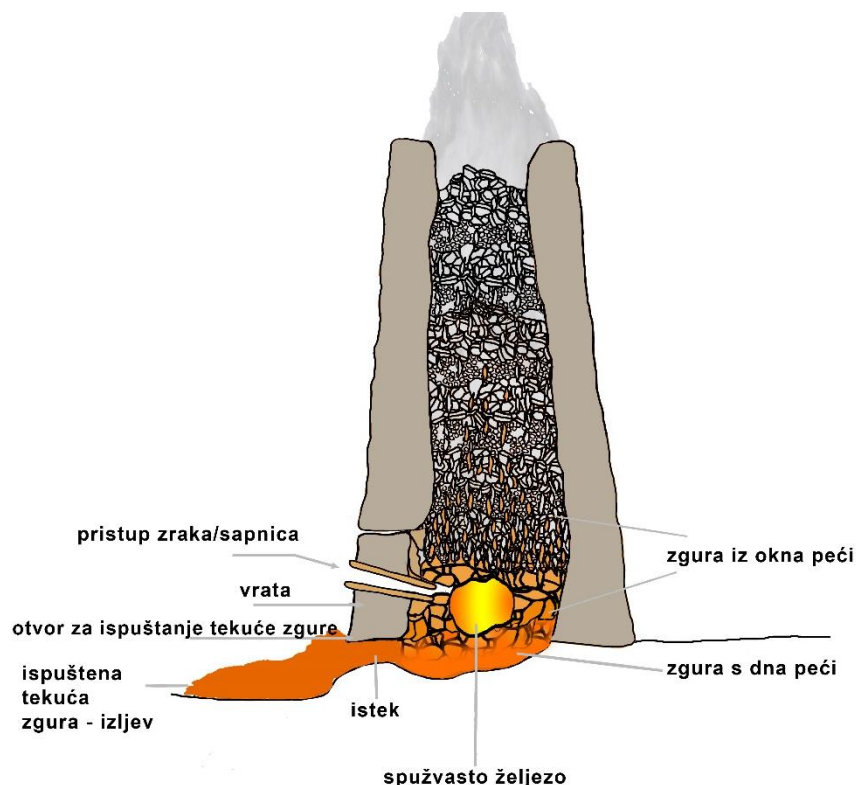
Zgura (eng. *slag*, fran. *scorie*, njem. *schlacke*) je tehnološki otpad koji nastaje pri proizvodnji željeza. Tipološka klasifikacija vezana je uz pojedinačne autore i pripadajući arheološki materijal, a zbog karaktera materijala i varijabilnosti procesa kojim su nastali nije (i ne može biti) u potpunosti uniformna. Ipak, detaljnije studije koje su pružile uvid u osnovne parametre klasifikacije izveli su autori: Sperl et al. (1980), McDonnell (1983), Tylecote (1987), Piaskowski (1987), Echenlohr, Seernells (1991), Seernells (1993), Dunikowski i Cabboi (1995), Leroy (1997). Poveznica potonjih sustava klasifikacije vidljiva je u pridruživanju zgure određenim procesima (taljenje, kompaktiranje, primarno i sekundarno kovanje) kako naglašava R. Pleiner (2000: 255–267). Druga razina podrazumijeva određivanje podvrste zgure prema oblikovnim svojstvima i značajkama vanjskih površina i presjeka koji svjedoče o uvjetima pod kojima se solidificirala zgura te položaju u odnosu na strukturne elemente peći ili kovačke instalacije te spužvastog željeza u tom trenutku. Iz potonjeg razloga, kategorije su najčešće imenovane opisno: 1) talionička zgura - zgura iz unutrašnjosti peći – okna ili dna, ispuštena zgura, blok zgure iz jame ognjišta itd., 2) kovačka zgura – zgura s dna peći. Međutim, postoje i amorfni ulomci te specifični oblici poput sfera, sitnih tekućih izdanaka i okujine.

U radu je zadržan ovaj, osnovni princip a zgura je klasificirana prema razlikovnim morfološkim svojstvima opisanim zasebno za određeni tip zgure – poglavlje 4.2.1.1. i 4.2.1.2.

Morfološke karakteristike zgure, svjedoče o osnovnom tehnološkom postupku kojim je zgura nastala, no obzirom na prirodu materijala i njegovo brzo hlađenje mogu svjedočiti o načinu izvođenja postupka (ispuštanje zgure kroz otvor (mjesto, ritam, alat)), obliku peći ili kovačke instalacije. U nekoj mjeri, makroskopski vidljive karakteristike mogu sugerirati razlike u korištenim sirovinama (primjerice viskoznost ispuštene zgure) ili svjedočiti o dodacima taljenju. Definiranje vrste zgure i pridruživanje određenom postupku nije uvijek jednoobrazno, obzirom da se morfološki slični oblici mogu pojaviti kod više postupaka. Slične morfološke karakteristike mogu dijeliti zgura iz unutrašnjost talioničke peći i kompaktiranja spužvastog željeza neposredno po vađenju iz peći ili nataložena zgura s dna talioničke peći i s dna peći za primarno kovanje – pročišćavanje. Također, zgura je ponekad amorfnog oblika ili je razina postdepozitnih promjena poput korozije ili utjecaja vode iz naplavina značajna te su teško prepoznatljive indikativne karakteristike. U potonjem slučaju zgura je označena kao neodređena.

#### 4.2.1.1 Talionička zgura: postupak redukcije

Zguru nastalu kao otpad iz postupka direktne redukcije u talioničkim pećima nazivamo talioničkom zgurom. Ovisno o dizajnu peći i načinu izvođenja postupaka taljenja moguće je uočiti razlike u zguri na makroskopskoj razini. Analizirana zgura može se svrstati u osnovne podtipove, opisno nazvane prema položaju naspram peći: zgura iz unutrašnjosti peći – iz okna peći (eng. *Furnace slag*), zgura s dna peći (eng. *Furnace bottom slag*) te ispuštena zgura (eng. *Tap slag*) (Sl. 4.1.). Ovakva deskriptivna terminologija standardni je način klasifikacije talioničke zgure koja nastaje postupkom taljenja u pećima s plitkim ognjištem kod kojih se u tijeku postupka ispuštao suvišak zgure izvan peći (Pleiner 2000: 262), a koje su prisutne kod istraženih lokaliteta. U arheološkom setu uzoraka pojedini tipovi zgure javljaju se fizički vezani jedni uz druge te klasifikacija u tom slučaju nije jednoznačna. Dodatno, značajna razina usitnjavanja učestalo onemogućuje detaljniju klasifikaciju, a ovisno o postdepozitnim uvjetima u razmjeru sa zasićenošću željezom zgura je često amorfnog oblika i površina je zahvaćena korozijom te nije moguće raspoznati i tipološki odrediti pojedine uzorke. Iz istog razloga, kvantifikacija pojedinačnih kategorija nije u potpunosti referentan i mjerljiv parametar za analizu obima proizvodnje stoga je kvantificirana ukupna prisutnost talioničke zgure.



Slika 4.1. Pojednostavljeni grafički prikaz položaja zgure u tijeku procesa taljenja

Osnovne morfološke odrednice, primijenjene pri klasifikaciji vidljive su na Slici 4.2.. Ove odrednice predstavljaju opće primjenjiv okvir za klasifikaciju, no realnost pri makroskopskoj analizi zgure jest da gotovo svaki ulomak nosi morfološki specifične karakteristike. Potonje je moguće pripisati nizu faktora, od individualnosti izvođenja postupaka i odnosa prema otpadu u tijeku postupka, strukturnih (dizajn peći) i operativnih parametara (ulazne sirovine, atmosfera i temperatura u peći, način izvođenja postupka) te postdepozitnih promjena. Zgura s dna peći taloži se neposredno ispod spužvastog željeza u tijeku procesa, te ju karakterizira hrapava, namreškana gornja površina, učestalo magnetna. Donja površina odražava otisak tla pri ognjištu, a presjek oblik ognjišta, često plano-konveksnog ili konkavno-konveksnog oblika. Ovaj tip zgure može se stvoriti na cijeloj površini dna peći i odražavati promjer ognjišta no često je takvog karaktera tek dio zgure koji se taloži neposredno ispod spužvastog željeza, a uz rubne dijelove peći javlja se zgura s otiscima nedogorenog ugljena, hrapave teksture, nepravilna oblika i visoke razine razvedenosti (kruna). Ponekad se uz rubne dijelove javlja i zgura glatke tekuće teksture s otiscima ugljena ili bez, koja označava neispuštenu tekuću zguru s dna peći. Zguri iz unutrašnjosti peći može se dodatno pridružiti ulomke s tragovima ugljena koji potječu iz okna peći (položajno iznad ili oko spužvastog željeza) i porozne amorfnе ulomke. U oknu peći ponekad mogu zaostati i ulomci nereducirane rude ili fragmenti spužvastog željeza koje se nije sinteriralo u potpunosti. Sitni ulomci pojedinačnih rastaljenih izdanaka zgure (eng. *slag prills*), ali i sferični oblici (engl. *slag spheres*) mogu se pojaviti unutar okna peći (Bayley et al. 2015: 22–23, fig. 15; Dungworth 2011: 227–228; pl. 47.), na što je ukazala i analiza zgure iz eksperimentalnih testiranja (Karavidović 2020b) iako se ovaj oblik zgure najčešće veže uz postredukcijske postupke (Jouttijärvi 2015). Pri procesu taljenja iz ognjišta peći ispuštena je tekuća zgura koju nazivamo ispuštenom zgurom-izljevom, a u arheološkom materijalu najčešće je moguće definirati masivnije ulomke pojedinačnih izljeva. Gornja površina ovog tipa zgure je glatka, ponekad namreškana, a karakterizira ju i niz pojedinačnih tokova ili jednolično solidificirana površina. Uz izljev koji je ispušten izvan peći često je očuvan i istek (eng. *slag rod*), početak izljeva iz peći. Potonji predstavlja pozitiv primarnog mehanizma ispuštanja zgure, odnosno bušenja tla ili stijenki peći za ispušt zgure. Pozitiv rupe za istjecanje – istek može biti očuvan i uz zguru s dna talioničke peći, pri središtu ili bočnim dijelovima.

Tablica 4.2. Opće morfološke karakteristike podtipova talioničke zgure.

TIP ZGURE	POLOŽAJ PRI HLADENJU	TEKSTURA	STRUKTURA	BOJA	MAGNETNA	OBLIK	PRIMJER	
		POVRŠINA	PRESJEK					
<b>Izljev</b>  <b>Ispuštena zgura</b>	Tekuća zgura ispuštena izvan ognjišta peći.	Gornja površina glatka, namreškana. Vidljivi tokovi tekuće zgure - različite debljine pojedinačnih izdanaka izljeva ili jednolično solidificirana površina bez vidljivih pojedinačnih izdanaka. Donja površina neravna, usko razvedena, površinski glatka, vidljiv otisak tla/dna. Sjajna/mat.	Različita razina poroznosti, najčešće gušće nataložena.. Donji dio učestalo gušće nataložen, neposredno uz gornju površinu šupljine. Jednolična ili nejednolična zastupljenost poroznosti u cijelom presjeku. Razlike impliciraju uslojenost - razlike u hlađenju - može implicirati višestruko ispuštanje zgure.	Tamno sivo, ponekad mjestimično crvenkasto, natruhe zelenkaste, plavičaste.	da-ne	Raznovrstan - oblik prostora (jame ili površine tla) na koji je istekla.	T. 1, 2, 11- 14.	
		Izvan ili djelomično unutar peći, odnosno probušenog prostora u tlu ili stijenkama peći.	Gornja površina varira - ovisno o položaju isteka - može biti glatka (tekuća- solidifikacija na otvorenom ) i hrapava (solidifikacija pod tlom). Donja površina uvijek ima otisak dna/tla - glatka ali usko razvedena.					Različita razina poroznosti do gusto nataložena. Slična presjeku izljeva.
<b>Zgura iz unutrašnjosti peći</b>	"kruna"	Zgura zaostala pri dnu ognjišta peći, uz rubni dio - u razini spužvastog željeza.	Hrapava, namreškana, razvedena - otisci ugljena, često korodirana. Mat.	Otisci nedogorenog ugljena, porozna.	Tamno - svjetlije sivo, crvenkasto, natruhe zelenkaste, plavičasto.	da-ne	Nepravilan ili djelomično slijedi kružni oblik ognjišta - rubni dio pri dnu.	T.3, 5, 6, 13, 15, 16.

			Glatka. Mat/sjajna.	Tragovi nedogorenog ugljena, razvedena	Tamno - svijetlije sivo, crvenkasto, natruhe zelenkaste, plavičasto.	da-ne	Nepravilan ili djelomično slijedi kružni oblik ognjišta - rubni dio pri dnu.	
<b>Zgura iz okna</b>								
		Različito - gornji dijelovi okna peći ili u razini spužvastog željeza	Zrnata, hrapava, često korodirana. Mat.	Gusta	Korodirana površina - narančasto. Tamno sivo i crvenkasto mjestimično.	da	Nepravilan - amorfni korodirani ulomci iz okna peći. Moguće (polu)reducirana ruda - zadnje mjerice ubačene u peć ili nesinterirani ulomci spužvastog željeza s manjom ili većom zasićenošću zgurom.	
<b>Zgura iz unutrašnjosti peći</b>								
	nataložena zgura s dna	Unutrašnjost (?) - dno - ognjište peći.	Hrapava, neravna, usko razvedena gornja površina. Ponekad otisci nedogorenog ugljena na rubnim dijelovima Donja površina otisak dna - usko razvedena.	Nataložena, relativno homogena, moguće poroznosti.	Tamno sivo, često korodirana s gornje strane - narančasto.	Gornja površina često magnetna, donja nemagnetna.	Oblik ognjišta ili središta ognjišta, često plano-konveksna ili konkavno-konveksna (otisak - udubljenje od spužvastog željeza s gornje strane).	T1:1:1; 3:2; 11:3,4; 12:2; 13:1
<b>Zgura sa dna</b>	kružna tvorevina - uslojeni zgura i nagoreno tlo.	Unutrašnjost - dno - ognjište peći.	Glatka gornja površina, dno najčešće nagoreno prijanjajuće tlo (pijesak-glina s dna ognjišta)	Bez mnoštva poroznosti.	Tamno sivo	ne	pravilan kružni tlocrtno, u presjeku konkavno-konveksan.	T.3; 2; 12:2,3; 13:1

#### 4.2.1.1.1 Virje – Sušine

##### 4.2.1.1.1.1 Sonda 7

U Sondi 7 pronađena je i rekonstruirana cjelovita talionička zgura iz jednog taljenja (T.1), no ostaci ognjišta peći, ispusne jame ili kanalice nisu identificirani u arheološkom terenskom zapisu (Sl. 2.5: SJ 327 – Peć 1.). Na potonjem primjeru morfološki je jasno odvojiva zgura iz unutrašnjosti – s dna peći i ispuštena zgura (izljev). Ukupna težina zgure je 3765 g. Pozitiv zapisan u zguri svjedoči da je pri otvoru za istek bila izdubljena duguljasta kanalica trokutastog presjeka koja završava plitkim proširenjem. Ispust za zguru probušen je pri dnu ognjišta peći, koje je blago ukopano u tlo. Korištena alatka je vrlo vjerojatno oštih bridova (trokutast presjek).

Analizirani izljevi (T.1-2) pokazuju varijacije u nekoliko osnovnih morfoloških parametara: 1) boja (jednolična tamno siva, mjestimično i povremeno svijetlo–blijedo zeleno–siva, crvenkasta), 2) površinska tekstura (uski pojedinačni tokovi, razlivena površina bez pojedinačnih tokova, narebrena površina), 3) slojnost (jednoslojni ili višeslojni). Ponekad su vidljivi manji ulomci stijenke peći zalijepljeni za površinu zgure. Kod cjelovitijih ulomaka vidljivo je da su istjecale u jamicu trokutastog ili lećastog presjeka, poput jame kod očuvane cjelovite zgure – peć 1. (Sl. 2.5: SJ 327). Ovakvi presjeci mogu upućivati na varijacije u načinu pripreme prostora za ispuštenje, no prema primjeru cjelovite očuvane zgure mogu pripadati istom mehanizmu ispusta – duguljastoj jamici s trokutastim presjekom i proširenju na kraju na kojemu zgura slobodno istječe. Cjeloviti izljevi ili ulomci sačuvani iznad 85% kod kojih je bilo moguće izračunati ukupnu moguću težinu (5 komada), teže između 2176 i 682 g. Potonji potječu iz istog konteksta, slojeva otpada (Slika 2.5: SJ 314 i 317)<sup>44</sup> datiranih u kraj 4./5. st..

O bušenju ili otvaranju otvora u razini ognjišta peći, ispod nadzemnog dijela peći svjedoči većina izljeva i očuvanih isteka, što je moguće zaključiti prema površinskoj teksturi zgure i položaju ostataka ispusta naspram izljeva. Ipak, u ovom procesu je možda ponekad bila oštećena stijenka peći, o čemu svjedoči sporadična pojava zalijepljenih, sitnih komadića stijenke na površini izljeva (T.1: 2). Zgura je ispuštena vjerojatno s bočne strane (bočno od dovoda zraka – sapnice) peći ili na položaju podalje od zone najviše temperature u peći o čemu svjedoče isteci s dijelom zgure iz unutrašnjosti peći (krune) pri dnu, koja se ne formira

---

<sup>44</sup> Slojevi SJ 314 i 317 vrlo vjerojatno čine jedinstvenu cjelinu, no odvojeni su prilikom arheološkog terenskog istraživanja obzirom da ih je presjekao recentni kanal (Sl. 2.5).

neposredno ispod spužvastog željeza (centralni središnji položaj u peći i/ili blizu sapnice), već na rubnim dijelovima ognjišta. Isteci (T.2) vidljivi na uzorcima mogu se odvojiti prema četiri kategorije: 1) veličina (promjer – mali (oko 2 cm), srednji (oko 3 cm) i veliki (4 cm)), 2) oblik (okrugao–ovalan, blago četvrtast i trokutast), 3) količina na istom uzorku (jednostruk, dvostruk, trostruk) te 4) načinu na koji su postavljeni (horizontalno paralelno, vertikalno paralelno i vertikalno nepravilno). Ukupno je analizirano 207 isteka (fragmentirani), od čega tek dva uzorka pripadaju dvostrukim istecima i dva trostrukim. Višestruki, jasno odvojeni isteci mogu svjedočiti o ritmu ispuštanja zgure, u više navrata o čemu svjedoče i višeslojni izljevi. Oblik isteka svjedoči o korištenju alata koji je mogla biti jednostavna zašiljena šipka ili alatka s raskovanim prednjim dijelom, promjera ili širine bridova minimalno kao najmanje varijante otvora (isteka) – oko 2 cm. Naravno, postoji mogućnost uporabe više alatki o čemu bi svjedočili različiti oblici otisaka istjecanja zgure, iako je načelno moguće dobiti sve oblike s alatkom raskovanih ravnih krajeva. Ovakav, oštri tip alatke ujedno bi mogao služiti za otvaranje peći.

Nataložena zgura s dna peći rijetka je pojava, no ipak su identificirani neki ulomci (T.3: 2) promjera između 15 i 11 cm, a istom tipu može se pripisati i dio cjelovito očuvane zgure *in situ* - peći 1 (SJ 327). Karakteristična je pojava zgure iz okna peći s vidljivim tragovima nedogorenog ugljena (T.3: 3-4). Javlja se morfološki dva podtipa, s glatkom i hrapavom površinom. Oba tipa najčešće pokazuju tragove taloženja pri dnu peći, no položajno ih je moguće smjestiti na rubne dijelove ognjišta peći, izvan zone najintenzivnijih temperatura, formiranja spužvastog željeza i slijevanja zgure ispod njega – na prostoru gdje je sagorjevanje ugljena sporije. Činjenica da je ovakva zgura očuvana, može svjedočiti o: a) otvaranju peći u trenutku kada sav ugljen nije izgorio i b) o čišćenju peći neposredno nakon ekstrakcije spužvastog željeza. Ako bi se zgura ostavila u peći, solidifikacija bi tekla sporije zbog dugoročnijeg održavanja visokih temperatura te bi posljedično ugljen izgorio, a zgura se vrlo vjerojatno jače nataložila pri dnu ognjišta. Prisutnost nataloženih zgura s dna peći i ovog tipa zgure može svjedočiti o varijabilnosti u načinu izvođenja postupka. Zgura s nedogorenim ugljenom značajnije je prisutna u cjelokupnom analiziranom uzorku, što implicira i primjenu čišćenja puno češće no ostavljanja zgure unutar peći. Ovakva slika mogla bi se dovesti u vezu s višestrukim taljenjem u istoj peći, ali i povremenom, sezonskom ili isprekidanom ritmu taljenja na prostoru radionice. U tom slučaju, zgura iz posljednjeg talioničkog postupka bila bi ostavljena unutar peći. Razlozi ovakvom napuštanju mogu se ogledati u protoku dužeg vremenskog perioda između dvije radne kampanje, dovoljno dugo da se struktura peći ne bi očuvala pod utjecajem prirodnog propadanja. Dva radiokarbonska datuma dobivena iz ugljena

koji je prikupljen iz bliskih stratigrafskih jedinica (Botić 2021: 93, Tab. 1. U: 7/U 190, 198)<sup>45</sup>, pokazuju odstupanje, te datiraju u 4. – ½ 5. st. (SJ 314) i 2/2 6. – poč. 7. st. (SJ 345). Obzirom na jedinstvenost položaja otpada u sondi iz kojeg je prikupljena glavnina zgure, sličnih međusobnih karakteristika (SJ 314 i 317) moguće je zaključiti da u ranijoj fazi korištenja nije bilo značajnijeg odstupanja u vremenskom korištenju radionice te bi se pojava ova dva tipa zgure, ali i standardna pojava određenih tipova koji svjedoče o opetovanoj uporabi istih načina ophođenja s postupkom (kruna, oblici jamica za istjecanje zgure i standardna alatka) mogla dovesti u vezu sa sezonskim odnosno povremenim taljenjem uz manji vremenski odmak, vrlo vjerojatno od strane istih ili jedne linije zanatskog učenja majstora talioničara.

U ovoj sondi javljaju se i drugi tipovi zgure koja je mogla pripadati talioničkom postupku, zgura iz okna peći koja ne pokazuje tragove taloženja na dnu peći. Ovi uzorci također pokazuju tragove ugljena, mahom su amorfno oblika, ponekad blago magnetne, a u presjeku su porozne. Pojava ovog tipa zgure također može svjedočiti o prekidu procesa – ekstrakciji spužvastog željeza prije potpunog izgaranja ugljena kao i kod morfološki slične zgure s dna, rubnih dijelova ognjišta.

O dimenzijama unutrašnjosti peći svjedoči jedan ulomak dvostrukog isteka, na kojemu je vidljiv obris polukružnog oblika, prepoznat prema razlici u površinskoj strukturi zgure (hrapava i neravna – unutrašnjost, glatka – izljev) koja upućuje na položaj dijela ulomka. Rekonstrukcija promjera otiska govori u prilog da je promjer unutrašnjeg dijela ognjišta peći bio oko 26 – 30 cm.

#### 4.2.1.1.1.2 Sonda 8

Zgura pronađena u sondi 8 potječe iz kontaktnog sloja humusa i gornjih slojeva zapune objekta (SJ 001/288, 215/316 i 336). Pojavljuju se ulomci izljeva i isteka. Isteci (3 ulomka) su vrlo slični onima u Sondi 7, jednostruki, okruglog-ovalnog promjera (3,3 x 2,5 cm, 2,4 x 2,2 cm, 2,0 x 1,7cm) i dvostruki (2,3 x 2,3 cm) u vezi s dvoslojnim izljevom. Tlocrtno ravni i duguljasti, površina s donje i bočnih strana ima otisak tla/dna, te je jednolične teksture. S gornje strane površina je razvedena, narebrena. Izljevi su dosta fragmentirani te nije bilo moguće napraviti procjenu ukupne težine. U glavnini se razlikuju prema gornjoj površini (pojedinačni tokovi

---

<sup>45</sup> 7/U 190, SJ 314: Calibrated Age: Cal AD 420, One Sigma Calibrated result (68 %): Cal AD 456±51Cal AD 400–425 Two Sigma Calibrated result (95 %): Cal AD 385–475Cal AD 485–535. 7/U 198, SJ 345: One Sigma Calibrated result (68 %): Cal AD 435–447 (0,101 %), Cal AD 472–486 (0,140 %), Cal AD 535–585 (0,759 %), Two Sigma Calibrated result (95 %): Cal AD 429–494 (0,333 %), Cal AD 508–520 (0,025 %), Cal AD 527–603 (0,642 %)



zgure uski ili široki), a svi analizirani imaju trokutast do planokonveksan presjek, debljine oko 3,5 cm.

#### 4.2.1.1.1.3 Sonda 5

Većina talioničkog otpada potječe iz sloja SJ 214 i 215 (Sl. 2.5.)(Tab. 4.1). Isteci (T.7) su najzastupljeniji pojedinačni podtip talioničke zgure, često vezani uz izljev ili zguru iz unutrašnjosti peći, a njihov morfološki izgled značajno varira. Svi isteci pronađeni na lokalitetu katalogizirani su po prvotnoj obradi (Sekelj Ivančan, Hrovatin 2015), te ih je ukupno 120. Ova brojka predstavlja okvirni broj talioničkih procesa koji su se odvijali na istraženom prostoru. Morfološki, isteci se mogu podijeliti prema: 1) veličini promjera (4 razreda promjera ili najdužeg brida – mali (a) 1,5 – 1,7 cm i (b) 2,1 – 2,3 cm), srednji (2,6 – 3,2 cm) i veliki (a) 3,6 – 4,0 cm i (b) 4,2 – 6 cm), 2) obliku (okrugao–ovalan, blago četvrtast i trokutast), 3) količini na istom uzorku (jednostruk, dvostruk, višestruk (3–5)) te 4) načinu na koji su postavljeni (horizontalno paralelno, vertikalno paralelno, nepravilno horizontalno i vertikalno)(T.7). Izljevi (T.4) variraju prema teksturi gornje površine (uski tokovi, bez pojedinačnih tokova, narebreni) i slojnosti (jednoslojan, višeslojan). Ponekad se na gornjoj površini javljaju stijenke peći zalijepljene za zguru, što može svjedočiti o razbijanju stijenki pri zadnjem ili jedinom ispustu zgure (T.4: 3). 465–9308 g Cjeloviti izljev ili ulomci kod kojih je zgura očuvana iznad 90% (6 uzoraka) teže između.<sup>46</sup> Ostaci peći (*in situ*) ili cjelovita zgura iz jednog taljenja nisu pronađeni u Sondi 5, no prema terenskom zapisu pretpostavljen je trag talioničke peći, djelomično istražen (Sl. 2.8.: SJ 270/271).<sup>47</sup> Unutar zapune ove jame pronađena je isključivo talionička zgura, moguće dva cjelovita izljeva s dijelom zgure iz unutrašnjosti peći (T.5). Prvi uzorak čini izljev s dijelom zgure iz unutrašnjosti peći, a vidljivi istek je dvostruk ili trostruk. Prema jasno vidljivoj međi između zgure koja se solidificala unutar peći i ispuštene zgure, moguće je

---

<sup>46</sup> Težine cjelovitijih izljeva značajno variraju a pojedinačno, prema procjeni teže: 465g, 467g, 1157g, 2020 g 2393 g, 3617 g, 9308 g.

<sup>47</sup> Dimenzije ukopa SJ 271: 0,52 (I–Z) x 0,26 (S–J) m. Međutim, radi se o nepotpuno istraženom tvorevini obzirom da je ulazila pod profil, stoga jedine cjelovite dimenzije su one S–J koje bi u slučaju da se radi o ukopu jamice za izljev zgure ispred sugeriraju njezinu širinu. Pri istraživanju je zabilježeno da je neistraženi dio ukopa (pozicija potencijalnog ognjišta peći) nešto dublji no razina istraženog dijela. Pri dnu istraženog ukopa tlo je bilo zapečeno te izrazite sivo plavičaste boje (Sekelj Ivančan 2012: 29). Ovakva situacija dodatno sugerira da je vrela zgura ispuštena upravo na ovom mjestu odnosno da je ovaj plitki ukop dio jamice u koju je ispuštena zgura te da je ognjište peći ostalo neistraženo. Slične karakteristike pokazivali su i ukopi SJ 256 i 276, koji su također djelomično istraženi jer su zadirali pod neistraženu površinu. Ukop 256 je dimenzija – 1,13 (I–Z) x 0,38 (S–J) m, od čega je cjelovito istražena širina u smjeru S–J. U ovoj zapuni nisu pronađeni nalazi zgure, no zapuna je bila izrazitije tamnosive boje te je prikupljen zapečeni lijep prema terenskom izvješću – moguće dijelovi stijenki peći. Ukop SJ 276 je dimenzija: 0,29 (I–Z) x 0,32 (S–J) m, od čega su pune dimenzije širine 0,32 cm. U njemu također nije pronađena zgura ni tehnička keramika. Sve tri tvorevine, potencijalni ostaci peći jednake su orijentacije te se nalaze gotovo u prostornoj ravnini duž linije S–J. Tvorevine SJ 275/275 i 255/256, izrazito su blizu jedna drugoj.

pretpostaviti promjer unutrašnjosti ognjišta peći oko 28 cm (ili malo više). Ova zgura teži 844 g, dok drugi cjeloviti izljev teži 1573 g. U istoj zapuni pronađeni su i sitni izdanci tekuće zgure, kakvi su mogli nastati u unutrašnjosti talioničke peći.

Zguru iz unutrašnjosti peći predstavljaju ulomci s površinom razvedenom otiscima ugljena, koji su ponekad vezani uz ulomke dna peći kakvi se formiraju neposredno ispod spužvastog željeza. Dva dobro očuvana primjera ukazuju na pojavu peći različita unutrašnjeg promjera, oko 36 – 42 cm (T.5)<sup>48</sup> i 26 – 30 cm (T.6).<sup>49</sup> Kod oba uzorka morfološke karakteristike zgure svjedoče o zonama zagrijavanja u peći, i njihovom položaju. Moguće je pretpostaviti da se na položaju udaljenom od sapnice formira zgura s nizom otisaka nedogorenog ugljena. Širina područja zahvaćena ovim otiscima varira, ovisno o udaljenosti i raspodjeli zone najviših temperatura i prostra formiranja spužvastog željeza (T. 5-6: 2). Sličan primjer koji svjedoči o dimenzijama ognjišta (40–42 cm), ali i morfološkim karakteristikama zgure udaljene od sapnice jest primjer zgure iz unutrašnjosti, razveden otiscima ugljena s očuvanom stijenkom peći (T.3: 5). Prema razini nagorenosti (izostanku vitrifikacije) moguće je zaključiti da se ovaj ulomak nalazio na rubnim dijelovima udaljenim od sapnice. Uzevši u obzir debljinu stijenke sačuvanu na ovom ulomku peći, vanjski promjer peći iznosio bi 46 – 52 cm. Značajnije nataloženi ulomci zgure s dna talioničke peći su rijetki (tek dva primjera sa sigurnošću identificirana), a karakterizira ih otisak tla s dna peći na donjoj strani te relativno porozna struktura presjeka (T.3: 6).

Podaci pokazuju da se na prostoru sonde 5 izvođeni višestruki postupci različitim praksom odnosno načinom izvođenja postupka, u pećima različite veličine. Način izvođenja postupka, vidljiv iz mehanizma ispusta zgure, može se podijeliti minimalno na dvije (moguće i više) skupine. Prvu skupinu činili bi višestruki isteci (tri i više pojedinačna ispusta), a drugu i treću (?) jednostruki i dvostruki isteci. Kod izljeva je vidljiva znatna oscilacija u težini rekonstruiranih i cjelovitih izljeva, gdje zasigurno vidimo dvije, a moguće i tri skupine. Težinske kategorije pojedinih skupina nije moguće neupitno izolirati obzirom da ne postoji prirodna granica već težine progresivno rastu. Prema potonjim podacima, moguće je pomišljati o dvije a moguće i

---

<sup>48</sup> O većem promjeru peći osim prikazanog primjera svjedoče ulomci zgure s dna rubnih dijelova ognjišta peći, vidljiv rub te zakrivljenost uz rub ognjišta (SJ 231, N 96/5/2 i SJ 218 N 120/2/8). Procjenjeni promjer kod oba uzorka je 40 – 42 cm.

<sup>49</sup> Promjer sličnih dimenzija vidljiv je i na drugim indikativnim ulomcima: istecima - 1) promjer unutrašnjosti peći 26 - 30 cm moguće je pretpostaviti kod trostrukog isteka (SJ 214, N 95/2/13) prema strukturi gornje površine isteka, koja je dijelom neravna i hrapava – unutrašnjost peći, a dijelom glatka – izljev, 2) dvostruki istek sa zgurom iz unutrašnjosti peći (SJ 314, N 295/16/128) ukazuje na promjer oko 26 cm (ili malo više) i ulomku zgure iz unutrašnjosti peći (SJ 214 95/4/6) – položajno pripada rubu peći, a vidljiva zakrivljenost rubnog dijela ukazuje na širinu unutrašnjosti peći, promjer cca 30 cm.

više, manje ili više vremenski odvojene faze izvođenja postupaka na prostoru što potvrđuju i radiokarbonski datumi koji smjestaju uporabu prostora u 4/5.st i krajem 6. – ½ 7.st. i u 2/2 7.st.

#### 4.2.1.1.1.4 Sonde 6, 9, 10 i 11

U ostalim istraženim sondama na položaju Sušine pronađena je manja količina izrazitije fragmentirane talioničke zgure. U Sondi 10a i b prisutno je tek 4 sitna ulomka zgure koja bi se mogla pripisati talioničkim postupcima, a radi se o ulomcima glatke površine, tekuće teksture prije solidifikacije vjerojatno fragmentima izljeva. Većina ovih ulomaka pronađena je u humusnom sloju i gornjim slojevima zapune jama (Sekelj Ivančan 2021: 163–165, Tab. 1, fig. 13–14 (SJ 424 i 436)). U sondi 10a pojavljuju se sitni izdanci tekuće zgure u asocijaciji s sferičnim sitnim komadom zgure. Ovakav tip zgure može se javiti pri talioničkim, ali i kovačkim postupcima. U Sondi 9, u sloju humusa i naplavine, pronađeno je devet ulomaka talioničke zgure, izrazito fragmentiranih ulomaka. U Sondi 11 pronađeno je devet ulomaka izljeva u humusnom sloju i zapuni jame (SJ 465) (Sekelj Ivančan 2021: 164, fig. 13). U sondi 6 pronađeno je 10 izraziro fragmentiranih ulomaka (ispod 5 cm) izljeva.

Talionička zgura pronađena u potonjim sondama na položaju Sušine pokazuje morfološke odlike tipične za najzastupljeniji tip zgure – izljeve, a pojavljuju se i komadi neodređenog karaktera, amorfni, izrazito korodirani koji se ne mogu sa sigurnošću pripisati postupku taljenja. U sondama se ne pojavljuju strukture koje bi se mogle dovesti u vezu s talioničkim ili nekim drugim postupcima obrade željeza. Zastupljenost ove zgure u površinskom humusnom sloju i gornjim slojevima zapune ili naplavini može implicirati sekundarni depozit. Sve sonde nalaze se na zračnoj udaljenosti od 10 m (Sonda 9) do 50 m (Sonda 11 i 6) od prostora na kojima su utvrđene znatne količine zgure prisutne površinski i u podpovršinskom zapisu (Položaji Sonde 5, 7, 8), a prostor je oranica s kontinuiranom poljoprivrednom obradom zemljišta.

#### 4.2.1.1.2 Virje – Volarski breg

##### 4.2.1.1.2.1 Sonda 1

Iz Sonde 1 potječu cjelovite nakupine talioničke zgure iz dva postupka taljenja, pronađene *in situ* unutar ostataka ognjišta peći i jame za ispust zgure (T. 8-9). Unutar ognjišta triju peći (Sl. 2.10: Peć I, II, V) (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021)(T. 8-10) pronađeni su i ostaci tlocrtno pravilne kružne tvorevine koju čini glatka gornja površina s rastaljenom zgurom te dno od zapečenog, pjeskovitog tla, a u presjeku je konkavno–konveksna. Ove tvorevine vrlo vjerojatno su se formirale pri dnu ognjišta ispod nataložene zgure s dna, neposredno ispod spužvastog željeza o čemu svjedoči nalaz iz peći s cjelovito očuvanom zgurom (Peć II i V) i arheološki

zapis o položaju (T. 8-10). Tvorevine impliciraju da je ognjište bilo blago udubljeno u središnjem dijelu, a mogu biti indikativne i za širinu spužvastog željeza (24–17 cm). Kod tvorevine iz Peći II vidljiva su dva sloja taloženja (T. 8), što bi se moglo pripisati izvođenju postupka taljenja dva puta u istoj peći ili je zgura ispuštana dva puta s vremenskim odmakom. Kod izljeva Peći II (T.8) vidljivo je da je zgura istjecala u dva navrata, s vremenskim odmakom dovoljnim da se prvotni izljev solidificira.<sup>50</sup> Jama za istek zgure udubljena je ispod razine ognjišta, vrlo vjerojatno prethodno pripremljena za istek i usmjeravanje otjecanja zgure. Ulomci gotovo cjelovitog izljeva pronađeni su unutar (pri rubu) jamice za ispuštanje zgure od peći s cjelovito sačuvanom zguricom iz jednog taljenja (T. 8: 1b, Peć II–SJ 29), a teže 2221 g. Ovaj izljev pripada zasebnom talioničkom postupku odrađenom vrlo vjerojatno ranije u istoj peći ili je iz peći zgura ispuštana u dva navrata s vremenskim odmakom. Obje opcije implicirala bi i dvoslojna zgura s dna kod iste peći. Cjelovita zgura iz jednog postupka taljenja pronađena u peći II i V, teži 8445 i 8444 g. U oba slučaja pojavljuje se nataložena zgura na dnu ognjišta peći, hrapave teksture i neravne površine. Prvotni istek je kod obje peći jednostruk, moguće proširen vertikalno, ovalnog presjeka.

Ostalu zguru prikupljenu na lokalitetu čine izljevi i zgura s dna i unutrašnjosti peći. Zguru s dna čini jedan ulomak, hrapave i neravne površine sa sporadično vidljivim otiscima ugljena, dok je zgura iz unutrašnjosti prisutna u vidu manjih ulomaka, amorfnog oblika razvedenih s prazninama, otiscima nedogorenog ugljena (dim. 1,5 x 2,0 cm). Isteke čini dva primjera, oba jednostruka, ovalnog (šir.: 3,0 cm x vis.:4,0 cm) i blago trokutastog presjeka (šir. 4,0 cm x vis. 2,6 cm ). Ulomci izljeva pokazuju povremenu pojavu crvenkaste boje na površini, a generalno su tamno sive boje. Vidljiva je i varijabilnost u teksturi površine, u vidu razlika u debljini pojedinačnih tokova zgure.

#### 4.2.1.1.2.2 Sonda 2a

Većina otpada iz Sonde 2a potječe iz slojeva zasićenim otpadom SJ 115 i 116 (Sl. 2.11-2.12). Indikativne tipove zgure u Sondi 2a čine: izljevi i isteci, a sporadično je u vezi s istecima očuvana i zgura iz unutrašnjosti peći (s dna). Pojavljuju se dvoslojni izljevi, s jasno odvojenom i zasebno solidificiranim slojevima zgure, koji sugeriraju ispuštanje zgure iz peći u tijeku procesa u dva (ili više) navrata, uz vremenski odmak (T.11:1). Tekstura površine i povremena pojava zalijepljenog pijeska s donje strane isteka svjedoči o probijanju otvora u razini dna ognjišta. Isteci su bušeni pod koso, ovalnim ili blago trokutastim alatom (dimenzija 2.7 cm x

---

<sup>50</sup> Solidifikacija zgure po ispuštanju iz peći odvija se vrlo brzo, a na temelju iskustvenog znanja utemeljenog na eksperimentalnim testiranjima (Karavidović 2020b) radi se o nekoliko minuta.

1.7 – 2.3 cm.), u dva ili tri navrata bušenjem paralelnih otvora postavljenih neposredno jedan do drugoga (T.11: 7). Pojavljuju se i ulomci jednostrukih isteka, za koje je otvor probijen alatom sličnih karakteristika, promjera 1,6 x 1,2 cm (SJ 131a, N 151). Kod jednog indikativnog primjera moguće je vidjeti položaj bušenja otvora za istek zgure - vrlo vjerojatno s prednje strane peći, u ravnini s mjestom na kojemu se formira spužvasto željezo, što sugerira vrsta zgure povezana uz istek koja pripada nataloženoj zguri s dna peći (T.11:1). Promjer zgure s dna peći, formirane neposredno ispod spužvastog željeza je oko 14 cm. Zgura iz unutrašnjosti peći je amorfnog oblika, porozna u presjeku te ne pokazuje tragove nedogorenog ugljena na površini.

#### 4.2.1.1.2.3 Sonda 3

Većina talioničke zgure potječe iz sloja na zapadnom dijelu sonde (Sl. 2.11: SJ 180) i iz sloja humusa neposredno iznad njega. Pojavlju se izljevi, zgura s dna peći a identificirano je i više isteka, fizički vezanih uz dno peći ili izljev (T.11: 2-6).. Pronađeni cjeloviti izljevi teže 3381 i 3498 g te svjedoče da je barem dva puta slična količina zgure ispuštena iz peći, odnosno da je slična količina rude ušla u sustav, i da je na sličan način tekao proces. Izljeve karakterizira relativno pravilan oblik koji ukazuje da se taloženje odvijalo u plitku jamicu kružnog – ovalnog oblika tlocrta, stijenki blago pod koso, dubine oko 5,2 cm (T.11:6). Izljev je vjerojatno ispušten u jednom mahu, odnosno taloženje i hlađenje zgure se odvijalo u uskom vremenskom okviru što implicira relativno jednolična struktura presjeka (T.11: 2, 7). Među analiziranom zgurom moguće je vidjeti više načina ispuštanja zgure u vidu pojave jednostrukih ili višestrukih isteka. Isteci su bušeni u razini ognjišta, dna peći. Višestruki isteci pokazuju bušenje otvora horizontalno paralelno (2 ili 4), moguće u istom mahu (spojeni i solidificirani zajedno) te vertikalno neravnomjerno raspoređeno, moguće u više navrata (pojedinačni jasno vidljivi – solidificirani zasebno). Vidljivi isteci sličnih su dimenzija i oblika, okruglog do blago ovalnog presjeka i promjera oko 2-3 cm (min. 1,9 i max. 2,9 cm). Na jednom uzorku pojavljuje se istek trokutastog presjeka, oko 4 cm širine stranice (T.11: 7). Zgura s dna peći u pravilu je dvoslojna, planokonveksna u presjeku, a razina nataloženosti je različita (T.11: 3). Svi analizirani ulomci pokazuju čestice željeza zarobljene u zguri (T.11: 3-4). Ponekad su vidljivi i sitni ulomci nedogorenog ugljena. Uzorci cjelovite zgure s dna peći teže 1680 g (promjera je oko 13 cm), dok drugi uzorak pokazuje procijenjen promjer oko 15 – 16 cm. Jedinstven ulomak na kojemu su vidljiva četiri paralelna isteka pri dnu u strukturi zgure neposredno iznad isteka ima povećani ulomak spužvastog željeza utopljen u zguru (T.11: 5). Dio zgure, neposredno uz ulomak spužvastog željeza je izrazito staklaste površinske teksture. Moguće je da ovaj ulomak svjedoči o neuspjelom postupku ili djelomično uspjeljoj ekstrakciji spužvastog željeza. Potonji ulomak

također sugerira i da je zgura ispuštana u dijelu procesa kada se željezo već djelomično odvojilo – pred kraj postupka.

#### 4.2.1.1.2.4 Sonda 2b

U Sondi 2b prisutni su izljevi i zgura s dna peći te amorfni, značajno korodirani ulomci koji bi mogli pripadati unutrašnjosti talioničke peći, ali i postredukcijским postupcima poput kompaktiranja. Glavnina zgure pronađena je u zapuni jame (SJ 111) u asocijaciji s ranosrednjovjekovnom keramikom datiranom u kraj 8. i početak 9. st. (Sekelj Ivančan 2021: 158–163, Pl.7.).

#### 4.2.1.1.3 Hlebine – Velike Hlebine

U arheološkom terenskom zapisu pronađeni su ostaci četiriju talioničkih peći (Sonda 1), od kojih je kod tri identificirana *in situ* zgura iz jednog, posljednjeg taljenja (T. 12-13). Razina očuvanosti zgure nije potpuna niti jednolična kod svih peći. Najočuvanija peć (Sl. 2.14: Peć III) (SJ 37/1: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: Peć III, fig. 24) u cijeloj zapuni imala je 3985 g talioničke zgure i 935 g odlomljenih stijenki peći. Rekonstruirana zgura pokazuje sve morfološke oblike koji bi pripadali jednom postupku taljenja - zguru iz unutrašnjosti peći, s dna i izljev ((T. 12:1-Peć III, 13.). Zapuna druge peći (Sl.2.14: Peć II) (SJ 38: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021 : Peć II, fig. 24) imala je 3478 g talioničke zgure i 2482 g ulomaka stijenki. *In situ* je ležalo 2920 g zgure, a čini ju zgura s dna peći i dio (T.12:1,2). Kod treće peći (SJ 37: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: Peć I, fig. 24) očuvana je samo tvorevina pravilnog kružnog oblika s dna peći koju čini nataložen tanki sloj zgure sa zalijepljenim zapečenim pjeskastim tlom s donje strane (T.12:1,3). U cijeloj zapuni potonje peći pronađeno je 2637 g talioničke zgure. Stratigrafski odnosi pokazali su superordiniranost peći II i III naspram IV i I (T. 12: 1) koja implicira i čišćenje prostora od glavnine zgure iz i oko peći, zbog čega se cjelovitijim prikazom količine zgure iz jedne peći mogu smatrati podaci iz Peći III i II.

Analizirani izljevi pokazuju varijacije u nekoliko osnovnih morfoloških parametara: 1) boja (tamno siva, mjestimično i povremeno crvenkasta<sup>51</sup>, svijetlo sivo – zelenkasta<sup>52</sup>), 2) površinska tekstura (pojedinačni tokovi različite širine, razlivena-relativno jednolično solidificirana površina bez pojedinačnih tokova), 3) slojnost (jednoslojni ili dvoslojni (višeslojni?))(T.14: 1-4). Izrazitija varijabilnost u morfološkim karakteristikama zgure, prvenstveno boji i teksturi

---

<sup>51</sup> Uzorci s mjestimično crvenkastom površinom su i mjestimično magnetni (primjer: Sj 107, N 247/7).

<sup>52</sup> Uzorci na kojima je zamijećena zelenkasta boja prisutni su u stratigrafskim jedinicama: SJ 99 (N 188/1/5), 001/64 (N 167/4), 26, 36 (N 46/1 ), 69(N 166/7) 81 (N 181), 105 (N 230), 109 (N 251). Kemijski sastav nije analiziran za uzorke zgure ovih makroskopskih karakteristika.

površine zgure, može upućivati na razlike u viskoznosti zgure pri istjecanju (tekstura površine) i sastavu (boja). Izrazito zanimljivi su ulomci zelenkaste boje površine, potpuno atipične za zguru nastalu proizvodnjom željeza (T. 14: 5,6). Moguće je da je zelenkasta boja površine odraz postdepozitnih uvjeta u kojima je zgura stajala, poput utjecaja vode/vlažnog okruženja – naplavine. Potonje je vidljivo i kod uzoraka s drugih lokaliteta, međutim u slučaju uzoraka s lokaliteta Hlebine, zgura je ujedno vrlo porozna, iako je tekstura vanjske površine glatka (T.14: 6) . Kod nekih uzoraka cijeli presjek je porozan dok je kod drugih vidljiva i značajnija gustoća ispod površinskog sloja. Na jednom primjerku (SJ 001/64 (N 167/4)) vidljiv je malen kamenčić inkorporiran u zguru, kvarc. Ulomak kvarca pronađen je i u sloju naplavine SJ 003 (N 33/11). Pojava ovakve boje možda bi se mogla dovesti u vezu s većom zasićenošću silikatima ili alumosilikatima, na što ukazuju rezultati eksperimentalnog testiranja rude lose kvalitete s položaja Kalinovac – Hrastova greda i zgure koja se formirala u procesu (Prilog 2). Međutim, ove uzorke nije moguće s sigurnošću povezati isključivo uz neuspjeh postupak taljenja kao u slučaju eksperimentalnog testiranja. Ovakvi ulomci relativno su rijetki, a ponekad se zelena boja pojavljuje mjestimično unutar uzoraka koji nose i uobičajena obilježja tekuće zgure – grafitno sive boju i veću gustoću (T.14: 5). Iz istog razloga moguće je pomišljati da je pojava ove zgure u vezi s varijabilnim sastavom rude (ponekad zasićenijim silikatima), a potencijalno i uporabom talitelja. Uporabu talitelja mogli bi sugerirati ulomci kvarca koji se pojavljuju inkorporirani u zguru. S druge strane, močvarne željezne rude lako se tale te se čini da bi uporaba sredstva za potpomaganje taljenja mogla biti suvišna te bi mogla prouzročiti neželjen efekt upravo suprotan – pretjeranu redukciju i potencijalno neuspješno taljenje. Višeslojne izljeve karakteriziraju vidljivi međuprostori - poroznost između slojeva, koji svjedoče o nasjedanju zgure na prethodno solidificiranu površinu. Oblik izljeva implicira da su ispuštani u plitku jamicu konkavnog presjeka, ponekad duguljastu (19,3 x 17,0 x 5,0 cm) ili trokutastu. Jamica je bila pod nagibom u odnosu na izljev prema jednom primjeru. Ovakvu situaciju moguće je dovesti u vezu i s arheološkim zapisom, gdje je ispred ognjišta peći ustanovljena plitka jamica, a trag nagorenog tla, koji označava obris izlivena zgure upravo potvrđuje način istjecanja - uski prostor isteka zgure i proširenje pri kraju, kakvo je vidljivo i kod primjera izljeva. Ukupna težina izljeva kod kojih je bilo moguće napraviti procjenu (iznad 80% očuvanosti) iznosi 3047g i 3148g (2 izljeva).

Isteci (T.15: 1-5) su kružnog oblika presjeka - jednostruki, dvostruki i trostruki (horizontalno ili vertikalno paralelni), ili četvrtastog oblika presjeka (dimenzije kod svih uzoraka slične, oko – šir. 4,5 cm, sač.duž. 2,0 cm, deb. 2,1 cm). Dimenzije su kod većine uzoraka slične, a moglo

bi se reći da postoje dva reda veličine – manji (promjera oko 2 cm) i veći (oko 4,5 cm). Najučestalije se pojavljuju jednostruki i dvostruki horizontalno paralelni isteci. Istek je bušen u razini ognjišta, neposredno ispod i to na položaju nešto udaljenom od sapnice odnosno zona najviše temperature o čemu svjedoče primjeri isteka s zalijepljenom stijenkom peći koja ne pokazuje značajnu vitrifikaciju kakvu je moguće očekivati neposredno uz sapnicu, odnosno u zoni intenzivnog protoka zraka, najviše temperature i sinteriranja spužvastog željeza (T.14: 4; 15: 5; T.16.). Drugi primjer su i uzorci kod kojih je vidljiva zgura iz unutrašnjosti peći s otiscima nedogorenog ugljena, koja se formira na rubnim dijelovima ognjišta također udaljenim od sapnice (T.15: 5; T.16.).<sup>53</sup> Jedan dobro očuvan uzorak ilustrira ova svojstva, a iz njega je moguće iščitati i promjer unutrašnjeg dijela ognjišta. Međutim, iz ulomka nije sasvim razvidan točan položaj u peći – mogao je biti formiran nasuprot sapnice ili s bočnih strana iste (T.16).

Zgura iz unutrašnjosti je u glavnini neravne, hrapave površine, izrazito razvedena s otiscima nedogorenog ugljena (T.13.). Kod masivnije očuvanih ulomaka pri dnu je vidljiv otisak tla, a na bočnim stranama otisak ruba peći. Ova zgura tipična je za krunu peći odnosno pripada rubnim dijelovima pri dnu ognjišta peći. Obzirom da se nalazi na rubnim dijelovima ognjišta, uz pojedine uzorke očuvan je i dio stijenke peći koji svjedoči o debljini stijenki pri dnu ognjišta od oko 5,0 – 7,5 cm. Iz primjera na kojima je očuvan obris ognjišta moguće je zaključiti da je promjer ognjišta peći bio između 26 – 30 cm, što u osnovi odgovara i podacima iz arheološkog zapisa gdje je zabilježeni promjer ognjišta kod peći III bio 28 cm. Nataložena zgura s dna peći pronađena je kod peći II i III (T.12: 1, 2; T.13.), no primjeri u ukupnom uzorku su rijetki i najčešće nisu značajno nataloženi (gustoća presjeka – intenzitet pojave poroznosti) već relativno porozni te pokazuju nedogoreni ugljen pri rubovima. Kružne tvorevine s dna talioničkih peći s zgurom in situ (peći II (T.12: 1,2), I (T.12: 3), II (T.13)) nisu prepoznate u ostalom arheološkom materijalu te predstavljaju iznimne nalaze. Ipak, njihova struktura (rahlost donjeg dijela i tanki sloj porozne zgure) i debljina (T.13.) mogla je dovesti do značajnijeg usitnjavanja te ovi uzorci ne bi nužno bili prepoznati u arheološkom materijalu. Međusobni omjer prisutnosti zgure nataložene na dnu peći i krune peći te razina fragmentiranosti iste (nema cjelovitih primjera) i pretpostavljena odsutnost tvorevina s dna svjedoče da su peći nakon postupka taljenja vrlo vjerojatno čišćene od zgure prije no što bi se ona solidificirala. Ovakav postupak implicira opetovano korištenje iste peći za višestruke postupke. Također, izostanak nataloženog dna peći, može sugerirati i dinamiku uporabe

---

<sup>53</sup> Primjer je i nalaz iz SJ 107 (N 224/6).



radionice, s rijetkim pojavama zgure ostavljene u utrobi peći odnosno izvođenju postupaka taljenja intenzivnijim i neprekinutim ritmom ili rijetko s dužim vremenskim odmacima.

#### 4.2.1.2 Postredukcijska zgura: postupci kompaktiranja, kovanja i varenja

Zguru nastalu u postupcima obrade spužvastog željeza nazivamo post-redukcijskom zgurom (eng. *Post reduction slag*, fran. *scorie de travail post reducion*). Postupci nakon taljenja, podrazumijevaju obradu spužvastog željeza i kovanje predmeta, a mogu se načelno odvojiti na postupke: 1) kompaktiranja, 2) pročišćavanja/primarnog kovanja, 3) kovanja predmeta/sekundarnog kovanja. Kompaktiranje se odnosi na kratkotrajni postupak sinteriranja željeza netom nakon što je izvučeno iz talioničke peći. Trajanje ovog procesa i efekt ograničeni su brzinom hlađenja zgure te je moguće tek djelomično sabiti i očistiti spužvasto željezo od zgure. Primarno kovanje, proces pročišćavanja i konsolidacije spužvastog željeza zahtjeva ciklus zagrijavanja i kovanja kako bi se što više zgure izbacilo iz konglomerata proizašlog postupkom taljenja i sabile čestice željeza. Zgura karakteristična za ovaj postupak nakuplja se podno spužvastog željeza u peći/instalaciji za opetovano zagrijavanje ili kovačkoj peći (Echenlohr, Seernels 1991; Pleiner 2000: 216–217; 107–116; Serneels, Perret 2003). Ako je proces taloženja kontinuiran, takva zgura učestalo ima oblik manje ili više pravilne pogače, različita presjeka (planokonveksni, konkvano–konveksni, nepravilan)(eng. *smithing hearth bottom*, *plano-convex bottom*) – zgura s dna kovačke peći. Cjelovite pogače nisu nužno jedini tragovi postredukcijske obrade, već se unutar peći mogu javiti i amorfni oblici (koji bi mogli implicirati čišćenje peći) te pojedinačni manji izdanci tekuće zgure. Nakon zagrijavanja slijedi proces kovanja – izbacivanja zgure mehaničkim putem, udarcima čekićem, pri čemu se također mogu odvojiti amorfni komadi zgure. U istom dijelu postupka može nastati i sitna zgura sferičnog oblika, čija forma je uvjetovana izbacivanjem tekuće zgure mehaničkim udarcem te brzom solidifikacijom u pokretu (Jouttijärvi 2015). U krajnjim stadijima pročišćavanja mogli bi se javiti i listići željeza (okujina) koji nastaju na površini željeza oksidacijom i pod mehaničkim udarcima se odvajaju od njega (eng. *flake hammerscale*)(Faivre 1994 – vidi Pleiner 2000: 228). Listići željeza tipični su i za postupke sekundarnog kovanja (Paynter 2002; Dungworth, Wilkes 2007; Jouttijärvi 2015) iako je moguće zamijetiti razlike u njihovim svojstvima (Jouttijärvi 2015).

Izvođenje postupaka pročišćavanja nužno ne isključuje ni daljnje kovačke postupke (Pleiner 2000: 216–217; Joosten 2004: 18) u istoj instalaciji - peći. Obzirom da željezo i nakon pročišćavanja sadrži određenu, manju količinu zgure, ona će se pri zagrijavanju također nakupiti ispod obrađivanog poluproizvoda. Poluproizvodi namijenjeni obradi u predmet u prošlosti su mogli biti manje ili više pročišćeno spužvasto željezo, stoga je izazovno izraziti granicu i pripadnost zgure primarnom pročišćavanju ili daljnjim kovačkim postupcima. Načelno, parametri bi mogli biti masa, odnosno količina zgure u jedinstvenom komadu, u komparativnoj analizi svih nalaza iz jednog konteksta.

#### 4.2.1.2.1 Amorfni ulomci

Ulomci zgure amornog oblika, manjih dimenzija, hrapave površine - često su značajnije korodirani površinski (T.17: 1-2). U presjeku su ovi ulomci bez mnoštva poroznosti, a vidljive su i sitne inkluzije željeznih čestica. Ovaj oblik zgure vrlo vjerojatno se može vezati uz proces kovanja spužvastog željeza, odnosno formira se izvan peći. Potonje bi implicirao nepravilan oblik, značajniju gustoću no kod zgure s dna peći i zasićenost željeznim česticama. Jedan ulomak ovog tipa zgure (Virje – Sušine, Sonda 7, SJ 346) pokazuje tragove udarca, čekića na površini na kojoj je vidljiv maleni željezni listić (T. 17: 2).

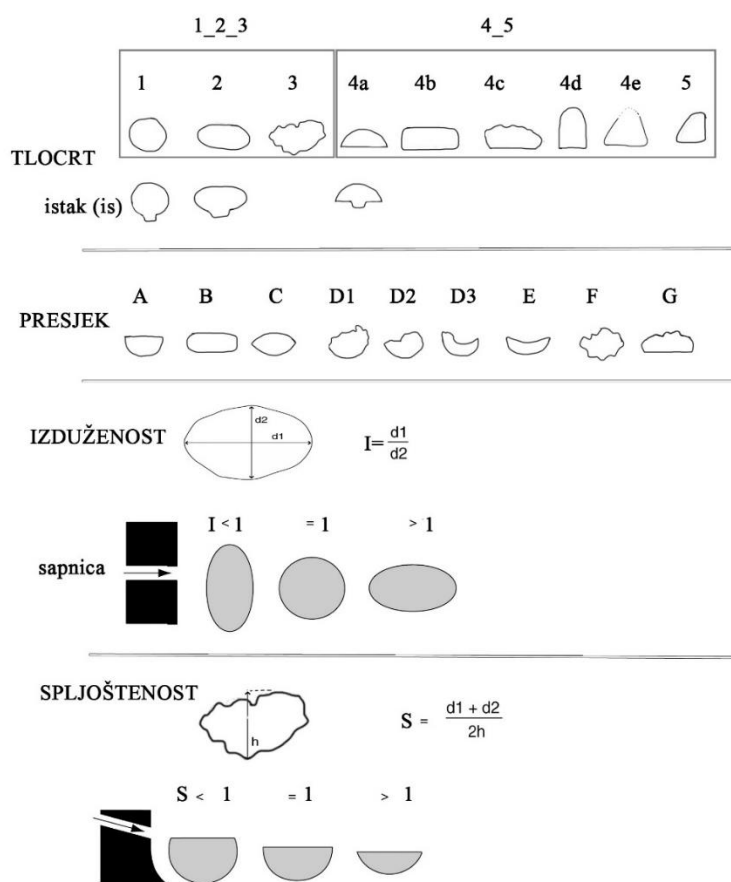
#### 4.2.1.2.2 Okujina: sfere i listići

Sfere, sitni duguljasti izdanci tekuće zgure i listići vrlo su rijetko prisutni među analiziranim arheološkim nalazima. Kod specifičnih ulomaka s lokaliteta Velike Hlebine javljaju se sfere i listići vidljivi površinski, inkorporirani u masu zgure s dna peći. Samostalne sfere se javljaju i u zapuni ognjišta i jame ispred njega na lokalitetu Dedanovice, te u vezi sa zgurom koja potječe iz jamskih peći na lokalitetu Virje – Sušine.

#### 4.2.1.2.3 Kovačke pogače: zgura s dna peći

Ovaj tip zgure javlja se na lokalitetima Virje – Sušine (Sonda 5, 7, 10b), Virje – Volarski breg (Sonda 1, 2a i 2b, 3), Hlebine – Velike Hlebine (Sonda 1 i 2) te Hlebine – Dedanovice (Tab. 4.4.). Metoda tipologizacije ovog tipa otpada do sada nije u arheološkoj literaturi jednostrano uspostavljena. Najdetajnije parametre analize uspostavili su V. Seernels i S. Perret u radu koji se dotiče morfoloških svojstava ovog tipa zgure i njihove interpretativne vrijednosti (Seerneels, Perret 2003). Nasljedno na ovaj sustav klasifikacije, s individualizacijom prema zadanom uzorku, zgure s dna kovačke peći su klasificirane u ovom doktorskom radu. Za pojedini uzorak zabilježeni su: oblikovni elementi (oblik – tlocrt, presjek), veličina (dimenzije – širina, dužina,

debljina(visina)),<sup>54</sup> masa,<sup>55</sup> uslojenost (makroskopski vidljive razlike u teksturi i slojevima taloženja), površinska tekstura (opisno) te magnetizam (da-ne-mjestimično). Kod uzoraka koji su analizirani mineraloški i kemijski kod pojedinih oblikovnih grupa napravljen je presjek kako bi se analizirala razina gustoće taloženja odnosno poroznosti i zamijetile eventualne inkluzije. Za uzorke kod kojih je bila moguća rekonstrukcija dimenzija izračunata je razina spljoštenosti i izduženosti (Sl. 4.3)(Serneels, Perret 2001) te pretpostavljena ukupna masa. Ukupno je kod 98 uzoraka sa svih lokaliteta bilo moguće odrediti osnovne kategorije oblika, mase, dimenzija te nasljedno izduženosti i spljoštenosti (Sl. 4.3; Prilog 3.2).



Slika 4.3. Pojednostavljeni prikaz oblikovnih kategorija u uzorku zgure sa svih lokaliteta te sustava izračuna spljoštenosti i izduženosti uzoraka (prema: Serneels, Perret 2003).

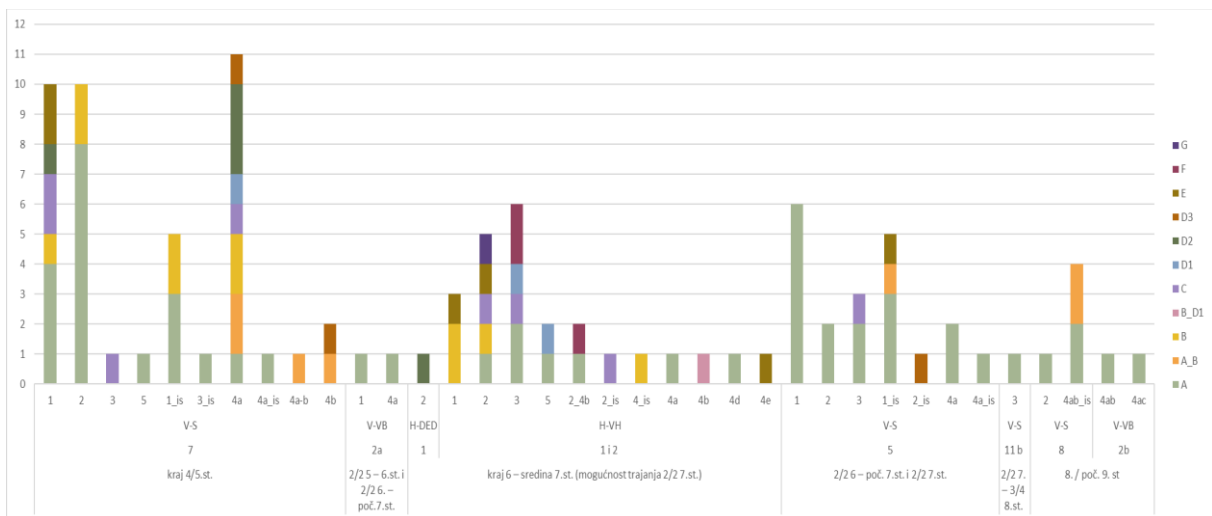
<sup>54</sup> Širina i dužina su kategorije koje nije bilo moguće razdvojiti sa sigurnošću kod svih uzoraka, obzirom na upitnu orijentaciju uzorka (Slika 4.3). U načelu, orijentacija se odnosi na pretpostavljeni odnos naspram stijenke kovačke peći i sapnice. Neki od morfološki prepoznatljivih parametara koji upućuju na orijentaciju su: 1) rub udaljen od stijenke peći i sapnice (otisci nedogorenog ugljena), 2) rub bliže sapnici (a) ravni rub kod oblika 4 (Slika 4.3), b) taloženje u vis kod višeslojnih zgura na gornjoj strani i pojava staklaste zgure pri rubnom gornjem dijelu.

<sup>55</sup> Kod uzoraka je izmjerena masa ulomka, a obzirom na pravilan oblik ulomka i karakterističnu dobru razinu očuvanosti, kod dijela ulomaka bilo je moguće procijeniti i razinu očuvanosti te nasljedno ukupnu pretpostavljenu masu.

Ovakav pristup omogućava interpretaciju na nekoliko razina – oblikovna svojstva mogu sugerirati položaj zgure u peći i izgled peći, a površinska tekstura, struktura presjeka, uslojenost i magnetizam uvjete u peći i način izvođenja postupka. Težina i dimenzije direktno su u vezi s količinom obrađivanog poluproizvoda. Razina izduženosti i spljoštenosti može sugerirati razlike u načinu izvođenja postupka u vezi s položajem spužvastog željeza u peći i dubinom ognjišta. Potonja dva parametra, s podacima o ukupnoj masi, jedini su sveobuhvatni (dimenzije) metrički iskazljivi parametri koji predstavljaju oblikovne vrijednosti zgure stoga su izračunati s ciljem kumulativnog sagledavanja za pojedini arheološki kontekst i komparativne analize zgure različite vremenske i prostorne pripadnosti. Osim oblikovnih kategorija koje slijede načela arheološke tipologizacije predmeta, pridodane su i formativno-oblikovne kategorije koje okrupnjuju oblikovna svojstva, a svjedoče o položaju zgure unutar kovačke peći (Sl. 4.3: 1\_2\_3 i 4\_5). Tlocrtni oblik zgure s jednom ravnom stranom (Sl. 4.3: 4a-c) u osnovi označava položaj uz rub stijenke ili ukopa kovačke peći (otisak ravnine ruba), dok oblik s dvije ravne strane označava slijeganje zgure uz dva ruba peći (Sl. 4.3: 5). Obli oblici, poput ovalnog ili kružnog (Sl. 4.3: 1, 2) označavaju relativnu udaljenost i slobodno formiranje u ognjištu peći, a slično je moguće reći i za nepravilni oblik (Sl. 4.3: 3). Interpretativno svojstvo istaka (Sl. 4.3: is), manjeg pravilnog proširenja s jedne strane nije sa sigurnošću moguće definirati, no moguće je da on također govori o položaju formiranja u blizini prostora stijenke i sapnice. U sličnom smislu presjeci koji imaju konveksno dno ili nepravilni presjeci mogu se smatrati odrazom dna na koje nasjeda zgura te svjedoče o udubljenom obliku ognjišta (Sl. 4.3: A, C-F), ili o zapunjenosti donjeg dijela ognjišta ugljenom dok ravan presjek sugerira ravno dno ognjišta (Sl. 4.3: B, G).

Analizirane uzorke zgure s dna peći za pročišćavanje ili kovačke peći karakterizira relativno pravilan oblik, dno je najčešće usko razvedeno, glatko ili hrapavo, ponekad su prisutni otisci manjih ulomaka ugljena. Gornja površina može biti hrapava, neravna, a ponekad su vidljivi i izdanci tekuće zgure i otisci ugljena (najčešće uz rubove ulomka). U presjeku su ovi uzorci relativno pravilni, no javljaju se i nepravilniji presjeci (Sl. 4.3). Ponekad je vidljivo više slojeva na istom uzorku, koji sugeriraju hlađenje dijela zgure i nastavak procesa s vremenskim odmakom. Recentni, ravni presjeci kroz strukturu zgure ukazali su da je ovaj tip zgure porozan, ponekad se pojavljuju inkluzije željeznih čestica ili ugljen zarobljen u masi zgure. Nepravilne inkluzije željeza mogu sugerirati loše kompaktirano spužvasto željezo koje se pročišćava uslijed čega dolazi do gubitka željeza, utapanjem u zguru. Boja varira u okviru tamnije sivih nijansi, a površina je često prekrivena korozijom. Ovakav oblik zgure može dijeliti makroskopske karakteristike sa zguricom s dna talioničke peći (Pleiner 2000) što je moguće

pripisati sličnim preduvjetima nastanka, podno spužvastog željeza. Međutim, u slučaju uzorka s podravskih lokaliteta, makroskopski je moguće razlikovati ova dva tipa zgure kod značajnije očuvanih i cjelovitijih pogača. Osnovne makroskopske razlike odnose se prvenstveno na oblike zgure s dna kovačke peći - zatvoreni, pravilni oblici i s njima u vezi kompaktnost te rijetka pojavu lomljenja koje je, ukoliko je prisutno, vrlo pravilno. Kod tvorevina s dna talioničke peći oblik je često nepravilan, tlocrtno i u presjeku, kao i način lomljenja. Sličnosti se odnose na razinu poroznosti, vidljivu u recentnim presjecima i teksturu površine. Obzirom na odnos sličnosti i razlika, niz značajnije fragmentiranih ulomaka nije sa sigurnošću bilo moguće pridružiti određenoj skupini.



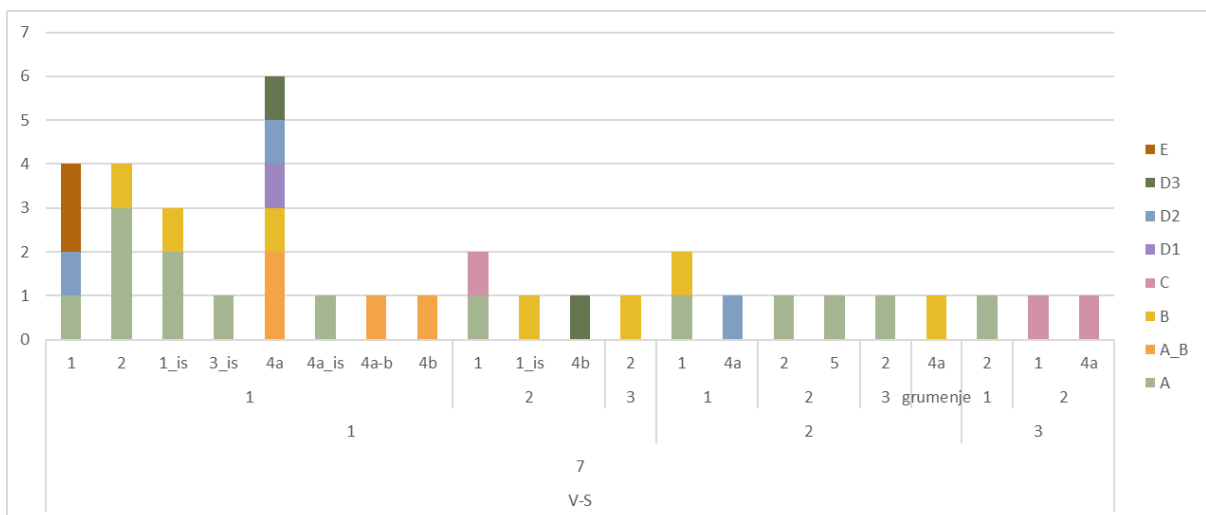
Slika. 4.4. Oblikovna svojstva (tlocrt i presjek) zgure iz istraženih arheoloških konteksta

#### 4.2.1.2.3.1 Virje – Sušine

##### 4.2.1.2.3.1.1 Sonda 7

U sondi 7, unutar cjeline koja se može pripisati nakupini otpada (SJ 314 i 317) te slojevima neposredno ispod ovog sloja i recentnom kanalu koji je presjekao ovaj sloj (SJ 337) (Sl. 2.2.) identificirano je i analizirano 54 uzoraka zgure s dna kovačke peći. Kod 49 (90%) uzoraka bilo je moguće procijeniti razinu očuvanosti uzorka, te naslijedno dimenzije i težinu, a 24 uzorka (44%) su očuvana u cijelosti ili iznad 85% uzorka. Kod ukupno 37 uzoraka bilo je moguće odrediti sve kategorije te oni čine osnovu za analizu karakteristika zgure u ovoj sondi. Javljaju se uzorci tlocrtno: 1) kružnog, 2) ovalnog, 3) nepravilnog – kružnog te 4) uzorci s jednom zaravnjenom stranom i ostalima polukružno-ovalnog (4a), četvrtastog (4b) i nepravilnog tlocrta (4c) i uzorak s dvije zaravnjene strane i zaobljenom trećom (5) (Sl. 4.3.; Prilog 3.2.) Presjeci su: A) planokonveksni, B) ravni, C) bikonveksni i D1) mješoviti – nepravilni (konveksno dno

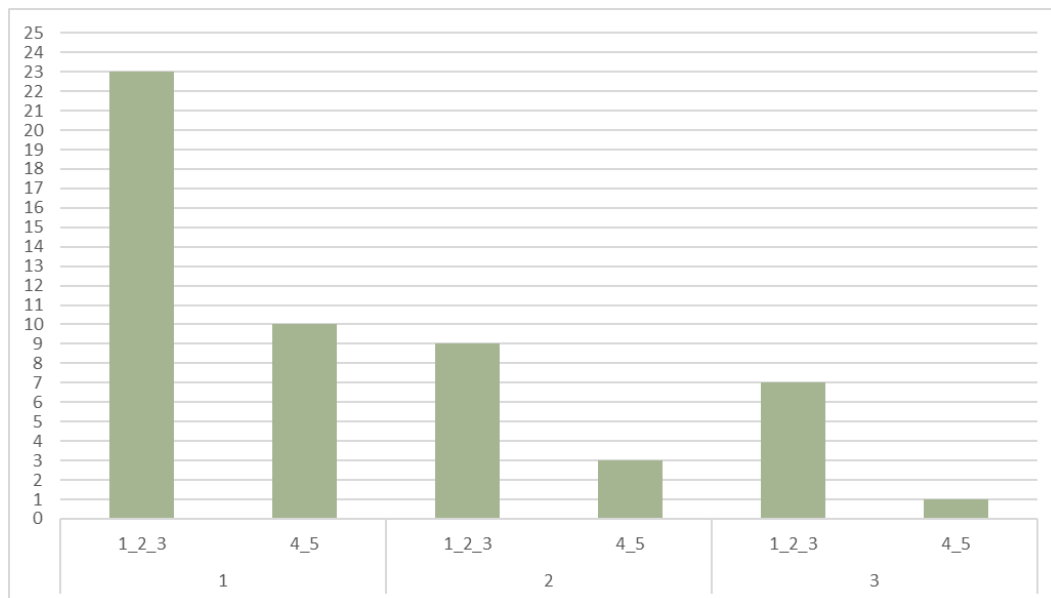
i nepravilna gornja ploha) (T.18–19.). Tek jedan uzorak ima nepravilnu strukturu i oblik te je sastavljen od grumenastih nakupina. Kod osam uzoraka javlja se četvrtasti izdanak (proširenje) s rubne gornje strane površine (Sl. 4.3: oznaka - is), jednoličnih dimenzija, širine oko 2,0 – 2,5 cm, a svi uzorci pripadaju kategoriji manje težine 76 – 350 g i dimenzija te su okrugle u tlocrtu i planokonveksnog ili ravnog presjeka. Kod jednog uzorka vidljive su sitne globule na površini. Glavnina zgure je magnetna (41 uzorak, 76%). Razina nataloženosti odnosno poroznosti također je varijabilna, pojedine zgure u sastavu imaju inkluzije željeznih čestica, manje ili više zastupljene (T.18–19). Težina uzoraka varira između 74–1352 g, bez jasnih prirodnih razgraničenja u rangu od 74 do 798 g (96%), a najviše vrijednosti od 950, 1175 i 1352 g predstavljaju tek tri komada (4%). Dimenzije komada zgure se kreću šir. 4–16 cm x duž. 2–16,0 cm x max. deb. 1, 9–8,0 cm. Kod dimenzija i težine je vizualno moguće zamijetiti tri skupine promjera ili dužine dulje stranice kod tipa s jednom ravnom stranom: 1) mali (5 – 10,5 cm), mase 63–378 g, 2) srednji (12–12,5 cm), mase 400–797 g, 3) veliki (14, 5–16 cm), mase 950–1352 g. Kod 13 uzoraka (24%), moguće je primjetiti uslojenost zgure. Najučestaliji su jednoslojni uzorci (34 uzorka, 86%), no javljaju se i dvoslojni te dva troslojna uzorka. Uslojenost se pojavljuje kod svih uzoraka veće kategorije težine (950–1352 g) i dimenzija, no nije isključivo pravilo te se pojavljuje i kod uzoraka težine između 74–800 g različite kategorije veličine i oblikovnih svojstava (T.19: 3). Fizički vidljiva uslojenost zgure može svjedočiti o vremenskim prekidima u jedinstvenom postupku ili o više postupaka (različiti poluproizvodi) u istoj peći, bez čišćenja nataložene zgure.



Slika 4.4. Grafički prikaz brojčanog odnosa uzoraka zgure (Virje Sušine, S-7): oblika tlocrta (1-5), presjeka (A-E), slojnosti (1 (jednoslojna) -3 (troslojna) i grumenje) i težinskih kategorija (1-3).

Oblikovno su uzorci izrazito varijabilni, a kombinacija dvaju oblikovnih svojstava (tlocrta i presjeka) i kategorije težine kod glavnine uzoraka je jedinstvena (Sl. 4.4.). Oblik uzorka nije u direktnoj ovisnosti s masom ili dimenzijama, obzirom da se isti oblici pojavljuju u više skupina veličine i mase (kategorija 1–3). Jedini uzorci kod kojih je morfološku kategoriju moguće dovesti u vezu s masenim vrijednostima su malene zgure s istakom na jednoj strani (Sl. 4.3: 1is, 3is, 4is).<sup>56 57</sup>

Varijabilnost oblika u odnosu na masu načelno se može uzeti kao varijabilnost uvjetovana prirodom ovih arheoloških nalaza, koji nastaju kao otpad pod uvjetima bez mogućnosti izrazitije kontrole, unutar peći. Ako prema funkcionalnim svojstvima (položaj u peći) promotrimo morfološka svojstva u odnosu na težinske kategorije, slika postaje razvidnija i varijabilnost kao prirodno svojstvo otpada se sužava (Sl. 4.5).



Slika 4.5. Grafički prikaz brojčanog odnosa kategorija zgure (Virje Sušine, S-7) u vezi s položajem u peći (1\_2\_3 i 4\_5) te kategorija mase (1-3).

<sup>56</sup> Radi se o nalazima pod signaturom: SJ 314 (N 295/13), SJ 348 (N 471/2), SJ 337 (N 416), SJ 317 (N 354/2), SJ 348 (N 471/2 (3 uzorka), SJ 345 (N 459/2), SJ 348 (N 471/2), SJ 337 (N 416).

<sup>57</sup> Ovi uzorci vrlo su slični, no kontekst njihova pronalaska onemogućuju jednoznačno vremensko pridruživanje. Od svih analiziranih uzoraka kovačke zgure, samo je jedan uzorak ovog tipa moguće pripisati 2/2 6. i početku 7. st. obzirom na arheološki kontekst (SJ 345) i radiokarbonsku dataciju sloja. Radi se o ulomku zgure, procjenjene težine 354 g kružnog tlocrta i planokonveksnog presjeka s vidljivim četvrtastim istakom na gornjoj strani. Također, sličan četvrtast istak ima još sedam uzoraka iz Sonde 7, težine između 76-277 g, no glavnina ih potječe iz slojeva u kojima su bile koncentrirane stijenske peći a koji se prema stratigrafiji vežu uz slojeve razasutog otpada (SJ 314 i 317) presječenog recentnim kanalom (SJ 337) te se prema radiokarbonskom datumu mogu dovesti u vezu s ranijom fazom na ovom položaju. Obzirom na neposrednu blizinu ovih stratigrafskih jedinica, i način formiranja slojeva otpada (gomilanje na jednom mjestu) moguće je da svi ovi uzorci pripadaju jednoj ili drugoj fazi.

Postojanje oba položajno relevantna oblika (1, 2 i 3 te 4 i 5) u različitim kategorijama težine, odnosno u širokom spektru mase (kategorije 1–3), gotovo u istim omjerima, može svjedočiti o načinu izvođenja aktivnosti. U tom smislu mogli bismo govoriti o dva načina polaganja spužvastog željeza u peć, udaljenije i bliže sapnici, neovisno o veličini poluproizvoda koji se obrađuje. U tijeku kovačkog procesa, odabir udaljenosti spužvastog željeza od sapnice može zavisiti o: a) dizajnu peći i upotrijebljenom mjestu (količini upuhnutog zraka (l/sek.)) te nasljedno veličini zone najviših temperatura, b) veličini spužvastog željeza i zasićenosti zgurom, c) odabiru majstora kovača u velikoj mjeri uvjetovanom potonja dva faktora. Veličina aktivne zone ovisi u glavnini o mjestu i količini upuhnutog zraka, o čemu će ovisiti i položaj spužvastog željeza ako je cilj cjelovito i ekonomično zagrijavanje (vremensko trajanje i intenzitet zagrijavanja). Najveća ekonomičnost može se dovesti u vezu s jednoličnim zagrijavanjem cjelovitog komada, pri čemu je cijelu površinu moguće simultano mehanički obrađivati – oblikovati te je mogućnost loma zbog razlike u razini zagrijanosti smanjena. U tom slučaju, bilo bi potrebno staviti ga u aktivnu zonu kako bi se zagrijalo u cijelosti i time omogućilo efikasnije kovanje cjelovite površine. Stoga veća udaljenost od sapnice može označavati širu aktivnu zonu, odnosno upuhivanje veće količine zraka, nasljedno možda i širi prostor ognjišta. Potonje može, i ne mora, implicirati i veći poluproizvod. Razlozi različitom položaju zgure naspram ruba kovačke peći i sapnice, kakvi su posvjedočeni u Sondi 7, mogu se ogledati u veličini poluproizvoda koji se obrađuje. Međutim, na primjeru analiziranih uzoraka odabir ovakvog načina ophođenja s postupkom nije u direktnoj vezi s težinom zgure, odnosno količinom izbačene zgure i pretpostavljeno veličinom spužvastog željeza. Stoga može ovisiti o odabiru načina izvođenja postupka u vezi s preferencijom izvođača postupka ili dizajnom peći uključujući količinu upuhnutog zraka. U tom smislu možemo govoriti o minimalno dva načina izvođenja postupka, koji su višestruko obavljani na istraženom prostoru. Ako pretpostavimo da je jedan komad zgure s dna peći potječe iz jedinstvenog postupka, postojanje više kategorija mase svjedoči o varijabilnim dimenzijama poluproizvoda koji se obrađuje. Niska zastupljenost izrazitije teških zgura ukazuje na tek povremeno pročišćavanje većih poluproizvoda, koje u tom smislu može biti odraz pojedinačnih izoliranih događaja. Izrazito malih i laganih (63–76 g), cjelovitih uzoraka također ima tek nekoliko (četiri komada) te čine rijetku pojavu u uzorku (T.18: 1-2). Ovi uzorci mogli bi svjedočiti o povremenim kovačkim aktivnostima u kojima predmet i razlog obrade nije pročišćavanje spužvastog željeza nego povremeno kovanje ili dorada željeznih predmeta. Međutim, potrebno je sagledati i drugu opciju postojanja više kategorija dimenzija i mase. One bi mogle svjedočiti o ritmu uporabe kovačke peći, pri jednom postupku pročišćavanja. Sukcesivno zagrijavanje i kovanje uvjetuje



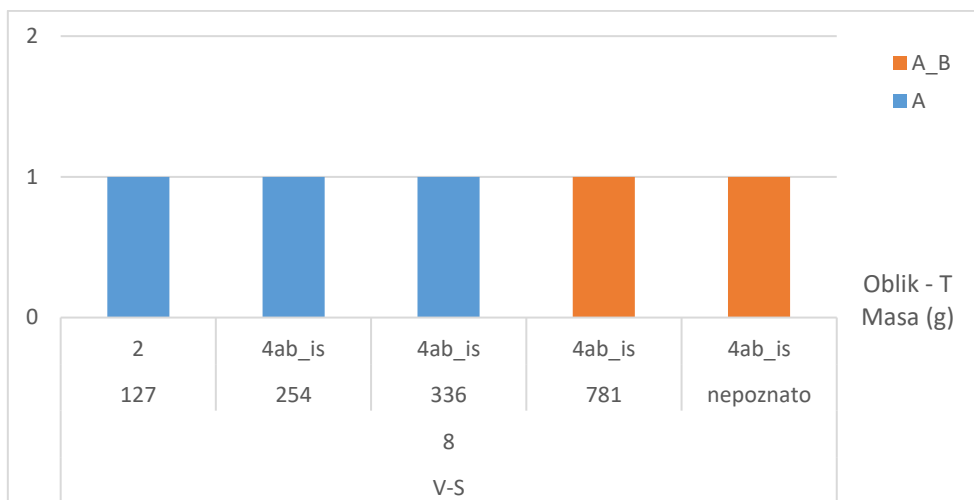
smanjenje poluproizvoda, izbacivanjem zgure kroz vrijeme trajanja postupka. Moguće je da se povremeno peć čistila od zgure, što bi uzrokovalo postojanje manjih i većih kovačkih zgura koje potječu iz jedinstvenog postupka pročišćavanja. Činjenica da su one cjelovite i u glavnini vrlo jednolično solidificirane, svjedoči o njihovom neometanom hlađenju u peći te je malo vjerojatno da je peć čišćena u toku jedinstvenog postupka, uslijed čega bi postojala mogućnost formacije dvije pogače na dnu peći. Ovakav sustav mogao je biti primijenjen u slučaju neadekvatnog oblika i/ili veličine (dubine ognjišta) peći koja se zapunjava zgurum. Prekid postupka u tijeku pročišćavanja uzrokovao bi povećan utrošak resursa – vremena za ponovno zagrijavanje i ugljena. Svaki komad zgure s dna peći vrlo je vjerojatno svjedok pojedinačnog postupka – pročišćavanja zasebnog poluproizvoda. Potvrda ovakvoj tezi je i postojanje uslojene zgure, kod koje se slojevi mogu tumačiti kao pauze u izvođenju postupka, no bez čišćenja peći (T.19: 3). Zgure u prva dva razreda mase i dimenzija su najučestalije i to u glavnini u dva široka pojma oblika – tlocrtno okrugle do ovalne i nepravilne (Tip 1-3) i s ravnim bočnim stranicama (Tip 4-5) (ukupno 26 uzoraka) te nešto rjeđe zgure druge kategorije težine (7 uzoraka) i treće (3 uzorka). Potonje generalno govori o prilično usustavljenom načinu ophođenja s postupkom, količinom i veličinom poluproizvoda koji se pročišćava, ali i povremenim, rijetkim odstupanjima od pravila.

Kovačke peći nisu definirane u arheološkom zapisu, no vrlo vjerojatno su imale blago konkavno dno, o čemu svjedoči donja strana (oblik) presjeka kod glavnine zgura (Sl. 4.4, Prilog 3.2.), maksimalne dubine prostora na kojemu se formira zgura od oko 8 cm (debljina najdebljeg komada zgure). O širini peći teško je govoriti obzirom da se zgura formira u zoni najviše temperature koja nužno ne označava širinu peći. Moguće je da je peć imala ravan rub (stijenke) obzirom da veći ulomci s jednom ravnom stranom ne pokazuju zakrivljenost i da je prisutan jedan uzorak s dvije ravne strane (T.19: 4) – četvrtasti oblik stijenki peći.

#### 4.2.1.2.3.1.2 Sonda 8

U sondi 8 pronađeno je ukupno šest komada zgure koja se može pripisati zguri s dna peći, od kojih je kod pet uzoraka bilo moguće definirati oblikovna svojstva i ukupnu masu. Svi uzorci potječu iz slojeva zapune jame/objekta (Sekelj Ivančan 2021: fig. 16: SJ 315/316, 320) te su pronađeni u asocijaciji s ulomcima sapnica te ranosrednjovjekovnom keramikom datiranom u 2/2 7. i cijelo 8. st. te kraj 8. – poč. 9. st. (Sekelj Ivančan 2021: 167–170, Pl. 10 – 11). Ukupno četiri komada zgure su cjelovita, teže između 127 g i 780 g, a dimenzije variraju između 12,9 – 6,5 x 10,5 – 5,9 x 8,1 – 2,8 cm. Uzorci su oblikovno vrlo slični te su tlocrtno ovalnog (2) – blago četvrtastog oblika (4a\_b), u presjeku su planokonveksni (A), dok je jedan uzorak

nepravilnog presjeka s konveksnom ili ravnom donjom površinom (A-B)(Sl. 4.6). Tri uzorka imaju četvrtast istak pri gornjem rubu, širine 3,9 – 4,2 cm (T.19: 6). Svi uzorci su magnetni. Tri uzorka su dvoslojna dok je jedan jednoslojan. U presjeku je zgura u glavnini porozna bez inkluzija željeznih čestica.

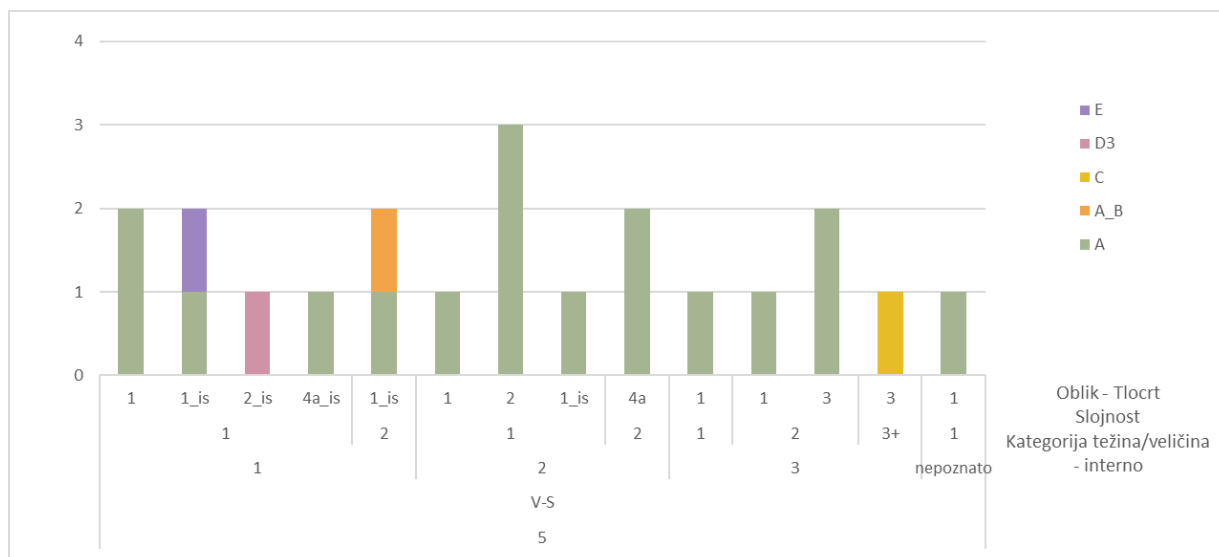


Slika 4.6. Grafički prikaz brojčanog odnosa zgure s dna peći iz (Virje Sušine, S 8): oblika tlocrta (1-4), presjeka (A-A\_B) i težine.

#### 4.2.1.2.3.1.3 Sonda 5

U Sondi 5 identificirano je i analizirano ukupno 34 uzorka kovačke zgure s dna peći (Prilog 3.2.). Kod 20 uzoraka bilo je moguće procijeniti oblik, a kod 18 (razina očuvanosti je potpuna ili veća od 85%) sva svojstva (dimenzije, ukupnu masu te oblikovna svojstva). Oblik uzoraka u tlocrtu je kružan (1), ovalan (2) polukružan (4a), te nepravilan (3), koji se pojavljuje isključivo kod kompozitnih, višeslojnih uzoraka. Presjek je plano–konveksan (A), ravan (B), bikonveksan (C) te mješovit (D3) – donja strana teži konveksnosti a gornja je nepravilna (Sl. 4.7).<sup>58</sup> Interno je u Sondi 5 moguće vizualno odvojiti tri skupine prema dimenzijama koje u glavnini odgovaraju i masenim vrijednostima: 1) lagani, mali (cca. 10–11 x 10–11 cm, 400–648 g), 2) srednje mase, veći (cca. 13–11 x 12–11 cm promjera ili dužine ravne strane, 653–877 g), 3) veliki, teški, kompozitni (13,5–20 x 10–15 cm, 1034–2012 g). U prve dvije skupine pojavljuju se jednoslojni i dvoslojni uzorci, dok se u trećoj skupini pojavljuju višeslojni uzorci, kompoziti od 2–3 i više makroskopski vidljivih slojeva (Sl. 4.7).

<sup>58</sup> Dva uzorka pokazuju ispupčenja pri dnu, grebene - pozitiv udubine pri dnu na koje su se slijevali (Prilog 3.2.)

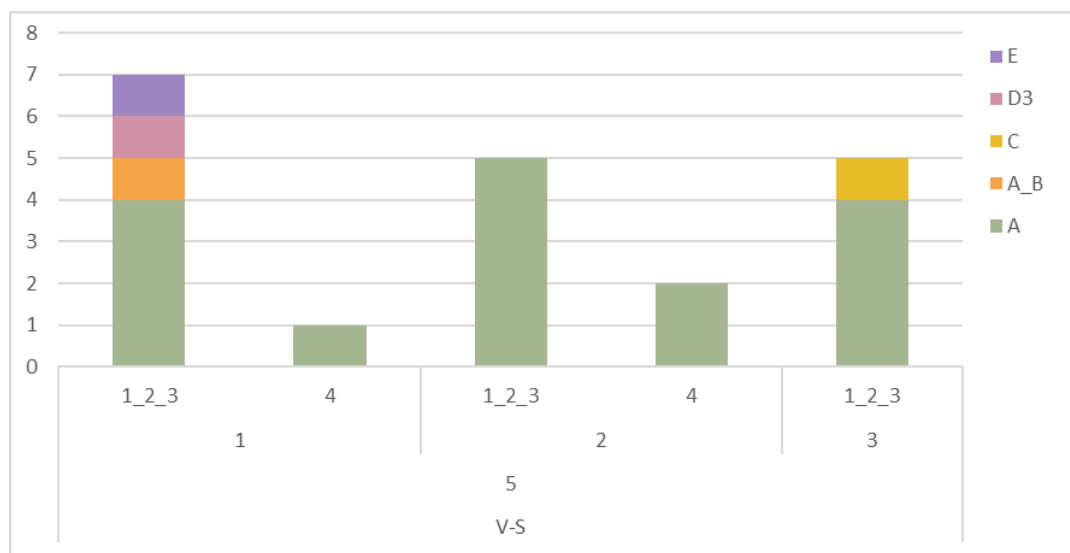


Slika. 4.7. Grafički prikaz zgure s dna peći (Virje Sušine, S 5): oblika tlocrt (1, 2, 4), presjeka (A-E), slojnosti (1 (jednoslojna)-3 (troslojna i višeslojna)) i težinskih kategorija (1-3).

Prve dvije skupine ujedno pokazuju i slična oblikovna svojstva (tlocrtno (oblik 1,2,4) i u presjeku (oblik E,C,D)) te veću raznovrsnost oblika, dok su u trećoj skupini uzorci mahom kompozitni i nepravilni. Kao zajedničke karakteristike potonje skupine mogu se izdvojiti donji slojevi koji su redovito jače nataloženi, pojava poroznije zgure u gornjim slojevima, ponekad s otiscima nedogorenog sitnog ugljena s vanjskih rubnih strana, pojava staklaste zgure kao sloj na gornjim dijelovima kompozita, pretpostavljeno u blizini sapnice (T.21). Najzastupljenije su prva i druga skupina mase i dimenzija kojima pripada ukupno 15 uzoraka (osam prvoj, sedam drugoj, ukupno 60% uzorka) dok treću čini ukupno četiri uzorka (40%). Kod uzoraka 1. i 2. kategorije dimenzija i mase, bez obzira na oblikovna svojstva tlocrta i presjeka, javljaju se maleni istaci na gornjem rubnom dijelu, koji ga djelomično nadvisuju (T.20: 1–3). Proporcionalno s dimenzijama, širina istaka se povećava a radi se o kratkom izdanku, 2,3 – 6,5 cm. Istak je kod jednog primjera značajnije staklaste strukture<sup>59</sup> što može svjedočiti o blizini sapnice, i utjecaju rastaljene tehničke keramike (T.20: 5) (vidi poglavlje 4.3). Dva uzorka s izdancima na gornjoj površini imaju otisak, udubljenje u zguri pravilnih rubova koji asocira na trag alatke. Kod oba uzorka radi se o dugom uskom tragu, širine 2,5 cm i 3,5 cm alatke ravnih rubova, četvrtastog presjeka. Glavnina zgure je magnetna. U presjeku odabranih uzoraka su vidljive inkluzije željeznih čestica, sitnih ulomaka ugljena, ali i različita razina poroznosti, ponekad u direktnoj vezi s fizički vidljivim uslojavanjem zgure.

<sup>59</sup> Kod jednog uzorka vidljivi su u strukturi, uz staklastu zguru i sitne čestice pijeska i kamenčići (pretpostavljeno kvarc). Staklasta zgura plavičaste boje javlja se kod još dva uzorka zgure 2. kategorije dimenzija i težine, pri gornjem dijelu, uz istak.

U svim skupinama najučestalije se pojavljuju zgure obliha (1 i 2), komadi koji su se formirali položajno udaljenije od ruba peći i sapnice, iako se pojavljuju i oblici sa zaravnjenim jednim krajem u prve dvije skupine masenih vrijednosti, čije mjesto formacije je vjerojatno uz sam rub peći, ispod sapnice. Prve dvije skupine dimenzija i mase podrazumijevaju zgure sličnih formativno-oblikovnih svojstava (položaj u peći: grupe 1\_2\_3 i 4\_5) iako pokazuju određenu, minimalnu razinu varijabilnosti odnosno raznovrsnost obliha profila. Omjeri pojave ovih dvaju grupa u različitim kategorijama mase i dimenzija nisu jednolični, a općenito je i nazastupljnija prva kategorija mase i težine (Sl. 4.8). Ovi podaci svjedoče o najučestalijem položaju spužvastog željeza u peći, podalje od sapnice bez obzira na količinu proizašle zgure, odnosno veličinu poluproizvoda. U tom smislu, moguće je pomišljati na prilično standardiziran način izvođenja postupka vidljivog u prvima dvama grupama. Drugim riječima, prve dvije grupe dimenzija i mase mogle bi se tumačiti kao varijacije pri izvođenju postupka kod kojih je poluproizvod koji se pročišćava relativno (iako ne značajno) varijabilnog volumena i mase, a način ophođenja s postupkom (položaj spužvastog željeza) varira. Varijabilnost je jednaka u obe grupe, i jednako zastupljena te time ukazuje na sličnost u izvođenju postupaka. Treća kategorija dimenzija i mase uzoraka zgure, značajnije se razlikuje od prve dvije skupine, te posredno svjedoči o većoj količini poluproizvoda koji se pročišćava, spužvastog željeza i može se smatrati zasebnom linijom proizvodnje. Potonja je u omjeru prisutnosti naspram prve dvije kategorije manje zastupljena, te se može tumačiti kao povremena, jedinstvena i/ili kratkotrajna aktivnost na istraženom prostoru.



Slika 4.8. Grafički prikaz zastupljenosti formativno-oblikovnih grupa zgure s dna peći naspram kategorija mase i dimenzija (Virje Sušine, S 5).

Strukture ili tvorevine koje bi se mogle dovesti u vezu s kovačkim pećima nisu definirane u arheološkom zapisu. Prema karakteristikama zgure, kovačke peći imale su blago konkavno dno, dubine minimalno 8 cm od prostora sapnice (najveća visina/debljina zgure). Moguće je da su na prostori sonde 5 prisutne dvije ili više varijanti peći obzirom na kategorije težine i mase: veća i manja

#### 4.2.1.2.3.1.4 Sonda 10

Zgura pronađena u Sondi 10 pripada kontaktu humusnog sloja i zdravice, a pronađen je tek jedan ulomak koji bi se mogao pripisati zguri s dna kovačke peći, neodredivog tlocrtnog oblika te planokonveksnog presjeka, težine 133 g.

#### 4.2.1.2.3.2 Virje – Volarski breg

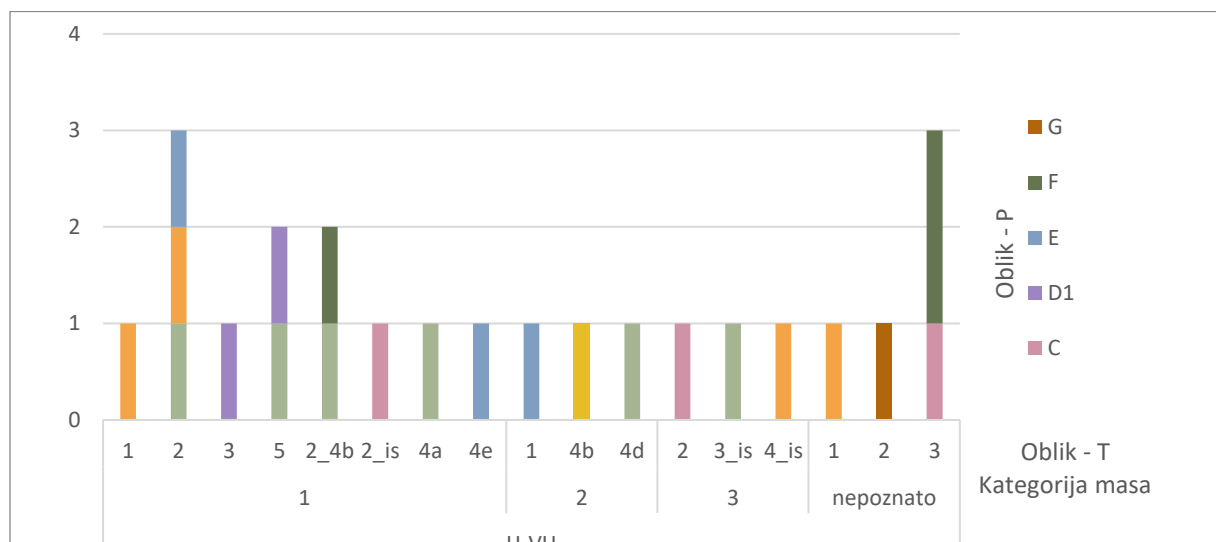
U sondi 1, u kojoj su pronađene talioničke peći i pripadajuća zgura te otpad od talioničkih postupaka identificiran je jedan ulomak zgure koja bi se mogla pripisati zguri s dna kovačke peći (SJ 44/45). Iako je otpad u ovoj sondi, istraženoj 2008. godine selektivno prikupljen, postojanje samo jednog ulomka kovačke zgure moglo bi se smatrati izrazito niskim brojem komparativno s ostalim lokalitetima.

Uzorci kovačke zgure pronađeni su i u Sondi 2a (kraj 5. – 6. st.) i 2b (8./poč. 9. st.). U Sondi 2a identificirano je devet uzoraka ukupne težine 3251 g. U cjelinama Sonde 2a (Sl.2.9: SJ 116, 131a i 173) ukupno je identificirano i analizirano tri uzorka zgure s dna peći (T.22: 1,3,4), dok su ostali uzorci zgure amorfní ulomci koji bi mogli pripadati talioničkim (iz unutrašnjosti peći) ili kovačkim postupcima. Uzorci su različita tlocrtna oblika - kružnog (1), polukružnog (4a) i četvrtastog (ili polukružnog (4a\_b), a u presjeku su svi planokonveksni (A). Težinom i dimenzijama uzorci su vrlo slični. Težina seže od 592 do 642 g, a dimenzije od 10 do 13,2 cm dužine, 10,4 –11 cm širine i debljine od 4,6 do 5,2 cm. Svi uzorci doimaju se jednoslojni, u presjeku porozni.

U sondi 2b pronađen je samo jedan uzorak zgure s dna peći (SJ 107) nepravilnog polukružnog oblika u tlocrtu i planokonveksnog presjeka (T.22: 2). Jednoslojan je te porozan u presjeku. Uzorak teži 309 grama, a dimenzija je 10,9 x 8,2 x 4,5 cm.

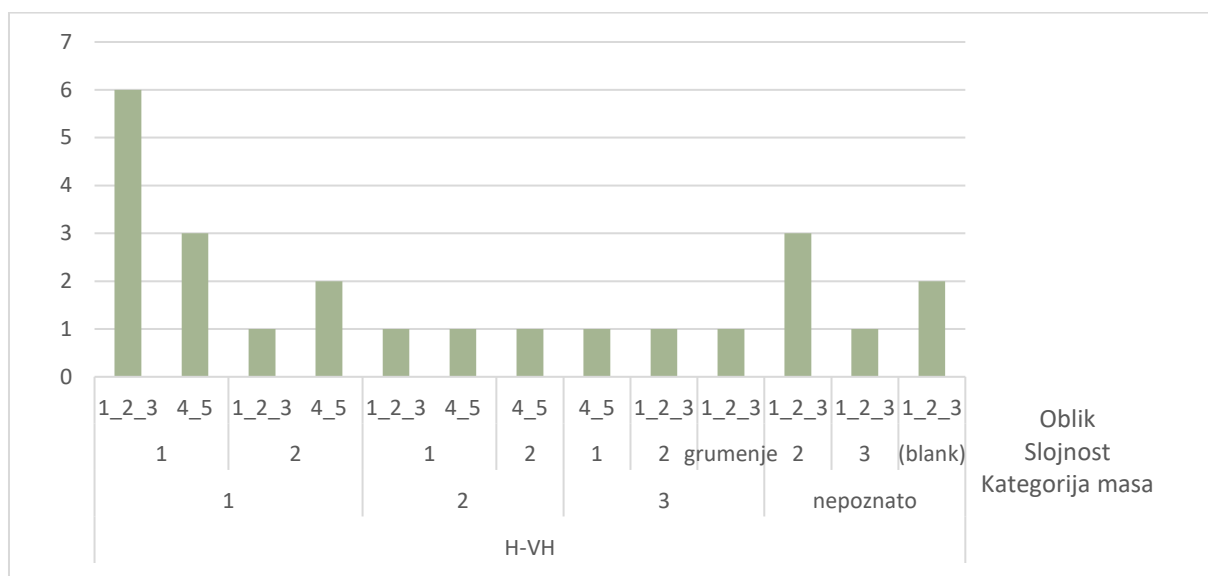
#### 4.2.1.2.3.3 Hlebine – Velike Hlebine

Na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine, u Sondi 1 i 2 pronađeno je ukupno 24 komada zgure s dna peći kod kojih je bilo moguće procijeniti kategorije oblika, dok je kod 18 komada bilo moguće procijeniti sve kategorije, ukupne mase i oblika (tlocrtno i u presjeku). Set uzoraka karakterizira izrazita oblikovna varijabilnost, kod koje se ne pojavljuju dva primjerka istih osnovnih morfoloških karakteristika (Sl. 4.10.). Raspon mase je od 60 do 1002 g,<sup>60</sup> a u uzorku je moguće izdvojiti tri kategorije: 1) 60–325 g, 2) 430–676 g, 3) 769–1002 g. Potonje kategorije djelomično oslikavaju i dimenzije uzoraka, no ovo nije isključivo pravilo te uzorci iste masene kategorije imaju oscilacije u dimenzijama koje se međusobno preklapaju unutar kategorija mase (Prilog 3.2.). Najzastupljeniji su uzorci prve kategorije mase, s ukupno 12 komada (67%), dok su druga i treća kategorija težine podjednako zastupljeni (3 uzorka, obje po 16,5%). Unutar pojedine kategorije mase prisutna je izrazita varijabilnost oblika (Sl. 4.10.). Ako promotrimo oblikovnu varijabilnost kroz prizmu nadređene formativno-oblikovne kategorije (odlike položaja u peći: kategorije 1\_2\_3 i 4\_5), obje skupine su prisutne u svim kategorijama mase, no u nejednakim omjerima (Sl. 4.11). Pojedinačno, najzastupljenije su zgure oblog (1 i 2) i nepravilnog tlocrtnog oblika (3), različita presjeka, a potom i zgure s jednim ili dva zaravnjena ruba (4 i 5). Osim zgure s dna peći, odnosno cjelovitijih, pravilnije formiranih zgura, s Hlebina potječe i niz amorfnih uzoraka koje bi se mogle pripisati postupku pročišćavanja spužvastog željeza.



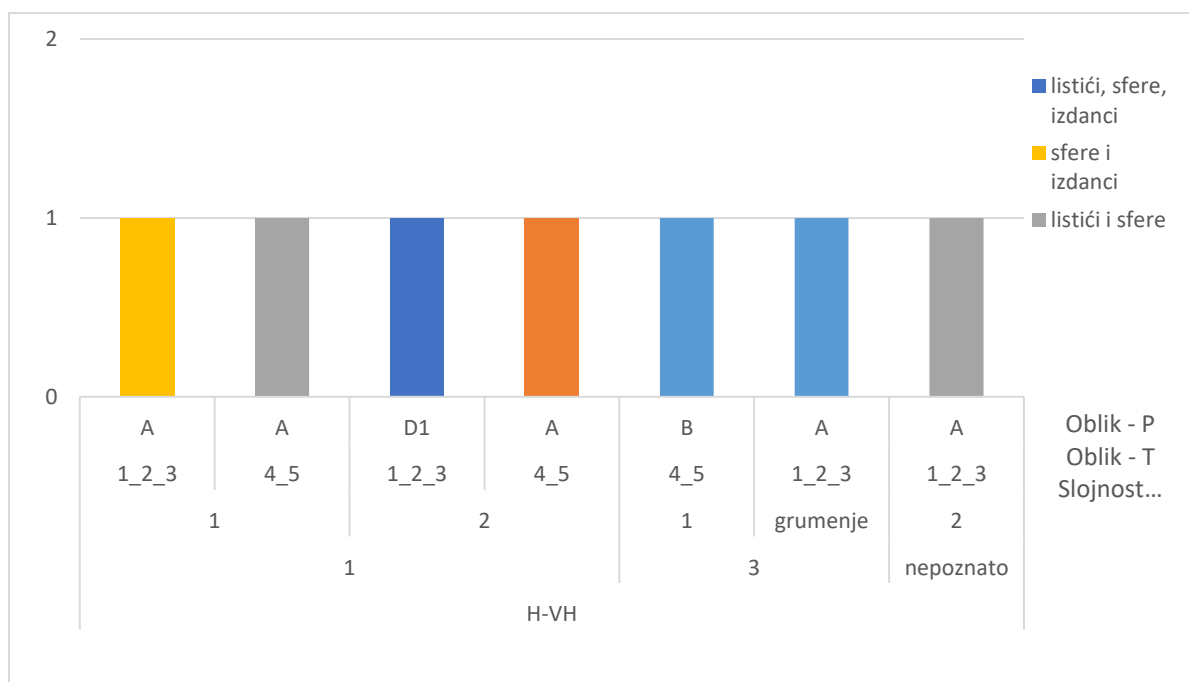
Sl. 4.10. Grafički prikaz zastupljenosti zgure s dna peći različitih oblikovnih svojstava unutar kategorije mase, lokalitet Hlebine-Velike Hlebine.

<sup>60</sup> Vrijednost od 1002 g je procjena, realna vrijednost ulomka je 982 g (očuvano ukupno 98%).



Slika 4.11. Grafički prikaz zastupljenosti zgure s dna peći prema kategorijama: formativno-oblikovna, slojnost i masa, lokalitet Hlebine-Velike Hlebine.

Izrazita varijabilnost morfoloških oblika uvjetovana je nejednoličnim preduvjetima nastanka zgure, a mogla bi se objasniti kao odraz: a) visoke razine produkcije, dugoročnosti i/ili povremene proizvodnje i nasljedno povećanja mogućnosti za postizanje različitih preduvjeta, vezanih uz dizajn peći, izvođača, odlike poluproizvoda koji se obrađuje, b) više faza istog postupka postredukcije (primarno kovanje), izvedenog s prekidima - čišćenje peći, c) više postupaka (primarno i sekundarno kovanje). Radionica na Hlebinama može se smatrati jedinstvenim zapisom o aktivnostima obzirom na jasnu, usustavljenu organizaciju radnog prostora, radiokarbonske datume i stratigrafske odnose (vidi poglavlje 6). Ako uzmemo u obzir vjerojatnost da se radi o sezonskim, kampanjskim aktivnostima i uporabi prostora, moguće je da varijabilnost potječe upravo zbog niza zasebnih postupaka s vremenskim odmakom. Ipak, saponice pronađene na prostoru Hlebina svjedoče o vrlo usustavljenom i jednoličnom načinu proizvodnje, koji je prema tomu moguće vezati uz jednu skupinu izvođača (vidi poglavlje 4.3.1.). Stoga se postavlja pitanje je li ova varijabilnost odraz izvođenja postupaka primarnog kovanja izrazito različito ili je možda riječ o izvedbi različitih postupaka lanca operacija proizvodnje željeza (primarno i sekundarno kovanje). Specifična odlika dijela kovačkih zgura na Velikim Hlebinama su željezni listići, sfere i mali izdanci zgure na površini kompaktnijih pogača s dna peći (7 uzoraka, 38%)(Sl. 4.12), koja je izrazitije korodirana (T. 23).



Slika 4.12. Grafički prikaz zastupljenosti Fe listića, sfera i izdanaka tekuće zgure na uzorcima zgure s dna peći, prema kategorijama mase i oblika, lokalitet Hlebine-Velike Hlebine.

Ovakav tip otpada može nastati u odmaklim fazama pročišćavanja kada je površina željeza već značajnije pročišćena od zgure, iskovana i podložna direktnom utjecaju oksidacije i površinskom lomu pri kovanju (Fe listići). Sfere i sitni izdanci također mogu nastati u ovoj fazi pročišćavanja. Listići, sfere i izdanci se pojavljuju na zguri svih kategorija težine, oblika i uslojenosti. Potonje je u skladu s općom slikom kovačke zgure na Velikim Hlebinama, te implicira da se vrlo vjerojatno ne radi o pojedinačnim kovačkim postupcima obrade prethodno pročišćenog željeza (sekundarnom kovanju), već posljednim fazama pročišćavanja. Pojava ovakvog otpada na Velikim Hlebinama može označavati značajnije i time dugotrajnije pročišćavanje spužvastog željeza u usporedbi s drugim lokalitetima, primjerice na Sušinama (S-5 i 7), odnosno implicirati da je poluproizvod koji izlazi iz radionice bio značajnije obrađen, više kompaktan i pročišćen. U tom smislu izrazita varijabilnost uzoraka zgure s dna kovačke peći na Velikim Hlebinama mogla bi biti odraz višefaznog, dugotrajnog i intenzivnog pročišćavanja spužvastog željeza - potencijalno čišćenja peći u tijeku postupka. U širem kontekstu, varijabilnost je zasigurno u nekoj mjeri uvjetovana i različitim preduvjetima formacije, uzrokovanim varijacijama u dizajnu peći i načinu izvođenja postupka, koji se može pripisati sezonskom karakteru proizvodnje (izgradnja novih peći) i intenzitetu proizvodnje



#### 4.2.1.2.3.4 Hlebine – Dedanovice

Na lokalitetu Dedanovice pronađeni su ostaci peći (Sl. 2.16, 2.17: Sonda 1, Peć 1 (SJ 31/37) i Peć 2 (33/36)) u čijem je ložištu i jami neposredno uz njega te oko peći prikupljena glavčina zgure (85%, ukupno 33671 g/1810 ulomaka) pronađene u svim istraženim sondama (Sonda 1–4). Ukupno je dokumentirano 2042 ulomaka zgure koji teže 39 306 g.

Sva zgura pronađena na istraženom dijelu lokaliteta i u ognjištima peći na makroskopskoj razini se može podijeliti na nekoliko kategorija. Prvu kategoriju čine ulomci pogače, zgura s dna peći (T.24: 1, 2a). One su redovito dvoslojne ili višeslojne – kompozitne. U recentnom presjeku, uslojavanje zgure vidljivo je kroz fizičke prekide u hlađenju, izraženu liniju različitog ritma okrutnjavanja rastopljene zgure te različite preduvjete hlađenja vidljive iz rasporeda i zasićenosti poroznostima. Na donjem dijelu kompozita vidljiv je otisak tla, ovalnog su ili kružnog oblika, a presjek je planokonveksan-nepravilan (uslojen) ili ravan. Cjelovitija zgura s dna peći pronađena je isključivo u zapuni ložišta obiju peći i jamama ka kojima se otvaraju (T.24:1, 2).

U ostalim stratigrafskim jedinicama pronađeni su izrazitije fragmentirani ulomci nekoliko kategorija. Fragmentirane ulomke je na osnovu morfoloških karakteristika moguće odvojiti u dvije kategorije: 1) ulomci manjih dimenzija (do 10 cm), tekuće površinske teksture, razvedeni sitnim otiscima nedogorenog ugljena kod kojih su ponekad vidljivi i sferični oblici (T.24: 1b, 2b), 2) amorfni, magnetični, mahom zahrđali ulomci hrapave površine, vrlo vjerojatno zasićeni česticama željeza, a mogli bi se pripisati zguri (sa željeznom okujinom) kakva nastaje pri kovanju (T.24: 1b). Sporadično se javljaju i sitni ( $\leq 1$  cm) nemagnetični sferoidni oblici (3) (T. 24: 2b), samostalno ili inkorporirani u površinsku strukturu većih, amorfnijih ulomaka. Ovaj tip zgure predstavlja zguru iz unutrašnjosti kovačke peći (1) i zguru koja bi mogla nastati oko nakovnja (sfere i listići) (3) uslijed mehaničkog udarca o tijelo željeznog konglomerata koji se pročišćava, odnosno kuje.

U ognjištu peći 1 (SJ 31a) pronađeno je 9 ulomaka zgure/345 g, a u jamici neposredno vezanoj uz ognjište 39 ulomaka zgure/3643 g (SJ 31b) (T.24:1). U ognjištu peći 2 (SJ 33a) pronađeno je 330 ulomaka/3987 g, a u jamici vezanoj uz ognjište 122 ulomka/ 2833 g(SJ 33b)(T.24: 2). U ovoj peći, unutar ognjišta je pronađen gotovo cjelovit uzorak zgure s dna peći (SJ 33a/N 27/2), težine 889 g (uz manje ulomke slične morfologije 1184 g), ovalan u tlocrtu i nepravilnog, uslojenog presjeka (T.24: 2a). U zapuni ognjišta i jamice ove peći pronađeno je još 3331 g morfološki vrlo sličnih ulomaka koji bi mogli, sudeći prema ukupnoj težini cjelovitijeg ulomka, pripadati još dvjema ili trima zgurama s dna peći. U peći 1, pronađena su četiri veća ulomka zgure s dna peći i niz manjih ulomaka istih morfoloških karakteristika, ukupne težine 3781 g

koji bi mogli, prema masi cjelovitijeg ulomka i fragmentiranosti, pripadati trima ili četirima zasebnim zgurama s dna peći. Ako uzmemo pojedinačne zgure s dna peći kao odraz jedinstvenih postupaka, u obje peći moglo je biti izvedeno od pet do osam zasebnih postupaka pročišćavanja. Moguće je da su peći korištene sličnom dinamikom, što bi sugerirao sličan broj postupaka izvedenih u njima, ali i sličan oblik te položaj peći (zrcalno postavljene naspram osi stražnjeg dijela pojedine peći).

Prema masi, dedanovečki uzorci zgure s dna peći mogli bi se dovesti u vezu s trećom kategorijom mase na relativno istovremenom lokalitetu Velike Hlebine. Morfološki, ove zgure dijele određene karakteristike, višeslojne su i uz njih se (samostalno ili inkorporirani u površinu) pojavljuju listići i sfere. Ove karakteristike mogu se dovesti u vezu s razinom obrade spužvastog željeza. Višeslojnost bi mogla ukazivati na dug proces i uslojavanje kroz trajanje samog postupka, dok bi sfere i listići ukazivali na karakter završnog poluproizvoda, izrazitije počišćeno željezo no kod ostalih promatranih lokaliteta.

Radiokarbonski datumi (Botic 2021: Tabla 1, 1/U 64 i 1/U 48) dobiveni su iz ugljena u pećima te smještaju aktivnosti kojima je nastala zgura u kraj 6. –sredine 7. st. (mogućnost trajanja u 2/2 7. st.)

#### 4.2.1.2.4 Zgura iz jamskih peći: Virje – Sušine

U Sondi 7 istražene su četiri manje jame kružnog tlocrta, promjera 30–35 cm i dubine 18–20 cm<sup>61</sup> (Peć 1–4), zapunjene zgurom te jedna izgledom bliska, ali slabo očuvana jer je presječena recentnim kanalom (Peć 5) (Sl. 2.2.). Ukop ovih jamskih struktura čini plića jama sa stijenrama koje se blago pod koso spuštaju na konkavno dno (Sl. 2.3: Peć 1 i 2). Zgura iz zapune jama može se makroskopski podijeliti na nekoliko kategorija, a čine ju kompoziti koji imaju nekoliko slojeva, na što ukazuju dvije, bolje očuvane peći (Peć 1 i Peć 3). Zgura sličnih karakteristika prisutna je i kod peći 2 i 4, no nije očuvana u cijelosti kao kompozit, već su prepoznati karakteristični tipovi zgure među fragmentima. Prema primjeru peći 3, na rubnim dijelovima kompozita jasno je vidljiva višestruka slojevitost dok su se pri recentnom presjeku zgure očitovale dva glavna sloja - značajnije nataložen sloj zgure nad pjeskovitom zapunom (T.25). Slojevi zgure vidljivi uz vanjske dijelove rekonstruirane cjeline mogu se smatrati dijelom zapune rubnih dijelova jame.

---

<sup>61</sup> Dubina se odnosi na dubinu jamice.

Najočuvanija peć (Peć 3) temelj je za rekonstrukciju karakteristika zgure i načina uslojavanja zapune peći.<sup>62</sup> S vanjske strane kompozita bilo je vidljivo nekoliko slojeva (T.25):<sup>63</sup> 1) kompaktni središnji, gornji dio koji pokazuje karakteristike taloženja poput kovačke zgure s dna peći, a čini ga tlocrtno relativno pravilna pogača, nepravilnog oblika presjeka, s nizom poroznosti i česticama željeza inkorporiranim u zguru, 2) rastresiti sloj - nakupine amorfne zgure te sitna sferična zgura i izdanci tekuće zgure nepravilnog oblika ili s tragovima vertikalnog slijevanja, mjestimično željezni listići te magnetični prah (usitnjeni listići (?)), 3) zapečeni pjeskovito-glineni sloj sa sporadičnom pojavom manjih, nepravilno oblikovanih izdanaka tekuće zgure i sfera u primjesi. Ukupna dubina/visina je od 20 cm (viša strana) do 15 cm (niža strana).

Morfološki, zgura koja se pojavljuje unutar jama može se dovesti u vezu s postredukcijskim postupcima poput pročišćavanja odnosno primarnog kovanja. Uslojenost zgure i pojava nataloženih dijelova, ali i sitnih sferica i magnetičnih listića te praha na bočnim dijelovima konglomerata, mogla bi implicirati odmaklu fazu pročišćavanja. Ukupna masa zgure pronađene u jednoj peći, značajnija je no kod zgure s dna kovačke peći istražene na ostalim lokalitetima, a čini ju: 6240 g (Peć 1), 1830 g (Peć 2), 7401 g (Peć 3), 6150 g (Peć 4), 2180 g (Peć 5(?)).

#### 4.2.1.3 Ulomci spužvastog željeza

Ove ulomke karakteriziraju male dimenzije (nekoliko centimetara promjera), amorfan oblik i najčešće značajnija prekrivenost korozijom te veća relativna težina od zgure istog volumena. U presjeku je vidljivo da željezo nije u potpunosti kompaktirano, prisutne su poroznosti nepravilnog oblika (T.17: 4) te inkluzije zgure. Ovi sitni ulomci spužvastog željeza vrlo vjerojatno su otpali od većeg konglomerata prilikom vađenja spužvastog željeza iz talioničke peći, kompaktiranja i/ili pročišćavanja. Često ih je teško makroskopski razlikovati od amorfni, površinski hrđavih ulomaka zgure zasićenih željeznim česticama, nastalih vjerojatno u postredukcijskim postupcima kovanja spužvastog željeza (vidi poglavlje 4.1.1.2.1, T.17: 1-2),

---

<sup>62</sup> Cjelina je dokumentirana kroz nekoliko skupina nalaza oznake N 411/1/2/3 koji su prikupljeni stratigrafski prema fazama čišćenja peći te posredno predstavljaju redosljed pojave određenog tipa zgure, od gornjeg dijela zapune prema dubini.

<sup>63</sup> U zapuni plitke jame koja je okruživala kružni ukop peći, neposredno iznad zapune peći, pronađen je i cjeloviti ulomak nataložene zgure, oblikom poput pogače s dna kovačke peći. Tlocrtno je pravilnijeg četvrtastog oblika, u profilu planokonveksan, a na gornjoj površini u sredini vidljivo je udubljenje (duguljasto). U istoj ravnini s udubljenjem na gornjoj površini je ispupčenje na donjoj. Sporadično se na površini pojavljuju nakupine listića i sferica inkorporirani u zahrđalu površinu zgure, i to na gornjoj i bočnim stranama (SJ 296/N 364/3).

prvenstveno zbog korodirane površine i amorfno oblika. Ulomci spužvastog željeza pojavljuju se na svim istraženim lokalitetima, iako vrlo rijetko.

#### 4.2.2 Mineraloška i kemijska svojstva

Mineraloška analiza pokazuje da se kod svih uzoraka javlja fajalit ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  ili  $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_4$ ) kao glavna mineralna faza, a uz njega se pojavljuju wüstit ( $\text{FeO}$ ) i kvarc ( $\text{SiO}_2$ ) u tragovima i kao sporedna komponenta (Tab. 4.4.). Kao sporedne komponente zastupljeni su i drugi željezovi minerali - getit, magnetit, hematit te ponekad u tragovima lepidokrokit, a u tragovima se javljaju i drugi minerali kao što su piroksen, spinel (hercinit), leucit, ankerit, te minerali glina i plagioklasi.

Tablica 4.4. Rezultati mineraloške analize uzoraka rude. + – relativni sadržaj minerala (kvantitativnavrijednost nije pridružena); +++ glavna komponenta, ++ sporedna komponenta; + komponenta u tragovima, ?: nedovoljno iskazljivo za sigurnu determinaciju. G – geološki uzorak, A – arheološki uzorak, CM – minerali gline; Gt – getit; Lpc – lepidokrokit; Hem – hematit; Mag – magnetit; Mgh – maghemit; Pl – plagioklas; Qz – kvarc; AM – amorfna tvar; Cal – kalcit;– Pyr – piroluzit.

ID UZORKA	Fay	Qtz	Gt	Hem	Mag	Wue	Ostali minerali
<b>Redukcija: Talionička zgura</b>							
VVB S3 T IZ 1	+++	–	–	–	–	–	
VVB S3 T IZ 2			Nije moguće usitniti u finu frakciju				
VVB S3 T ZDP 1	+++	?	+	–	–	–	
VVB S3 T ZDP 2	+++	+	?	–	–	–	
VVB S3 T ZDP 3	+++	+	+	–	–	++	Spl, Ankerit
VVB S3 T ZDP 4	+++	+	–	–	–	?	
VVB S3 T ZDP 5	+++	+	–	–	–	–	Spl, leucit
VVB S3 T ZDP 6	+++	+	+	–	–	++	–
VVB S3 T ZDP 7	+++	+	–	–	–	++	Spinel, Px?
VVB2a T IZ 1	+++	?	–	–	–	++	Ankerit
VVB2a T IZ 2	+++	+	?	–	–	+	Ankerit
VVB S1 T ZDP 1	+++	+	+	–	–	+	Pl, 10A
VS S5 T IZ 1	+++	+	–	–	–	–	Pl
VS S5 T IZ 2	++	+	–	–	–	–	Px
VS S7 T ZDP 1	+	+	?	–	–	++	Leucit (?)
VS S7 T IZ 1	++	?	–	–	–	+	
VS S7 T IZ 2	+++	+	–	–	–	+	Px
VS S7 T IZ 3	+++	?	–	–	–	++	
VS S7 T IZ 4	+++	+	–	–	+	++	
VS S7 T IZ 5	+++	?	–	–	–	–	
VS S7 ZUP 1			Nije moguće usitniti u finu frakciju				

VS S7 B	++	+++	+	-	++	-	Lpc, Pl?
VS S5 T IZ 3	+++	+	-	-	-	+	Spl?
VS S5 T IZ 4	+++	+	?	+	-	-	Pl
HVH T IZ 1	+++	-	-	-	+	-	Spl
HVH T IZ 2	+++	?	-	-	-	-	Dol, Cup
HVH T IZ 3	+++	?	-	-	-	-	Dol, Spl
HVH T IZ 4	+++	?	-	-	-	-	-
HVH T IZ 5	+++	-	-	-	-	-	-
HVH T IZ 6	+++	-	-	-	-	+	Dol
HVH T IZ 7							Nije moguće usitniti u finu frakciju
HVH T IZ 8	+++	+	-	-	-	-	Dol
HVH T ZDP 1	+++	?	?	-	-	+	Dol (?)
HVH T ZDP 2	+++	+	-	-	-	++	-
HVH T ZDP	+++	+					Pl, 10A, c 1(?)
HVH T ZDP 3	+++	+	-	-	-	+	-
HVH T ZDP 4	+++	+	-	-	-	-	-
HVH T ZUP 1	+++	+	-	?	-	-	Pl
HVH T ZUP 2	+++	+	-	-	-	+	Dol (?)
HVH T ZUP 4	+++	+	-	-	-	-	Pl, Dol
HVH T SKL 1	++	++	-	-	-	-	Pl
<b>Postredukcija: Primarno kovanje i varenje (?)</b>							
HD K 1	+++	?	?	-	+	+	
HD K 2	+++	+	-	-	-	++	
HD K 3	++	+	+	-	-	++	illit, Px
HD K 4	+++	++	-	-	-	++	Px
HVH K 1	++	-	-	-	-	++	-
HVH K 10	++	++	-	-	-	+	-
HVH K 2	++	++	+	+	+	+	Pl
HVH K 3	++	++	+	-	+	1 do 2 +	Pl
HVH K 4	++	++	-	+	+	-	Pl (?)
HVH K 5	+++	+	-	-	+	-	Pl
HVH K 6	++	+	+	-	-	+	Lpc, Pl (?)
HVH K 7	+++	+					
HVH K 8	+++	+	+	-	+	-	-
HVH K 9	++	+	+	?	+	-	Pl
VS S7 K 1	++	++	+	+	-	++	Px
VS S7 K 2	+++	+	?	-	?	++	Pl?
VS S10B K 1	++	+	+	+	++	++	Px
VS S10B K 2	++	++	?	+	++	++	Px?
VS S7 VK 1	++	++	-	-	-	++	
VS S7 VK 2	++	++	+	-	+	++	Pl i Fld?
VS S7 VK 3	++	++	+	-	-	++	Pl
VS S7 VK 4	++	++	+	-	-	++	
VS S8 K 1	++	++	+	+	+	-	Lpc, Pl ili Px
VS S8 K 2	++	+	-	-	-	++	Leucit
VS S8 K 3	+	++	+	-	+	+	Lpc, Px?

VS S8 K 4	+++	+	?	-	+	+	Leucit
VS S8 K 5	+++	+	-	-	-	+	Pl, Leucit
VS S8 K 6	++	+	+	+	+	+	Lpc, Px?
VS S8 K 7	++	+	+	-	+	++	Lpc, Leucit
VVB S2A K 1	+++	+	+	+	+	++	10 A (musk. ili illit)
VVB S2A K 2	++	?	++	-	-	++	Ankerit
VVB S2A K 3	++	?	++	-	-	++	Ankerit
VVB S2B K 1	+	+	+	-	++	++	Leucit

Kemijski, uzorci imaju sastav tipičan za zguru nastalu kroz proizvodnju željeza (Heinmann et al. 2001; Costures et al. 2003; Charlton et al. 2010; Török et al. 2010; Thelemann et al. 2017; Nemet et al. 2018), a čine ih glavni oksidi: željezo (III) oksid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), silicij dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), aluminij (III) oksid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), manganov oksid ( $\text{MnO}$ ), difosforov pentoksid ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), kalcijev oksid ( $\text{CaO}$ ), te kalij ( $\text{K}_2\text{O}$ ), barij ( $\text{BaO}$ ), mangan ( $\text{MnO}$ ) magnezij ( $\text{MgO}$ ), stroncij ( $\text{SrO}$ ) i natrij oksid ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), titan – dioksid ( $\text{TiO}_2$ ) te niz manje zastupljenih elemenata i elemenata rijetkih zemalja (REE) (Prilog 3.1). Najzastupljeniji oksidi su  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{SiO}_2$  te u manjoj mjeri  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dok su ostali oksidi zastupljeni u još manjoj mjeri. Zastupljenost  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obrnuto je proporcionalna zastupljenosti  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Uzorci talioničke zgure imaju 21,6–80,56%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 14,0–46%  $\text{SiO}_2$  te 2,94–10,06%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Uzorci zgure iz postredukcijskih procesa, imaju 46,02–66,03%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 11,69–37,37%  $\text{SiO}_2$  i 2,56–6,70%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Za uzorke talioničke zgure izračunat je indeks redukcije (RII) prema Charlton et al. (2010: 356),<sup>64</sup> kako bi se procijenila učinkovitost postupka taljenja. Indeks redukcije željeza značajno varira među uzorcima te iznosi 0,54 – 4,37.

<sup>64</sup> Reducible Iron Indeks (RII) izračunat je prema formuli  $\text{RII} = 2.39 * \text{FeO} / \text{MnO} + \text{SiO}_2$

**Tablica 4.5.** Rezultati analize glavnih oksida (ICP–MS) uzoraka zgure

Uzorak ID	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	SrO	TiO <sub>2</sub>	LOI	Total	RII	Feo
%																	
<b>Redukcija: talionička zgura</b>																	
HVH T IZ 1	4,51	0,03	1,09	0,02	65,36	0,59	0,53	0,79	0,29	0,67	22,52	0,01	0,24	-5,09	91,56	0,54	72,49
HVH T IZ 2	5,49	0,04	2,24	0,02	66,4	0,92	0,65	0,96	0,45	0,66	26,51	0,01	0,27	-5,97	98,66	0,63	55,19
HVH T IZ 3	6,01	0,05	1,45	0,02	60,45	0,97	0,67	1	0,39	0,77	27,36	0,01	0,3	-5,69	93,76	0,72	70,48
HVH T IZ 4	6,81	0,07	2,51	0,02	58,85	1,67	0,88	1,22	0,47	0,68	32,57	0,01	0,35	-4,88	101,2	0,79	67,03
HVH T IZ 5	5,89	0,09	2,49	0,02	59,6	0,99	0,6	1,56	0,41	0,78	27,63	0,01	0,28	-5,69	94,67	0,81	66,56
HVH T IZ 6	5,36	0,09	2,32	0,02	65,15	0,83	0,81	1,82	0,38	0,96	26,8	0,01	0,25	-6,07	98,73	0,86	45,93
HVH T IZ 8	4,18	0,06	1,84	0,02	66,46	0,67	0,81	1,97	0,28	0,81	26,3	0,01	0,22	-4,93	98,7	0,90	54,91
HVH T SKL 1	8,6	0,04	1,48	0,03	37,51	1,66	0,96	0,45	0,86	0,53	46,65	0,01	0,64	-2,12	97,28	0,90	58,81
HVH T ZDP 1	4,61	0,03	1,75	0,02	65,35	0,74	0,64	0,85	0,28	0,61	25,58	0,01	0,22	-4,96	95,73	0,92	47,90
HVH T ZDP 2	4,99	0,03	2,2	0,02	62,63	0,97	0,53	0,73	0,3	0,69	22,33	0,01	0,21	-6,31	89,34	0,93	56,35
HVH T ZDP 3	5,1	0,04	1,66	0,01	62,68	1,15	0,67	0,45	0,51	0,74	26,64	0,01	0,36	-3,14	96,89	0,99	50,00
HVH T ZDP 4	6,13	0,04	2	0,02	55,47	1,12	0,72	0,76	0,47	0,62	32,57	0,01	0,34	-3,72	96,54	1,02	59,80
HVH T ZUP 1	4,66	0,03	1,45	0,02	61,17	0,76	0,68	0,69	0,33	0,66	26,72	0,01	0,27	-1,7	95,74	1,02	55,38
HVH T ZUP 2	4,85	0,04	1,63	0,01	63,15	0,77	0,57	0,79	0,28	0,59	25,16	0,01	0,23	-5,05	93,06	1,02	58,80
HVH T ZUP 4	5,21	0,08	1,99	0,01	61,13	0,81	0,78	2	0,36	0,83	29,84	0,01	0,27	-1,77	101,6	1,03	53,52
VS S5 T IZ 1	7,01	0,07	1,47	0,02	55,98	1,08	0,7	1,04	0,6	0,58	37,28	0,02	0,38	-4,69	101,5	1,04	56,82
VS S5 T IZ 2	5,45	0,06	1,68	0,01	61,11	0,83	0,62	0,92	0,44	0,49	27,96	0,02	0,26	-4,28	95,57	1,06	58,62
VS S5 T IZ 3	5,72	0,1	1,16	0,01	64,26	0,83	0,5	1,09	0,47	0,52	28,92	0,02	0,29	-5,77	98,11	1,11	55,15
VS S5 T IZ 4	6,74	0,07	3,08	0,02	56,91	1,08	0,93	1,18	0,56	0,51	34,05	0,02	0,38	-3,87	101,7	1,12	56,40
VS S7 B	4,61	0,06	1,35	0,04	56,59	0,84	0,44	0,74	0,42	0,58	26,52	0,02	0,28	7,89	100,4	1,13	49,43
VS S7 T IZ 1	4,59	0,05	1,25	0,02	54,43	0,82	0,52	0,99	0,36	0,88	25,2	0,02	0,19	-6,13	83,19	1,14	49,03
VS S7 T IZ 2	5,66	0,06	3,03	0,02	63,12	1,07	0,72	1,02	0,42	0,94	29,19	0,02	0,29	-5,26	100,3	1,15	55,04
VS S7 T IZ 3	3,74	0,03	1,99	0,01	61,02	0,67	0,54	0,64	0,29	0,99	20,88	0,02	0,14	-6,35	84,6	1,16	51,83
VS S7 T IZ 4	4,44	0,03	3,05	0,02	61,29	0,97	0,7	0,81	0,3	0,78	25,91	0,02	0,19	-5,92	92,59	1,16	59,06

VS S7 T IZ 5	7,23	0,06	1,87	0,03	58,03	1,28	0,72	1	0,56	0,52	35,41	0,02	0,38	-5,27	101,8	1,17	57,82
VS S7 T ZDP 1	4,59	0,04	3,63	0,01	54,87	2,84	0,99	0,53	0,34	1,15	25,72	0,02	0,27	-2,08	92,93	1,18	57,45
VS S7 ZUP 1	3,61	0,02	0,81	0,01	54,04	0,4	0,39	0,44	0,3	0,5	21,28	0,02	0,19	8,36	90,36	1,18	54,39
VVB S1 T ZDP 3	4,47	0,06	1,01	0,01	65,64	0,65	0,59	1,03	0,4	0,38	29,1	0,01	0,25	-3,15	100,4	1,20	54,99
VVB S1 T ZUP 1	2,94	0,04	1,79	0,01	80,56	1,03	0,43	0,41	0,29	0,53	16,54	0,01	0,18	-3,17	101,6	1,20	53,63
VVB S1 T IZ 2	3,68	0,04	1,39	0,01	73,97	0,66	0,51	0,64	0,32	0,58	22,85	0,01	0,21	-5,73	99,13	1,21	48,98
VVB S1 T IZ 3	4,13	0,09	1,3	0,01	74,49	0,72	0,47	1,24	0,4	0,37	22,7	0,01	0,25	-6,14	100	1,21	56,80
VVB S1 T ZDP 1	5,03	0,06	1,77	0,01	56,49	1,09	0,69	1,06	0,43	0,73	27,96	0,01	0,27	-1,34	94,25	1,23	50,92
VVB S1 T ZDP 2	5,05	0,07	2,15	0,01	63,85	0,77	0,65	1,34	0,46	0,45	28,96	0,01	0,32	-5,51	98,54	1,23	49,37
VVB S1 T ZUP 2	3,98	0,04	1,22	0,01	78,33	0,61	0,51	0,69	0,31	0,59	21,42	0,01	0,24	-6,31	101,6	1,24	47,06
VVB S3 T IZ 1	7,89	0,09	1,86	0,02	55,8	1,13	0,97	1,52	0,41	0,66	28,57	0,02	0,33	-5,12	94,16	1,25	55,00
VVB S3 T IZ 2	10,06	0,14	25,07	0,02	21,8	1,36	1,51	1,91	0,46	1,96	36,36	0,05	0,44	0,27	101,4	1,26	48,10
VVB S3 T ZDP 1	7,39	0,04	2,31	0,02	54,93	1,11	0,94	0,59	0,3	1,04	23,65	0,02	0,3	1,25	93,88	1,29	50,83
VVB S3 T ZDP 2	4,9	0,03	1,82	0,01	51,05	0,69	0,6	0,5	0,21	0,87	16,75	0,02	0,14	-2,14	75,43	1,32	50,21
VVB S3 T ZDP 3	4,91	0,03	1,58	0,01	53,23	0,68	0,54	0,51	0,28	0,87	18,55	0,02	0,16	-2,39	78,97	1,44	52,95
VVB S3 T ZDP 4	8,03	0,05	1,9	0,01	52,3	0,86	1,17	1,36	0,38	1,24	25,2	0,02	0,33	-0,52	92,33	1,54	49,91
VVB S3 T ZDP 5	7,89	0,04	2,26	0,01	54,49	1,16	1,11	0,59	0,32	0,92	23,76	0,02	0,3	-3,03	89,85	1,55	51,21
VVB S3 T ZDP 6	4,1	0,02	1,53	0,01	61,34	0,61	0,51	0,37	0,22	0,65	14,56	0,02	0,12	-2,33	81,72	1,59	52,22
VVB S3 T ZDP 7	5,95	0,05	2,64	0,01	55,57	0,77	0,86	1,06	0,27	1,11	21,19	0,02	0,22	-3,35	86,35	1,73	50,37
VVB2a T IZ 1	7,26	0,05	1,9	0,01	53,46	1,12	0,79	1,09	0,34	0,93	25,9	0,02	0,25	-4,32	88,8	3,26	33,75
VVB2a T IZ 2	6,68	0,06	1,98	0,01	57,6	1,19	0,75	1,26	0,36	1,03	25,67	0,02	0,24	-5,36	91,51	4,04	19,62

**Postredukcija: zgura iz primarnog kovanja i varenja**

Uzorak ID	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	SrO	TiO <sub>2</sub>	LOI	Total
HD K 1	5,57	0,06	2,84	0,01	58,61	1,33	0,84	1,16	0,45	0,63	28,36	0,02	0,28	-3,97	96,19
HD K 2	4,41	0,04	1,68	0,01	54,13	0,8	0,73	0,85	0,3	0,49	21,87	0,02	0,16	-4,64	80,85
HD K 3	4,5	0,05	7,19	0,01	56,2	1,17	1,04	1,01	0,32	1,01	24,88	0,03	0,27	-2,73	94,96
HD K 4	5,7	0,04	1,86	0,01	61,69	1,03	0,82	0,8	0,46	0,49	26,63	0,02	0,31	-4,93	94,93
HVH K 1	4,2	0,06	5,34	0,01	57,22	1,18	0,66	1,28	0,29	0,78	19,89	0,02	0,23	-4,01	87,15
HVH K 10	6,74	0,03	2,43	0,01	50,7	1,33	0,96	0,14	0,61	0,85	32,38	0,01	0,46	0,61	97,26
HVH K 2	3,67	0,03	1,65	0,01	62,64	0,73	0,55	0,39	0,36	0,92	19,79	0,01	0,2	0,57	91,5

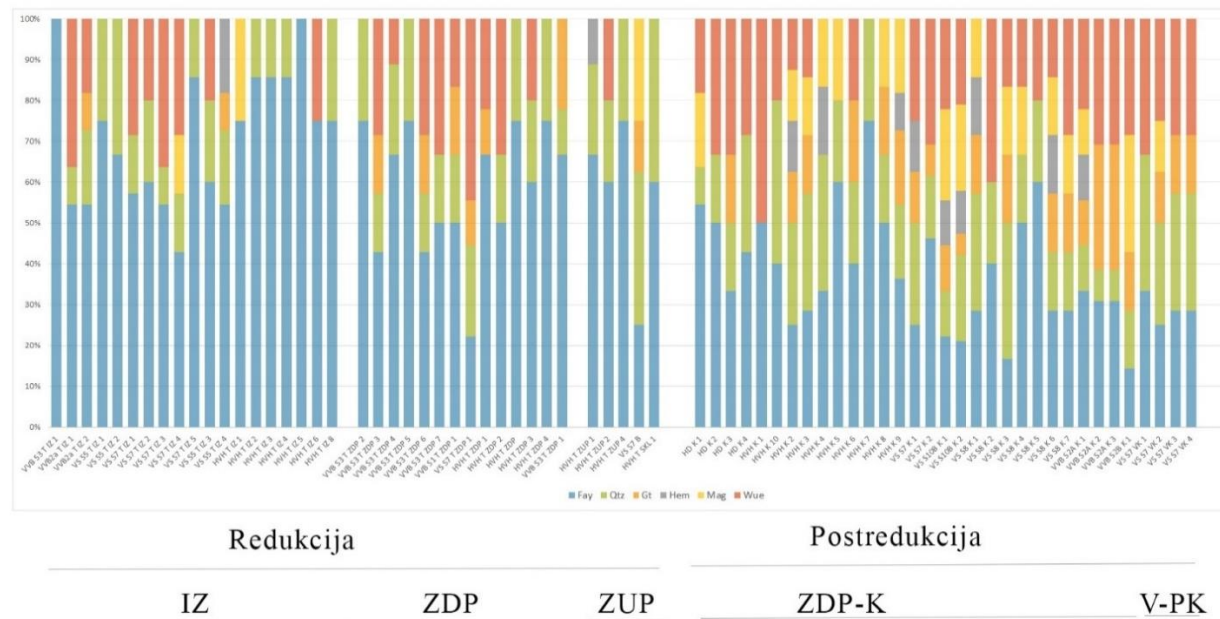


HVH K 3	3,32	0,02	1,29	0,01	66,3	0,59	0,48	0,35	0,37	0,52	17,99	0,01	0,2	-0,69	90,74
HVH K 4	4,07	0,02	0,97	0,01	55,86	0,62	0,49	0,42	0,37	0,6	22,23	0,01	0,24	1,83	87,73
HVH K 6	3,62	0,02	2,5	0,01	54	1,12	0,82	0,32	0,29	0,57	18,39	0,01	0,23	2,88	84,76
HVH K 7	5,35	0,03	3,88	0,01	61,56	1,42	0,92	0,45	0,46	0,71	25,43	0,01	0,3	-2,85	97,69
HVH K 8	2,95	0,02	1,67	0,01	60,8	0,66	0,37	0,32	0,29	0,83	17,85	0,01	0,13	-2,8	83,09
HVH K 9	3,64	0,02	2,27	0,01	48,98	0,66	0,57	0,21	0,22	0,94	16,63	0,01	0,14	4,2	78,49
VS S7 VK 1	2,56	0,03	2,51	0,01	55,33	0,68	0,56	0,43	0,21	0,66	14,22	0,02	0,09	-4,28	73,01
VS S7 VK 2	2,78	0,02	1,18	0,01	48,32	0,64	0,39	0,27	0,29	0,66	18,35	0,01	0,1	0,13	73,15
VS S7 VK 3	3,56	0,03	2,32	0,01	53,45	0,99	0,65	0,45	0,32	0,7	22,93	0,02	0,18	1,54	87,14
VS S7 VK 4	4,86	0,03	1,08	0,02	48,93	0,76	0,55	0,4	0,6	0,49	37,37	0,02	0,32	2,29	97,71
VS S8 K 2	3,54	0,06	2,86	0,01	56,84	0,92	0,56	0,96	0,24	1,54	17,19	0,02	0,14	-2,24	82,61
VS S8 K 3	3,93	0,04	2,31	0,01	54,93	0,74	0,61	0,64	0,28	1,39	21,59	0,02	0,21	4,76	91,47
VS S8 K 4	4,5	0,05	1,95	0,01	55,65	1,19	0,61	0,56	0,29	1,93	22,53	0,02	0,22	-1,61	87,88
VS S8 K 6	3,6	0,03	1,9	0,01	56,18	1,16	0,53	0,4	0,31	0,99	20,77	0,02	0,16	0,07	86,11
VS S8 K 7	3,83	0,03	2,62	0,01	55,25	1,62	0,7	0,5	0,3	0,76	21,19	0,02	0,19	0	87,02
VVB S2A K 1	5,61	0,03	1,71	0,01	51,45	1,06	0,7	0,33	0,34	1,07	21,36	0,02	0,18	-1,52	82,34
VVB S2A K 3	4,34	0,01	0,76	0,01	60,06	0,45	0,47	0,31	0,1	0,59	11,69	0,02	0,11	4,02	82,93
VVB S2B K 1	6,51	0,03	2,25	0,01	46,02	1,27	0,64	0,26	0,25	1,17	19,45	0,02	0,21	6,06	84,14
VS S10B K 1	3,5	0,02	0,96	0,01	59,48	0,63	0,47	0,32	0,36	0,77	23,27	0,02	0,2	-0,64	89,37
VS S10B K 2	3,99	0,03	2,66	0,01	61,55	1,44	0,67	0,41	0,37	0,69	23,91	0,02	0,21	-3,67	92,28

#### 4.2.2.1 Klasifikacija zgure prema tehnološkom procesu

Osnovna razlika vidljiva na kemijskoj i mineraloškoj razini odnosi se na razliku u tipu zgure odnosno tipu postupka pri kojemu se formirala, bez obzira na prostorni i vremenski kontekst uzoraka. Tako je kod zgure nastale postredukcijskim procesima vidljiva generalno viša zastupljenost wüstita, ali i učestalija pojava drugih željezovih minerala – hematita, magnetita i getita (Sl. 4.13). Pojava getita na uzorcima mogla bi se objasniti postdepozicijskim uvjetima te korozijom. Kontekst prirodnog okruženja unutar kojega su uzorci bili deponirani, tlo učestalo zasićeno vlagom uslijed naplavlivanja, dodatno je mogao pospješiti posdepozitne promjene na zguri zasićenoj željezom. Getit u uzorcima odraz je i načina pripreme uzoraka za analizu pri čemu je vrlo vjerojatno zahvaćen korodirani dio zgure. Ovome u prilog išla bi učestala pojava getita kod uzoraka kovačke zgure koja u načelu ima viši udio željeza, učestalo željezne inkluzije u strukturi te je jače zahvaćena korozijom. Pojava hematita i magnetita u sastavu zgure može se tumačiti nepotpunom redukcijom rude, povišenom koncentracijom kisika u sustavu tijekom formacije zgure te kao sekundarna pojava pri solidifikaciji u oksidacijskim uvjetima (Morton, Wingrove 1969; Manasse, Mellini 2002; Thiele, Török 2011; Bachman 2016: 15–16). Učestala zastupljenost magnetita i hematita u uzorcima kovačke zgure s dna peći (Sl. 4.13: PK), nastale postredukcijskim postupcima pročišćavanja spužvastog željeza, vrlo vjerojatno je odraz samog postupka, odnosno izmjenjivih, oksidacijsko-redukcijskih uvjeta u plitkom ognjištu peći iz kojega se spužvasto željezo kontinuirano odstranjuje i vraća nakon postupka kovanja. Također, magnetit može biti i odraz okujine (listića željeza) koji nastaju oksidacijom vrela površine željeza pri kovanju (Charlton et al. 2012) i nepravilnih inkluzija željeza u strukturi zgure – okujine ili ulomaka željeza koje je propalo u zguru uslijed loše konsolidiranosti komada koji se pročišćava. Oba primjera identificirana su kod kovačkih zgura s dna peći, a listići zgure poglavito su prisutni kod analiziranih kovačkih zgura s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine, koje u sastavu nose magnetit (Sl. 4.13; T.23: 1 (uzorak H-VH K 3), 4 (uzorak H-VH K 2)). S druge strane, u talioničkoj peći, zatvorenoj redukcijskoj komori pojava ovih minerala (poglavito hematita) mogla bi se tumačiti ostalim parametrima: a) izloženosti kisiku prilikom solidifikacije ili povećanom dotoku kisika u talionički sustav, uzrokovanog upuhivanjem značajnije količine zraka u sustav kroz sapnicu, b) nepotpunom redukcijom (poglavito magnetit), ali i slabom razinom sinteriranja spužvastog željeza u peći te prisutnosti čestica željeza u strukturi zgure (nije učestalo vidljivo na makrokopskoj razini). Međutim, ona nikako nije pravilo te se

pojavljuje tek kod rijetkih primjeraka, ukupno četiri uzorka, dva ispuštene zgure i dva uzorka iz unutrašnjosti talioničke peći.



Slika 4.13. Grafički prikaz zastupljenosti mineralnih faza kod uzoraka talioničke zgure i zgure iz primarnog kovanja: ZDP- zgura s dna peći, IZ – ispuštena zgura, ZUP – zgura iz unutrašnjosti peći, ZDP-K – zgura s dna kovačke peći, V-PK – zgura iz jamskih peći

Razlike u sastavu prema tipu zgure, pokazale su se mogućim prema analizi glavnih elemenata, odnosno oksida na eksperimentalnim uzorcima (Blackelock e al. 2009), a studija s proširenim skupom elemenata ukazala je na još jasnije opredjeljivanje tipova zgure iz arheološkog konteksta formirane tijekom talioničkih postupaka (Nemet et al. 2018). U potonjoj studiji jasno su se razlikovali tipovi zgure s izraženim karakteristikama poput zgure zasićene silikatima (ceramic-rich slag iz unutrašnjosti peći neposredno uz sapnicu) naspram ispuštene zgure i zgure iz unutrašnjosti. Iz potonjeg razloga moguće je očekivati i značajniju razliku pri usporedbi različitih procesa, faza proizvodnje željeza. Kemijski i mineraloški sastav zgure nastale taljenjem rezultat je kompleksne dinamike utjecaja sastava izvorišnih sirovina korištenih u postupku (ruda, ugljen, tehnička keramika – stijenke peći) te učinka termodinamičkih uvjeta u peći (temperatura, atmosfera) ostvarenih kroz operative parametre upotrijebljene tijekom postupka (Seernels, Crew 1997; Crew 2000; 2007; Joosten 2004; Senn et al. 2010). Utjecaj pepela od ugljena (CaO, K<sub>2</sub>O) i gline od stijenki peći (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) u nekoj mjeri može doprinjeti sastavu, poglavito povećanju udjela glavnih oksida (Charlton et al. 2012: Tab. 1.), na što je ukazalo i eksperimentalno testiranje taljenja rude s položaja Kalinovac – Hrastova greda

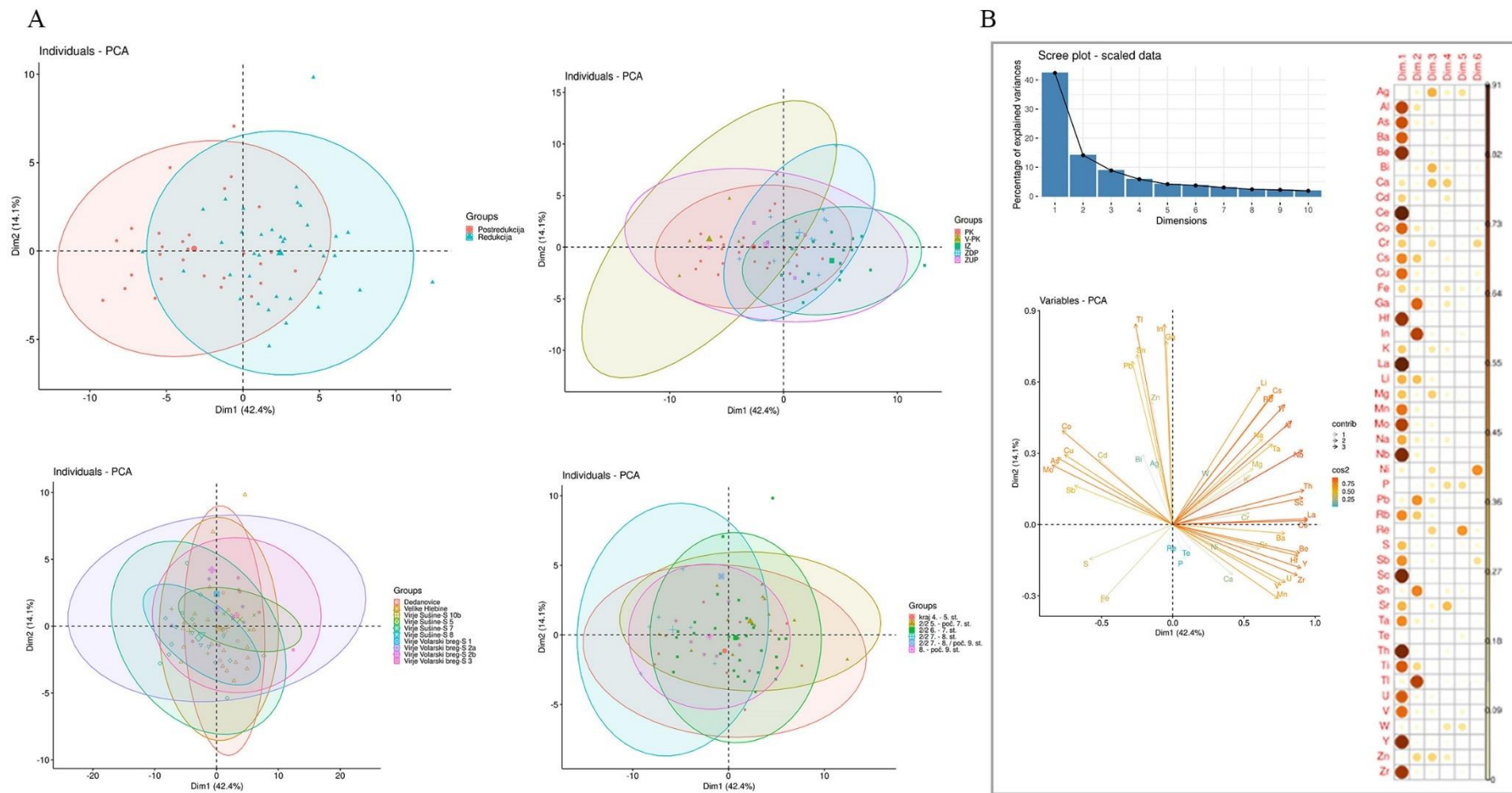
(Prilog 1). Costures et al. (2003) zaključuju da kemijski sastav ovih operativnih parametara - gline (od peći) i pepela od ugljena (reducensa) u nekoj mjeri ima utjecaja na konstituciju rijetkih i elemenata u tragovima u zguri, no da je varijabilnost prilično mala te da ovi elementi ipak u najvećoj mjeri ukazuju na korištenu rudu. U studiji provenijencije ruda s područja Podravine (Brenko et al. 2021), jasan geokemijski otisak uspostavljen je između geoloških uzoraka ruda i arheoloških uzoraka pržene rude, a daljna studija između odabranih uzoraka talioničke zgure ukazala je na mogućnost praćenja rijetkih elemenata i u zguri (Brenko et al. 2022). Ipak, odnos zastupljenosti ovih elemenata između ruda s istih lokaliteta, ili iste vremenske pripadnosti nije se pokazao jednoličnim. Potonje se može pripisati kompleksnom sastavu ruda, iskorištavanju više ležišta na istom lokalitetu i višestrukim postupcima taljenja pri čemu analizirana zgura i rude iz istog konteksta nužno nisu odraz jedinstvenog postupka taljenja. Kako bi se analizirao sastav zgure i jasnije ukazalo na razlike između različitih tipova zgure, odnosno procesa kroz koje su prošle izvedena je multivarijatna analiza glavnih komponenti (PC-a)(Sl.4.14) i hijerarhijska klaster analiza (Sl. 4.15) u koju su uključeni svi analizirani elementi - glavni, u tragovima i elementi rijetkih zemalja. Iz analize je vidljivo da se kemijski otisak zgure značajnije razlikuje na osnovi procesa kroz koji je zgura prošla, neovisno o vremenskoj i prostornoj pripadnosti uzoraka. Temeljne i najkonzistentnije razlike vidljive su u zastupljenosti rijetkih elemenata i elemenata u tragovima (poglavito Yb-Ba)(Sl. 4.15), koja se smanjuje po odmicanju procesa proizvodnje željeza - između zgure koja pripada talioničkom postupku (IZ, ZDP) i zgure iz postredukcijskih postupaka (PK, V-PK) (Sl. 4.14, 4.15). Postredukcijske zgure imaju i izraženiju tendenciju ka većoj zastupljenosti Fe i S te As, Cu, Co, Mb (Sl. 4.14). Progresivnu tendenciju ka smanjenju udjela elemenata rijetkih zemalja i razliku u zastupljenosti ostalih elemenata, moguće je primijetiti i prema užem okviru, vezanom uz tijek procesa proizvodnje željeza, odnosno između tipova zgura unutar talioničkog procesa (IZ, ZDP) i prema odmaklosti kovačkih postupaka (PK i V-PK)<sup>65</sup> (Sl. 4.13, 4.14). Unutar ovog sustava ipak postoji određena razina preklapanja odnosa zastupljenosti potonjih elemenata, a u glavnini se odnosi na: a) zguru s dna talioničke peći (ZDP) i dna kovačke peći (PK) i b) zguru iz unutrašnjosti talioničke peći (ZUP) (Sl. 4.14, 4.15). Sličnosti u zguri s dna talioničke i kovačke peći moguće je objasniti sličnim mehanizmom formiranja i položajem zgure kod oba procesa (neposredno ispod spužvastog željeza, pri dnu peći), odnosno preduvjetima nastanka bez obzira na razliku u

---

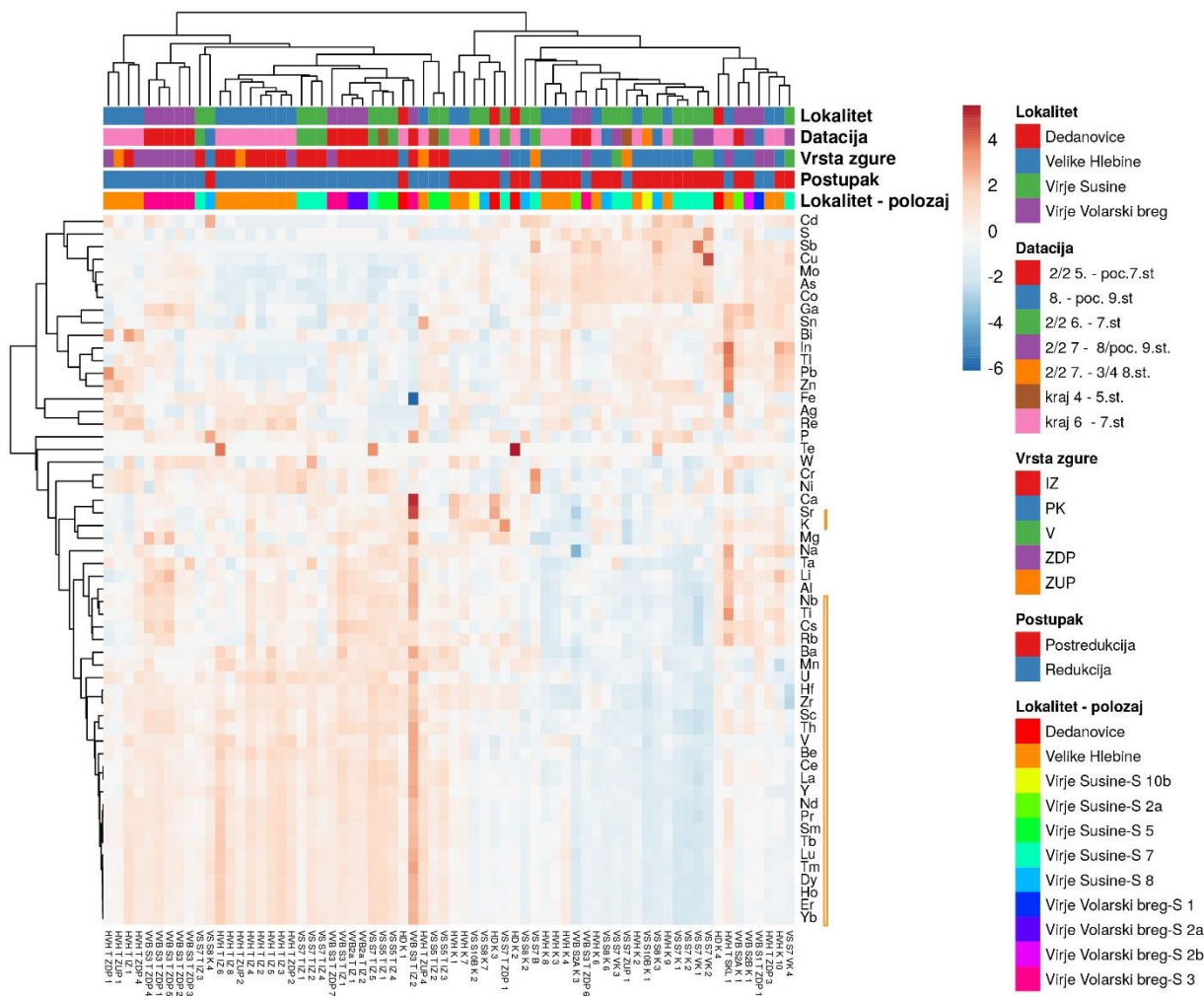
<sup>65</sup> Pod oznakom V-PK nalazi se zgura koja pripada jamskim pećima (Tab. 4.3.), a analizirani su uzorci iz različitih razina uslojavanja zgure u jami (T. 25). Ova zgura prema makroskopskoj analizi pripadala bi odmaklim fazama pročišćavanja spužvastog željeza i/ili varenja željeznih poluproizvoda (vidi poglavlje 4.2.1.2.4 i 5.2.). Ostale zgure pripadaju uzorcima zgure s dna kovačkih peći te ih je moguće pripisati pročišćavanju spužvastog željeza (Tab. 4.3.)

tipu postupka. Kemijska i mineraloška razina sličnosti mogla bi se dovesti u vezu i s makroskopskom razinom analize i klasifikacijom uzoraka pri kojoj je morfološki vrlo teško razlikovati manje fragmente ovih dvaju tipova zgure (o razlikovnim elementima korištenim u ovom radu vidi poglavlje 4.2.1.1 i 4.2.1.2). Najviše odstupanje i najveću varijabilnost kemijskog sastava pokazuje zgura iz unutrašnjosti talioničke peći (Sl. 14.4: ZUP), vidljiva i na mineraloškoj razini. Ovu varijabilnost moguće je u nekoj mjeri objasniti načinom formiranja zgure i karakteristikama analiziranih uzoraka. Zgura iz unutrašnjosti peći morfološki je također vrlo varijabilna, čega je uzrok način izvođenja pojedinačnih postupaka taljenja i nasljedno mogućnosti formiranja zgure pod različitim preduvjetima. Dok su zgura s dna peći (ZDP) i ispuštena zgura (IZ) zasigurno prošle kroz cjelovit talionički postupak, odnosno za njihovu su formaciju bili potrebni slični preduvjeti temperature i atmosfere u talioničkoj komori, zgura iz unutrašnjosti okna peći mogla je proći kroz različitu razinu taljenja (Sl. 1.1), formirajući se spuštanjem niz okno. Iz istog razloga njezina morfologija, mineraloška i kemijska slika odražava različite, situaciono uvjetovane karakteristike. Ove karakteristike u nekoj mjeri moguće je prepoznati morfološki (Tab. 4.2.) a radi se o: a) nepotpuno reduciranim ulomcima rude (gornji dijelovi zapune peći – prekid procesa prije potpune redukcije (uzorak s hematitom u sastavu – Sl. 4.13. H-VH ZUP 1), b) ulomcima zasićenim željeznim česticama – ulomci nesinteriranog spužvastog željeza i zgure (uzorak s magnetitom i getitom u sastavu, sličan zgurama s dna kovačke peći - Sl. 4.13. V-S S7 B), c) ulomcima zgure zaostale pri dnu peći, uz ili iznad spužvastog željeza peći koja nije ispuštena (kruna peći s vidljivim otiscima ugljena - sastav sličan zguri s dna peći i ispuštenoj zguri, Sl. 4.13: H-VH ZUP 2, 4). Iz istog razloga varijabilnost u njezinu sastavu je za očekivati, stoga ona čini najmanje pouzdan faktor usporedbe i diskriminacije određenih tipova zgure na kemijskoj i mineraloškoj razini. Najznačajnija razlika u sveukupnoj kemijskoj slici vidljiva je između ispuštene zgure i zgure iz postredukcijskih procesa kovanja (Sl. 4.3: IZ i V-PK, PK).

Potonji rezultati mogli bi doprinijeti studijama provenijencije, pri čemu naglašavaju relevantnost odabira uzoraka istovjetnog tipa prema morfološkoj klasifikaciji za studije širokog spektra uzoraka, pretpostavljeno različite provenijencije.



Slika 4.14. a) PCA plot PC 1 i 2 glavnih, elemenata u tragovima i elemenata rijetkih zemalja u arheološkim uzorcima zgure s prediktivskom elipsom (0,95) prema različitim kategorijama (postupak, tip zgure, te prostorni i vremenski arheološki kontekst). b) grafički prikaz postotka objašnjene kovarijance u deset glavnih komponenata te kontribucija pojedinih elemenata u prve četiri komponente i detaljni prikaz kontribucije na PC 1 i 2.



Slika 4.15. Hijerarhijska klaster analiza (klasteri na temelju - *corelation distance* i *average linkage*) arheoloških uzoraka zguira i *heatmap* zastupljenosti elemenata

#### 4.2.2.2 Varijabilnost iskorištavane sirovine

Elementi u tragovima i elementi rijetkih zemalja čine temelj za istraživanja geokemijskih otisaka izvorišne sirovine (vidi poglavlje 3.1.1.3 s referencama) te u tom smislu njihovo uključivanje u multivarijatnu analizu može ukazati i na suptilne razlike između ležišta iskorištavanih u prošlosti unutar iste regije. Razina varijabilnosti na pojedinom lokalitetu i unutar vremenske i prostorne arheološke kategorije ukazivala bi na varijetet u karakteristikama sirovine, koje se mogu dovesti u vezi s izvorišem ruda. U širem interpretativnom kontekstu grupiranje zguire sličnog sastava unutar istog arheološkog konteksta ukazuje na konzistentnost - uporabu ruda iz istih ili varijabilnost - uporabu ruda iz različitih izvorišta. Ipak, značajna razina sličnosti uvjetovana procesom kroz koji je prošla zguira, neovisno o prostornom i vremenskom arheološkom kontekstu, ukazuje na potrebu promatranja kemijske slike svih uzoraka zguire i pojedinačnog tipa zguire vezanog uz proizvodni proces. Također, zguira iz postupka redukcije,

možda je najmjerljiviji parametar ako uzmemo u obzir generalno veću prisutnost rijetkih elemenata u sastavu. Ako promatramo sve uzorke zgure u kontekstu pojedinog arheološkog lokaliteta, vidljive su različite razine varijabilnosti vezane uz prostorni i vremenski kontekst uzoraka. Najveća sličnost uzoraka vidljiva je unutar konteksta lokaliteta koji se mogu pripisati 2/2 6. st. i 7. st. (Hlebine – Velike Hlebine i Virje – Sušine (S-5), a zgura s ova dva lokaliteta i međusobno pokazuje veće sličnosti. Velika varijabilnost u odnosu na elementni sastav uzoraka vidljiva je kod zgure s lokaliteta Virje – Sušine (S-7) koja se može pripisati 4/5. st. i Volarski breg (S-2a i 3) koje se mogu pripisati širem vremenskom razdoblju od 2/2 5. – poč. 7. st.. Zgura koja se može pripisati 2/2 7. i 8. st. potječe iz istog arheološkog konteksta (jame zapunjene posredukcijskom zgurom) te vrlo vjerojatno pripada jedinstvenom postupku, a pokazuje izrazitu varijabilnost u sastavu. Potonji kontekst, obzirom na makrokopsku interpretaciju vrste postupaka koji su doveli do nastanka ove zgure vrlo je zanimljiv te ojačava interpretaciju da se možda radi o višeslojnom postupku koji uključuje različite poluproizvode koji se pročišćavaju i spajaju u jedinstven poluproizvod (vare) u istoj jami (vidi poglavlje 4.2.1.2.4). Odnos sličnosti uzoraka pojedinačnog tipa zgure prema arheološkom kontekstu, najiskazljivije je vidljiv na hijerarhijskom klaster dijagramu (Sl. 4.15). Usporedba i klasteriranje zgure nastale u talioničkom postupku ukazuje na slične zaključke kao i cjelovit uzorak zgure iz svih postupka za pojedini lokalitet ili vremensko razdoblje. Međutim, uzorci zgure iz postredukcijskih procesa na svim lokalitetima pokazuju veću razinu varijabilnosti prema sastavu, iako je i ovdje vidljivo značajnije grupiranje odnosno sličnost zgura na lokalitetima Hlebine – Velike Hlebine, Dedanovice i Virje – Sušine (S-5) koji pripadaju 2/2 6. i 7. st.

Ako usporedimo rezultate elementnog profiliranja uzoraka zgure i rude (vidi poglavlje 3.1.13 i 3.1.12), vidljive su određene pravilnosti. Rude i zgure koje pripadaju lokalitetima 2/2 6. – 7. st. pokazuju veliku razinu sličnosti unutar pojedinog lokaliteta, ali i međusobnu sličnost (Velike Hlebine i Dedanovice (rude i zgure) i Virje – Sušine (S-5 - zgure). Veliku razinu varijabilnosti u sastavu pokazuju rude, ali i zgure s položaja Virje – Sušine (S-7) koji pripada 4/5. st. U potonjem slučaju razlika je vidljiva u odnosu na kvalitetu rude (sastav glavnih oksida, poglavito udio željezovog oksida naspram jalovih sastavnica), ali i cjelokupni elementni sastav koji bi mogao upućivati na podrijetlo sirovine. Ovakva slika može se dovesti u vezu s rezultatima morfološke analize talioničke zgure, koja kod lokaliteta Virje – Sušine (S-7) pokazuje veliku varijabilnost u svojstvima poput teksture površine, boje i pretpostavljene razine viskoznosti (razvedenost gornje površine). Zajedno, ovi podaci ukazuju vjerojatno na korištenje ruda različite kvalitete i sastava potencijalno iz različitih mikrolokacija rudnih ležišta.



Kod ostalih uzoraka ruda koje pripadaju 8./9. st. nije primjećena značajnija poveznica s prostornim i vremenskim kontekstom u odnosu na potencijalno izvorište sirovina. Analizirane talioničke zgure koje pripadaju 8. –poč. 9. st. i potječu s istog lokaliteta (Virje – Volarski breg (S-1)) pokazuju značajniju međusobnu sličnost. U odnosu na druge nalaze iz istog razdoblja, s položaja Virje – Volarski breg (S-2b) vidljiva je veća razlika u sastavu, no ovdje se radi o uzorku zgure iz postredukcijskih postupaka što može biti uzrok ovakvoj razlici (VVB S2B K 1).

### **4.3 Tehnička keramika: stijenke peći i sapnice**

Tehnička keramika podrazumijeva dijelove nadzemne strukture peći - stijenke peći i sapnice (fran.- eng. *Tuyere*), pronađene u kontekstu radioničkih prostora, u asocijaciji sa zgurom. Obrada tehničke keramike je podrazumijevala kvantifikaciju svih ulomaka (Tab. 4.2.) i odabir indikativnih komada stijenki peći u svrhu rekonstrukcije karakteristika peći te tipološku klasifikaciju sapnica. Glavninu nalaza tehničke keramike predstavljaju sapnice, koje su prikupljene u cijelosti pri arheološkim istraživanjima. Uz sapnice su ponekad djelomično očuvane i stijenke peći.

#### **4.3.1 Sapnice**

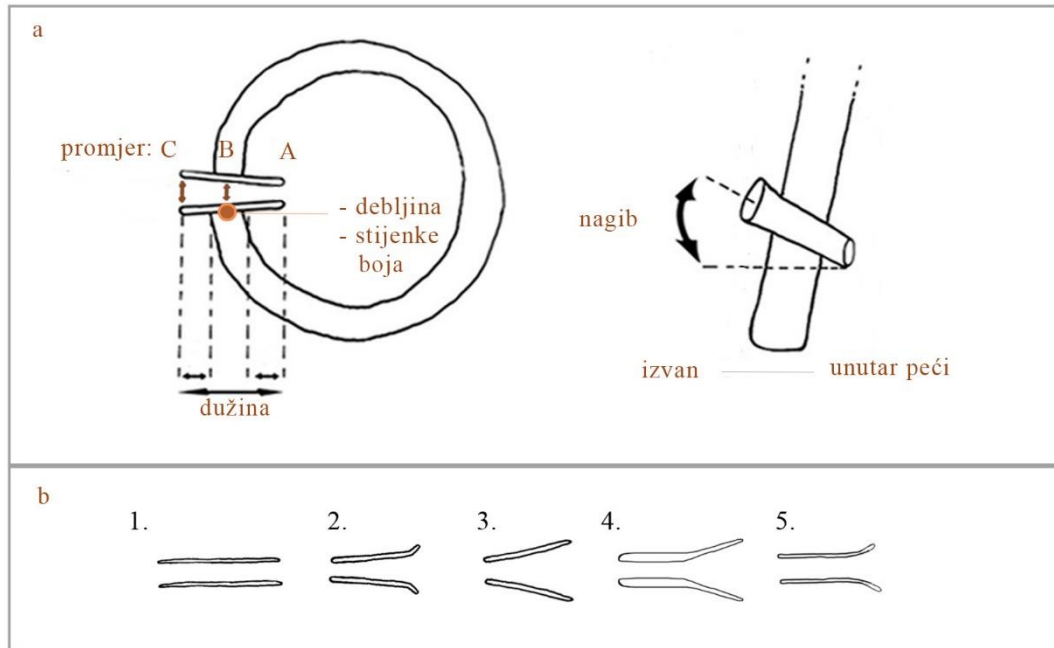
Pri obradi sapnica zabilježeno je nekoliko osnovnih parametara koji su promatrani: oblik tijela sapnice (1-5) i vanjskog ruba, promjer otvora, dužina (očuvana, puna, pretpostavljena – ulomci iznad 90% oč.), debljina stijenki (sredina tijela), boja i faktura (opisno),<sup>66</sup> nagib naspram stijenki peći (Sl. 4.16: a). Sapnice sa svih lokaliteta moguće je podijeliti u nekoliko tipova prema oblikovnim svojstvima, osnovnim geometrijskim oblicima kojima teži tijelo sapnice (Sl. 4.16: b): 1) cilindričan, 2) blago–stožast, 3) stožast 4) cilindrično – stožast (proširenje na sredini ili  $\frac{3}{4}$  dužine sapnice), 5) cilindričan s proširenjem pri  $\frac{3}{4}$  dužine sapnice ili uz rubove sapnice. Podkategorije ovih osnovnih oblika moguće je izdvojiti na osnovu dimenzija i završnog oblikovanja ruba (a-g) te boje pečenja i fature (1-18). Na osnovu dužine izmjenjuju se tri, relativne kategorije (kratke, srednje i duge), dok oblik ruba (ravni, izvučeni pod koso s različitim nagibom), debljina stijenki i promjer variraju (Tab. 4.6.).

Ukupno je obrađeno 1044 ulomka sa svih istraženih lokaliteta, koji čine minimalno 342 (spojeni ulomci i ulomci iz istog konteksta vrlo slične fature očuvane manje od 25%) i maksimalno

---

<sup>66</sup> Sve sapnice su višebojne, a razlike su u glavni vidljive na području unutrašnjeg ruba koji je redovito redukcijski pečen (siv) uslijed položaja sapnice unutra peći – redukcijske atmosfere. Ostatak tijela sapnice može biti jednolične ili nejednolične boje pečenja. Termin boja se odnosi na temeljnu boja prvotnog pečenja (prije umetanja u peć), a najčešće je prisutan na središnjem dijelu stijenke sapnice (Sl. 4.16).

550 sapnica (spojeni ulomci i jedinstveni ulomci očuvani iznad 50%). Glavninu karakterističnih oblikovnih svojstava bilo je moguće odrediti kod 70% uzorka, ulomaka sa svih istraženih lokaliteta. S lokaliteta Virje – Sušine, bilo je moguće odrediti 90% uzorka (Sonda 5), 85% (Sonda 7) te niti jedan uzorak s položaja Sonde 8, 9, 10b. Na lokalitetu Virje – Volarski breg bilo je moguće odrediti 86% (Sonda 1), 96% (Sonda 2a) i 80% (Sonda 3), a uzorke iz sonde 2b zbog fragmentiranosti nije bilo moguće tipološki odrediti sa sigurnošću. U uzorku s lokaliteta Velike Hlebine bilo je moguće odrediti 91% sapnica, a lokaliteta Dedanovice 100%.



Slika 4.16. a) shematski prikaz načina prikupljanja podataka (Tab. 4.6.), b) pojednostavljeni shematski prikaz osnovnih oblikovnih varijanti tijela sapnice - tipova (1-5).

Tablica 4.6. Glavne morfološke karakteristike sapnica (kumulativni podaci o dimenzijama) i brojčano stanje (prema lokalitetu i položaju pronalaska-sondi).

Lokalitet	Sonda	Oblik tijelo - TIP	Oblik:t+ostalo - POD/TIP	Oblik - opis	Rub oblik	Promjer - A/cm	Promjer - B/cm	Promjer- C/cm	Debljina stijjenke/cm	Dužina- cjelovit/cm	Boja - Faktura	Nagib°	Ukupno/kom					
													max.	min.	max.	min.	max.	min.
Virje Sušine	5	1	1a	cilindar	ravan i koso izvijen-1x uzorak	2,3-3,5	2,6-3,8		0,7-1,1	11-12,3	1. blijedo-okor, hrapava, pijesak u primjesi, veći i manji ulomci kvarca kod više primjera. Kod pojedinih, organske primjese (?)		34	27	35	28	36	29
				duge, srednje debljine stijjenki									40°	1				
			1f	cilindar, širok promjer, srednje debljine stijjenki	?	3,1	3,6-3,8	0,9	1. blijedo-okor, hrapava, pijesak u primjesi			1	1					
			1?	cilindar, srednje debljine stijjenki		2,6-3,5		0,9-1,2					4	3	4	3		
		2	2a	blagi stožac	rub koso prema van izvučen	2,3 - 2,8 - devijacija kod jedne - pukla u peći , 3,1	2,7 - 3,9	4,5 - 6,5	0,6-1,1	8 - 9 cm - 10,3 cm max.	3. oker-blijedo crvenkasta, željezni oksidi (nisu uvijek prisutni) i glimmer u fakturi.	20°- 22,5°	23	20	28	32	59	54
				kratke, srednje									4. jarko crvena, malo primjese pijeska	6				

																				5. blijeda oker, gruba, vrlo pjeskovita	2	1																		
																				6. jarko tamno crvena, pijesak i veći ulomci kvarca	1	1																		
																				7. jarko svijetlo crvena, pijesak, hrapava	20°	4					4													
																				8. blijedo smeđe-crvena	12	11					17	16												
																				1. blijedo - oker, hrapava, pijesak u primjesi	1	1																		
																				2a-e	vrlo blagi stožac	rub koso prema gore izvučen					2,4-3,1	2,7-3,4	4,2-5,6	0,6-0,8	8,4 - max. 10,8	3. oker-blijedo crvenkasta, željezni oksidi (nisu uvijek prisutni) i glimmer u fakturi.	20°-22,5°	7	7	10	10			
																					kratke, srednje debele stijenke											8. blijedo smeđe-crvena		3	3					
																				2?															4	2				
																				3	3a	stožac					ravan	2,8-3,0	3,0-4,2	7,2-7,4 (nepravilne ovalne do 6,5 i 5,7 cm)	0,5-0,8	8,0 - 10,1 max.	3. oker-blijedo crvenkasta, željezni oksidi (nisu uvijek prisutni) i glimmer u fakturi, veći ulomci kvarca ponekad.	22,5°	12	11	22	21	29	28
																																	4. jarko crvena, mekana, željezni oksidi u primjesi	0°	8	8				
																																	8. blijedo smeđe-crvena	0°	1	1				

		3b	stožac	nep.	2,5-2,7	3,5-3,8	5	0,5 - 0,8	7,2 min. - 9,5 opt.	7. jarko svijetlo crvena, hrapava, pijesak u primjesi.	0	3	3	6	6				
			kratke, tanke stijenke							1. blijedo-okер, pijesak u primjesi, hrapava.	22,5	3	3						
		4	4a	cilindar s proširenjem	koso prema van	2,7	3	na 9 cm duž. je proširenje	1,0-1,5	11,3	10. okер-blijedo- crvena, pijesak u primjesi (slično 3)				1	1	1	1	
				debele stijenke															
				<b>ostalo - manje od 1/4</b>														15	7
<b>S-5 ukupno</b>																149	124		
7	1	1c?	cilindar	?	2,5-2,8	2,8-2,9		0,6-1,1	8,5 - procjena do 10 cm	11. jarko crveno, jednolično, hrapava		4	3	4	3				
			srednje dužine(?), stijenke srednje debljine																
		1b	cilindar, pri rubovima se proširuje u stožac	pod koso izvučen, ravan	2,4-2,8	2,4-2,8		0,7-0,9	6,8-7,5	11. jarko crveno, jednolično, sitan pijesak u primjesi		3	3	4	3			9	7
		kratke, srednje debljine stijenki																	

	1?										2	1	4	3		
5	5a	cilindar, u 3/4 duž. proširen u stožac	ravan	2,5-2,8	2,9-3,5	5,5-7,3	0,5-0,9	min. 7,5. - 10	11. jarko crveno, pijesak u primjesi		3	3	9	9	47	38
		srednje dužine, tanjih stijenki							12. oker jednolično, mekana, organske primjese (?)		6	6				
	5b	cilindar, u 3/4 duž. proširen u stožac	ravan	2,3-2,8	2,8-3,4	4,1-5,4	0,6-0,8	7,0-8,1	11. crveno jarko, mekana, vrlo malo pijeska	0	5	5	12	12		
		12. oker, mekana								2	2					
	13. oker s vanjske i blijedo-crvena s unutrašnje, željezni oksidi u primjesi, vrlo mekana. Premaz žitkom glinom s unutrašnje strane.		4	4												
5?												26	18			
3	3a	stožac	ravan	3,0-3,5	5,0	6,0	0,5-0,6	cca. 8,0	12a. oker, blijedo-crveno, mekana				2	2	4	4
		kratke, tankih stijenki														
	3c	stožac	?	2,7	3	5,5	1,1-1,2	min. 6,5	12a. oker blijedo-crvena, mekana				2	2		
debele stijenke, kratke(?)																
ostalo - manje od 1/4															75	8
<b>S-7 ukupno</b>															135	57

	<b>8</b>	ostalo - manje od 1/4														37	2	
	<b>9</b>	ostalo - manje od 1/4														1	1	
	<b>10 b</b>	ostalo - manje od 1/4														3,3	0,8	1
<b>Hlebine – Velike Hlebine</b>	<b>1 i 2</b>	<b>2</b>	<b>2a</b>	blagi stožac	pod koso	2,4-3,2	2,9- 3,6	4,2-6,5	0,5-1,1	7,5 - 10,3	13. jarko crvena-tamnije, hrapava, pijesak u primjesi-jednolično crveno pečena	22,5 i 30	34	33	45	42	56	53
				srednje dužine, srednje debele stijenke									10	8				
												1	1					
		<b>2a-e</b>	blagi stožac	izvučen prema gore	2,6-3,0	2,5-3,3	0,7-1,1	cca. 7,8 - 10	13. jarko crvena-tamnije, jednolično pečena, pijesak u primjesi, hrapava	4	4	11	11					
			srednje dužine., srednje debele stijenke						5	5								
	2		2															
<b>2_3?</b>										15						8	7	

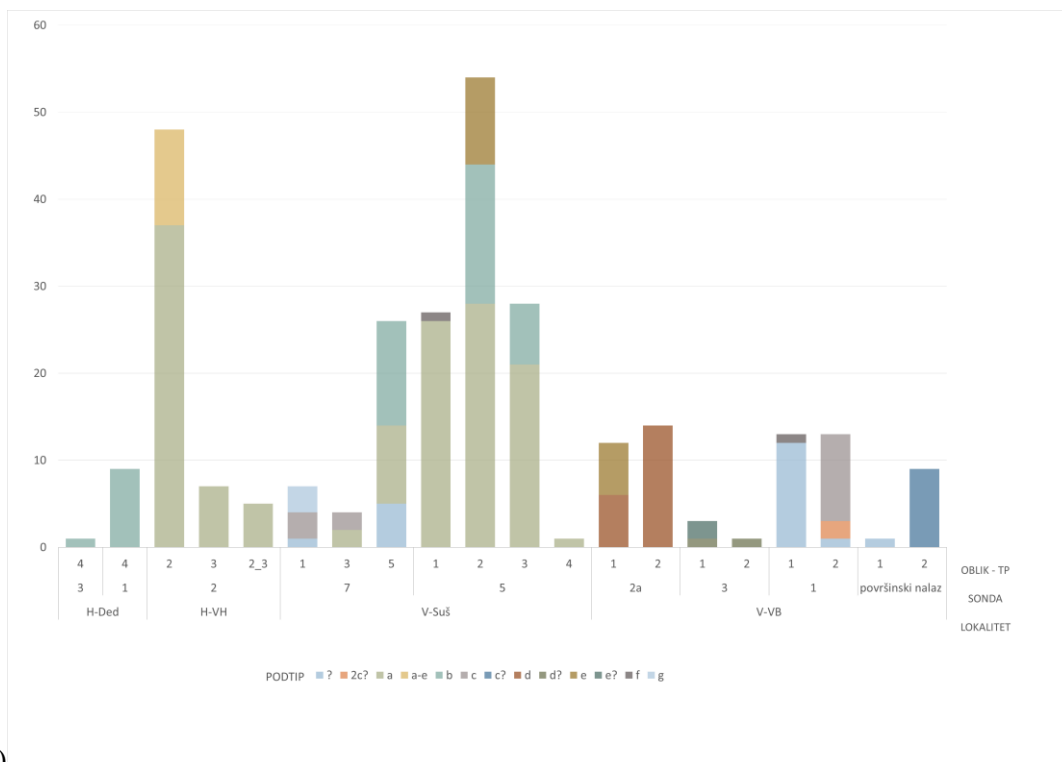
	3	3a	stožac								13. jarko crvena-tamnije, jednolično pečena, pijesak u primjesi, hrapava	20	6	5					
			srednje dužine, tanke stijenke	ravan	2,3-3,1	2,8-4,4	5,5-7,1	0,5-0,7	8,9-9,3	14. blijedo svijetlo crvena, pijesak u primjesi, hrapava		4	2			11	7		
										15. oker, pijesak i veći ulomci kvarca		1							
	3?										1	0			1	0			
	ostalo - manje od 1/4											39	6			39	6		
	<b>H-VH ukupno</b>													Sonda 1		18	4		
													Sonda 2		94	69			
													Ukupno		115	73			
Hlebne – Dedanovice	1	4	4b	cilindrično-stožasti	ravan	1,9-2,4	2,0-2,6 (9 cm dužine)	4,0-7,8	0,9-2,4	10,6-13,2	20. jarko crvena, pijesak u primjesi, hrapava	0						14	10
				duge, debele stijenke															
Virje – Volarski breg	1	2	2c	blago stožast	pod koso	2,1-2,9	2,6-4,9	3,8-4,5	0,5-1,1	min. 9,5-11,4	16. oker, jednolično, pijesak u primjesi i krupniji (3 mm) komadići kvarca							10	11
		2?																	
	1	1f		cilindrična		2,3-3,1	2,6-3,3		0,7-1,3	min. 9,6-10,1	16. oker, jednolično, pijesak u primjesi i krupniji (3 mm) komadići kvarca							1	1
				srednje dužine, deblje stijenke															



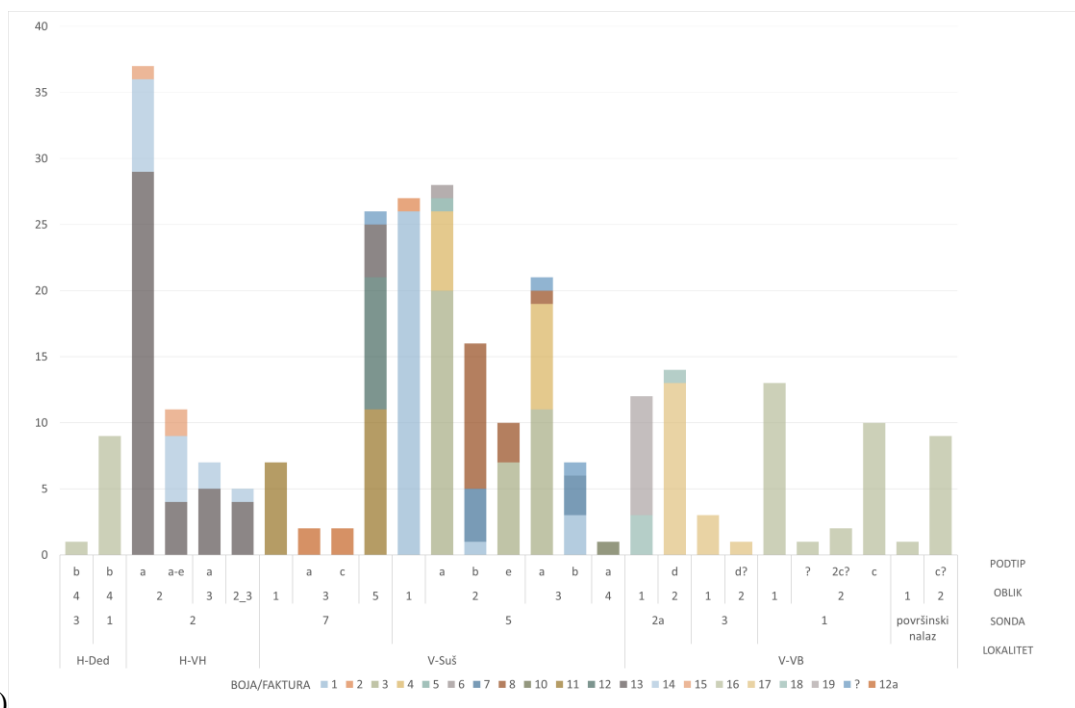
										16. oker, jednolično, pijesak u primjesi i krupniji (3 mm) komadići kvarca							12	12	
																	19	4	
<b>S-1 ukupno</b>																	48	33	
<b>2a</b>	<b>2</b>	2d	blago stožasta	pod koso	2,5-2,8	3,0-3,8		0,6-0,9 (većina 0,6-0,7)	oko 8,0	17. blijedo crveno- smeđa, pijesak u primjesi	0	13	12					14	13
			kratke, tanjih stijenki							18. sivo-narančasta, pijesak u primjesi									
	<b>1</b>	1d		cilindrična	ravan?	2,6-2,8	3,0-3,4		0,6 - 0,9 (0,8 većina)	min. 10,5	19. svijetlo sivo u tijelo, narančasto- smeđe pri rubovima, pijesak u primjesi, hrapava	25-30	1	1				6	6
				srednje dužine, stijenke srednje debljine															
		1e	cilindrična	?	2,7-3,0	3,5-4,1		0,8-1,0	min. 7,5	19. svijetlo sivo u tijelo, narančasto- smeđe pri rubovima, pijesak u primjesi, hrapava	10	5	5					1	1
																		1	1
<b>S-2a ukupno</b>																	21	20	
<b>3</b>	<b>2</b>	2d?	blagi stožac, tanje stijenke	?				0,6		17. blijedo crveno- smeđa, pijesak u primjesi		1	1				1	1	

	1	1e?	cilindar, srednje debele stijenske		2,9	3,1		0,9	min. 7,5	17. blijedo crveno-smeđa, pijesak u primjesi		2	2			3	3	
		1d?	cilindar, srednje debele stijenske		2,2			0,9			17. blijedo crveno-smeđa, pijesak u primjesi		1	1				
	ostalo - manje od 1/4					2,8		0,9-1,2			17. blijedo crveno-smeđa, pijesak u primjesi		2	1			2	1
	<b>S-3 ukupno</b>																6	5
	2b	?															6	4

Sve analizirane sapnice, bez obzira na prostorni i vremenski kontekst pečene su prije umetanja u peći, što je vidljivo iz boje, razlike u fakturi te načina loma naspram stijenci, a kod pojedinih primjera jasno je vidljiva i naknadna gradnja stijenske peći oko sapnice (T. 26-28). U pravilu, na svim položajima javljaju se grupe sapnica određenih oblikovnih svojstava i boje/fakture, a rijetko su prisutne jedinstvene pojave, prema fakturi i boji (Tab. 4.6: Hlebine – Velike Hlebine (uzorak: 3a–15) i Virje – Sušine S-5, uzorak: 2a–6) ili oblikovnim svojstvima (Tab. 4.6: Virje – Volarski breg S-: uzorak 1f)(Sl. 4.17.). Na glavnini lokaliteta javljaju se dva ili tri osnovna tipa sapnica, osim na lokalitetu Dedanovice gdje su sve sapnice jednoobrazne (tip 4). Postojanje različitih tipova sapnica i omjer njihove zastupljenosti u istom arheološkom kontekstu moglo bi se dovesti u vezu s: a) promjenama vezanim uz dinamiku uporabe radionica i razdoblje iskorištavanja prostora i/ili različitih grupa proizvođača, b) funkcionalnim razlikama između više tipova sapnica. Raznolikost fakture i boje pečenja unutar istog tipa sapnice te manje razlike u oblikovanju (podtipovi a–e) mogli bi se dovesti u vezu s dinamikom iskorištavanja pojedinih prostora. Tako je na položajima koji su jednoobrazno datirani, Hlebine – Velike Hlebine i Virje – Volarski breg (S-1) varijabilnost u pojavi različitih tipova sapnica manja (dva osnovna tipa), no na položajima na kojima su radiokarbonski datumi pokazali više različitih, vremenski odvojenih faza iskorištavanja prostora (tri ili više osnovnih tipova) (Virje – Sušine (S-7 i 5)) ili potencijalno duži vremenski raspon korištenja prostora (Virje – Volarski breg, Sonda 2a i 3) (razlike u fakturi/boji između tipova)(Sl. 4.17-18.). Potonje može biti jedinstven indikator o određenoj razini standardizacije u proizvodnji ovih predmeta, bez obzira na vremensku ili prostornu pripadnost. Određena razina standardizacije oblika ogleda se u značajnoj, gotovo temeljnoj funkciji ovih predmeta - održavanju procesa (dotoka zraka) u redukcijским i postredukcijским postupcima. Različiti oblici sapnica pronađeni u istom arheološkom kontekstu dijele svojstva glinene smjese (fakture) i načina pečenja (boja) (Sl. 4.17:b). Takvu je poveznicu moguće vidjeti kod svih lokaliteta kod kojih je bilo moguće klasificirati glavninu uzorka (iznad 80%), na lokalitetima datiranim u 4./5. st. (Virje – Sušine, S-7), 2/2 5. – poč. 7. st., 2/2 6. i 7. st. (Velike Hlebine i Virje – Sušine, S-5) i 8./9. st. (Virje – Volarski breg, S-1). Potonje implicira simultanu izradu dva osnovna tipa sapnica te da su oblikovna svojstva sapnica, na ovim lokalitetima, vezana uz njihovu funkciju.

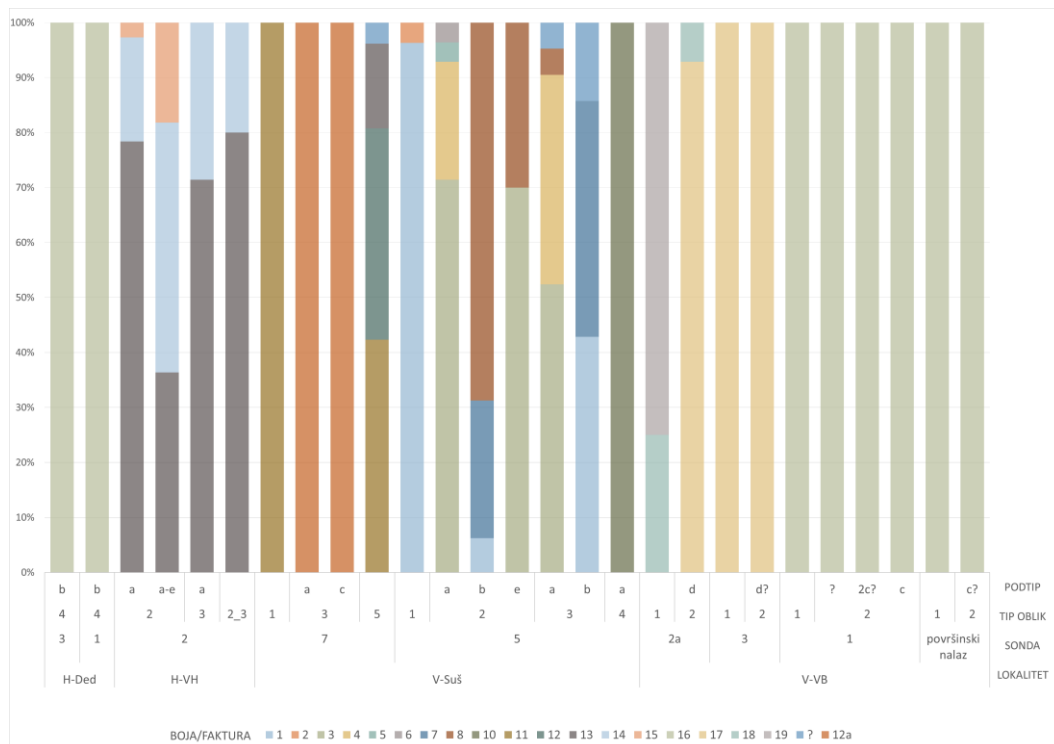


a)



b)

Slika 4.17. a) brojčano stanje i odnos zastupljenosti sapnica prema glavnim morfološkim odrednicama – tip i podtip, b) brojčano stanje i odnos zastupljenosti sapnica svih zabilježenih morfoloških karakteristika prema prostornom kontekstu pronalaska.



Slika 4.18. Grafički prikaz varijabilnosti osnovnih morfoloških karakteristika sapnica na svim istraženim lokalitetima.

#### 4.3.1.1 Funkcionalno-tipološka analiza

Osnovna funkcija sapnice je centrirati prijenos zraka iz mijeha u ložište peći u svrhu sagorijevanja ugljena i održavanja temperature i atmosfere, u krajnjoj liniji i cjelokupnog procesa redukcije ili postredukcije. Količina upuhnutog zraka (l/s) kroz sapnicu diktira ritam sagorijevanja ugljena, ali i veličinu zone intenzivnog zagrijavanja u peći, nasljedno mogućnost formiranja spužvastog željeza ili zagrijavanja željeznog poluproizvoda. Položaj sapnice naspram stijenke peći (nagib) i dubina unutar ognjišta usmjerava protok zraka i određuje položaj zone intenzivnog zagrijavanja u ognjištu. Adekvatan i kontinuiran prijenos zraka u utrobu peći jedan je od osnovnih preduvjeta funkcioniranja oba tipa procesa koji vode proizvodnji željeza. U tom smislu, sapnica čini možda najbitniji dio strukture talioničke ili kovačke peći, stoga su njezina izrada, način umetanja u peć i oblik zasigurno predodređeni ili barem izvedeni s određenom razinom predumišljaja o funkcionalnoj iskoristivosti. Višestruka pojava sapnica istih morfoloških svojstva u jedinstvenom arheološkom kontekstu ukazuje na ciljane standardizaciju oblika. Međutim, pri jednostranoj funkcionalnoj klasifikaciji sapnica kroz duži vremenski period i pridruživanje određenom postupku, potrebno je uzeti u obzir da oba postupka, posvjedočena nalazima zgure na istraženim lokalitetima, imaju podjednake

funkcionalne zahtjeve, te da kao zatvorene cjeline, istraženi lokaliteti govore o pojedinačnim radionicama ili prostorima na kojima su se odvijali ovi procesi te su podložni varijabilnosti koja je neminovno vezana uz izvođača postupka/izvođače postupaka.

Jedini jasan arheološki kontekst kojeg je moguće dovesti u vezu s vrstom postupka u kojemu je korišten određeni tip sapnice je lokalitet Dedanovice, datiran u kraj 6.–7. st.. Sve sapnice pronađene su u ognjištima peći i jamama prema kojima se ognjišta otvaraju, koje su bile zapunjene zgurom iz posredukcijskih procesa – primarnog kovanja. Ove sapnice (tip 4b) karakterizira širok otvor s vanjske strane koji se na oko pola ukupne dužine drastično sužava na gotovo pola širine, u vrlo uzak cilindar (Sl. 4.16; T. 27: 1). Oblici koji teže ovakvom svojstvu (sapnice određene kao tip 2–5) pronađeni su na ostalim lokalitetima na kojima su posvjedočena oba postupka, a tragovi obje vrste peći nisu identificirani. Drugim riječima, glavnina sapnica nosi svojstvo proširenja na krajevima, stoga ovakvo, jednostrano pridruživanje nije moguće. Međutim, na lokalitetima na kojima su oba postupka aktivnije izvođena (Velike Hlebine, Virje – Sušine – Sonda 5, 7, Virje – Volarski breg – Sonda 1), javljaju se dva ili tri osnovna morfološka tipa sapnica u nizu varijacija vezanih uz oblikovanje ruba i/ili fakturu i boju. Kada se pojavljuju u istom kontekstu, oblikovno različite sapnice (cilindrične naspram stožastih) mogu sugerirati i različita funkcionalna svojstva.

Stožasti oblik sapnice (ljevkašti otvor ka van) u funkcionalnom smislu osigurava manji gubitak pritiska i zraka ispuhnutog iz mijeha u okolni prostor, obzirom na značajniji promjer vanjskog dijela sapnice. Iako oblik mijeha nije moguće rekonstruirati, o kojem god tipu se radilo, sustav funkcioniranja mijeha nalaže punjenje i pražnjenje zapremnine, dinamičnim rastezanjem te potiskivanjem. Takav način osiguravanja protoka zraka neminovno uzrokuje određene pauze u dotoku zraka.<sup>67</sup> Ovisno o zapremnini i načinu korištenja mijeha, radi se o nekoliko sekundi te ovakav mehanizam upuhivanja ne utječe značajno na talionički proces, o čemu svjedoče uspješna eksperimentalna testiranja (Karavidović 2020b). Proširivanje prostora prihvata zraka iz mijeha, odnosno proširivanje sapnice s vanjske strane sa svrhom umanjivanja gubitka pritiska i količine upuhnutog zraka, može se dovesti u vezu sa širim otvorom na mijehu ili uporabom dvaju mijehova. U oba slučaja, mogao bi se osigurati kontinuirani protok zraka. Ovakva potreba mogla bi biti u vezi s procesom za koji je sapnica korištena te se pripisati kovačkim pećima odnosno pećima za opetovano zagrijavanje i pročišćavanje spužvastog željeza. Kroz stadije

---

<sup>67</sup> U eksperimentalnim testiranjima (Prilog 1; Karavidović 2020b) korišten je drveni mijeh u obliku harmonike, od 60 i 80 l zapremnine. Ritam upuhivanja pri punom napinjanju mijeha uvjetovao je nekoliko sekundi potrebnih za ponovno napinjanje između dva upuha u peć.

pročišćavanja, konglomerat zgure i željeza izašao iz talioničke peći gubi zarobljenu zguru. Posljedično, što je veća razina pročišćenosti i kompaktiranosti željeza potrebno je i više vremena za zagrijavanje. Željezo ima višu točku tališta nego zgura te mu je načelno potrebno kontinuirano i dugotrajnije zagrijavanje kako bi doseglo užareno stanje pogodno za kovanje. Potreba za intenzivnijim ritmom zagrijavanja kod kovačkih peći mogla bi se dovesti u vezu i sa strukturom i oblikom peći, odnosno činjenicom da su kovačke peći otvorenog tipa te time i lakše gube toplinu. Moguće je da je upravo iz ovog razloga presudno bilo korištenje dvaju mijehova ili mijeha veće zapune kako bi se osigurao kontinuirani i intenzivniji protok zraka nego kod talioničke peći. U tom slučaju, potreba za širokim vanjskim otvorom svakako bi bila opravdana.

U prilog ovome ide i pojavnost stožastog tipa (tip 3) uz cilindrični (1) i blago stožasti (2) na drugim lokalitetima datiranim u 2/2 6. i kroz 7. st.; Hlebine–Velike Hlebine, Virje – Sušine (S–5). te 4./5. st. i 2/2 7.–poč. 8. st. (Virje – Sušine, S–7) te 8.–poč. 9. st. (Virje – Volarski breg, S–1) na kojima su analizom zgure ustanovljena oba procesa, redukcije i postredukcije. Sapnice većeg promjera otvora (tip 3, T.27: 2-5) učestalo su izrađene od iste glinene smjese (faktura) i pečene pod sličnim preduvjetima (boja) kao i manje proširene – blago stožaste (tip 2: T.26: 1-4; 28: 7) ili cilindrične (tip 1, T. 28: 4-6)(Sl. 4.17) te se uvijek pojavljuje više uzoraka jednog i drugog tipa. Potonje može svjedočiti o simultanoj izradi sapnica dvaju tipova korištenih za različite postupke. Ako uzmemo u obzir ovu poveznicu, izračun omjera prisutnosti pojedinog tipa može doprinjeti tezi o funkcionalnom razlikovanju oblika. Na svim spomenutim lokalitetima vidljiva je određena pravilnost u omjerima (Sl. 4.17.), a poglavito pravilno i jasno na lokalitetu Velike Hlebine. Ovaj lokalitet jedini je jednoobrazno datiran u kraj 6. –7. st., dok su na ostalim položajima na Sušinama radiokarbonski datumi ukazali na nekoliko faza boravka te je i varijabilnost oblika veća (vidi naredno podpoglavlje), stoga su Velike Hlebine najiskazljivi primjer za analizu ovih odnosa. Izrazito stožaste sapnice (tip 3) su relativno podzastupljene naspram cilindričnog (tip 1) ili blago stožastog tipa (tip 2). Ova pravilnost ogleda se ako uzmemo u obzir količinu sapnica osnovnih tipova (Sl.4.17:a) ali i uži okvir, pojavu sapnica dvaju tipova jednake fakture i načina pečenja (Sl. 4.17:b). Na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine, omjer zastupljenosti glavnih tipova (2 i 3) je 7,5:1 (Tab. 4.6.: 53 kom./7 kom.). Ako uzmemo u obzir najzastupljeniju fakturu i način pečenja koje ova dva tipa dijele, omjeri su vrlo bliski te iznose 7,4:1 (Tab. 4.6.: Velike Hlebine: Tip 2a/b i 3a, boja/faktura -13) i 6,5:1 (Tab.4.6.: Velike Hlebine: Tipa 2a/b i 3a, boja/faktura-14). Podzastupljenost tipova koji se funkcionalno vežu uz instalacije za primarno kovanje može se objasniti kroz način korištenja

peći i sapnica. Talioničke peći na Velikim Hlebinama, ali i ostalim lokalitetima, imale su svojevrsna vrata koja su se razbijala i micala u trenutku vađenja spužvastog željeza. Zbog potonjeg razloga, ali i značajne količine zgure zalijepljene za stijenke vrata oko sapnice te vitrifikaciju stijenki, u svakom talioničkom postupku vrlo vjerojatno je korištena nova sapnica. Kod kovačkih peći, ovo nije slučaj te je jedna sapnica mogla kontinuirano služiti za izvedbu više postupaka pročišćavanja. Na Velikim Hlebinama, ovaj omjer čini šest do osam talioničkih postupaka naspram jedne izmjene sapnice u kovačkoj peći.

Pojava dvaju tipova sapnica sa značajnijom razlikom u vanjskom promjeru (kao kod sapnica tipa 2 i 3: 1,3–2 cm) javlja se na svim lokalitetima datiranim u 2/2 6. st. – 7. st., uključujući i položaj sonde 3 i 2a na lokalitetu Virje – Sušine koji bi prema radiokarbonskim datumima pripadao vremenu 2/2 5. –6. st. i 2/2 6.–poč. 7. st. (Tab. 4.6.). Kod tipova koji se javljaju na ostalim lokalitetima, datiranim u 4./5. st. i 8.–poč. 9. st. također je uočena razlika u oblikovanju dvaju tipova sapnica, od kojih jedan teži proširenju vanjskog ruba. Na lokalitetu Virje – Volarski breg (Sonda 1) javljaju se dva tipa sapnica, od kojih stožasti tip 2c (T.28: 7) svakako teži proširenju vanjskog promjera naspram cilindričnog tipa 1f (T.28: 5,6)(Tab. 4.6.). Na lokalitetu Virje – Sušine, datiranom u 4./5. st. i 2/2 7. st. situacija zastupljenosti određenog tipa je kompleksnija obzirom na pojavu više vremenski odvojenih faza iskorištavanja prostora (vidi naredno podpoglavlje), no sapnice koje je moguće datirati u 4./5. st. pokazuju relativnu jednoobraznost osnovnog oblika, ali podtipovi teže proširenju (tipovi 5a i 5b) do oko 1, 3–2 cm.

Osim osnovnih morfoloških oblika i odlika, kod sapnica su zamijećene određene pojave koje potencijalno svjedoče o uspješnosti postupka taljenja. U Sondi 3 (Volarski breg) u sloju otpada (001/180) pronađena je jedna sapnica čija unutrašnjosti je bila zapunjena zgurom, a vidljiv je i trag kružnog alata (promjera 1,3 cm), svojevrsne šipke kojom se sapnica pokušala očistiti. Ovo svjedoči da se začepljenje dogodilo kroz trajanje postupka te je zbog nemogućnosti protoka zraka upitan ishod ovog talioničkog procesa. Djelomično ili potpuno začepljene sapnice pronađene su i u prostorno vremenski bliskoj Sondi 2a (T. 28: 4) te Sondi 1 (površinski nalaz). Generalno gledajuć, ovakva pojava izrazito je rijetka na svim istraženim lokalitetima te se može smatrati odrazom slučajnih i/ili jedinstvenih ili rijetkih događaja.

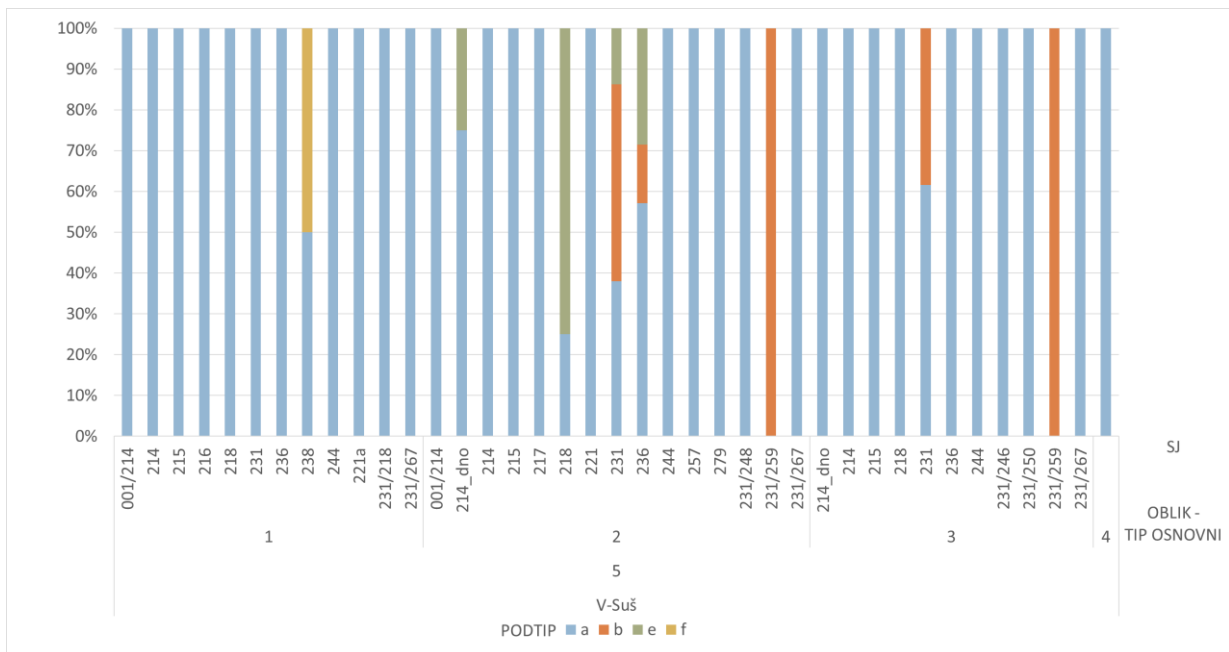
#### 4.3.1.2 Kronološko-tipološka analiza

Vremenska atribucija određenih tipova zgure i tehničke keramike neupitno je moguća samo kod lokaliteta koji su jednoobrazno datirani u užu vremenski okvir te prema ustanovljenoj stratigrafiji na lokalitetu čine zatvorene arheološke cjeline radioničkog karaktera: Hlebina –



Velike Hlebine i Dedanovice, datirane u kraj 6. st. i 7. st. te Virje – Volarski breg, datiran u 8. i početak 9. st. (Sonda 1 i 2b). Kod ostalih lokaliteta radi se o širem vremenskom periodu funkcioniranja u jednoj ili više faza (Virje – Volarski breg (Sonda 2a i 3) i Sušine (Sonda 5)) i/ili o iskorištavanju prostora u različitim, vremenski odvojenim razdobljima (Virje – Sušine (Sonda 7 i 5) i Virje – Volarski breg (Sonda 2a i 3)). Ipak, i na ovim lokalitetima moguće je dovesti određeni tip sapnice u vezu s vremenskim kontekstom na osnovu isključive pojave u zatvorenim arheološkim cjelinama, izravno datiranim te na osnovu prepoznatih stratigrafskih odnosa i komparativne analize sapnica.

Na višefaznom lokalitetu Virje – Sušine (S-5) sapnice isključivo vezane uz kontekst koji je moguće na temelju radiokarbonskih datuma pripisati 2/2 7. st., su tipovi 2b i 3b (faktura/ boja 1 i 7) koji se javljaju u sloju otpada (SJ 231) i nakupinama neposredno ispod njega (SJ 231/259, 236)(Sl. 4.19.). Ostali tipovi pronađeni su u slojevima otpada, stratigrafski iznad i u razini sloja 231 (SJ 214 i 215), ali i ispod njega te sloju otpada izravno datiranom u kraj 6. i 1/2 7. st. (SJ 245). U zapuni jame uz rub profila sonde (SJ 237), isključivo vezane uz datum s kraja 4./5. st. nisu pronađene sapnice.



Slika 4.19. Grafički prikaz zastupljenosti određenog tipa (s podtipom) sapnica prema stratigrafskim jedinicama na lokalitetu Virje – Sušine (S-5).

Metodu deponiranja otpada na ovom lokalitetu u periodu 2/2 6. st. – 2/2 7. st. možda je moguće prepoznati u horizontalnoj i vertikalnoj stratigrafiji slojeva otpada, prema kojoj bi otpad bio sukcesivno deponiran u prostor od juga prema sjeveru te u visinu, o čemu svjedoče pojedinačne

nakupine otpada koje se nastavljaju jedna na drugu te prepoznati odnosi u vertikalnoj stratigrafiji (vidi: faze istraživanja i uslojavanje u odnosu položaj izravno datiranih cjelina, Sl. 2.5.). Potonji zapis mogao se stvoriti isprekidanim ritmom ili kontinuiranim korištenjem radionice. O kontinuitetu ili barem istoj proizvođačkoj liniji na ovom položaju svjedoči morfološka sličnost sapnica koje je moguće pripisati ranijoj i kasnijoj fazi, u razdoblju od kraja 6. st. i tijekom 7. st. (tipovi 2a i b (T. 26: 1 i 2) te 3a i b (T.27)). Postojanje trećeg zastupljenijeg tipa,<sup>68</sup> cilindričnih sapnica (tip 1), na istom lokalitetu, koje dijele fakturu i način pečenja sa stožastim sapnicama tipa 3b (boja i fakura-1)(Tab. 4.6, Sl. 4.17:b, 18), može svjedočiti o još jednoj fazi ili kontinuitetu s manjim promjenama u oblikovanju jednog tipa sapnica, pretpostavljeno talioničkih (tip 1). Prema analogiji fakture i boje te najvećoj zastupljenosti u gornjim slojevima otpada (SJ 214, 215) (Sl. 4.19.) ovaj tip sapnica moguće je pripisati mlađoj fazi korištenja prostora – 2/2 7. st.

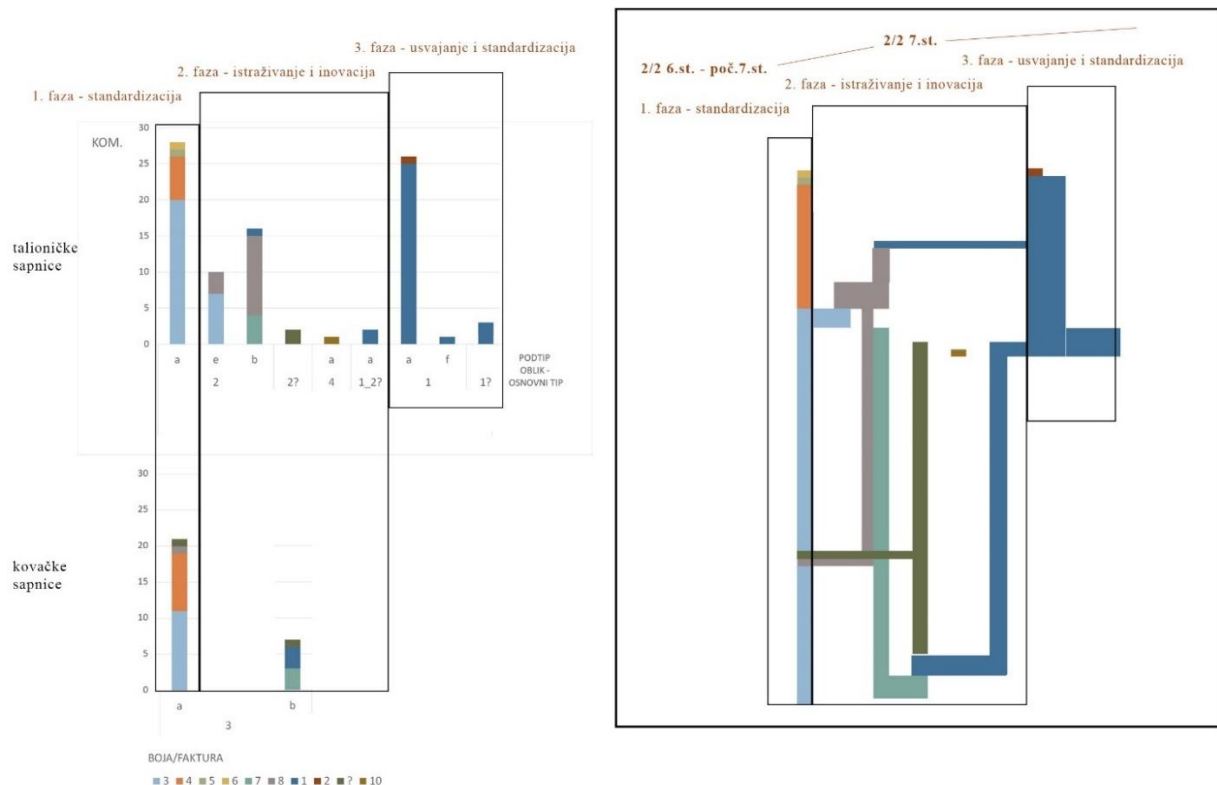
Glavna razlika vidljiva kod sapnica mlađe faze je povećanje dimenzija (tip 1 i 2b) i općenito masivnost talioničkih sapnica (tip 2b) što se može dovesti u vezu s povećanjem kapaciteta peći, posvjedočenom kroz nalaze zgure s dna peći iz istog sloja otpada kao i sapnice tipa 2b (SJ 231, T.5.). Opća sličnost osnovnih tipova sapnica i postojanje više uzoraka istih karakteristika fakture i boje u oba osnovna tipa talioničkih (2a, e i b) i kovačkih (3a i b) sapnica, svjedoči o isprekidanom ritmu uporabe prostora (kampanjski), ali i sličnosti u organizaciji rada, odnosno kontinuitetu uporabe prostora. Kontinuitet je moguće pretpostaviti i zbog preklapanja određenih kategorija fakture i boje između talioničkih i kovačkih sapnica pripisanih ranijoj i kasnijoj fazi/fazama (2b i 3a te 1 i 3b)(Sl. 4.17; 18; 19; 20). Štoviše, izgleda da je postojalo određeno razdoblje istraživanja novih rješenja, nakon čega je uslijedila inovacija te adaptacija na promjenu i finalno, izvođenje postupaka novim, standardiziranim načinom – izmjenjenim dizajnom peći. Period postepene transformacije bi obilježila pojava uzoraka talioničkih sapnica 2e i 2a (kraj 6. –poč. 7. st.) te 2b (2/2 7. st.) i 2e<sup>69</sup> iste fakture i boje pečenja (Sl. 4.20). Uzorci 2e i 2b dijele fakturu i s kovačkim sapnicama tipa 3b. Prvu razinu transformacije odlikuje prijelaz ka masivnijem tipu sapnica (2b), istog osnovnog oblikovnog svojstva kao 2a/e (blagi stožac) i simultano korištenje kovačkih sapnica vrlo sličnih karakteristika (tip 3b naspram tipa 3a). Prema razini zastupljenosti ovih tipova (Sl. 4.20) izgleda da je tijekom ovog razdoblja izvedeno manje pojedinačnih postupaka taljenja i kovanja, odnosno, moguće da je trajao kraće od prve faze proizvodnje na ovom lokalitetu. Daljnja transformacija, mogla bi se pratiti kroz

---

<sup>68</sup> Uz tri glavna, najzastupljenija tipa u Sondri 5 javlja se i tip 4 (cilindrično-stožasti tip), jedinstvena pojava prema fakturi i boji te obliku.

<sup>69</sup> Uzorci ovih dvaju tipova pronađeni su i u istim arheološkim kontekstima (Sl.4.19).

pojavu talioničkih sapnica tipa 2b i 1 te sapnica nesigurne atribucije – prijelaznog tipa između 1 i 2 (tip 1\_2), istih karakteristika fature i načina pečenja (Sl. 4.20). Ovaj proces mogao bi se nazvati i istraživanjem, probnim pokušajima zadovoljavanja nekih novih potreba, prvenstveno zbog simultane pojave različitih sapnica, proizvedenih pod istim preduvjetima, načinom pečenja i glinenom smjesom. Finalno, usvajanje promjene moglo bi se ogledati u cilindričnim dugim sapnicama (tip 1), a standardizacija u njihovoj značajnijoj zastupljenosti i jednoličnosti fature. Uz ove sapnice, na osnovu fature i boje ne mogu se povezati uzorci stožastih sapnica tipa 3, a o potonjem svjedoči i njihova zastupljenost koja je prilično u skladu sa zastupljenosti grupe sapnica 2b (Sl. 4.20). Potonje implicira promjenu u načinu i/ili organizaciji procesa proizvodnje krajem 7. st. Čini se da pročišćavanje, barem uporabom drugog tipa sapnica za kovačke peći, nije izvođeno u ovom periodu na istom položaju. Ovo bi bilo u skladu i s nižom zastupljenosti kovačkih zgura s dna peći koje pripadaju trećoj, najmasivnoj kategoriji težine (vidi poglavlje 4.2.1.2.3.1.3.), a načelno bi se mogle povezati s periodom transformacije i fazom povećanja kapaciteta peći.



a)

b)

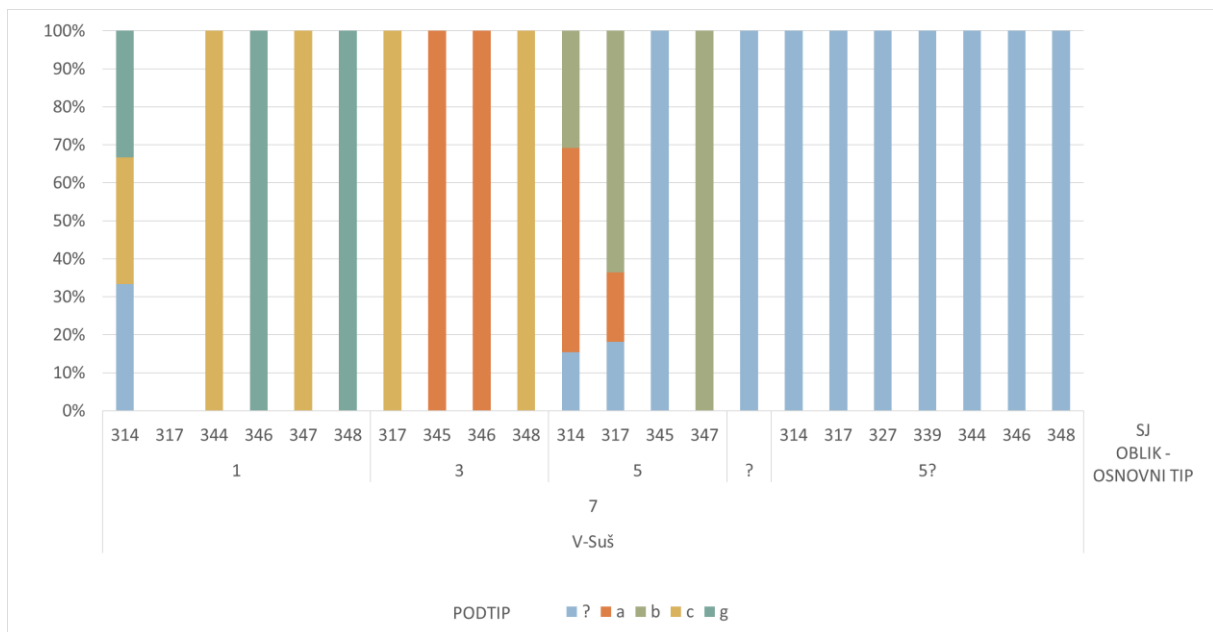
Slika 4.20. a) zastupljenost sapnica (osnovnog tipa, podtipa i boje/fature) i b) grafički prikaz zajedničkih svojstava i evolucije forme sapnica kroz kronologiju ustanovljenu na lokalitetu Virje – Sušine (S-5).

O postepenom, progresivnom povećanju količine proizvedenog željeza svjedoči i široki raspon mase očuvanih talioničkih izljeva iz ove sonde, bez značajnih oscilacija u težini (vidi poglavlje 4.2.1.1.). Ova promjena ujedno je i zadnja faza aktivnije proizvodnje na ovom položaju.

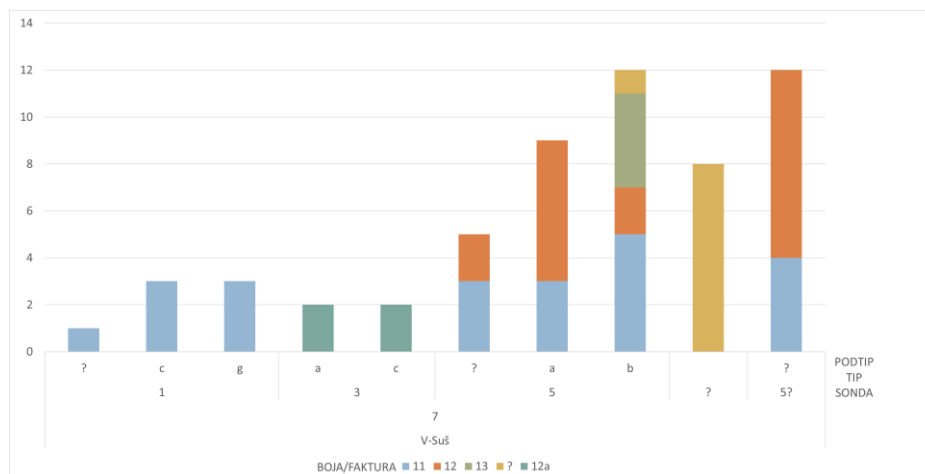
Čini se da je upravo na ovom položaju postojao duži kontinuitet proizvodnje koji počiva na istoj proizvođačkoj liniji, no da je bio dinamičan i isprekidan (sezonski ili po potrebi). Oblici sapnica i način vođenja procesa proizvodnje (dva tipa sapnica za dva tipa postupka) prisutni na položaju Virje – Sušine (S-5) mogu se dovesti u jasnu vezu s relativno istovremenim lokalitetom Hlebine – Velike Hlebine. Štoviše, gotovo identični tipovi (3a i 2a) pojavljuju se na oba lokaliteta, a mogli bi se pripisati ranijoj fazi korištenja prostora na položaju Sušine i potpunom trajanju proizvodnje na lokalitetu Velike Hlebine, odnosno razdoblju između 2/2 – kraja 6. st. i sredine 7. st., o čemu svjedoče radiokarbonski datumi. Potonje ukazuje i na priličnu razinu standardizacije načina izvođenja i organizacije postupaka u ovom vremenskom razdoblju, obzirom da se radi o dva lokaliteta, a moguće je pomišljati i o korištenju više različitih prostora od iste skupine izvođača ili iste proizvođačke linije. Sa ovim sapnicama u vezu je moguće dovesti i isti osnovni tip sapnica (3a) pronađen na položaju Sušine (S-7). U sloju otpada (Sl. 2.1 – 2.2: SJ 345), nakupine stijenki peći, datirane radiokarbonskom metodom u 2/2 6. st. – poč. 7. st., javlja se isključivo tip sapnice 3a (Sl. 4.21). Njegova pojava na ovom položaju je vrlo ograničena, te se pojavljuje u prostorno vrlo bliskim nakupinama otpada, (SJ 345, 346), ali i u sloju razasutog otpada koji je dominirao istraženim prostorom (SJ 314 i 317). U Sondi 7 prisutna je i morfološka varijacija ovog tipa, podtip c, slične fakture i boje pečenja (iako uz neke razlike u presjeku). Temeljna razlika između ova dva podtipa je debljina stijenki (1,1-1,2 cm debljine naspram 0,5-0,6 cm kod tipa 3a), a ostale dimenzije su vrlo slične. Moguće je da se ove sapnice vežu uz jamske peći za postredukcijske procese (vidi poglavlje 4.1.1.2.4) datirane u kraj 7. i u 1/2 8. st. te predstavljaju evoluciju forme sapnica tipa 3a. Potonje nije moguće potvrditi kontekstom pronalaska obzirom da u ovim jamama i neposredno uz njih nisu pronađene sapnice (Sl. 4.21). Zastupljenost sapnica tipa 3a i b je izrazito niska u odnosu na ostale morfološke oblike – tip 1 i poglavito tip 5 (Sl. 4.22). Potonje može svjedočiti o povremenoj, rijetkoj aktivnosti, vjerojatno kovačkog karaktera na ovom položaju. Ukupno su pronađene četiri sapnice ovog tipa (2 uzorka tipa 3a i 2 uzorka tipa 3b), što je moguće dovesti u vezu i s brojem jamskih peći (1-4 ili 5 (?)). Drugi tipični oblik, vezan uz razdoblje 7. st. koji se može pripisati talioničkim pećima (2a/e ili nešto kasniji 2b ili tip 1) nije identificiran sa sigurnošću, odnosno moguće je da se talionički postupci u ovom razdoblju nisu izvodili na položaju Sonde 7. Potonje se može dovesti u vezu s izostankom kovačkih sapnica na obližnjem

položaju sonde 5 na kojima su potvrđeni talionički postupci tijekom 2/2 7. st. te sugerirati promjenu u organizaciji rada tijekom 2/2 i kraja 7. i početka 8. st. Na lokalitetu datiranom u 8./poč. 9. st. (Volarski breg, Sonda 1) javljaju se sapnice cilindričnog (1f) i blago stožastog (2b) tipa. Cilindrične sapnice mogu se dovesti u direktnu morfološku vezu s izoliranim primjerom cilindrične sapnice na lokalitetu Virje – Sušine (Sonda 5, tip 1f). Potonje bi moglo svjedočiti o povremenom iskorištavanju različitih prostora tijekom 8. st., položajno vrlo bliskih.

U nešto ranijem razdoblju, 2/2 5. st. – poč. 7. st. javljaju se vrlo blago stožaste (Tab. 4.6: 2d) i cilindrične sapnice (Tab. 4.6: 1d i e), u istom kontekstu, na položaju Volarski breg (Sonda 2a i 3). Ovaj oblik sapnica može se vezati uz ranije razdoblje, kraja 4. i 5. st. prepoznatog na lokalitetu Virje – Sušine (Sonda 7). Cilindrične sapnice na ovom položaju (Tab. 4.6: tip 1c i g) dijele morfološka svojstva (boju/fakturu) s najzastupljenijim tipom u nekoliko oblikovnih varijanti, tipom 5 (Sl. 4.22). Ovi tipovi sapnica pojavljuju se u glavnini u slojevima otpada koji čine jednu stratigrafski zatvorenu cjelinu, a radiokarbonski datum iz uzorka ugljena (SJ 314) smješta ih u 4./5. st. Sapnice su generalno manjih dimenzija od oblika iz narednih razdoblja, a čine ih oblik cilindra (tip 1) ili cilindra s proširenjem na  $\frac{3}{4}$  dužine tijela sapnice (pri vanjskom rubu).



Slika 4.21. Grafički prikaz zastupljenosti određenog tipa (s podtipom) sapnica prema stratigrafskim jedinicama na lokalitetu Virje – Sušine (S-7).



Slika 4.22. Zastupljenost sapnica prema svim morfološkim svojstvima, tip-podtip-boja/faktura, Virje – Sušine (S-7).

Prema nalazima s istraženih lokaliteta, čini se da su oblici sapnica vrlo slični krajem 4./5. st. te u 2/2 5. st. i kroz 6. st., a da su u narednom razdoblju doživjeli svojevrsnu evoluciju i značajniju promjenu, u nekom trenutku kraja 6. i sredine 7. st. kada se javljaju blago stožaste talioničke i izrazito stožaste kovačke sapnice. Postepenu transformaciju u načinu izvođenja postupka, pa i obliku sapnica možemo pratiti kroz 2/2 7. st. kada se na temelju nalaza s lokaliteta Virje – Sušine očituje prijelaz na masivnije, blago stožaste talioničke sapnice, te u slijedećoj fazi - masivnije, cilindrične talioničke sapnice (1a). U ovoj fazi, 2/2 7. st. i poč. 8. st. očituje se i promjena u organizaciji radnih aktivnosti, kada se na lokalitetima gdje se odvijao talionički postupak ne pojavljuju sapnice koje bi se mogle dovesti u vezu s kovačkim postupcima, ali se pojavljuju varijacije kovačkih sapnica (tip 3c) vezane uz kovačke postupke izvedene u jami, kakve ranije nisu identificirane. U slijedećoj fazi, u 8. – početku 9. st., pretpostavljeno talioničke sapnice su manje masivne i kraće (1f), a uz njih se javljaju sapnice proširenog vanjskog ruba (tip 2c), pretpostavljeno kovačke. Ipak, osim višestrukih primjera lokaliteta sa sapnicama gotovo istih karakteristika od 2/2 6. i kroz 7. st., tipološko kronološko povezivanje ovih predmeta potrebno je uzeti relativno, jer njihovo oblikovanje ipak može biti odraz specifičnih, individualnih odluka izvođača postupaka redukcije i postredukcije.

#### 4.3.2 Stijenke peći

Stijenke peći moguće je podijeliti u dvije osnovne skupine prema morfološkim karakteristikama: 1) amorfne komade različite razine nagorenosti i načina pečenja vidljivog u

presjeku, 2) ulomke vitrificirane s unutrašnje strane, često sa zalijepljenom zgurom na površini. Cilj makroskopske obrade je bio zabilježiti tragove gradnje peći i debljinu stijenke (prema položaju u konstrukciji peći), a zabilježene su i dodatne kategorije poput debljine vitrificiranog dijela, boje presjeka te makroskopski vidljivih primjesa u fakturi. Položaj unutar konstrukcije peći nije moguće odrediti kod svih ulomaka, obzirom da se u većini slučajeva radi o amorfnim komadima koji su značajno fragmentirani. Međutim, razina vitrifikacije unutrašnjeg dijela stijenke i eventualna pojava zgure zalijepljene za stijenku svjedoči o udaljenosti od sapnice, odnosno ognjišta peći – prostora na kojemu se stvaralo spužvasto željezo, gdje su prisutne najviše temperature i kontinuirani protok zraka te izmjenjivi redukcijsko-oksidacijski uvjeti.

Najočuvaniji dijelovi peći najčešće su upravo ulomci smješteni neposredno uz sapnicu, gdje je visoka temperatura utjecala na značajnu vitrifikaciju stijenke, a na unutrašnjoj površini ponekad je zalijepljena i zgura te su vidljive sitne željezovite (korodirane) kapljice (**T. 26-28.**). Ponekad je vidljiva i orijentacija ulomka koju je moguće rekonstruirati obzirom na nakupinu zgure zalijepljene za stijenke, a koja nastaje neposredno ispod sapnice. Prema načinu loma, nagorenosti i vitrifikaciji dijelova stijenki oko sapnice, moguće je razlučiti rubove svojevrsnih vrata u koja je bila umetnuta sapnica.

#### 4.3.2.1 Virje Sušine

##### 4.3.2.1.1 Sonda 5

Stijenke peći iz Sonde 5 na položaju Virje – Sušine svjedoče o postojanju vrata na pećima koja su građena oko sapnice uporabom segmenata glinene smjese, oblog (valjkastog) i/ili četvrtastog ili nepravilnog oblika (**T. 29**). Segmenti korišteni u izgradnji peći i vrata su različitih dimenzija (od 3,5 x 11 cm do 8,0 x 5,5 x 7,5 cm), a one su prilagođene dijelu strukture peći te se doima da je okno peći građeno od masivnijih ulomaka, dok su vrata i prostor neposredno oko sapnice građeni od manjih ulomaka, u krug oko sapnice. Vrata su bila blago četvrtastog oblika, zaobljena na gornjim rubovima, što je moguće zaključiti iz ulomka stijenki okna peći, neposredno pri otvoru za vrata i ulomaka s ugrađenom sapnicom na kojima je vidljiv rub (**T. 29: 4**). Potonji uzorak prema vrsti sapnice pripadao bi drugoj fazi boravka na položaju Sušine tijekom 7. st. - 2/2 7. st. Obzirom na način gradnje i nagorenost rubnog dijela segmenata smještenih neposredno uz vrata moguće je zaključiti da su vrata peći građena nakon što je konstrukcija peći osušena (**T.29: 3, 4**). Debljina stijenki peći varira od 6,5 cm do 8,5 cm, računajući i vitrificirani dio s unutrašnje strane, prema čemu, zbog izobličenja i vitrifikacije keramike te sloja zalijepljene zgure treba računati na nešto užu stijenku pri izgradnji. Ponekad je vidljiv tanak, neravan sloj zapečene gline na vanjskoj površini stijenki peći, koji svjedoči o

zaglađivanju prostora između segmenata i/ili zapunjavanja eventualnih praznina žitkom glinom, vjerojatno u svrhu bolje termičke izolacije odnosno sprječavanja gubitka topline u peći (T.29: 2). Dva ulomka kod kojih je bilo moguće izračunati promjer ognjišta peći ukazuju na postojanja dvaju dimenzija ognjišta, oko 28 – 30 (SJ 250/N 108/1) i 40 cm (SJ 231) promjera.

Gradnja stijenki oko sapnica koje bi se mogle pripisati taljenju – tip 2a (T.26: 1) i kovanju – tip 3a (T.27: 1) u ranijoj fazi ovih aktivnosti na položaju sonde 5, u velikoj je mjeri slična te se može smatrati još jednom poveznicom koja implicira istog ili istu skupinu izvođača.

#### 4.3.2.1.2 Sonda 7

Stijenska peći sa sapnicom koja bi se mogla pripisati kovačkom tipu (3a/b) građena je od segmenata, manjih valjčića i nepravilnih segmenata različitih dimenzija slaganih u vis, jedan nad drugim (debljine 3, 2 – 4,1 cm, dužine 6,2 – 10,3 cm te mjestimično i deblji valjci, debljine cca 7,0 cm.). Puna debljina stijenke je 4,5–5,0 cm sa zalijepljenom zgurom i vitrificiranim dijelom, a promjer otvora za umetanje sapnice je 5,5 cm. Visina postavljanja sapnice izmjerena od pretpostavljenog dna nadzemnog dijela ognjišta je cca 5,5 cm, no vrlo vjerojatno nije cjelovita te predstavlja minimalno odstojanje od dna ognjišta. Ukupna pretpostavljena visina stijenke je 26 cm iznad sapnice, 30 u razini donjeg dijela sapnice i ukupno oko 35 – 30 cm, a širina 27 cm (T.30: 4). Stijenska pokazuje zakrivljenost tek na krajnim rubnim dijelovima. Rubni dijelovi jednolično su nagoreni, zaobljeni te vrlo vjerojatno predstavljaju rub stijenke. U protivnom, mogli bi predstavljati samo rubove pojedinačnih segmenta, međutim, vjerojatnije je da se radi o rubu stijenke (vidi rekonstrukciju:sl.5.8.). Obzirom na tip inkorporirane sapnice, ova stijenska peći pripadala bi 7. st., a vrlo vjerojatno se obzirom na tip i njegovu zastupljenost u ovoj sondi može dovesti u vezu s jamskim, kovačkim pećima (vidi poglavlje 5.2.2.)

Ulomci stijenke peći koji bi se mogli pripisati vratima talioničke peći pripadaju kontekstu datiranom u 4./5. st. Jedan rekonstruirani komad pokazuje polukružan završetak gornjeg dijela te ravne bočne stijenke (T.28: 1). Rub stijenke jasno je vidljiv a karakterizira ga ostakljena površina, rastaljena glina, moguće i zalijepljena zgura (T.28: 1). Stijenska vrata građena je slaganjem segmenata, valjčića (dim. debljine 3,5 – 3,2 cm i dužine 9,5–10 cm) različitih dimenzija. Slaganje je prilagođeno obliku vrata, poput slaganja svoda u gornjem dijelu. Puna debljina stijenke vrata je 4,5–5 cm sa zalijepljenom zgurom i vitrificiranim dijelom. U presjeku je stijenska sivo pečena, a oksidacijsko crveno pečenje vidljivo je oko prostora za umetanje sapnice. Promjer otvora za umetanje sapnice je 4,5 – 5 cm. Faktura stijenke vrlo je pjeskovita. Visina postavljanja sapnice izmjerena od pretpostavljenog dna ognjišta je 9–11 cm. Ukupna pretpostavljena visina vrata je 31–35 cm, a širina cca 27 cm (T. 28: 1). Vrata pokazuju blagu



zakrivljenost, u horizontalnom presjeku. Ovakav tip vrata, prema promjeru otvora za sapnicu mogao bi se dovesti u vezu sa sapnicama tipa 5 (T. 28: 2). Glavnina stijenki peći iz konteksta nakupina otpada (SJ 214 i 217) pune debljine je oko 5 cm.

#### 4.3.2.1.3 Sonde 1, 2a i 3

U ovim sondama tehnička keramika uglavnom je očuvana uz sapnice. U sondama 2a i 3 koje se mogu pripisati širem vremenskom periodu 2/2 5. – poč. 7. st. stijenke su vezane uz sapnice tipa 2d kod kojih je vidljiva gradnja stijenki u segmentima, oko sapnice (T.28: 3). Uz sapnice cilindričnog tipa (1f), tankih stijenki vidljivo je utiskivanje sloja gline usko oko tijela sapnice, nakon što je sapnica pečena, vrlo vjerovatno nastala u trenutku umetanja sapnice u otvor vrata ili stijenki peći (T.28: 4).

Na položaju Sonde 1 datirane u 8./poč. 9. st. na glavnini sapnica očuvan je tek mali dio stijenki stoga način gradnje u segmentima nije moguće potvrditi (T.28: 5-7).

#### 4.3.2.2 Hlebine

##### 4.3.2.2.1 Velike Hlebine

Na lokalitetu Velike Hlebine također je vidljiva gradnja stijenki peći u segmentima, manje ili više pravilnim četvrtastim komadima. Stijenke su građene paralelnim slaganjem segmenata u vis. Jedan uzorak ukazuje na izgled vrata talioničkih peći – ravne bočne rubove, te zaobljene gornje rubove (T.30: 1). Dimenzije vrata peći moguće je u nekoj mjeri rekonstruirati sapnica je bila postavljena najmanje 9 ili 10 cm iznad dna ognjišta peći (T.30: 1). Segmenti su dimenzija oko 5,2 x 7,5, 5,5 x 7,9 cm. Ove dimenzije su relativne jer se na Velikim Hlebinama pojavljuju segmenti različite veličine. Izgradnja stijenki peći nije jednolična te se pojavljuju primjerci kod kojih je teško definirati pojedinačne segmente na vanjskoj površini iako su do neke mjere vidljivi, prvenstveno zbog načina pucanja stijenki (T.30: 3), što svjedoči da su segmenti bili dobro utisnuti te da je površina zaglađena nakon utiskivanja. Na jednom ulomku vidljivi su tragovi utiskivanja, otisci prstiju s unutrašnje strane površine (T.30: 2). Debljina stijenki talioničkih peći je 4, 4 – 7, 5 cm.

Stijenke oko sapnica koje bi se mogle pripisati kovačkim postupcima građene su malo drugačije te podrazumijevaju manje segmente, a vidljiva je i gradnja u krug oko sapnice (T.27: 3, 4). Pojedinačni segmenti su dobro vidljivi. Stijenke vezane uz sapnice pripisane talioničkom postupku, ukazuju na uporabu masivnijih segmenata (T. 26: 3), a kod ulomaka koji nisu direktno vezani uz određeni tip sapnice te predstavljaju vrata peći ili stijenke okna značajnije je vidljivo zaglađivanje vanjske površine (T.30: 3) – anuliranje prostora između dvaju

segmenata, moguće u funkciji smanjivanja gubitka topline. Razlike u načinu izgradnje mogu se dovesti u vezu s masivnošću i visinom cijele strukture peći, talioničke naspram kovačke koja je vrlo vjerojatno bila niska peć te su rubovi tek neznatno nadvisivali dno ognjišta. Prema primjerima sačuvanih ulomaka stijenki radi se o oko 20 cm ili malo više (T.27: 3, 4). Jedan uzorak pokazuje rub, a visina od dna tla ili ognjišta iznosi 20 cm (T.27: 2). Sapnica je bila postavljena 5 cm iznad ruba ognjišta. Na drugom primjeru, s bočne strane je vidljiv odlomljen rub zgure koji ukazuje da je na ovoj poziciji vrlo vjerojatno bio rub stijenke ognjišta, postavljen pod kutom od oko 70-90 naspram prednje strane stijenke (sa sapnicom) (T.27: 4).

#### 4.3.2.2.2 Dedanovice

Na lokalitetu Dedanovice otkrivene su dvije strukture koje je moguće interpretirati kao *in situ* ostatke peći s glinenim stijenama.<sup>70</sup> Keramičke stijenke peći, na osnovu makroskopske analize moguće je podijeliti na više kategorija, koje svjedoče o njihovom položaju u strukturi peći. Ulomci stijenki najčešće su amorfne oblika, no javljaju se i ulomci sa zaravnjenom plohom, svijetlocrvene ili sive boje (T.30: 5) dok je kod nekih ulomaka jasno vidljiv tanji sloj nagorene, porozne – vitrificirane površine (T.30: 6). Rijetko, stijenke imaju slijepljenu otoplenu zguru gotovo staklaste strukture s jedne strane. Ove razlike upućuju na mogući položaj ulomaka stijenki peći gdje bi snažno nagoreni dijelovi i oni vitrificirani sa zalijepljenom zgurom bili izloženi višim temperaturama, odnosno nalazili su se na prostoru neposredno oko sapnice za upuhivanje zraka. Ipak, razina nagorjevanja, vitrifikacije i ostakljivanje ovih stijenki niža je no kod stijenki pripisanih kovačkim instalacijama s istovremenog lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine (T. 27: 3, 4). Debljinu stijenki peći nije moguće sa sigurnošću definirati, obzirom da niti jedan ulomak nema sačuvanu potpunu debljinu, međutim najdeblji ulomci sa sačuvanom jednom zaravnjenom plohom debljine su oko 6 – 7 cm što sugerira najmanju debljinu stijenki peći. Na temelju terenskih istraživanja moguće je također pretpostaviti okvirnu debljinu stijenki peći koja čini od 6 do 10 cm. Stijenke su u glavnini rađene od gline s primjesom pijeska, a u primjesi su vidljive i sitne željezovite pedotvorenine – noduli getita (ili pri termičkoj reakciji hematita) koje je moguće pronaći u tlima Podravine, a predstavljaju prvu razvojnu fazu

---

<sup>70</sup> Na lokalitetu Dedanovice ukupno je dokumentirano 941 ulomka stijenki peći koje teže 19 902 grama. Ovaj tip nalaza prema težini i broju ulomaka čini najbrojniju skupinu nalaza. Većina stijenki peći pronađena je u Sondi 1, ukupno 16 620 g odnosno 87% ukupne količine stijenki peći, 2377 g u Sondi 3 (SJ 27) odnosno 12.5%, dok je u Sondi 4 (SJ 39) pronađeno 95 g odnosno 1 % ukupne količine stijenki peći. Većina stijenki peći iz sonde 1 vezana je uz strukture interpretirane kao peći (SJ 19, 31, 32, 33), ukupno 16 486 g, ili 87% svih stijenki, odnosno radi se o dijelovima ovih dviju peći. Ostalih 115 g (0.6% ukupne količine stijenki) pojavljuju se izrazito fragmentirani u slojevima neposredno na kontaktu humusa i sterilnog sloja 2, sloju 6 (sloj mlake), te sporadično (po jedan sitan ulomak) kao dio zapune jama SJ 16, 8, 3. U sondi 2 (SJ 25 i 40) u kojoj su pronađeni naseobinski elementi iz 4./5. st. pronađeno je ukupno 4 manja ulomka za koje nije sa sigurnošću moguće reći jesu li to doista stijenke peći ili amorfni ulomci zapečene zemlje/lijepe.

močvarne željezne rude (T.30: 7)). Segmenti različita oblika od kojih su građene stijenke vidljivi su na ponekim primjerima (T.30: 5, 6). Visinu stijenki nije moguće s sigurnošću rekonstruirati, međutim one nisu značajno nadvisivale sapnicu, što je moguće zaključiti prema ukupnoj količini stijenki pronađenoj na ovom lokalitetu. Vrlo vjerojatno radi se o stijenkama koje nisko nadvisuju tlo, dovoljno za umetanje sapnice i operiranje peći (15 – 20 cm) visine.

## 5 Tehnologija proizvodnje željeza

### 5.1 Proces direktne redukcije: proizvodnja spužvastog željeza

#### 5.1.1 Dizajn peći

Arheološki terenski zapis, analiza zgure i dijelova nadzemne konstrukcije peći (stijenki i sapnica) svjedoče da su na svim istraženim lokalitetima, u razdoblju od kraja 4.–5. st. do 8.–poč. 9. st. korištene peći s plitko ukopanim ognjištem iz kojih je u tijeku procesa tekuća zgura ispuštana izvan peći.

Tragovi ognjišta peći i prostora na koji je istjecala zgura pronađeni su u kontekstu lokaliteta koji pripadaju 7. st. (Hlebine – Velike Hlebine) i 8. – početku 9. st. (Virje – Volarski breg, S-1), dok se o konstrukciji i dimenzijama peći kod ostalih lokaliteta druge vremenske pripadnosti zaključuje posredno, na temelju nalaza zgure i tehničke keramike.

Na lokalitetu Virje – Volarski breg (S-1) arheološki zapis cjelina koje čine dna talioničkih peći (Sl. 2.6; T.8-10)) imao je tri osnovna elementa, koja se mogu dovesti u vezu s konstrukcijom peći: pliće ukopano ložište kružnog tlocrta s otvorom na južnoj strani (1), koji je bio u funkciji otjecanja zgure koja se stvarala tijekom talioničkog procesa te je ispuštana niz kanalić (2) od kojeg je bio očuvan izduženi zapečeni trag u tlu. Na završetku kanalića nalazila se omanja jamica u kojoj se nakupljala ispuštena zgura (3) (T. 8-10). Pri dnu ložišta nalazio se zapečeni sloj tla nad kojim je, kod pojedinih peći (I, II, V) *in situ* očuvana relativno glatka tvorevina tlocrtno pravilnog kružnog oblika, u presjeku konkavno–konveksna (T. 9-10). Ovu tvorevinu čini nataloženi rastaljeni sloj zgure i na dnu zalijepljeno zapečeno pjeskovito tlo, a vrlo vjerojatno se formirala neposredno ispod spužvastog željeza tijekom postupka taljenja, te se može uzeti kao relativna dimenzija promjera spužvastog željeza. Slična situacija prepoznata je i na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine na kojemu su pronađeni tragovi četiriju peći. Nalazi zgure iz ovih peći potvrđuju i da je vjerojatno jamica za istek zgure bila prethodno pripremljena, a položajem je bila postavljena nešto niže od ognjišta peći (T. 1 – 3). Cjelovita zgura formirana kroz jedinstven talionički postupak pronađena na lokalitetu Virje – Sušine (S-7) svjedoči o istjecanju zgure u razini ognjišta, pod blagim nagibom (T.1: 1). Ova zgura, prema prostornoj povezanosti mjesta pronalaska s nakupinom otpada i morfološkoj sličnosti zgure pronađene u njemu vrlo vjerojatno se može datirati u kraj 4. – sredinu 5. st. Nalazi izljeva s istoga lokaliteta pokazuju prilično standardiziran način ispuštanja zgure, kroz duguljastu kanalicu s proširenjem

u vidu plitke jame trokutasta ili lećastog presjeka u koju se slijevala tekuća zgura. Primjeri izljeva koji pripadaju kontekstu 2/2 5. – kraja 6. i početka 7. st. s lokaliteta Virje – Volarski breg (Sonda 2a i 3) svjedoče također o ispuštanju zgure u neku manju udubljenu jamu ispred peći (T.11: 6).

Dimenzije ognjišta peći pokazuju određene razlike, vezane uz položaj i vremensku odrednicu radionica za proizvodnju željeza. Prema nalazima zgure i tehničke keramike na temelju kojih je napravljena procjena dimenzija unutrašnjeg dijela ognjišta, peći koje bi pripadale kraju 4./5. st. (Virje Sušine, S-7) i kraju 6.–sred. 7. st. (Hlebine – Velike Hlebine, Virje Sušine, S-5 (ranija faza)<sup>71</sup> imale su promjer ognjišta oko 26–30 cm. Promjer ognjišta peći koje pripadaju kontekstu 2/2 5.–6. st. (Virje Volarski breg, S-2a i 3) nije moguće sa sigurnošću definirati, no na osnovu dimenzija tvorevina s dna peći, koje se stvaraju podno spužvastog željeza (14 cm promjera) vrlo je vjerojatno da je promjer ognjišta bio oko 26-30 cm. U kasnijem razdoblju, vidljiva je promjena u dimenzijama ognjišta, nasljedno i volumenu peći. Tendenciju ka povećanju dimenzija, a time i kapaciteta peći, vjerojatno možemo pripisati periodu 2/2 7. st. o čemu svjedoči arheološki zapis i nalazi s lokaliteta Virje Sušine (S-5), na kojemu je promjena posvjedočena kroz stratigrafiju slojeva otpada i nalaze indikativne zgure, stijenki peći i keramičkih sapnica. Iz slojeva sustavno deponiranog otpada potječu dva radiokarbonska datuma, jedan koji ukazuje na kraj 6.–poč. 7. st. i drugi koji pomiče granice deponiranja otpada u 2/2 7. st. U ovim slojevima pronađeni su ulomci zgure iz unutrašnjosti (T. 6-7) i stijenki peći (vidi poglavlje 4.3.2.1.1) koji govore u prilog postojanju dviju dimenzija ognjišta peći, manje – unutrašnjeg promjera oko 28–30 cm (T. 6) i veće – unutrašnjeg promjera oko 36–42 cm (T. 5). Potonji nalazi pronađeni su u gornjim slojevima otpada (Sj 231 i 218) iz kojeg potječe i ugljen čija je radiokarbonska analiza pokazala mlađi datum iskorištavanja prostora. Osim nalaza zgure iz unutrašnjosti peći koja svjedoči o većim dimenzijama ognjišta, potvrdu o progresivnom povećanju kapaciteta peći, količini upotrijebljene sirovine i proizvedenog spužvastog željeza te nasljedno ispuštene zgure moguće je pronaći i u komparativnoj analizi mase pojedinačnih cjelovitijih izljeva koja pokazuje velik raspon (Tab. 5.1: 465–9308 g). O potonjem svjedoče i vrste isteka koji ukazuju na varijabilnost načina izvođenja postupka u vidu

---

<sup>71</sup> Na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine promjer unutrašnjosti ognjišta kod dobro očuvane peći iznosi 28 cm (Peć II: T. 12), dok peć koja je nasjela na relativno očuvanu raniju peć (ognjište) pokazuje nešto veći promjer ognjišta, oko 40 cm (Peć III: T:12). Moguće je da se radi o povećanju ognjišta, međutim, obzirom da je ognjište ove peći tek malo izmahnuto od ognjišta ranije peći, moguće je i da je uzrok ovakvim dimenzijama kompleksnija stratigrafska situacija i vrlo male razlike u dimenzijama te definiranje ruba pojedinog ognjišta. O potonjem bi svjedočile i slične dimenzije tvorevina pri dnu ove dvije peći (oko 22 cm promjera), zapečenog tla s naslagom zgure, pravilnog kružnog oblika koji predstavlja središnji dio dna peći, prostora iznad kojeg se vrlo vjerojatno formiralo spužvasto željezo.

proširenja otvora za istek (T.7.) te dimenzije sapnica od kojih je jasno izdvojena grupa sapnica veće dužine i promjera koja bi odgovarala pećima većeg promjera (Tab. 4.6. V-S: Sonda 5: tip 1 i 2b; T. 26: 1 i 2)). Svi oni govore u prilog da je upravo u nekom vremenskom okviru u kojemu su se odvijale aktivnosti na ovom položaju došlo do promjene u kapacitetu talioničkih peći, time i dizajnu. Ova promjena vrlo je vjerojatno postepeno izrasla u sklopu iste proizvođačke linije, o čemu svjedoči analiza sapnica na položaju Virje Sušine S-5 (vidi poglavlje 4.3.1) te uzorci zgure s dna kovačke peći (vidi poglavlje 5.2). Slijedeća faza posvjedočena na istraženim lokalitetima, podrazumijeva peći promjera oko 40 cm, a datira u 8. st.-poč. 9. st. (Virje Volarski breg, S-1)(T. 8, 9, 10; Sl. 2.9). Radi li se o promjeni koja se sustavno počela primjenjivati od 2/2 7. st. ili o izoliranim i vremenski udaljenim primjerima nije moguće sa sigurnošću reći, no svakako je moguće primijetiti tendenciju ka proizvodnji veće količine željeza u jednom postupku redukcije, komparativnom analizom količine zgure izašle iz jednog taljenja s lokaliteta koji pripadaju ranijem razdoblju 4.-5. st. te nalaza iz slojeva otpada datiranih u 7.nst. na položaju Sušine (S-5 i 7) i 8.-9. st. na položaju Volarski breg (vidi poglavlje 5.1.3.). U prilog tomu ide i značajnije dimenzije i težina cjelovitih zgura s dna peći za primarno kovanje pripisanih ovom periodu (Virje Sušine, Sonda 5 i 7 (jamske peći))(vidi poglavlje 5.2).

Nadzemna struktura peći, bez obzira na vremensko određenje, građena je postepeno, podizanjem konstrukcije od razine ognjišta, slaganjem valjkastih, četvrtastih ili nepravilnih segmenata u redovima, nalik ručnoj izgradnji tijela keramičkih posuda (eng. *coiling*) o čemu svjedoče nalazi stijenki peći s vidljivim lomom između pojedinih segmenata (T. 26-27; 28:3; 29-30; detaljnije vidi poglavlje 4.3.2)). Stil izgradnje stijenki varira, iako bez obzira na prostorni i vremenski kontekst slijedi ista osnovna načela, uvjetovana zakonitostima gradnje cilindrične ili stožaste konstrukcije. Nadzemna konstrukcija peći vrlo rijetko ostaje očuvana u arheološkom kontekstu, a na istraženim lokalitetima naznake položaja peći očituju se tek kao plitke jame sa zapečenim stijenkama i rubom u razini tla u koje je ognjište bilo plitko ukopano. Međutim funkcija peći (ravnomjerno spuštanje rude niz okno) i analogni primjeri ovakvog tipa (Pleiner 2000: 174-175; Gömöri 2000a: 62, fig. 18) govore u prilog o cilindričnoj ili blago stožastoj nadzemnoj konstrukciji. Obzirom da su kod peći očuvani samo donji dijelovi ognjišta, vrlo je nezahvalno pretpostaviti visinu peći. Čitava konstrukcija peći bitna je za uspješnost postupka redukcije, a visina peći značajna je jer ruda u tijeku postupka, spuštajući se niz okno peći, prolazi kroz faze postepene redukcije, sukladno povećanju temperature. Funkcionalnost određene visine peći ovisna je o vrsti i karakteristikama rude (razina poroznosti) i ritmu sagorijevanja ugljena, ali i željenim karakteristikama spužvastog željeza na koje je do neke

mjere moguće utjecati trajanjem postupka redukcije. Vremensko trajanje postupka redukcije između ostalog je u izravnoj vezi s visinom nadzemne konstrukcije. Ako uzmemo u obzir funkcionalne karakteristike peći i pretpostavimo da je struktura peći bila cilindričnog do blago stožastog oblika, kakvi su primjeri peći sličnog kapaciteta sa šireg područja Europe, dimenzije ognjišta od oko 30 cm, diktirale bi visinu oko 60 cm ili više. U slučaju šireg ognjišta, od oko 40 cm, visina je mogla biti proporcionalno veća, a manjeg od 26-28 proporcionalno manja. Na lokalitetu Virje Volarski breg na kojemu se pojavljuju peći unutrašnjeg promjera ložišta 40 cm, pri arheološkom istraživanju definirani su ulomci izlomljene stijenke peći pronađeni koncentrirani zapadno od ložišta jedne talioničke peći. Ova nakupina interpretirana je kao urušena stijenka peći te je pretpostavljena visina od 60 do 70 cm koja predstavlja minimalnu visinu (Sekelj Ivančan 2009: 66, bilj. 4). Na temelju eksperimentalnih testiranja (Karavidović 2020b) moguće je tvrditi da je visina peći od oko 70 cm optimalna za izgradnju funkcionalne peći blago stožastog oblika nad ognjištem od oko 30 – 40 cm te da je pravilna redukcija močvarne željezne rude u peći ovih dimenzija moguća.

Analogni primjeri samostojećih peći datiranih u razdoblje od 7. do 9. st., pronađeni su na području današnje Republike Mađarske, na području bliskom Podravini, u okrugu Győr-Somogy (Gömöri 1980; 2000; Gömöri, Török 2002) ali i udaljenije, na prostoru SZ Mađarske, u regiji Sopron (Gömöri 1999; Gömöri, Török 2002). Ove peći pretpostavljene su visine 70–100 cm, te širine ognjišta 30–45 cm (Nemeskér tip prema Gömöri 2000a: 327; Gömöri, Török 2002: fig.1.), a pojedini primjerci (lok. Dénesfa) ukazuju i na manje ognjište od oko 25 cm unutrašnjeg promjera (Gömöri, Török 2002: 376).



Slika 5.1. 3d rekonstrukcija samostojeće peći s plitko ukopanim ložištem utemeljena na fotogrametrijskoj snimci peći korištene u eksperimentima (Karavidović 2020b) - bočni pogled. Peć je optimalne procijenjene visine od 70 cm, postavljena u odnos s čovjekom visine 170 cm. Rekonstrukcija vrste mijeha (harmonika) nema arheoloških uporišta na istraženim lokalitetima, no funkcionalno zadovoljava potrebe procesa taljenja u ovom tipu peći, na što su ukazala eksperimentalna testiranja (Prilog 1.; Karavidović 202b.)

Nalazi tehničke keramike s lokaliteta datiranih u 4. –5. st. (Virje Sušine, Sonda 7, SJ 314), kraj 6. i početak 7. st. (Virje Sušine, Sonda 7, SJ 345) te kroz 7. st. (Virje Sušine, Sonda 5 i Hlebine – Velike Hlebine) svjedoče da su peći s prednje strane imale svojevrstna vrata u koja je bila umetnuta sapnica, mehanizam za dotok zraka iz mijeha (T. 29-30). Vrlo je vjerojatno da je sustav umetanja vrata bio primjenjivan i kasnije, tijekom 8. –poč. 9. st. na položaju Volarski breg ako pretpostavimo da su peći bile višestruko upotrijebljene. Potonje je moguće, na temelju nalaza izljeva pronađenog u zapuni jamice ispred peći II (T. 8: 1b), u kojoj je pronađena i cjelovita zgura iz jednog (posljednjeg) taljenja (T. 8). Obzirom da oba nalaza potječu iz zatvorenog konteksta moguće je pretpostaviti da potječu iz dviju sesija taljenja izvedene neposredno jedna poslije druge ili s manjim vremenskim odmakom. Slično bi se moglo zaključiti i iz nalaza dvoslojne zgure s dna u istoj peći (vidi poglavlje 4.2.1.1.2.1). Ovakav dizajn omogućava opetovano korištenje peći, jer bi se vrata pred kraj procesa mogla jednostavno ukloniti kako bi se pristupilo spužvastom željezu, te po slijedećem postupku



taljenja, zamijeniti. Vrata su umetana vrlo vjerojatno nakon sušenja nadzemne strukture peći, o čemu svjedoče rubni dijelovi sačuvanih ulomaka vrata i dijelova peći uz vrata koji pokazuju jasno, zasebno zapečene rubove ili vitifikaciju koja seže preko ruba (T. 29: 4; T.30: 1, 3, 4). Postepena gradnja peći i naknadno umetanje vrata s inkorporiranom sapnicom omogućava lakše odvajanje pri kraju procesa taljenja, ali i efikasnije sušenje stijenki peći nakon izgradnje. Otvor u peći na mjestu vrata omogućava neometani protok zraka i sagorijevanje gorivog elementa poput drva te ravnomjerno sušenje. Sapnice su pečene prije umetanja o čemu svjedoči drugačija faktura te jasna razlika u načinu i razini pečenja stijenki neposredno oko sapnice i samih sapnica, te način loma sapnice od stijenke peći. Ovakav pristup osigurao bi trajnost sapnice pri višesatnom postupku taljenja, obzirom da se temperature u peći vrlo brzo i značajno penju, poglavito na prostoru ognjišta i sapnice, neposredno nakon umetanja ugljena odnosno početka zagrijavanja peći (Prilog 1: sl. 7). Nagli rast temperature i svojevrsan temperaturni šok, nema značajniji utjecaj na stijenke peći ako su prethodno osušene, što potvrđuju i eksperimentalna testiranja (Karavidović 202b; Prilog 1.). Temperatura stijenki s vanjske strane dugoročno se i polako uspinje, a značajna debljina stijenki osigurava raspoređivanje topline kroz konstrukciju peći. S druge strane, krhka keramička sapnica direktno je na izvoru najviših temperatura gdje se odvija i najintenzivniji rast temperature, stoga je njezina priprema gotovo neophodna. Pucanje sapnice i potreba za izmjenom iste pri postupku taljenja stvorilo bi značajan problem, obzirom da je sam postupak izmjene vremenski zahtjevan, gotovo nemoguć zadatak bez narušavanja temperature i redukcijske atmosfere u peći. Pri takvim uvjetima zgura u peći mogla bi se ohladiti, zapuna rude i ugljena poremetiti zbog propadanja pri vađenju sapnice, a time bi i nastavak te uspješnost postupka mogla biti onemogućena. Glinena smjesa i način pripreme sapnica (boja – refleksija uvjeta pod kojima su pečene sapnice), varira ovisno o lokalitetu i njegovoj vremenskoj pripadnosti, međutim specifične karakteristike koji bi se mogle pripisati određenom vremenu nisu uočene. Najučestalija je pojava glinene smjese bogate pijeskom, ponekad sitnim ulomcima kvarca (Tab. 4.6). Pijesak i kvarc mogu pozitivno utjecati na termalnu izdržljivost keramike koja je poglavito bitna kod sapnica koje se nalaze na izvoru visokih temperatura potrebnih za taljenje rude, od 1100 do 1250°C (moguće i više). Međutim, iz makroskopske analize keramičkih sapnica nije razvidno jesu li ove primjese namjerno dodane ili su odraz sastava lokalnih glina. Pojedine sapnice izrađene su od gline bez značajnijih primjesa pijeska (Tab 4.6: faktura/boja 12, 12a, 13). Potonje sapnice potječu s lokaliteta Virje Sušine (S-7), a pripadaju dvama vremenskim razdobljima – 4. –5. st. (tip 5) i 2/2 7. –8. st. (tip 3a i c). Sapnice tipa 3a javljaju se i na obližnjem položaju na Sušinama (S-5) te pokazuju fakturu nešto značajnije zasićenu pijeskom. Moguće je da je sastav glinene smjese uvjetovan sastavom

tla na mjestu prikupljanja te da zasićenost pijeskom nije odraz namjere poboljšanja tehničkih svojstava sapnica. Isti slučaj je i s fakturom stijenki peći, u kojoj je često vidljiva primjesa pijeska. Sastav tla u okolini svih lokaliteta ukazuje na gline, siltove i glinovite siltove te pijesak (Karta 6.3). Detaljna analiza profila tla s područja neposredno uz lokalitet Virje – Sušine i Hlebine – Dedanovice (Brenko et al. 2019: Tab. 3) pokazala je siltoznu i pjeskovitu ilovaču na profilima dubine do 150 cm. Moguće je da je ovakva faktura odraz iskorištavanja resursa prisutnih na istraženim lokalitetima, neposredno ispod površine tla. Sitne globularne ili nepravilne željezovite pedotvorenine (noduli) uočene su u strukturi stijenki peći kod gotovo svih lokaliteta, a poglavito su vidljive kod lokaliteta Hlebina–Dedanovice (T.30: 7). Ovakve pojave u tlu mogu se tumačiti kao razvojna faza močvarne željezne rude (vidi poglavlje 3.), a ako pretpostavimo da je iskorištavana glina iz neposredne blizine mjestu izgradnje peći, one svjedoče o potencijalu razvoja i mogućnosti postojanja ležišta u blizini radionica. Značajnija razlika u debljini stijenki peći nije vidljiva proporcionalno promjeni u dimenzijama nadzemne strukture. Tako se u kontekstu 4./5. st. pojavljuju stijenke vrata peći debljine 4,5 – 5,2 cm te 6,3 – 7,3 cm (Virje – Volarski breg, Sonda 7), a kasnije su u kontekstu kraja 6. i 7. st. zabilježene vrlo slične debljine stijenki peći (Virje – Sušine S-5: 6,5 – 8,5 cm i Hlebina – Velike Hlebina: 4, 4 – 7, 5 cm).

Promjena u dizajnu peći vidljiva je kroz evoluciju oblika sapnica. Na svim lokalitetima, u kontekstu iste vremenske pripadnosti javljaju se dva osnovna, morfološki različita tipa sapnica i njihove varijacije. Prema funkcionalno-oblikovnim karakteristikama ove tipove moguće je dovesti u vezu s talioničkim i kovačkim postupcima. U vremenskom okviru kraja 4. –5. st. koji je posvjedočen nalazima sa samo jednog lokaliteta (Virje – Sušine, S-5) vidljiva je pojava dužih sapnica, tankih stijenki i cilindričnog tijela koje se na krajevima proširuje (tip 5) i sapnica u obliku cilindra (1f). U narednom razdoblju, prema primjeru lokaliteta datiranog u širi vremenski period od 2/2 5. – 6. st, najkasnije do početka 7. st. mogli bismo reći da se značajnija promjena nije dogodila, te da oblici u ovom razdoblju slijede primjere iz 4. –5. st., a javljaju se vrlo blago stožaste (Tab. 4.6: 2d) i cilindrične sapnice (Tab. 4.6: 1d i e). Prva razina promjene mogla bi se pripisati razdoblju kraja 6. do 2/2 7. st. kada se u kontekstu radionica za proizvodnju spužvastog željeza simultano pojavljuju dva osnovna tipa sapnica, pretpostavljeno kovačkih - stožaste (3a) i talioničkih - blago stožaste (2a), gotovo standardiziranog načina izrade na oba lokaliteta pripisana ovom razdoblju (Sušine (S-5) i Velike Hlebina). Međutim, ova razina promjene nužno ne označava promjene u dizajnu peći niti tehnološkim rješenjima u odnosu na prethodno razdoblje i može biti odraz pojedinačnih stilova izrade sapnica. Kroz 2/2 7. st. talioničke sapnice

prisutne na lokalitetu Virje – Sušine (S-5) doživljavaju određene promjene vezane uz povećanje dimenzija i masivnosti (tip 2b). Ovakav tip promjene ujedno je i funkcionalna promjena (povećanje otvora i dužine) koja u skladu s ostalim arheološkim nalazima markira promjenu u dimenzijama i kapacitetu peći. Unutar vremenskog okvira 2/2 7.– 8. st. dolazi do daljnjih promjena u dizajnu sapnica te se pojavljuju cilindrične, masivne sapnice (Sušine, S-5: tip 1a i f te Volarski breg, S-1: 1f) - većih dimenzija i debljine stijenke, a uz njih, vjerojatnije tijekom 8. st. i blago stožaste, potencijalno namijenjene za kovačke instalacije (Virje – Volarski breg, S-1, tip 2c). Prvotna promjena sapnica iz blago stožastih u cilindrične tijekom 2/2 7. st., vidljiva na lokalitetu Virje – Sušine (S-5), vrlo je vjerojatno vezana uz postepeni razvoj i promjene u dizajnu peći, o čemu svjedoči simultana pojava ovog tipa, jednake fakture i načina pečenja kao i tipovi 2b i 3b.

Slobodno stojeće peći iz kojih je ispuštana zgora, predstavljaju širok pojam kako u vremenskim okvirima uporabe ovog tipa peći, tako u vidu dizajna. Ovaj tip peći, različitih varijacija u dizajnu, no funkcionalno istih karakteristika, javlja se na širokom Europskom području tijekom antike i srednjega vijeka (Pleiner 2000: 172–188). Međutim vrlo bliske analogije za razdoblje 4. –5. st. nisu identificirane. Najbliže analogije poznate su s prostora današnje Mađarske (Gömöri 2000) i dijela Austrije (Burgenland: lok. Dörfl i Drassmarkt)(Bielenin 1977), a datiraju od 7. do 9. st. (moguće i kasnije, do 10. st. prema Gömöri, Török 2002). Slobodnostojeće tipove peći J. Gömöri naziva Nemesker tip (eponimno prema lokalitetu na kojemu su identificirane) i Avarski tip (Gömöri 2000a: fig. 157:1, 2). Dizajn peći u velikoj je mjeri sličan s pećima datiranim u kraj 6. –poč. 9. st. na području Podravine (oblik nadzemne konstrukcije, vrata, dimenzije ognjišta), međutim progresivno povećavanje dimenzija unutrašnjeg ognjišta peći ovdje nije uočeno u odnosu na vremensku pripadnost. Prema J. Gömöri (Gömöri 2000a: 327) Nemesker tip peći može se smatrati tehnološkim nasljednikom Avarskog tipa peći prisutnog tijekom 7. –8. st. na istom području. U kasnijem radu isti autor upućuje na vremensko trajanje Nemesker tipa peći od 7. do 9. st. s mogućnošću datacije do u 10. st. (Gömöri, Török 2002). Razlika između ovih dvaju tipova je minimalna, a čini ju dubina ukopavanja ognjišta koja je kod avarskog tipa malo izraženija (Gömöri 2000a: 242, 327, fig. 157: 1; 57, 143, 150, 151). Oba tipa peći u osnovi su slobodnostojeća te je upitno u kojoj mjeri su ove razlike prisutne. U novijoj literaturi, spominje se samo avarski tip peći kada je riječ o blago ukopanim, slobodno stojećim pećima (Gallina 2002; Gallina et al. 2007a; 2007b; Török et al. 2015; 2018). Ovi tipovi peći pronađeni su na prostoru SZ, JZ i centralne Mađarske, a

datiraju od 7. do poč. 9. st.<sup>72</sup> U kasnijem razdoblju, na tlu Mađarske javljaju se peći ukopane u stijenu jame (Gömöri 2000: 242, fig.157: 4, 5 – Imola i Fajszi tip peći) koje datiraju u 10. st. (Fajszi tip) i 11. st. (Imola tip)(Gömöri 2000a: 240-243; 2000b; Gömöri, Török 2002: 377). Novija istraživanja ukazala su na pojavu prijelaznog tipa peći na lokalitetu Bátaszék-Nagyorros (Tolna, centralni dio Mađarske), datiranom u 8.-9. st. (Török et al. 2018: 407, fig.2), a prema materijalnim ostacima pripisanom avarskoj populaciji. Ove peći bile su dublje ukopane uz rub jame<sup>73</sup>, vrlo slične konstrukcije kao vremenski nešto kasniji tipovi Fajszi i Imola. Vjerojatno ključni lokaliteti, iznimni proizvodni centri su Zamárdi i Kaposvár-Fészerlakon, gdje su ostaci radionica za proizvodnju željeza istraženi kroz velika zaštitna istraživanja. Detaljnija objava lokaliteta, peći ili kompleksa radionica nije uslijedila, a autori istraživanja ove peći svrstavaju pod slobodnostojeće, tzv. avarski tip peći (Gallina 2002: 77–78; Gallina et al. 2007a: 160). Poznato je da je na lokalitetu Zamárdi prisutan niz radionica i talioničkih peći, čije dimenzije ognjišta iznimno variraju (od 30 do 90 cm) te su prisutni različiti tipovi sapnica, položaja ispusta zgure i vrata, a peći su pretpostavljene visine 70–90 cm (Török et al. 2018: 410, fig. 4.). Nasebinski dio lokaliteta tek je djelomično povezan s radioničkim prostorima, na što upućuje stratigrafija na lokalitetu, a određena razina pomicanja prostora radionica također je zamijećena kroz relativnu kronologiju kao i superpozicioniranje peći (Gallina et al. 2007a: 164 Török et al. 2018: 408). Kompleks radionica i naselja, na ukupnom prostoru od 1100 m duljine i 150–200 m širine, bio je u uporabi od sredine 6. stoljeća do kraja 9. stoljeća (Gallina et al. 2007a: 153–168; 2007b: 71–81; Gallina 2011: 179–198). Moguće je da široka varijabilnost u dimenzijama ognjišta i ostalim strukturnim dijelovima peći upućuje na sličnu promjenu kao i na prostoru Podravine, koju u ovom slučaju nije moguće uže datirati, već ju očekivati u širokom vremenskom okviru 6. –9. st. Na lokalitetu Kaposvár-Fészerlak dimenzije ognjišta peći su oko 30–35 cm (Gallina 2002: 77), a lokalitet je datiran od kraja 7. do sredine 8. st. (Török et al. 2018: 407). Potonji podaci govore u prilog da su samostojeće peći sličnog oblika i dimenzija bile prisutne na području JZ, ali i SZ Mađarske, te da je moguće očekivati slične promjene u dizajnu peći, i to sudeći prema lokalitetima Zamárdi i Kaposvár-Fészerlak, smještenima na prostoru bliskom Podravini, u regiji Somogy, jer je tendencija povećanja peći prisutna u nekom periodu potkraj 7. i u 8. –9. st.. Tada se pojavljuje i prijelazni tip peći – poluukopane u stijenu

---

<sup>72</sup> Neki od poznatih lokaliteta su: Nemesker, Ivan, Magyaratád (Gömöri 2000a, 109–110), Zamárdi (Gömöri 2000a, 211–213; Török et al. 2018: 236, fig.11; Gallina et al. 2007a: 160), Tarjánpuszta (Gömöri 2000a, 187–193; Pleiner 2000, 171, fig. 44: 1), Dénesfa (Gömöri 2000a: 62–63), te Kaposvár-Fészerlakon (Gallina 2002: 77–78). Kompletan popis istraženih lokaliteta vidi u: Gömöri 2000a, Gömöri, Török 2002.

<sup>73</sup> Sličan tip peći prepoznat je i na području današnje Austrije na lokalitetu na kojemu su prepoznati i avarski nasebinski ostaci (Mehofer 2010: 229, lok. Zillingtal, Burgenland).

jame na lokalitetu smještenom nešto istočnije od regije Somogy, neposredno uz Dunav (lok. Bátaszék-Nagyorros, Tolna regija).

### **5.1.2 Operativni parametri: način izvođenja postupka**

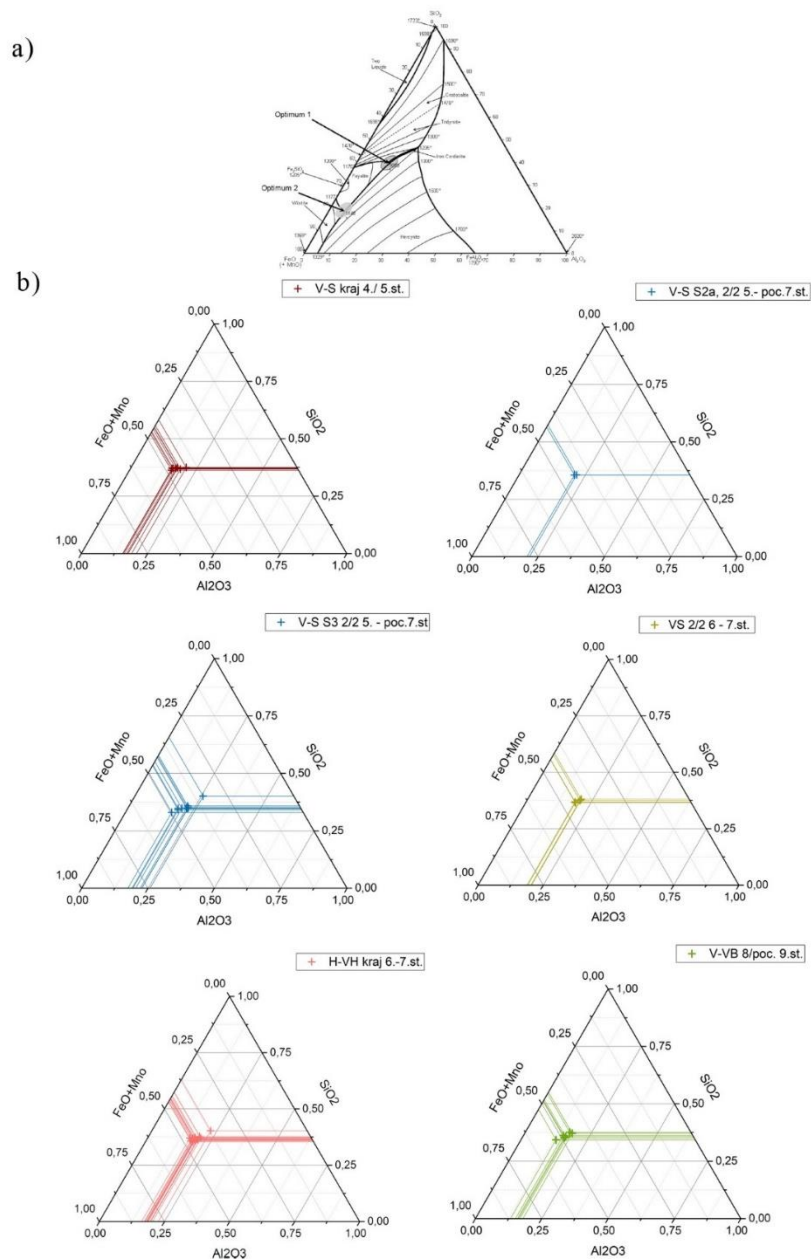
Operativni parametri podrazumijevaju tijek i način izvođenja postupka taljenja močvarne željezne rude. Na temelju morfologije zgure formirane kroz postupak redukcije moguće je pretpostaviti način upravljanja postupkom taljenja, odlukama o trenutku i načinu ispuštanja zgure i korištenim alatima. Kemijska analiza može ukazati na atmosferu u peći, postignute temperature, ali i zadane preduvjete poput odnosa reducensa (ugljena) i sirovine (rude) ili uporabu talitelja. Promjene ili sličnosti u načinu operiranja peći i talioničkim receptima mogu ukazati na kontinuitet ili promjene u proizvodnom procesu.

Kemijski sastav zgure odraz je utjecaja izvorišnih sirovina i uvjeta u talioničkoj komori, peći. Značajan utjecaj na elementni sastav zgure u prvom redu ima ruda, no određena razina utjecaja prepoznata je i od pepela od ugljena te tehničke keramike (sastava stijenci peći) i eventualne uporabe talitelja (Veldhuijzen, Rehren 2007; Charlton et al. 2010: 355, T.1; 2012: Tab.1; Crew et al. 2010).

Ternarni fazni dijagrami koriste se za definiranje termokemijskog ponašanja i uvjeta pod kojima je nastala zgura (Bachman 1982: 11). Poglavitito je bitan odnos sustava  $\text{FeO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ , obzirom da se radi o najzastupljenijim oksidima u sastavu zgure nastale direktnim procesom redukcije (Tab. 4.5). Dva područja (označena kao Optimum 1 i 2) su točke termokemijske privlačnosti, koje teoretski predstavljaju minimalni utrošak toplinske energije za postizanje tekućeg stanja, fajalitične zgure, potrebne kako bi postupak taljenja bio uspješan (Veldhuijzen, Rehren 2007; Charlton et al. 2010). Veldhuijzen et al. (2007) i Charlton et al. (2010) donose tezu da naganjanje jednom ili drugom optimumu može implicirati razlike u tehnološkim rješenjima odnosno načinu izvođenja postupka. Kao takvo, direktno reflektira ljudski faktor - odluke o načinu izvođenja postupka. Optimumi se mogu dovesti u vezu s razinom redukcije u peći odnosno atmosferom u peći, indirektno i odabirom omjera rude i ugljena pri punjenju talioničke peći te karakteristikama spužvastog željeza. Uzorci koji teže optimumu 1, imat će manji udio željezovih oksida (što ujedno znači i veći prinos u spužvastom željezu), a nastalo spužvasto željezo imat će veći udio ugljika (prema čeliku), no postoji mogućnost da se pretjerano karburizira ili prjeđe u lijevano željezo. Uzorci koji teže optimumu 2, potječu iz slabije redukcijske atmosfere u peći, a očekuje se i manji prinos u željezu (ostaje zarobljeno u

zguri koja posljedično ima veći udio željeza). Eksperimenti su ukazali da je kod zgure koja se približava Optimum 1 korišten odnos količine rude i ugljena 2:1 (Tylecote et al. 1971) ili 1.2:1 (Crew 2004) dok niži udio ugljena svrstava zguru bliže položaju Optimum 2.

Analiza odnosa  $\text{FeO (+MnO)} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$  kod uzoraka zgure iz postupaka redukcije sa svih lokaliteta (Sl. 5.2.) ukazuje da oni, u svim zadanim slučajevima, teže Optimumu 1. Prema tome, atmosfera u peći bila je izrazitije redukcijska, odnosno odnos ugljena naspram rude vrlo je vjerojatno bio između 2:1 i 1.2:1. Temperature postignute u pećima bile su između 1100–1300° C, optimalne za taljenje željezne rude (Sl. 1.1).



Slika 5.2. Grafički prikaz faznog dijagrama odnosa  $\text{FeO}(+\text{MnO})\text{-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ : a) fazni dijagram s označenim područjima Optimum 1 i 2 (Rehren et al. 2007; Charlton et al. 2010), b) fazni dijagrami s uzorcima talioničke zgure (podaci: Tab. 4.5., uvršteni su uzorci izljeva (IZ), zgure s dna talioničke peći (ZDP) i unutrašnjosti peći (ZUP) s istraženih lokaliteta)

Svi uzorci zgure, bez obzira na vremensku i prostornu pripadnost određenim radionicama pokazuju pripadnost jedinstvenom sustavu sličnih zadanih parametara koji mogu ukazivati na sličan način izvođenja postupka, ali i postignute rezultate postupka u vidu karakteristika spužvastog željeza. Drugim riječima, oni predstavljaju sličnost u odlukama izvođača procesa. Izrazita razina preklapanja ovih preduvjeta, uvjetovanih ljudskim faktorom, mogla bi ukazivati

na kontinuitet u načinu izvođenja postupka, jednu liniju primijenjenih parametara vezanu uz odnos rude i ugljena, postizanje određene temperature i atmosfere te u krajnjoj liniji ciljane karakteristike poluproizvoda (slična razina pougljičenja). Pri proizvodnji željeza teži se u nekoj mjeri pougljičenju (kakvo je prisutno kod čelika), no ovaj odnos, obzirom na izostanak analize nad uzorcima željeza vrlo je relativan. Težnja ka optimumu 2, mogla bi upućivati i na maksimalizaciju količine proizvedenog spužvastog željeza, obzirom da je ovakav sustav vezan uz veću mogućnost ekstrakcije željeza. Ona ujedno predstavlja i potencijalnu potrebu za uporabom talitelja kako se zgura s manjim udjelom FeO, nastala kroz ovakav proces ne bi ohladila unutar peći (Charlton et al. 2010: 357), odnosno učinila viskoznijom. Talitelji bi mogli biti sredstva koji potiču stvaranje zgure, silikatnog sastava, poput pijeska, gline ili kvarca. Uzevši u obzir prirodu močvarnih ruda koje se vrlo lako reduciraju te imaju značajno zastupljenu silikatnu komponentu upitno je da li bi uporaba ovakvog tipa talitelja bila neophodna. S druge strane, kod visoko kvalitetnih ruda, kakve su poznate s lokaliteta Dedanovice i Velike Hlebine (jedan uzorak), datiranih u 7. st. nije moguće isključiti i ovu opciju (Tab. 3.3, udio SiO<sub>2</sub> prilično je nizak naspram uzoraka s ostalih lokaliteta, između 4-7%). Trag ovakvog procesa možda je vidljiv upravo na lokalitetu Velike Hlebine kod kojega je primijećena značajna razlika u teksturi i strukturi izljeva, a pronađeno je i nekoliko vrlo atipičnih ulomaka zgure izrazitije sivo-zelenkaste boje i djelomično ili potpuno porozne fature (vidi poglavlje 4.1.2.1.3)(T. 14: 5, 6). Ovi uzorci nisu kemijski analizirani, međutim, pojavu zelenkaste površine i presjeka moguće je vezati uz pretjeranu zasićenost silikatima, na što je ukazalo eksperimentalno testiranje (Prilog 1). Generalno, udio SiO<sub>2</sub> u uzorcima analizirane talioničke zgure s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine je viši (22,52 – 32,57%) no kod ruda s istog lokaliteta (6,54–23,08%). Varijabilnost u teksturi i strukturi zgure primijećena je i kod ostalih lokaliteta, poglavito lokaliteta Virje – Sušine (S-7) koji pripada 4./5. st., međutim ovakvi uzorci uobičajeno su rijetko prisutni ili su inkorporirani u uzorke zgure klasične tamnosive boje i veće razine nataložnosti. Stoga, nije moguće isključiti uporabu talitelja kod visoko kvalitetnih močvarnih ruda, međutim ipak je potrebno uzeti u obzir da je isti efekt na makroskopskoj razini (kod cjelovito zelenkastih i poroznih uzoraka) mogao biti odraz propalog ili neuspješnog postupka taljenja zbog niske kvalitete rude, na što ukazuju rezultati eksperimentalnih testiranja (Prilog 1). S druge strane, o uporabi talitelja mogli bi svjedočiti sitne tvorevine (kvarc ? ili vapnenački sastav) koji se javljaju inkorporirane u zguru zalijepljenu za stijenke peći, kod uzoraka sapnica s lokaliteta Virje – Sušine (S-5), Volarski breg (2a i 1) te Hlebine – Velike Hlebine (Prilog 3.3.), datiranih od 2/2 5. do 8. i poč. 9. st.. Obzirom da nije izvedena analiza ovih tvorevina zalijepljenih u zguru, makroskopski je moguće povezati ovaj uzorak i sa



komadićima vapnenačkog sastava koji bi također imao veze s ulogom talitelja i povećanja prinosa u željezu. Močvarne željezne rude generalno imaju tendenciju ka visokom udjelu fosfora (Pleiner 2000: 136; Joosten 2004: 11), koja je posvjedočena i u analiziranim uzorcima rude s područja Podravine iz arheološkog (Tab. 3.3.: V-SS7 2, V-SS9 1, KI-LP 1 i 2, V-SS8 1) i geološkog (NP-MB 18, D-BG, P-C) konteksta. Izdvojeni uzorci imaju zastupljenost  $P_2O_5 \Rightarrow 1$ , a pripadaju različitim vremenskim razdobljima, kraju 4. –5. st. i 8. –poč. 9. st.. Fosfor može pozitivno utjecati na formaciju zgure, no istovremeno blokira apsorpciju ugljika u željezo (Pleiner 2000: 136). Njegov utjecaj ovisi o temperaturi u peći, a povećanjem temperature veći udio fosfora prelazi u metalnu fazu, spužvasto željezo (Baumeister, Kronz 2006). Visok udio fosfora može utjecati na kvalitetu željeza i učiniti ga lomljivim te otežati kovanje, ali i smanjiti izdržljivost i duktilnost željeza (Thiele et al. 2013), a slična svojstva željezu pridodaje i sumpor (Joosten 2004: 11). U literaturi se često spominje mogućnost dodavanja  $CaCO_3$ <sup>74</sup> ili CaO u svojstvu talitelja (Pleiner 2000: 136; Heinmann et al. 2001; Koscke 2002; Sperling 2003; Joosten 2004: 11) kako bi se smanjio udio fosfora u spužvastom željezu vezujući se u zguru ili povećao prinos u spužvastom željezu. Međutim, neupitne dokaze o dodavanju ovog talitelja pri procesu direktne redukcije teško je izdvojiti, prvenstveno zbog mogućnosti utjecaja više čimbenika u sustavu na kemijski sastav zgure.<sup>75</sup> Povišen CaO u zguri može se objasniti utjecajem kalcijevih karbonata ili oksida prisutnih kod rude, sastava unutrašnje obloge (stijenke) peći ili pepela od ugljena (Seernels, Crew 1997; Crew 2000; 2007; Pleiner 2000: 136, 252–253; Heinmann et al. 2001; De Rijk 2003; Charlton et al. 2012; Theleman et al. 2017: 481). U odnosu na uzorke fragmenata ruda iz geološkog i arheološkog konteksta na području Podravine (0,30-1,37% CaO glavina uzoraka i jedan geološki uzorak 5,67% CaO), analizirani uzorci zgure pokazuju generalno povišenu zastupljenost CaO (0,81-3,08% CaO glavina uzoraka, jedan 25,07% CaO). Ako se promotri odnos  $SiO_2$  kod uzoraka fragmenata uzoraka rude i uzoraka zgure generalno je vidljiva tendencija ka višem udjelu silikatne komponentne u zguri, iako ona nije isključiva (3,59-49,36% (rude) i 20,88-46,65%(zgure)).

Potonje bi mogli biti dokazi o korištenju obje vrste talitelja. Uporaba talitelja zasićenog CaO ili  $CaCO_3$  utjecala bi na umanjivanje količine fosfora i ekstrakciju veće količine željeza iz rude. Međutim, obzirom da analizirani uzorci pokazuju i značajniji odnos ugljena naspram rude u talioničkom sustavu, uporaba ovog talitelja mogla bi biti u vezi s umanjivanjem utjecaja fosfora

---

<sup>74</sup> U prirodi se nalazi u obliku sedimentne stijene vapnenca, mramora ili krede. Vapnenačke naslage nastaju od ostataka morskih školjakaša i puževa (HE 2022).

<sup>75</sup> Praksa dodavanja sredstava (talitelja) koje će omogućiti učinkovitije otpuštanje željeza i spriječiti njegovo vezanje uz zguru poznata je iz procesa taljenja kod visokih peći (Cleere 1972: 205; 1981: 55).

naspram apsorpcije ugljika u željezo, ako je tendencija prozvodnja pougljičenijeg željeza. S druge strane, korištenje talitelja zasićenog silikatima, poput kvarca, pijeska ili gline moglo bi biti u funkciji proizvodnje veće količine jače pougljičenog spužvastog željeza. U tom smislu uporaba talitelja bila bi prisutna zbog potrebe za povećanjem viskoznosti zgure kod visoko kvalitetih ruda, koje se tale pod izrazitije redukcijskim uvjetima, s udjelom ugljena između 2-1.2:1.

Prema Charlton et al. (2010: 357) ovakav tip talioničkih recepata koji načelno teže većoj ekstrakciji željeza mogu se dovesti u vezu s ekonomijama kod kojih je odnos potrebe za željezom visok, a konkurencija značajna. Međutim, u slučaju Podravine, moguće je da objašnjenje leži i u odlikama krajolika i lakoj dostupnosti drva, nasljedno i ugljena potrebnog za redukciju i u krajnjoj liniji, preferenci proizvođača te pokušaju ovladavanja s kvalitetom željeznog poluproizvoda.

Iako svi analizirani uzorci pokazuju značajne sličnosti vezane uz način izvođenja postupka i svojstava proizašlog poluproizvoda, vidljive su određene razlike, povremeni događaji zabilježeni u zguri. Indeks željeza koje je moguće reducirati (Tab. 4.5: RII ( $2.39 \cdot \text{FeO}/\text{MnO} + \text{SiO}_2$ ), prema: Charlton et al. 2010) može ukazati na efikasnost procesa redukcije. Ovaj indeks u načelu odražava odnos glavnih oksida u sustavu zgure, a njegovu vrijednost moguće je korelirati s uspješnošću postupka taljenja. Ako je indeks redukcije  $> 1$ , uzorci zgure zasićeni su željezom te je u njima sadržan višak FeO. Indeks  $< 1$  odražava značajniju zastupljenost  $\text{SiO}_2$ <sup>76</sup> a time, načelno i značajniju uspješnost procesa. Indeks redukcije željeza za uzorke zgure s svih lokaliteta prilično varira, 0,54 – 4,37. Glavnina uzoraka zgure (34 uzorka, 75%) ima indeks redukcije 1–1,5 što svjedoči o prevladavajućem postotku efikasnosti postupaka taljenja iz kojih su proizašli uzorci zgure, s optimalnim izlaznim proizvodom naspram mogućnosti koje pružaju karakteristike osnovnog parametra uspješnosti, rude (i potencijalno uporabe talitelja). Međutim, nešto niži indeks redukcije ( $> 1$ ) ima manji broj uzoraka (ukupno devet – 20%) s lokaliteta Virje – Volarski breg (S-1) i Sušine (S-7) te Velike Hlebine datiranih u različit vremenski period. Pojava ovakvih uzoraka svjedoči o povremenoj nižoj efikasnosti procesa redukcije. Potonje je moguće objasniti kroz prirodnu varijabilnost sastava, poglavito udjela glavnih oksida kod močvarnih ruda ( $\text{SiO}_2$ , FeO, MnO) koje reflektira RII, te različitu kvalitetu iskorištavane rude, zbog čega kontrola procesa redukcije ponekad nije

---

<sup>76</sup>  $\text{SiO}_2$  ima dvoznačnu ulogu kod procesa redukcije ruda te može djelovati pozitivno i potaknuti odvajanje zgure no ako je njegov udio visok, može onemogućiti izdvajanje spužvastog željeza (detaljnije vidi eksperimentalno testiranje: Prilog 1 i poglavlje 3.1.4.1)

moguća. Rijetki uzorci s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine i Virje – Volarski breg (S-3) imaju izrazito visok indeks redukcije od 4,04 (Tab. 4.5: V-VB S3 T IZ 2) i 3,26 (Tab. 4.5: H-VH T SKL 1). Eksperimentalna testiranja taljenja rude s položaja Kalinovac – Hrastova greda (Prilog 1) ukazala su da ako je indeks veći od 2, postupak taljenja vrlo vjerojatno nije bio uspješan, obzirom da je zasićenost rude silikatima uzrokovala rano stvaranje fajalita i onemogućila sinteriranje spužvastog željeza. Uzorak s lokaliteta Velike Hlebine je dio kružne tvorevine s dna talioničke peći (primjer: T.13:1), sastavljene od zapečenog pjeskovitog dna i zgure, stoga je ovakav indeks odraz karaktera samog uzorka (zasićenost silikatima-pijesak pri dnu) i ne može se smatrati referentnim za uspješnost procesa taljenja. Međutim, na lokalitetu Virje – Sušine (S-3), više faktora ukazuje na određene probleme i nekonzistentnost pri izvođenju postupka taljenja. Uzorak s visokim RII (T.11: 5) makroskopski je izrazito karakterističan, te nosi ulomak spužvastog željeza utopljen u zguru. Zgura je staklaste strukture, plavičaste boje što može upućivati na postizanje izrazito visokih temperatura u peći. Visoke postignute temperature mogle su ubrzati sagorijevanje ugljena, uzrokovati odvajanje značajne količine zgure vrlo rano u tijeku postupka što bi onemogućilo pravilno sinteriranje spužvastog željeza. Postizanje viših temperatura vidljivo je i iz ternarnog dijagrama za ovaj uzorak (Sl. 5.2).<sup>77</sup> Nepravilno sinteriranje i nemogućnost formiranja spužvastog željeza, prema primjeru ekperimentalnog testiranja (Prilog 1.) može biti odraz korištene rude, u prvom redu nepročišćenih i/ili ruda loše kvalitete ili ako uzmemo u obzir potencijalnu uporabu talitelja, krive procjene i pretjerane uporabe sredstava koji potiču proces formiranja zgure. Pojava ulomka željeza u zguri govori o loše sinteriranom spužvastom željezu, odnosno nekompaktnom konglomeratu, koji se pri vađenju iz peći mogao raspasti te na taj način završiti u zguri. Ostali uzorci zgure s dna talioničke peći iz istog konteksta, u strukturi u pravilu imaju željezne čestice (T.11: 3-4). Ovakva situacija generalno nije učestala kod analiziranih uzoraka bez obzira na arheološki kontekst. U istom kontekstu, u S-3, pronađena je i sapnica s nakupinom zgure u otvoru (SJ 001/180, N 261/56), koji se tankom kružnom alatkom pokušao odčepiti dok je zgura bila u tekućem stanju. Svi ovi nalazi ukazuju na gubitke u željezu ili neuspješnost procesa taljenja, barem jednom, a vrlo vjerojatno u više navrata.<sup>78</sup> Osim ovog uzorka ostali uzorci u istom kontekstu (S-3) pokazuju izrazitiju varijabilnost u sastavu te širok raspon indeksa redukcije (0,63 – 4,04). Potonje može ukazivati na nesustavno izvođenje postupka te manjak

---

<sup>77</sup> Uzorak nije mineraloški analiziran jer ga nije bilo moguće usitniti u finu frakciju, upravo zbog visoke zasićenosti željezom te je analiziran isključivo za kemijski sastav.

<sup>78</sup> O više postupaka taljenja i to potencijalno neuspješnih svjedoče pojedinačni ulomci zgure s dna peći u istom kontekstu – sloju otpada SJ 180. Ovi uzorci redom su zasićeni željeznim česticama, a pronađene su i dvije sapnice od kojih je jedna u potpunosti začepljena, a druga s tragovima zgure u otvoru.

kontrole procesa, neiskustvo pri izvođenju postupaka taljenja. Upravo ovaj uzorak ima izrazito visok udio CaO, čak 25,07 %, pri čemu je moguće pomišljati da je zbog pretjerane uporabe talitelja došlo do neuspjeha u procesu proizvodnje. Primjer začepljene sapnice javlja se i u obližnjoj, potencijalno istovremenoj sondi 2a (T. 28: 4) te u kontekstu radionice na Volarskog bregu koja pripada 8./9. st.. Ovakvi ulomci općenito su rijetki u arheološkom kontekstu istraženih radionica te se kao takvi mogu smatrati izoliranim, povremenim slučajevima. Ipak ukazuju na nepredvidljive faktore utjecaja, te povremenu nemogućnost kontrole procesa taljenja. Izuzev pojedinačnih nalaza, glavnina analiziranih uzoraka zgure ukazuje na manju varijabilnost u izvođenju postupaka unutar pojedine arheološke cjeline te međusobnu sličnost, obzirom da indeks redukcije varira na pojedinom lokalitetu u glavnini malo ispod vrijednosti 1 i do 1,5.

Uzrok nemogućnosti kontrole procesa može se ogledati u uporabi talitelja, međutim potonje je potrebno sagledati u odnosu na primarni faktor utjecaja, rudu, koja značajno varira u sastavu i kvaliteti. U kontekstu prirodne varijabilnosti rude, rješenja poput korištenja jedne ili druge vrste talitelja (silikatni ili karbonantni, kalcitni) mogu završiti neuspješnim postupcima. Prema kemijskoj analizi zgure i rude iz arheološkog konteksta 4./5. st. moguće je zaključiti da je varijabilnost ruda korištenih u radionicama općenito izraženija tijekom razdoblja od 4./5. st. do 2/2 6. –poč. 7. st. Varijabilnost se ogleda i u tehnološkoj iskoristivosti ruda (kvaliteti) ali vjerojatno i korištenju različitih izvorišta, mikrolokacija ležišta za potrebe jedne radionice. Nasuprot tomu, konzistentna kvaliteta i velika sličnost sastava zgure i ruda koja se može dovesti u vezi s izvorištem, ali i načinom izvođenja postupka, prisutna je na lokalitetima datiranim u 2/2 6. –kraja 7. st. bez obzira na prostornu pripadnost (Virje – Sušine i Hlebine – Velike Hlebine). U narednom razdoblju, 8. i početka 9. st., vidljiva je prisutnost ruda konzistentno niske kvalitete (vidi poglavlje 3.1.1.2, Sl. 3.3-3.4), ali i naznaka uspješnosti procesa redukcije (Tab. 4.5: uzorci VVB S1 - RII od 1,20 do 1,24) te značajna sličnost među uzorcima zgure s lokaliteta Volarski breg (S-1) koja se može dovesti u vezu s iskorištavanjem jedinstvenog izvora rude (vidi poglavlje 4.2.2.2, sl. 4.14, 4.15). Potonji uzorci pripadaju zguri pronađenoj unutar ognjišta i jame za istek zgure (tab. 4.3, uzorci: VVB S1) te mogu svjedočiti o jednoj sesiji taljenja uporabom rude iz istog izvorišta.

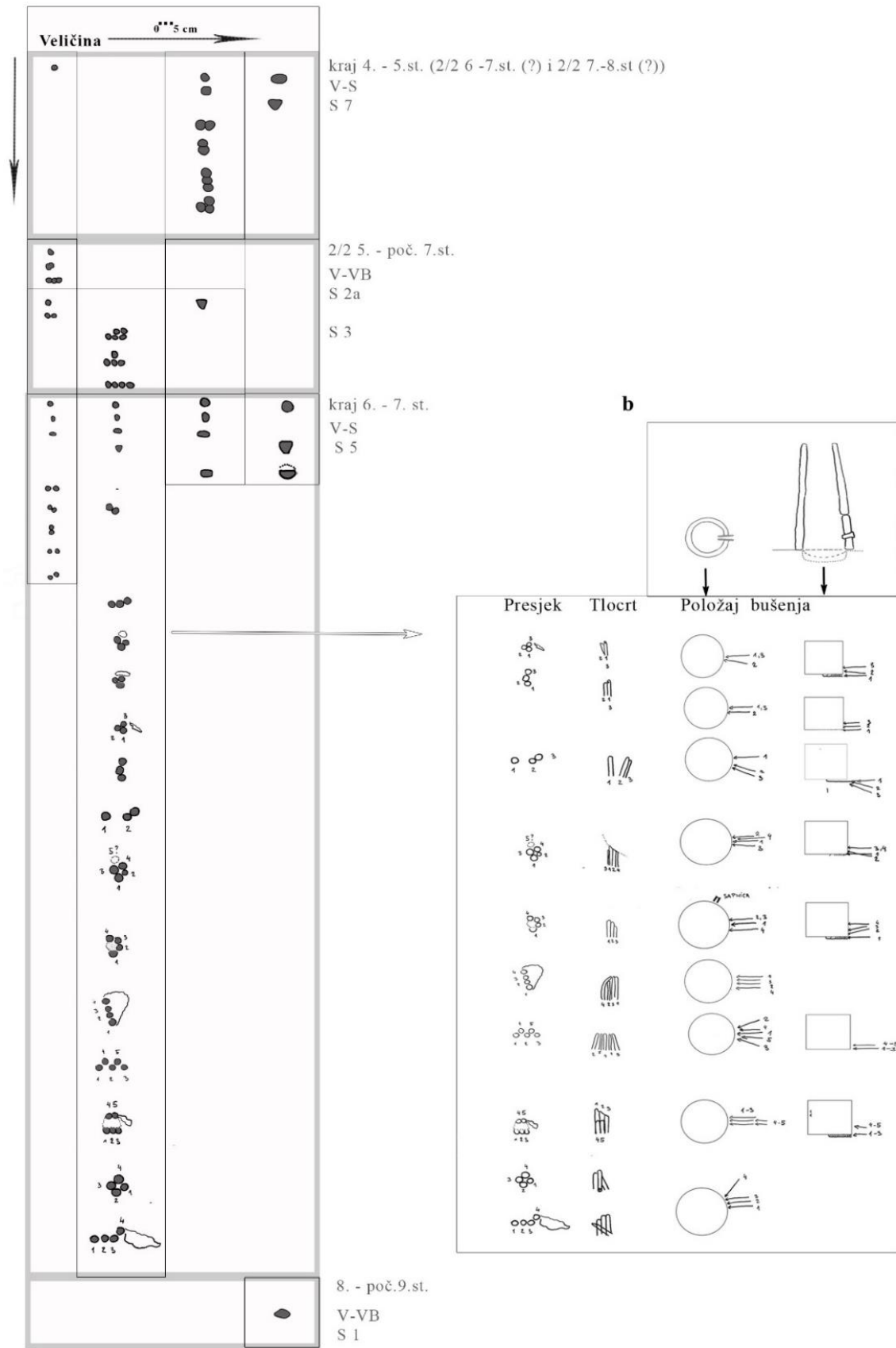
Morfološka analizu zgure također svjedoči o načinu izvođenja postupka, no o sasvim drugim razinama ophođenja s postupkom. Vođenje procesa taljenja podrazumijeva niz odluka izvođača, poput odabira trenutka, načina i položaja za ispuštanje zgure iz ognjišta peći te odabir alata. Na glavnini lokaliteta, bez obzira na vremensku i prostornu pripadnost, vidljive su

sličnosti u načinu ophođenja s postupkom. Zgura je ispuštana iz peći uglavnom u dva ili više navrata s vremenskim odmakom dovoljnim da se sloj prethodno ispuštene zgure solidificira, o čemu svjedoče izljevi s jasno vidljivim slojevima zgure u strukturi presjeka. Položaj ispuštanja vjerojatno je bio s bočne strane peći (bočno od dovoda zraka – sapnice) ili na položaju podalje od zone najviše temperature u peći o čemu svjedoči tip zgure (razvedena s ugljenom – kruna peći) ili karakteristike stijenki peći (unutrašnji dijelovi nisu vitrificirani) vezanih uz isteke. Jedini slučaj u kojemu je prepoznato ispuštanje zgure s prednje strane peći su nalazi isteka s lokaliteta Virje – Sušine (Sonda 2a) datiranog u 2/2 5. –poč. 7. st.. Otvori za istek bušeni su u razini ognjišta, vrlo vjerojatno ispod dna nadzemne konstrukcije peći, o čemu svjedoči tekstura bočnih i donje površine kod glavnine isteka te zalijepljeno dno stijenke peći na pojedinim primjerima. Ovaj lokalitet karakterističan je i po izostanku zgure iz okna ili dna peći koja je izrazito razvedena s otiscima nedogorenog ugljena. Potonji tip zgure čini morfološki najzastupljeniji i karakterističan oblik zgure iz unutrašnjosti peći na svim ostalim lokalitetima. Njegova zastupljenost i pojava na svim lokalitetima svjedoči o sličnom odabiru trenutka ekstrakcije spužvastog željeza. Ako uzmemo u obzir i podzastupljenost zgure s dna peći te *in situ* nalaze cjelovite zgure iz jednog taljenja, moguće je zaključivati o dinamici korištenja peći. Zgura izrazito razvedena ugljenom ukazuje na izvlačenje spužvastog željeza iz peći, ali i čišćenje peći od zgure prije potpunog sagorjevanja ugljena. Ovaj trenutak u tijeku postupka taljenja vrlo je logičan za prekidanje procesa upuhivanja zraka i ekstrakciju spužvastog željeza. U tom slučaju, ne postoji opasnost od hlađenja željeza i utapanja u zguru što bi se moglo dogoditi po produživanju procesa i potpunom sagorjevanju ugljena – izostanku redukcijske atmosfere i smanjenju temperature. U slučaju izvođenja postupka kompaktiranja, ovakav pristup osigurao bi efikasnije (duže) kompaktiranje, a može se dovesti u vezu sa zadržavanjem visoke temperature spužvastog željeza. Temperatura bi u slučaju produžavanja procesa i sagorjevanja ugljena na razinu ili ispod spužvastog željeza opala do trenutka izvlačenja iz peći. Učestala pojava zgure razvedene tragovima nedogorenog ugljena svjedoči i o čišćenju peći neposredno nakon postupka, što posredno ukazuje na višestruku uporabu iste peći, u manjim vremenskim razmacima. Hlađenje zgure unutar peći, u neku ruku onemogućuje daljnje postupke jer se zgura može zalijepiti za stijenke te pri vađenju postoji opasnost od razaranja peći. Postojanje zgure nataložene i ohlađene pri dnu peći, njezina niska zastupljenost kao i nalazi *in situ* zgure unutar ognjišta i jamica ispred peći, na lokalitetima Virje – Volarski breg i Sušine i Velike Hlebine, svjedoči o povremenim odstupanjima od ovog pravila odnosno implicira da su se aktivnosti višestrukih taljenja izvodile s vremenskim odmakom (sezonski/kampanjski) na svim istraženim lokalitetima.

Određena razina individualnosti i specifičnih stilova ophođenja s postupkom vidljiva je kroz mehanizam ispusta zgure. Isteci, otisci čina ispuštanja zgure i bušenja otvora ukazuju na standardizaciju unutar pojedinog vremenskog i prostornog konteksta, ali i individualni pristup, odluke o načinu ispuštanja zgure (Sl. 5.3.). Oblik i veličina isteka može se dovesti u vezu s karakteristikama korištene alatke, dinamikom ispuštanja zgure (višestruko ili u jednom mahu) te veličinom otvora za ispušt. Razlike u veličini otvora za ispušt zgure mogu implicirati i relativan odnos količine ispuštene zgure, nasljedno količinu rude kojom je peć zapunjena i krajnjeg proizvoda, spužvastog željeza. Višestruki, jasno odvojeni isteci mogu svjedočiti o ritmu ispuštanja zgure u više navrata o čemu svjedoče i višeslojni izljevi, a obje karakteristike ovih tipova zgure prisutne su na svim promatranim lokalitetima. U pojedinim kontekstima (Virje Volarski breg S-2a i 3, Sušine S-5 i 7) pojavljuju se skupa s jednostrukim istecima te svjedoče o različitoj metodi ispuštanja zgure unutar istog prostornog i vremenskog konteksta. Uzroci varijabilnosti mogu biti višestruki, poglavito na lokalitetima kod kojih je prisutno više faza boravka na istom prostoru. Oni se mogu ogledati u kvaliteti i količini rude, viskoznosti zgure koja istječe te nasljedno potrebi za proširivanjem isteka, ali i nepronicljivim bihevioralnim čimbenicima. Najviša razina varijabilnosti u načinu ispuštanja zgure prisutna je na lokalitetu Virje – Sušine (S-5) kod kojega je kemijska analiza uzoraka zgure pokazala priličnu jednoličnost u operativnim parametrima. Na ovom položaju pretpostavljena je evolucija proizvodnih procesa i kontinuitet u proizvodnji na temelju tipova sapnica i njihove asocijacije sa stratigrafskim odnosima i radiokarbonskim datumima, tijekom ili u nekom segmentu razdoblja 2/2 6. – 2/2 7. s t. (sporadično se aktivnosti izvode i u 8. st.). Prema tome, upravo ovdje se događala promjena pripisana istoj skupini izvođača ili liniji proizvodnje. Nalaze isteka moguće je povezati s ovom tezom (vidi poglavlje 4.3.1.). Prva faza na ovom lokalitetu pokazuje određenu razinu standardizacije, višestrukih uporaba sapnica istog tipa za talioničke i kovačke postupke, a veže se uz peći manjeg kapaciteta. S njom u vezu mogli bi se dovesti isteci manjeg promjera, jednostruki ili dvostruki koji su ujedno i najzastupljeniji (Sl. 5.3.). O povezanosti dvostrukih malih isteka s pećima manjeg promjera svjedoči jedan cjelovitiji uzorak zgure, pronađen u uskoj jami koja je pri istraživanju prepoznata kao potencijalni ostatak jamice za istek zgure i ognjišta *in situ* peći (T.5). Drugu fazu obilježava razdoblje istraživanja i promjene, povećanja kapaciteta peći i pretpostavimo - tendencija ka proizvodnji veće količine željeza. Pretpostavljeno je da je potonja promjena proizašla od iste skupine izvođača ili linije proizvodnje te da ne predstavlja vanjski utjecaj, obzirom da se pojavljuju sapnice istih tipova, fakture i boje pečenja, no vidljivog povećanja dimenzija i općenito masivnosti. Prema zastupljenosti sapnica dvaju karakterističnih tipova (2b/3b), u ovoj fazi izveden je manji broj

taljenja nego u prethodnoj i narednoj na istom prostoru (16-17 pojedinačnih postupaka), što potencijalno odražava i kraće trajanje ove faze. Njoj bi se mogli pripisati višestruki isteci, jednakog pojedinačnog promjera kao i jednostruki te dvostruki (alatka sličnih svojstava) (Sl. 5.3), pripisani ranijoj fazi. Njih karakterizira izrazita varijabilnost (svaki pokazuje jedinstven način bušenja) ali i uporaba alatke istih svojstava (dimenzije pojedinačnih isteka) i težnja ka jednakom krajnjem ishodu (kumulativno više isteka na jednom uzorku čine sličan promjer otvora kod svih uzoraka)(Sl. 5.3). Varijabilnost među istecima s istim krajnjim ishodom (veličina otvora) i generalno niska zastupljenost može se dovesti u vezu s procesom istraživanja i adaptacije novih rješenja, odnosno drugom fazom iskorištavanja ovog prostora u svrhu proizvodnje željeza. Treću pretpostavljenu fazu karakterizira uspostavljen sustav i određena razina standardizacije pri korištenju peći većih dimenzija. U potonjoj fazi, prema zastupljenosti sapnica izvedeno je više pojedinačnih postupaka taljenja nego u prethodnoj (29-36 postupaka). Ovoj fazi mogli bi se pripisati jednostruki isteci trećeg reda veličine promjera koji svjedoče o promjeni u tipu alatke. Iako je promjer same alatke povećan, promjer krajnjeg izbušenog otvora je vrlo sličan kao i kod višestrukih isteka, što se iznova može dovesti u vezu s prilagodbom i standardizacijom odnosno promjenom u uporabi alatke, potaknutu boljom efikasnosti – direktno bušenje jednog većeg otvora za izlivanje veće količine zgure, naspram višestrukog bušenja manjih otvora.

Malobrojni jednostruki isteci srednjeg reda veličine mogli bi se dovesti u vezu s fazom funkcioniranja ovog prostora tijekom 4./5. st. te povezati sa sličnim istecima na obližnjem položaju Virje – Sušine (S-7). Prema upotrijebljenim alatkama, čini se da je značajnija razlika vidljiva u odnosu kraja 4./sredine 5. st. i 2/2 5. st. – poč. 6. st., a očituje se u smanjenju promjera alatke za bušenje otvora. Nakon toga, u trenutku povećanja dimenzija peći, u nekom periodu oko 2/2 7. st.. otvor postaje veći iako alatka ostaje ista kao i u prethodnom razdoblju 2/2 6. st. – poč. 7. st. Potom slijedi povećanje alatke kakva je prisutna i u kontekstu nešto mlađeg lokaliteta Virje – Volarski breg (S-1) koji datira u 8./poč. 9. st. što stoji u vezi s povećanjem kapaciteta peći i proizvodnjom veće količine željeza u jednom postupku taljenja.



Slika 5.3. a) Prikaz presjeka, veličine i oblika isteka prisutnih na istraženim lokalitetima, b) varijabilnost načina bušenja višestrukih isteka prisutnih na lokalitetu Virje – Sušine (S-5)



### 5.1.3 Poluproizvodi i resursi – utrošak i prinos u jednom talioničkom postupku

Cjelovita zgura iz jednog postupka taljenja pronađena je na lokalitetu Hlebine–Velike Hlebine (kraj 6.–7. st.) i Virje–Volarski breg (8.–poč. 9. st.). Na lokalitetu Virje – Sušine (Sonda 7) zgura iz jednog taljenja pronađena je u kontekstu zapune jame, u neposrednoj blizini otpada datiranog u kraj 4.–5. st. Na ostalim lokalitetima nisu pronađene cjelovite zgure iz jednog taljenja, ali nam je s većine lokaliteta poznata masa cjelovitih ili procjenjena masa izljeva očuvanih iznad 80–85% te je na temelju ovog podatka moguće relativno sagledati omjere odnosa mase izljeva. Naravno, potonje funkcionira samo uz pretpostavku da su u talioničkim procesima izljevi ispuštani na sličan način te da je jedan cjeloviti izljev odraz jednog talioničkog procesa. Prema podacima (Tab. 5.1) je vidljivo relativno povećanje težine izljeva, odnosno količine proizvedenog željeza i nasljedno utrošene rude i ugljena, između uzoraka zgura formiranih u talioničkim postupcima datiranim u kraj 4. –5. st. i kraj 6. –7. st. Međutim, potonji podaci govore i da nije bilo značajnije promjene u odnosu između 4./5. st. (Virje – Sušine (S-7)) i kraja 6. –sredine 7. st. (Hlebine–Velike Hlebine) te da su značajnije oscilacije u težini pojedinačnih izljeva vidljive tek na lokalitetu Virje – Sušine (S-5) na kojemu je ustanovljeno trajanje i u 2/2 7. st. te potencijalno i u 8. st. (jedinствена pojava sapnica sličnih lokalitetu Virje – Volarski breg (S-1)). Dodatno povećanje vidljivo je iz podataka o težini ukupne zgure iz jednog postupka redukcije, s lokaliteta Virje – Volarski breg datiranog u 8. –poč. 9. st. Ovi podaci u skladu su s promjenama uočenim i u vezi s dizajnom peći te povećanjem mase kovačkih zgura, pripisanim 2/2 7. i 8. st.. Odmak od ovog pravila čine uzorci zgure datirani u široki vremenski period 2/2 5. –poč. 7. st. koji potječu s lokaliteta Virje – Volarski breg (S-3), čije težine izljeva pariraju uzorcima datiranim vrlo vjerojatno u 2/2 7. st. na lokalitetu Sušine (S-5). Ovo bi se moglo objasniti specifičnim okolnostima načina proizvodnje željeza u ovom kontekstu, opisanom u prethodnom poglavlju, pri čemu bi veća težina izljeva mogla označavati drugačiji način izvođenja postupka (ispuštanje veće količine zgure), zasićenost zgure s česticama željeza (dodatna masa). Međutim, moguće je i da je u ovom širokom vremenskom okviru u koji su datirani ovi nalazi, ipak došlo do povećanja količine proizvedene zgure naspram ranijeg razdoblja, kraja 4./5. st.

Tab. 5.1. Podaci o masi analiziranih uzoraka zgure iz jednog postupka taljenja i o ukupnoj težini cjelovitih izljeva ili izljeva iznad 80-85% očuvanosti (pretpostavljena masa) iz istraženih arheoloških konteksta.

Datacija	Lokalitet-položaj	Uzorak - izračun	Zgura iz jedinstvenog postupka/g	Izljev/g - min.	Izljev/g - max.	Izljev/g indikativni-ostali	Napomena-kontekst
kraj 4.-5.st.	Virje Sušine (S-7)	V-S S-7 - 1	3765				T.1:1
	Virje Sušine (S-7)			682	2176		
				465	9308		
kraj 4.-5.st. i 2/2 6-7.st.	Virje Sušine (S-5)					1573 i 844 1157 2020 2393 3617	Dva ulomka izljeva iz zapune pretpostavljene, djelomično istražene peći - Sl. 2.5 (SJ 270/271 (promjer-28 cm))
2/2 5. - poč.7.st	Volarski breg (S-3)			3381	3498		T.11: 6
kraj 6-sred.7.st. (s mogućnošću trajanja u 2/2 7.st.)	Hlebine - Velike Hlebine	H-VH S-1-1	3985				Zapuna ognjišta i jamice peći (Sl. 2.14: Peć III;. T. 12:1-Peć III, 13.)
		H-VH S-1-2	3478				Sl.2.14: Peć II - ukupna količina odnosi se na zguru pronađenu u zapuni ognjišta i jamice peći. Rekonstruirana zgura iz jednog postupka nije cjelovita (Peć II: T.12:1, 2) a teži 2920 g - predstavlja minimalnu količinu.
				3047	3148		
8.-poč.9.st.	Volarski breg (S-1)	V-VB S-1-1	8445				T. 8
		V-VB S-1-2	8444				T.9.
						2221	T. 8: 1b - ulomci u zapuni jame za izljev zgure. Moguće iz zasebnog postupka.

Eksperimentalna testiranja taljenja močvarne željezne rude iz Podravini bliske regije Somogy na području Mađarske pokazala su relativne omjere utroška rude naspram krajnjeg proizvoda (Karavidović 2020b). Ruda korištena u ovim eksperimentalnim testiranjima imala je oko 70, 10 – 73,50%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (prema: Thiele 2014: T.1.2.2: 9–11), odnosno sličan sastav i zastupljenost željeznih oksida kao i glavnina kvalitetnijih ruda korištenih tijekom kasne antike i ranoga srednjeg vijeka na prostoru Podravine. Naknadno eksperimentalno testiranje procesa primarnog kovanja jednog spužvastog željeza proizašlog iz eksperimenata taljenja ukazalo je na teoretsku količinu dobro pročišćenog, sabijenog željeza i daljnje gubitke u zguri (Tab. 5.2.). Pojedini autori iznijeli su relativne omjere mase upotrijebljenih resursa (rude) naspram finalnog proizvoda u postupku taljenja (kompaktiranog spužvastog željeza) (Tab. 5.3.) koji ukazuju na sličan omjer odnosa kao i rezultati eksperimentalnog testiranja, iako kumulativno, razlike mogu biti značajne. Kako bi se izrazila moguća varijabilnost prinosa u spužvastom željezu i količini korištene rude, pri izračunu o količini upotrijebljenih sirovina i prinosu u poluproizvodima korišteni su svi dostupni podaci (eksperiment i literatura) u svojstvu minimalnih, optimalnih (regionalna ruda) i maksimalnih vrijednosti (Tab. 5.4 i 5.5.). Za izražavanje potrošnje ugljena korišteni su podaci iz eksperimentalnih testiranja, kao maksimalna i minimalna količina. Potonje je u vezi s načinom izvođenja postupka taljenja u eksperimentima, produženog trajanja s većim utroškom resursa (dodavanje ugljena nakon zadnjih mjerica ruda - maksimalna) i kraćeg trajanja s manjim utroškom (prekid dodavanja ugljena nakon zadnjih mjerica ruda - minimalna) (Tab. 5.2). Omjer rude i ugljena u provedenim eksperimentima bio je 1:1, međutim analiza odnosa zastupljenosti glavnih oksida u uzorcima zgure (vidi poglavlje 5.1.1.2., Sl. 5.2.) ukazala su procesi redukcije, bez obzira na vremensku i prostornu pripadnost analiziranih uzoraka, vrlo vjerojatno vođeni pod značajnijim udjelom ugljena naspram rude (2-1.2: 1). Iz tog razloga, u krajnjem izračunu količina ugljena je proporcionalno povećana u odnos na eksperiment (Tab. 5.4). U provedenim eksperimentima zabilježen je i gubitak u masi rude prikupljene iz ležišta i relativno osušene te pržene i usitnjene rude (vidi Prilog 1.; Karavidović 2020a), u svrhu izražavanja potencijalne količine rude potrebne za formiranje određene količine zgure (ukupne podatke za pojedinu radionicu vidi poglavlje 6.3). Eksperimenti su pokazali da je gubitak u težini značajan, a uzrokovan je: 1) dehidratizacijom rude, 2) gubitcima u masi zbog usitnjavanja (pucanje ulomaka tijekom prženja i gubitci pri usitnjavanju) (vidi Prilog 1.; Tab. 5.2.).

Izračun utroška sirovina i prinosa u (polu) proizvodima nastalim procesom redukcije i postredukcije, napravljen je na temelju talioničke zgure i cjelovito očuvanih uzoraka, ili mase zgure iz zatvorenog konteksta zapune peći sa zgurom iz jedinstvenog postupka pronađenom *in situ* (Tab. 5.4 – 5.5). Obzirom na moguću varijabilnost u načinu izvođenja postupaka između eksperimenatlnih testiranja i arheološki identificiranih postupaka, pri izračunu se držalo jedinstvenog arheološkog podatka - talionička zgura (ZR) te je izračunat njezin odnos prema masi rude korištene u postupku (R) te prikupljene iz ležišta (RL), ugljena (U), spužvastog kompaktiranog željeza (SŽK) i krajnjeg proizvoda – željeza pročišćenog primarnim kovanjem (ŽPK), bez uključivanja ostalih mogućih varijabli u izračun, poput izoliranja podataka o masi kovačke zgure. Ovaj izračun, poglavito masa pročišćenog željeza vrlo je relativan, obzirom da nemamo saznanja u kojoj mjeri je željezo bilo pročišćeno i kakav je (polu)proizvod izlazio iz radionica, niti parametre procjene razine pročišćavanja eksperimentalnih uzoraka naspram poluproizvoda iz prošlosti.

Tab. 5.2. Rezultati eksperimentalnog testiranja pripreme rude, redukcijskih i postredukcijских postupaka – izraženi su omjeri: 1) količine rude prikupljene iz ležišta i gubitaka pri postupcima pripreme (eksperimentalno testiranje- Prilog 1.; Karavidović 2020a), 2) utroška resursa (rude i ugljena), proizvedenog otpada (zgure) i dobivenog željeza (prošireni set podataka, djelomično prema: Karavidović 2020a;202b).

EKSPERIMENT				
PROCES	VRSTA	POSTUPAK	MASA (gram)	
			prije	nakon
PRIPREMA SIROVINA	ruda	prženje	97	49
		(usitnjavanje)	49	36
	OMJER	<b>ruda ležište (RL) : ruda pripremljena (prž.) : ruda pripremljena (usitnjenjena - R)</b>	<b>2,69 : 1,97 : 1</b>	
	ruda	prženje	60	31,5
	OMJER	<b>ruda ležište (RL) : ruda pripremljena (prž.- R)</b>	<b>1,90 : 1</b>	
REDUKCIJA	VRSTA	POSTUPAK	MASA (gram)	
			peć - postupak /1.1.(Karavidović 2020b)	peć -postupak / 1.2. (Karavidović 2020b)
	ugljen	zagrijavanje	20	20
		zapunjavanje ugljenom i rudom,	12	12
		zadnje mjerice - spuštanje rude niz okno	5	7,5
		ukupno	37000	395000
	OMJER	<b>ugljen : ruda (pri postupku)</b>	<b>1:1</b>	<b>1:1</b>
		<b>ugljen (UB): ruda (R) (cijeli proces- proizvoljna odluka tijekom eksperimenta)</b>	<b>3,08 : 1</b>	<b>3,29:0</b>
		<b>ugljen (UA) : ruda (R) (zagrijavanje i redukcija)</b>	<b>2,67 : 1</b>	
	ruda	ispiranje, prženje, usitnjavanje (1.1); ispiranje, sušenje, usitnjavanje (1.2)	12000	12000
	zgura	taljenje	6506	6557
		kompaktiranje	350	250
	spužvasto željezo	taljenje +kompaktiranje	1800	1750 + 400
	OMJER	<b>ruda (R) : zgura (ZR) : spužvasto željezo -SŽ (bez kompaktiranja)</b>	<b>1,84 : 1 : 0,28</b>	<b>1,83 : 1 : 0,33</b>
		<b>ruda (R) : zgura (Z) : spužvasto željezo (SŽK) (kompaktirano)</b>	<b>1,75 : 1 : 0,26</b>	<b>1,76 : 1 : 0,31</b>

POSTREDUKCIJA	VRSTA	POSTUPAK	MASA (gram)
	zgura	kompaktiranje	350
		pročišćavanje	700
	željezo	svi postupci	1100
OMJER	spužvasto željezo (bez kompaktiranja-SŽ) : zgura postredukcija (ZPR) : željezo(Ž)		1,56 : 1 : 0,95

REDUKCIJA I POSTREDUKCIJA	OMJER	ruda : zgura (svi postupci - Z) : željezo (Ž)	1,59 : 1 : 0,15
		ruda (R) : zgura redukcija (ZR) : željezo (Ž)	1,75 : 1 : 0,16
		spužvasto željezo (kompaktirano) (SŽK) : željezo (Ž)	1 : 0,61
	UDIO	ruda - 15 % spužvasto željezo (kompaktirano) - 9 % (željezo pročišćeno)	

Tablica 5.3. Podaci iz literature o omjerima utroška rude, proizvedenog otpada (zgure) i dobivenog spužvastog željeza.

LITERATURA			
OMJER	ruda : zgura : spužvasto željezo	2 : 1 : 0,3	Bielenin 1995
		1,4 : 1 : 0,3	Voss 1995 (jamske peći)
		1,4 : 1 : 0,2	Joosten 1998
	zgura : spužvasto željezo	1 : 0,3-0,5	Serning 1979 (jamske peći)
UDIO	ruda - spužvasto željezo (kompaktirano?)	15 - 40 %	Thiele, Torok 2010
		25 - 50 %	Tylecote et al. 1971: fig.19.
		30 - 35%	Eschenlohr, Serneels 1991

Tab. 5.4. Izračun količine utrošenih resursa u jedinstvenom postupku redukcije, prema cjelovitim uzorcima zgre iz pojedinačnog postupka - lokaliteti Hlebine Velike Hlebine (H-VH 1 i 2), Virje Volarski breg (S-1)(V-VB S-1-1 i 2) i Virje Sušine (S-7)(V-S S-7-1)

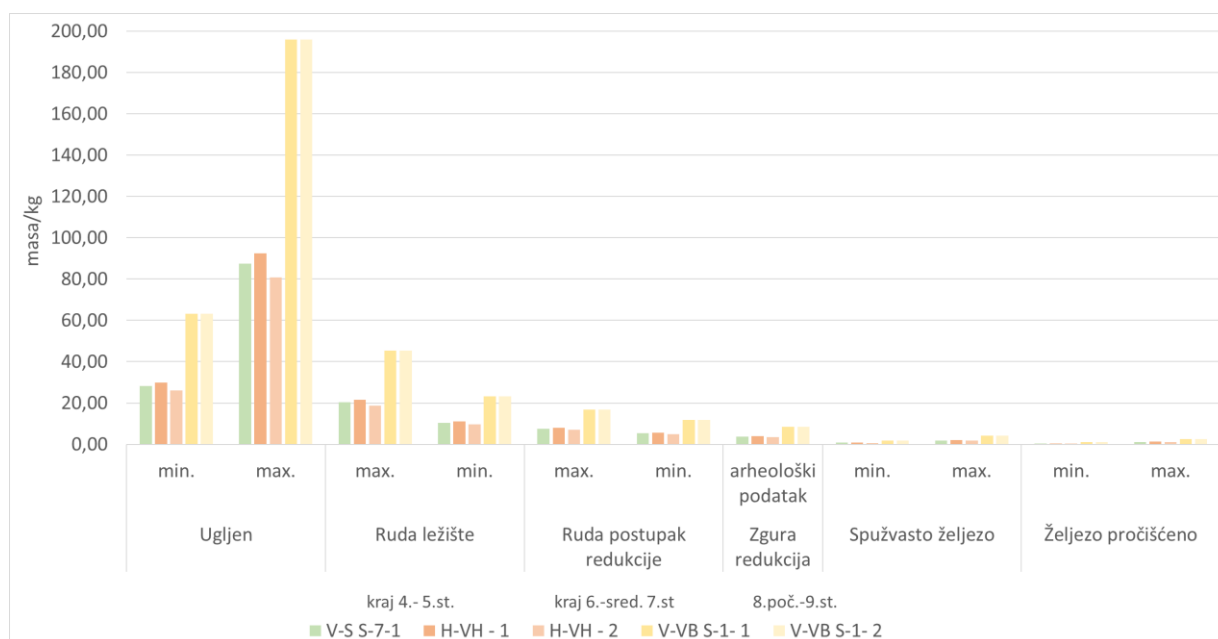
Otpad		Sirovine													
Zgura - redukcija		Ruda									Ugljen				
		Ruda postupak redukcije			Ruda ležište max.			Ruda ležište min.			Ugljen min.		Ugljen max.		
Izvor podataka	Arheološki podatak	Eksperiment	Literatura		Eksperiment	Literatura+eksperiment		Eksperiment	Literatura+eksperiment		Kemijska analiza + eksperiment				
Tip izračuna		opt.	max.	min.	opt.	max.	min.	opt.	max.	min.	max. raspon		min. raspon		
Oznaka	ZR	R-A	R-B	R-C	RL1-A	RL1-B	RL1-C	RL2-A	RL2-B	RL2-C	U1-B	U1-C	U2-B	U2-C	
Izračun		Z*1,75	Z*2	Z*1,4	R-A*2,69	R-B*2,69	R-C*2,69	R-A*1,90	R-B*1,90	R-C*1,90	2*(R-B*3,08)	2*(R-C*3,08)	2*(R-B*2,67)	2*(R-C*2,67)	
Jedinica	kg														
Uzorak															
V-S S-7-1	3,77	6,59	7,53	5,27	17,72	20,26	14,18	12,52	14,31	10,01	46,38	87,34	40,21	28,15	
H-VH-1	3,99	6,97	7,97	5,58	18,76	21,44	15,01	13,25	15,14	10,60	49,10	92,45	42,56	29,79	
H-VH-2	3,48	6,09	6,96	4,87	16,37	18,71	13,10	11,56	13,22	9,25	42,85	80,68	37,15	26,00	
V-VB S-1-1	8,45	14,78	16,89	11,82	39,75	45,43	31,80	28,08	32,09	22,46	104,04	195,91	90,19	63,13	
V-VB S-1-2	8,44	14,78	16,89	11,82	39,75	45,43	31,80	28,08	32,09	22,46	104,03	195,89	90,18	63,13	

Tab. 5.5. Izračun prinosa u jedinstvenom postupku redukcije, prema cjelovitim uzorcima zgure iz pojedinačnog postupka - lokaliteti Hlebine Velike Hlebine (H-VH 1 i 2), Virje Volarski breg (S-1)(V-VB S-1-1 i 2) i Virje Sušine (S-7)(V-S S-7-1)

	Otpad	Proizvod						
	Zgura - redukcija	Spuzvasto željezo				Željezo pročišćeno – primarno kovanje		
Izvor podataka	Arheološki podatak	Eksperiment		Literatura		Eksperiment	Literatura+eksperiment	
Tip izračuna		opt.	opt.	min.	max.	opt.	max.	min.
Oznaka	ZR	SŽK-A	SŽK-B	SŽK-C	SŽK-D	ŽPK-A	ŽPK-B	ŽPK-C
Izračun		ZR*0,28	ZR*0,33	ZR*0,2	ZR*0,5	ZR*0,16	SŽK-D*0,61	SŽK-C*0,61
Jedinica	kg							
Uzorak								
V-S S-7 1	3,77	1,05	1,24	0,75	1,88	0,60	1,15	0,46
H-VH 1	3,99	1,12	1,32	0,80	1,99	0,64	1,22	0,49
H-VH 2	3,48	0,97	1,15	0,70	1,74	0,56	1,06	0,42
V-VB S-1 1	8,45	2,36	2,79	1,69	4,22	1,35	2,58	1,03
V-VB S-1 2	8,44	2,36	2,79	1,69	4,22	1,35	2,58	1,03

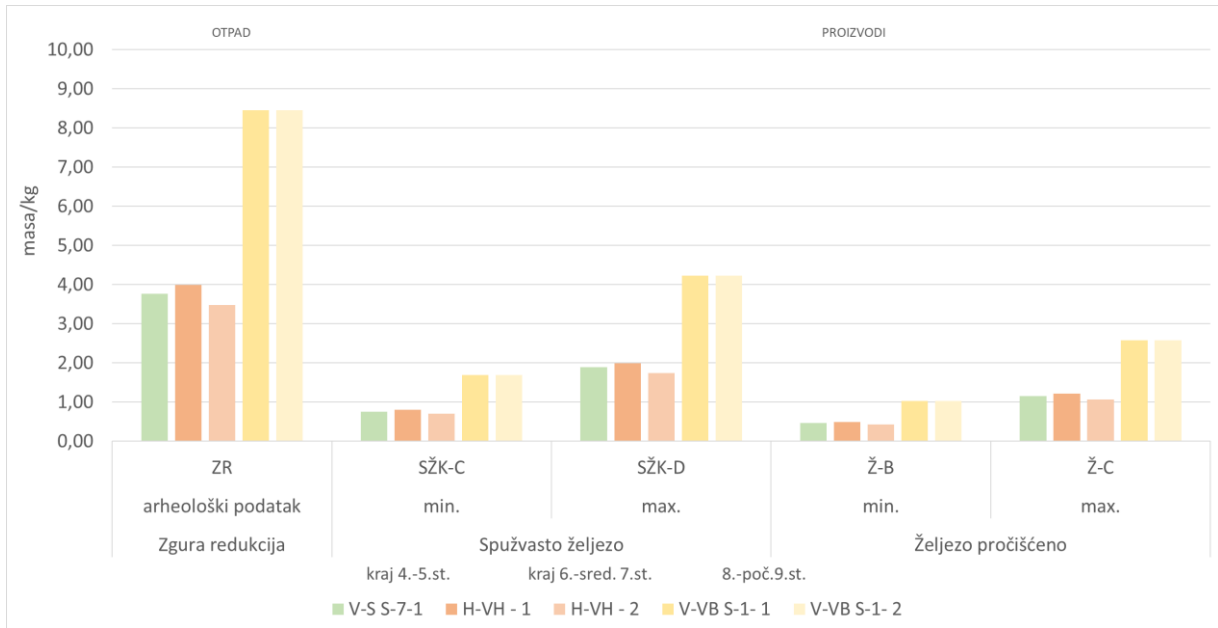


Rezultati prediktivne analize svjedoče o odnosu količine utrošenih sirovina naspram krajnjeg proizvoda (Sl. 5.4). Količina upotrijebljenih sirovina (rude i ugljena) te proizaslih poluproizvoda, u jednom postupku taljenja, gotovo je duplo veća u 8.-9. st. naspram ranijih razdoblja. Kako je vidljivo iz analiziranih arheoloških uzoraka zgure, jedinstvenih postupaka taljenja, u kontekstu 4./5. st. moglo je biti proizvedeno 0,5-1,15 kg pročišćenog željeza, a utrošeno između 5,2–7,5 kg rude, te ovisno o načinu vođenja postupka, između 28 i 87 kg ugljena. Na lokalitetu Velike Hlebine, tijekom kraja 6. –sred. 7. st. potrošnja i poluproizvod bili su sličnih vrijednosti, a za proizvodnju između 0,42 i 1,22 kg relativno pročišćenog željeza utrošeno je između 5–7 kg rude i 26–80 kg ugljena. Na lokalitetu Virje Volarski breg, datiranom u 8. –poč. 9. st., u jednom talioničkom postupku utrošeno je oko 12-17 kg rude i 64-195 kg ugljena za proizvodnju od oko 1–3 kg željeza pročišćenog primarnim kovanjem. U potonja dva slučaja, proizvodnja je bila u nekoj mjeri standardizirana, o čemu svjedoči vrlo slična količina zgure proizašla iz dvaju talioničkih procesa, na pojedinom lokalitetu. Za lokalitet Virje Sušine (S-7) ovo se ne može pretpostaviti ako uzmemo u obzir varijabilnost u težinama pojedinačnih isteka, no u slučaju otpada na ovom položaju moguće je da je dio težih izljeva pripada kasnijem razdoblju korištenja prostora (2/2 6. –poč. 7. st.) na koji ukazuju radiokarbonski datumi iz sloja otpada (SJ 345). O ovome bi mogla svjedočiti komparativna analiza težine izljeva iz S-7 i dijela izljeva iz obližnjeg položaja S-5 na kojemu su se aktivnosti izvodile u ovom razdoblju. U pogledu utroška resursa naspram izlaznog proizvoda, najznačajniji je utrošak drvenog ugljena.

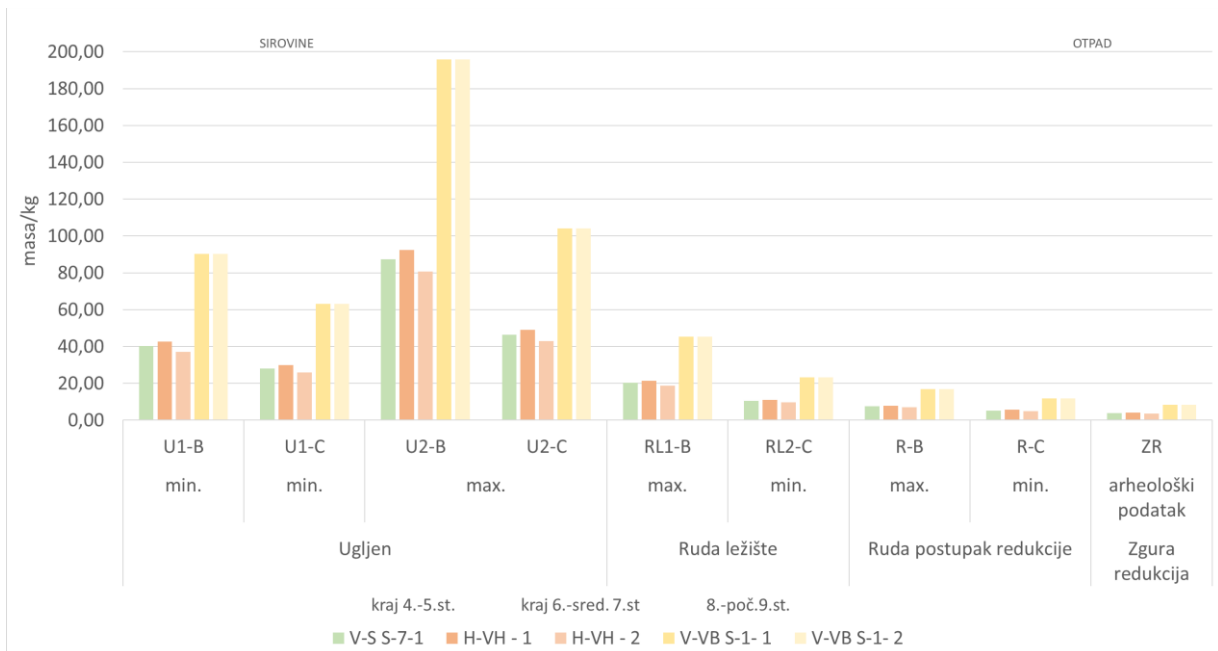


Slika 5.4. Grafički prikaz odnosa utroška resursa (ruda i ugljen) naspram nastalog otpada (zgura) i proizvedenog kompaktiranog spužvastog željeza i željeza pročišćenog

postredukcijskim postupcima primarnog kovanja, kroz prizmu vremenske i prostorne pripadnosti radionicama za proizvodnju željeza.



Slika 5.5. Grafički prikaz količine proizvedenog spužvastog željeza, željeza pročišćenog u radionicama i zaostalog otpada (zgure) u jednom postupku taljenja, za lokalitete s kraja 4./5. st. (Virje Sušine, S-7), kraja 6. – 7. st. (Hlebine Velike Hlebine) i 8.–poč. 9. st. (Virje Volarski breg, S-1).



Slika 5.5. Grafički prikaz količine utrošenih (rude i ugljena) te prikupljenih iz ležišta (ruda) resursa za proizvodnju jednog komada nekompaktiranog spužvastog željeza i proizvedenog

otpada, u jednom postupku taljenja, za lokalitete s kraja 4./5. st. (Virje Sušine, S-7), kraja 6. – 7. st. (Hlebine Velike Hlebine) i 8.-poč. 9. st. (Virje Volarski breg, S-1).

Eksperimentalna testiranja na temelju kojih su stvoreni omjeri za izračun pokazala su da je 12 kg rude moguće istaliti u vremenskom periodu od 5 do 6 sati (ovisno o načinu izvođenja postupka) (Karavidović 2020b). Ovaj podatak pokazuje da je u tijeku jednog dana bilo moguće izvesti dva postupka, moguće i tri. Ako pridodamo i pročišćavanje spužvastog željeza i uzmemo u obzir da ga izvodi ista skupina izvođača, broj mogućih cjelovitih, redukcijskih i postredukcijski postupaka bi se smanjio. Najefikasnije vrijeme za pročišćavanje je neposredno nakon što se spužvasto željezo izvadi iz peći, radi zadržavanja topline i time smanjivanja utroška gorivog elementa – ugljena za opetovano prvotno zagrijavanje. Postupak pročišćavanja, čiji su podaci korišteni za izračun trajao je oko 2h 30 min, a pročišćavalo se spužvasto željezo težine 1800 g. U procesu je sudjelovalo troje ljudi. Stoga je vrlo vjerojatno da je optimalno izvesti dva postupka taljenja i primarnog kovanja u toku jednog dana, kod postupaka u kojima je korišteno oko 12 kg rude. U tom smislu, manja količina proizvedenog željeza uz uporabu manje rude, kakva je prisutna na lokalitetu Virje Sušine (S-7) i Velike Hlebine mogla je rezultirati i više pojedinačnih procesa u tijeku jednog dana (oko 4). Kod proizvodnje većeg spužvastog željeza i značajnijeg utroška rude (Virje Volarski breg, S-1), moguće je očekivati maksimalno dva cjelovita postupka redukcije i postredukcije u toku jednog dana (7-8 sati po postupku redukcije te proporcionalno - oko 3h i 30 min postredukcijskog pročišćavanja). Na lokalitetu Velike Hlebine, arheološki zapis ukazuje na postojanje dviju peći koje su mogle simultano funkcionirati. Ovu situaciju implicirali bi stratigrafski odnosi u kojima su vidljive dvije peći, superordinirane drugim dvjema pećima. Također, ostaci peći očuvani su na jednakoj razini, a peći su istih dimenzija i orijentacije te prostorno vrlo blisko postavljene jedna drugoj (Sl. 2.14; T.12). Uzevši ovo u obzir, čini se da je na potonjem lokalitetu proizvodnja željeza, težila simultanoj proizvodnji više pojedinačnih poluproizvoda, što se može dovesti u vezu s optimizacijom ljudskih i vremenskih resursa. Težnja optimizaciji ljudskih i vremenskih resursa u širem kontekstu može ukazivati i na sezonsku, kampanjsku aktivnost koja se izvodi udaljeno od mjesta naseljavanja. Dvije peći koje rade u isto vrijeme može operirati troje ljudi. Za operiranje jedne peći potrebno je dvoje ljudi. Jedna osoba upravlja mijehom, druga puni peć sirovinama, provjerava te kontrolira stanje u peći i donosi ključne odluke o ritmu upuhivanja zraka, trenutku ispuštanja zgure i završetku procesa. Ista osoba koja upravlja procesom može paralelno održavati dvije peći, poglavito ako su postavljene jedna uz drugu. Kompaktiranje i primarno kovanje mogla je obavljati ista skupina, međutim ako su dvije peći operirane

simultano, a primarno kovanje je izvođeno neposredno nakon taljenja, vrlo je vjerojatno da su postojale dvije skupine ljudi. Jedna skupina (par) mogla je izvoditi postupak primarnog kovanja, a druga talioničke postupke, ili bi skupina nakon završenog pojedinačnog postupka, odradila primarno kovanje. U potonjem slučaju minimalni broj ljudi koji bi mogli izvoditi ove postupke je četiri. Na lokalitetu Virje Volarski breg na kojemu su pronađene 4 peći od kojih po dvije prostorno vrlo bliske, jednako orijentirane i slična izgleda i dimenzija ognjišta, moglo bi se također raditi o simultanoj uporabi. U tom slučaju, minimalan broj ljudi za izvođenje redukcijskih i postredukcijskih postupaka je osmero ljudi.

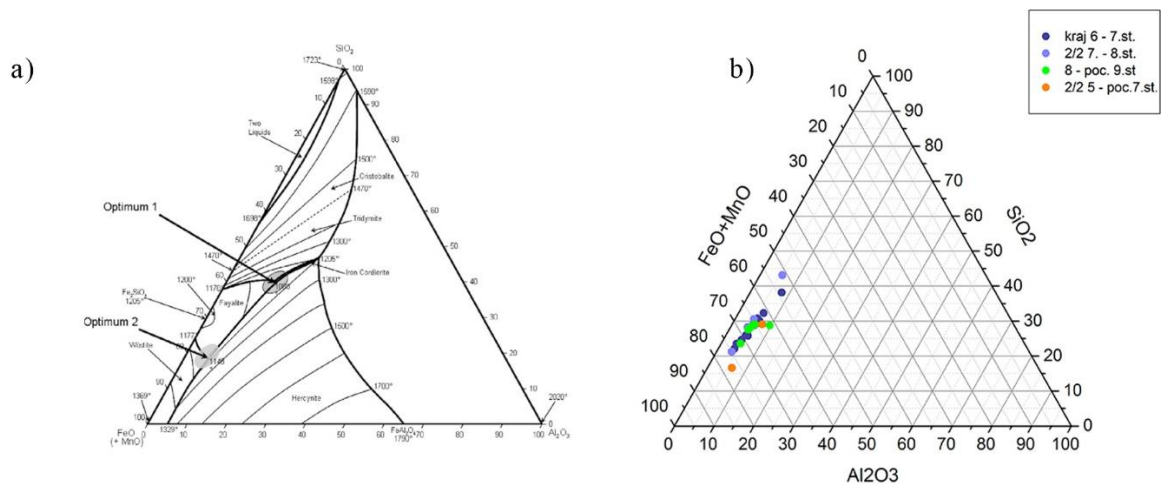
## **5.2 Proces postredukcije: pročišćavanje, varenje i kovanje**

Postredukcijski procesi dio su radnih aktivnosti izvođenih u svim istraženim radionicama za proizvodnju željeza, obzirom da zgura nastala ovim postupcima dolazi u asocijaciji s talioničkom zgurom. Međutim, postredukcijska zgura prisutna je i u asocijaciji naseobinskim tvorevinama i to na lokalitetima Virje – Volarski breg (S-2b) te Virje – Sušine (S-8, 10b) datiranim u 2/2 7. – 8. – poč. 9. st.

### **5.2.1 Operativni parametri i vrste postredukcijskih procesa**

Prema mineraloškom sastavu glavnina zgura iz postupaka postredukcije, uz fajalit i kvarc ima u izmjenjivim omjerima zastupljen i wustit. Ovakav mineraloški sastav svjedoči o različitim preduvjetima formacije naspram talioničke zgure kod koje je izražena pojava fajalita i kvarca, a ostali željezovi minerali javljaju se tek kod pojedinih uzoraka i/ili u tragovima. (Tab. 4.4; sl.4.13) On ujedno svjedoči i o izmjenjivim oksidacijsko-reduktivnim uvjetima, kakve je moguće očekivati obzirom na prirodu postupka (zagrijavanje unutar peći pod relativno redukcijskim uvjetima (obloženost ugljenom) i višestruko vađenje te kovanje spužvastog (primarno kovanje) ili pročišćenog željeza (sekundarno kovanje)) i pretpostavljeni oblik peći – plitku poluotvorenu tvorevinu (vidi poglavlje 4.2.2.). U postupku zagrijavanja temperature u peći moraju osigurati odvajanje zgure, slično kao i kod talioničkog postupka te formaciju fajalita (1100-1250 °C) dok željezo pogodno za kovanje biva u stanju austenita (iznad 900) (Pleiner 2000: 215). Analiza termokemijskog ponašanja kod uzoraka zgure s dna peći (Sl. 5.6.) potvrđuje i mineralošku analizu, te pokazuje da je glavnina uzoraka zgure nastala pod uvjetima manje redukcijske atmosfere (između optimuma 1 i 2 prema: Charlton et al. 2012) nego uzorci

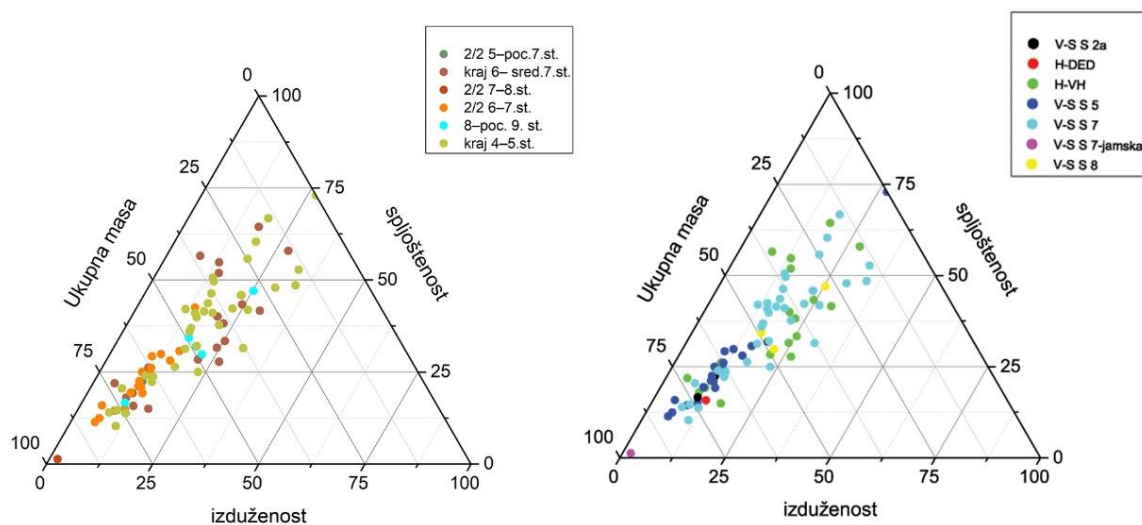
zgura koji su pripisani redukciji (Sl. 5.2). Temperature postignute u pećima u glavni nisu prelazile 1200 C, te su bile između 1150 i 1100° C. Dva uzorka koja pripadaju kraju 6. – sred. 7. St. (H-VH PK 10) i 2/2 7. st. – 8. st. (V-S S7 V-PK 4) ukazuju na nešto drugačiju atmosferu, teže optimum 2 koji označava i višu razinu redukcijske atmosfere. Uzorak s lokaliteta Virje – Sušine potječe iz konteksta iste jamske peći kao i drugi istovremeni uzorci te ukazuje na različite preduvjete formaciji zgure unutar istog procesa. S duge strane, uzorak s lokaliteta Hlebine ukazuje na varijabilnost unutar konteksta iste radionice.



Slika 5.6. Grafički prikaz faznog dijagrama odnosa  $\text{FeO}(\text{+MnO})\text{-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ : a) fazni dijagram s označenim područjima Optimum 1 i 2 (Rehren et al. 2007; Charlton et al. 2010), b) fazni dijagram s prikazanim odnosom uzoraka zgure s dna kovačkih peći, prema dataciji (podaci: Tab. 4.5, uvršteni su podaci zgure s dna peći za primarno kovanje (PK) i jamskih peći(V-PK)).

Postredukcijaska zgura s dna peći pokazuje izrazitiju varijabilnost oblika, mase i dimenzija međutim pojedine zakonitosti moguće je prepoznati i kod ovog tipa zgure, u vezi s vremenskom i prostornom pripadnošću. Masa zgure implicira zasićenost poluproizvoda koji se obrađuje sa zgurom, a posredno može ukazivati na relativan odnos veličine i mase obrađenog poluproizvoda, uzevši u obzir da je pojedinačan komad zgure s dna peći odraz jedinstvenog postupka, te ako podatke promatramo komparativno kroz prostornu i vremensku pripadnost. Izračun spljoštenosti i izduženosti mjerljivi je parametar koji ukazuje na oblik zgure te njezin položaj u peći (vidi poglavlje 4.2.1.2.3., Sl. 4.3), a komparativna analiza može ukazati na varijabilnost unutar pojedinog konteksta, te u širem interpretativnom okviru na konzistentnost u izvođenju postredukcijaskih postupaka. Analiza ovih triju kategorija (Prilog 3, Tab. 3.2., Sl. 5.6.) ukazuje da postoji izražena tendencija ka povećanju mase tijekom 2/2 6. te kroz 7. st.,

koja kulminira pojavom jamskih peći datiranih u 2/2 7.–8. st. (Virje – Sušine (S-7)). Analizirani uzorci zgure pripadaju lokalitetima Hlebine – Velike Hlebine (kraj 6. – sred. 7. st.), Virje Sušine - S-5 (2/2 6. st. – 7. st.) i S-7 (2/2 7. st. – 8. st. – jamske peći), a potječu s lokaliteta na kojima su se izvodile i aktivnosti taljenja. Dio uzoraka koje je moguće pripisati dužem vremenskom razdoblju, 2/2 7. – 8. i poč. 9. st. moguće je kontekstualno povezati s naseobinskim ostacima, a potječu s lokaliteta Virje Sušine (S-8, 10). Iako se njihovi podaci relativno preklapaju s potonjom tezom, oni ipak pokazuju veću varijabilnost, a poneki uzorci i generalno manju masu. Obzirom na naseobinski kontekst, moguće je da ovi uzorci predstavljaju neku drugu fazu kovačkih aktivnosti, kovanje predmeta. Razliku između postredukcijskih procesa pročišćavanja i kovanja predmeta, ponekad nije moguće uspostaviti, poglavito jer nemamo uvid u poluproizvode i njihove karakteristike. Međutim, izrazitije manja masa zgure s dna kovačke peći može ukazivati na razliku u procesu. O kovačkim procesima ili barem izrazitijoj razini pročišćavanja svjedočilo bi i postojanje okujine (Fe listića i pojedinačnih sitnih sferoidnih oblika zgure) prisutnih na lokalitetima 7. st. – Hlebine Velike Hlebine i Dedanovice.



Slika 5.7. Grafički prikaz odnosa mase, izduženosti i sploštenosti kod analiziranih uzoraka zgure s dna peći za posredukcijske procese, prema dataciji i arheološkom lokalitetu (položaju).

Najkonzistentnija slika odnosa triju komponenti koje se promatraju (Sl. 5.7) vidljiva je na lokalitetu Virje Sušine (S-5), datiranom u 2/2 6. do 2/2 7. st. a svjedoči o sličnosti u načinu izvođenja postupaka postredukcije. U potonjoj sondi, uočene su dvije ili tri kategorije težine

kod uzoraka zgure s dna peći, te su na osnovu ostalih morfoloških karakteristika pretpostavljene dvije skupine, masom različite no općim karakteristikama oblika vrlo slične. Dodtano je analiza sapnica i tehničke keramike ukazala na promjene u dimenzijama talioničkih peći koje bi se mogle dovesti u vezu s promjenama u masi kovačkih zgura. Međutim, čini se da podaci komparativne analize elemenata izduženosti, spljoštenosti i mase potvrđuju tezu o jedinstvenoj skupini izvođača, koja bez obzira na promjenu u dimenzijama poluproizvoda koji se obrađuje zadržava jednake mehanizme izvođenja postupaka postredukcije koji se mogu dovesti u vezu s mjestom pozicioniranja spužvastog željeza u peći, ali i oblikom peći. Potonji zaključak pronalazi potvrdu i u analizi zastupljenosti određenih oblikovnih svojstava zgure naspram kategorija mase gdje je zaključeno da se radi o prilično standardiziranom načinu upravljanja postupkom, odnosno smještaja spužvastog željeza u peć (vidi poglavlje 4.2.1.2.3.1.3). Izrazitija varijabilnost u odnosu na ove kategorije vidljiva je na relativno istovremenom lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine (kraj 6. – sred. 7. st. s mogućnošću trajanja u 2/2 7. st.). Ovdje je vidljiva raznolikost u masi ali i ostalim svojstvima koji se mogu dovesti u vezu s načinom izvođenja postupka. Prema kontekstualnoj analizi svih promatranih parametra, oblika i kategorija mase te zastupljenosti određenog tipa kovačke zgure s dna peći ali i drugih morfoloških karakteristika zgure (pojava Fe listića i sfera) moguće je zaključiti da je ovakva varijabilnost vrlo vjerojatno odraz višefaznog, dugotrajnog i intenzivnog pročišćavanja spužvastog željeza. Ovo bi uvjetovalo i pojavu manjih, nepravilnih ulomaka postredukcijske zgure kakvi su prisutni na Hlebinama. U širem kontekstu, varijabilnost je zasigurno u nekoj mjeri uvjetovana i različitim preduvjetima formacije, uzrokovanim varijacijama u dizajnu peći i načinu izvođenja postupka, koji se može pripisati sezonskom karakteru proizvodnje (izgradnja novih peći) i intenzitetu proizvodnje. Komparativno, podaci s lokaliteta datiranih u 2/2 6. – 7. st. govore nam o individualnosti u izvođenju postupaka, ovisnoj vjerojatno o preferencama grupe izvoditelja, ali markiraju i promjenu u veličini poluproizvoda te razini pročišćavanja spužvastog željeza (značajnije pročišćavanje na lokalitetu Velike Hlebine). Značajnija promjena u razini pročišćavanja, obliku peći za postredukcijske procese ali i organizaciji radnih aktivnosti vidljiva je kroz nalaze s lokaliteta Virje Sušine (S-7) koju je moguće pripisati 2/2 7. i 8. st., trenutku kada na obližnjem položaju S-5 dolazi do faze standardizacije proizvodnje željeza u pećima većih dimenzija (Sl. 4.20: faza 3). Faza koju obilježava standardizacija na položaju S-5 ogleda se u jednakosti oblikovnih svojstava sapnica, ali i njihovoj izuzetnijoj zastupljenosti (Tab. 4.6: V-S Sonda 5: tip 1: a i f; Sl. 4.17), međutim, zastupljenost postredukcijske zgure koja bi prema masi odgovarala pročišćavanju većeg komada spužvastog željeza je vrlo niska (šest uzoraka)(sl. 4.8). Vrlo je vjerojatno da je ovu zguru moguće vezati uz

jednako podzastupljenu, prijelaznu fazu obilježenu povećanjem peći na lokalitetu Sušine (S-5) (Sl. 4.17). Drugim riječima, čini se da u trećoj/zadnjoj fazi iskorištavanja prostora na Sušinama (S-5) dolazi i do promjene u organizaciji procesa proizvodnje, pri čemu postupci postredukcije nisu zabilježeni na prostoru zahvaćenom arheološkom sondom, odnosno čini se da nisu izvođeni direktno nakon postupaka taljenja na istom položaju. Potonje sugeriraju već kovačke peći pronađene na lokalitetu Dedanovice, vezane uz istovremene jamske tvorevine s naseobinskim elementima, datirane u kraj 6. – sred. 7. st. (s mogućnošću trajanja u 2/2 7. st.).

Međutim, ključni nalaz koji potvrđuje i promjenu u tehnološkom rješenju i organizaciji rada su jamske peći s položaja S-7 na lokalitetu Sušine. Prema morfološkim karakteristikama zgure moguće je zaključiti da se dio zgure formirao u nekoj uznapredovaloj fazi pročišćavanja obzirom na pojavu željeznih listića i sfera među slojevitom zgurom (T. 25). Ukupna masa zgure unutar jamskih peći svjedoči o puno značajnijoj količini pročišćene zgure nego na položaju S-5 na Sušinama, datiranom u isto ili neposredno ranije razdoblje (gotovo 9 kg naspram 2 kg najveće izmjerene mase na lokalitetu Virje Sušine, S-5). Elementno profiliranje uzoraka zgure koje je ukazalo na jasnu mogućnost razlikovanja zgure različitih tipova prema odmaklosti procesa proizvodnje, ukazuje i na razliku između uzoraka zgure iz jamskih peći i postredukcijske zgure nastale procesom primarnog kovanja – isključivo pročišćavanja spužvastog željeza (vidi poglavlje 4.1.2., Sl. 4.14 – 4.15). Također, uzorci zgure koji pripadaju zapuni iste peći, a prikupljeni su iz slojeva različite dubine (Sl. 4.15: V-SS 7 VK 1-4), međusobno se razlikuju prema sastavu (značajnije nego unutar pojedine skupine različitih tipova zgure), i to prema zastupljenosti elemenata koji bi se mogli dovesti u vezu s izvorom sirovine ili uznapredovalosti procesa s jedne strane (elementi u tragovima i elementi rijetkih zemalja), ali i prema zastupljenosti glavnih oksida ( $P_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$  te  $Na_2O$  i  $Al_2O_3$ ) (Tab. 4.5, uzorci VS S7 VK 1 -4) koji mogu ukazivati na kvalitetu rude ili utjecaj vanjskih faktora poput stijenki peći, pepela od ugljena ili uporabe kovačkih talitelja. Utjecaj vanjskih elemenata, poglavito  $SiO_2$  i  $Al_2O_3$ , mogao bi se pretpostaviti kod postredukcijских postupka u slučaju da su korišteni kovački talitelji, sredstva koja umanjuju utjecaj oksidacije površine željeza pri kovanju (i stvaranja okujine), loma željeza te služe lakšem spajanju metala pri kovačkim postupcima (Charlton et al. 2012). U ovu svrhu mogu se koristiti talitelji poput pijeska ili gline, sredstva lako dostupna u krajoliku Podravine, koji će potaknuti stvaranje fajalita ( $Fe_2SiO_4$ ). Vrstu utjecaja sa sigurnošću nije moguće identificirati, međutim količina zgure koja je nataložena u jami potiče na promišljanje o uporabi sasvim drugačijeg tehnološkog postupka od pročišćavanja pojedinačnih komada spužvastog željeza. Ako kao relativnu jedinicu mjere



pročišćavanja zgure iz talioničkih peći većih dimenzija uzmemo raspon mase uzoraka s lokaliteta Virje Sušine S-5, u pojedinačnoj jamskoj peći moglo bi biti pročišćeno od dva do pet komada spužvastog željeza.<sup>79</sup> Dubina peći i jamski oblik logičan je odabir ako se očekuje zapunjavanje s većom količinom zgure, međutim upitno je bi li ovaj proces mogao biti višestruk, odnosno da li bi u jednoj peći bilo moguće izvesti više pojedinačnih procesa pročišćavanja. Vrlo je vjerojatno da ovo ne predstavlja mogućnost, obzirom da bi se zgura solidificirala neposredno ispod sapnice i u nekom smislu zatvorila jamu za zapunjavanje ugljenom i slijedeće slijeganje zgure (novim postupkom), čime bi se potpuno anulirala funkcija ove tvorevine. S druge strane, ako bi proces tekao u jednoj neprekinutoj sesiji, jamska struktura u potpunosti bi ispunila svoje funkcionalno svojstvo te bi se zgura postepeno slijegala i zapunila jamu. Potonje uostalom sugerira i arheološki zapis te neprekinuto uslojavanje zgure u jami (T. 25). Simultano pročišćavanje više različitih nesinteriranih konglomerata zasićenih zgurom (prethodno nepročišćenog spužvastog željeza) uzokovalo bi i njihovo međusobno spajanje – varenje, koji je uostalom mogao biti i cilj uporabe jamskih peći. Ovakav tehnološki proces nije do sada poznat iz arheološke literature, a nalazi izrazito velikih komada dobro kompaktiranog spužvastog željeza poznati su s područja današnje Republike Mađarske, većinom s lokaliteta iz okruga Somogy (Lábod-Petesmalom) i Zala (Zalavár-Vársziget), te pripadaju razdoblju 8. –9. st. (Török et al. 2017; Gömöri 2018: sl. 1:4). Ovi komadi teže 9,5-10,5 kg (Gömöri 2018: sl. 1:4; Török et al. 2017).<sup>80</sup> Talioničke peći datirane u razdoblje od 7. do 9. st. na ovom području analogne su pećima na području Podravine, a čine ih samostojeće peći s plitkim ognjištem iz kojeg je ispuštana zgura, dimenzija ognjišta 30-40 cm (Nemesker i Avarski tip peći, Gömöri 2000), no postoje naznake da se pojavljuju i peći većeg kapaciteta do širine ognjišta 95 cm, iako je datacija ovih tvorevina za sada utvrđena u širokom rasponu 7. –9. st. (primjer lokaliteta Zamardi, Török et al. 2018). Moguće je da i ovi nalazi markiraju daljnju promjenu u količini proizvedenog željeza u jednom taljenju i povećanju kapaciteta peći. Međutim, nalazi vremenski bliskih peći (Virje Volarski breg, S-1), ili tragovi peći sličnih dimenzija, širine ognjišta od 40 cm (Sušine, S-5) i izračun količine proizvedenog spužvastog željeza u jednom taljenju na lokalitetima u Podravini svjedoči da u ovim pećima nije mogla biti proizvedena tolika količina pojedinačnog spužvastog željeza (vidi poglavlje 5.1.3), poglavito dobro pročišćenog i kompaktnog. U pećima datiranim u 8. –poč. 9. st. (Virje Volarski bre, S-1) moglo je biti

---

<sup>79</sup> Uzorci treće kategorije mase pronađeni u Sondri 5 teže 1034–2012 g, dok uzorci zgure iz jamskih peći teže 6240 g (Peć 1), 1830 g (Peć 2), 7401 g (Peć 3), 6150 g (Peć 4), 2180 g (Peć 5(?)).

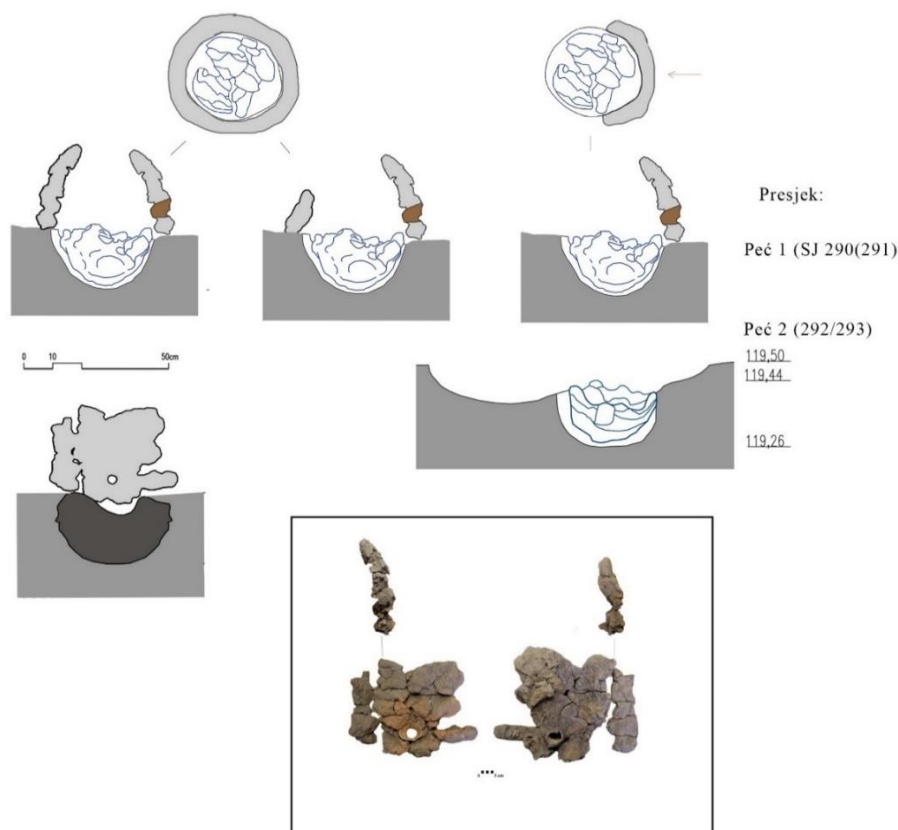
<sup>80</sup> Uzorak s lokaliteta Lábod-Petesmalom teži 9,5 kg (Gömöri 2018: sl. 1:4; Török et al. 2017) a dva uzorka s lokaliteta Zalavár-Vársziget 10,2 i 10,5 kg (Török et al. 2017).

proizvedeno između 1,7 i 4,2 kg spuzvastog željeza te 2,58-1,03 kg pročišćenog željeza. Prema potonjim podacima bila bi potrebno od 2 do 5 puta veća količina rude upotrijebljena u jednom postupku za proizvodnju ovakvog spuzvastog željeza, što nadilazi kapacitet peći pretpostavljenih dimenzija (40 cm ognjište i visina oko 70 cm). Međutim, na ovom lokalitetu pronađene su četiri peći za koje je moguće pretpostaviti da su operirane istovremeno. U tom slučaju, proizvod jednodnevnog rada mogao bi se daljnim postredukcijskim postupcima spojiti u poluproizvod sličan nalazima s lokaliteta Zalavár-Vársziget i Lábod-Petesmalom. Moguće je da se postupci izvođeni u jamskoj peći mogu tumačiti kao tehnološko rješenje za proizvodnju većeg poluproizvoda, u postredukcijskom dijelu procesa. Arheometrijske analize sastava kompaktiranih željeznih poluproizvoda s prostora Mađarske ukazale su na varijabilnost u sastavu koja ukazuje na potencijal da se radi o više različitih vrsta (komada proizvedenih zasebnim postupcima) željeza (Török et al. 2017). Potonje se može dovesti u vezu s rezultatima analize zastupljenosti svih elemenata u uzorcima zgure iz jamskih peći, koja svjedoči o potencijalnoj raznolikosti podrijetla zgure, vezanoj uz izvor sirovine ili proces kroz koji je zgura prošla. Dodatno, uzorak pročišćenog željeza s lokaliteta Lábod-Petesmalom ukazao je na različitu zastupljenost fosfora u različitim dijelovima strukture. Kao što je ranije naglašeno, fosfor može negativno djelovati na kvalitetu željeza i mogućnosti kovanja, a analiza talioničke zgure ukazala je na potencijalno korištenje talitelja u svojstvu suzbijanja utjecaja fosfora i povećanja količine proizvedenog spuzvastog željeza. Zasićenost močvarnih ruda fosforom prisutna je kod uzoraka ruda iz Podravine, ali i prostora obližnje regije Somogy u kojoj je definirana proizvodnja željeza u ovom razdoblju te peći analogne podravskim, a iz koje potječe i nalaz kompaktiranog željeza s lokaliteta Labod-Petesmalon. Ovdje je zastupljenost fosfora još izraženija kod analiziranih uzoraka močvarnih ruda (2,7-4,24% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (Török, Thiele 2013: 13, Tab.1; Thiele, Kericsmár 2015: 62, Tab. 1.). Proizvodnja željeza obogaćenog fosforom posvjedočena je u ovoj regiji tijekom ranoga srednjeg vijeka (Thiele et al. 2013), a slično je moguće očekivati i za prostor Podravine obzirom na kemijski sastav pojedinih uzoraka ruda, ali i zgure. Potonje je zanimljivo jer jedan od razloga spajanja više pojedinačnih proizvoda taljenja mogao bi se ogledati u pokušaju izbjegavanja utjecaja fosfora ili sumpora, smanjivanjem njegove zastupljenosti u cjelokupnom uzorku, spajanjem željeza različite kvalitete. Značajnija razlika u udjelu fosfora u analiziranim uzorcima iz iste jamske peći nije prepoznata, ali vidljive su razlike u udjelima sumpora (Sl. 4.15, uzorci VS S7 VK 4 naspram VS S7 VK 1-2). Potonji nalaz također svjedoči o tendenciji proizvodnje pojedinačnih poluproizvoda veće težine, ali i o potencijalnoj ekonomskoj povezanosti prostora Podravine sa

širim područjem, ranosrednjovjekovnim centrima poput Zalavára iz kojega potječu nalaz većeg kompaktiranog spužvastog željeza (Török et al. 2017).

### 5.2.2 Dizajn peći

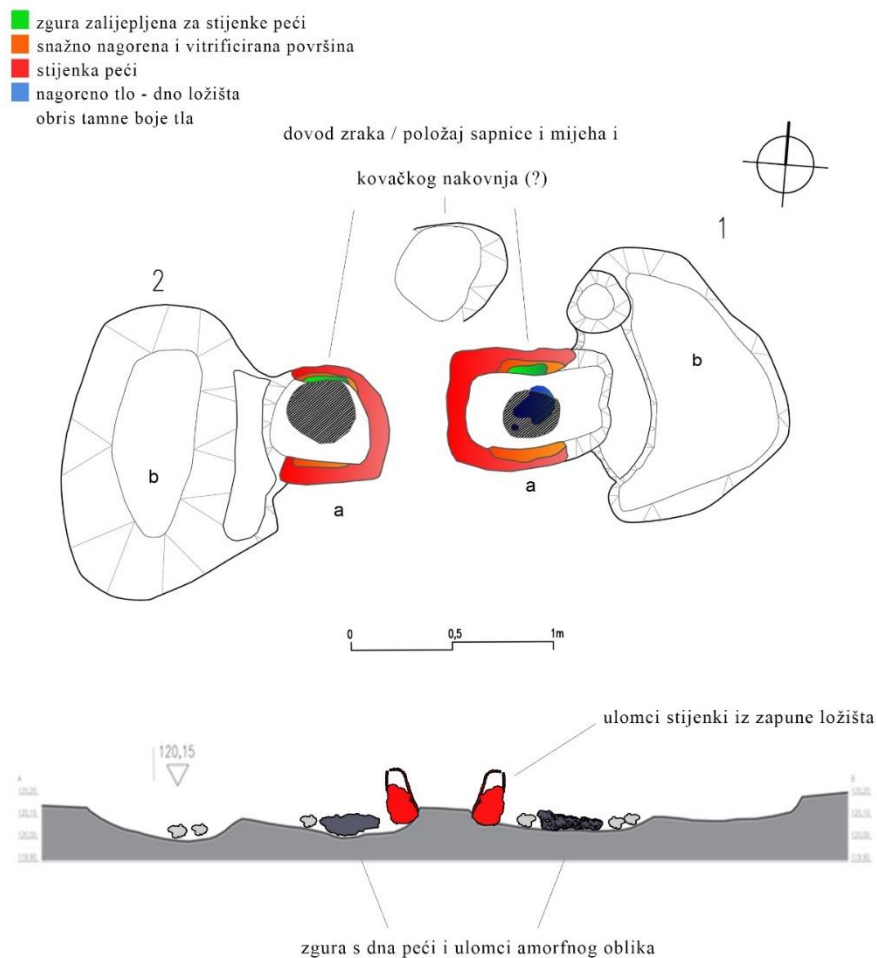
Nadzemnu konstrukciju jamske peći moguće je u nekoj mjeri rekonstruirati, putem nalaza stijenke s inkorporiranom sapnicom (T. 27: 5) koja se prema tipu sapnice, učestalosti pojave u istom kontekstu (položaj, S-7), apsolutnoj dataciji cjeline iz koje potječe (SJ 345), oblikovnim svojstvima stijenke i njezinim dimenzijama može dovesti u vezu s jamskim pećima (Sl. 5.8). Stijenke su mogle biti visine oko 20 cm sa strane na kojoj je bila umetnuta sapnica, međutim upitno je da li je stijenka obavijala cijelu jamu ili je na jednoj strani bila snižena ili otvorena. Ovakvu situaciju sugerirala bi funkcionalnost otvorene strane kod kovačkih peći (uklanjanje viška zgure i lakše vađenje spužvastog željeza), ali i arheološki zapis istražene peći 2 kod kojega je vidljivo plitko, duguljasto proširenje uz središnju jamu zapunjenu zgurom (Sl.5.8).



Slika. 5.8. Idejna rekonstrukcija jamske peći – varijante nadzemne konstrukcije. Pridružen je tehnički crtež tlocrta i profila dviju jamskih peći (Peć I i II) i stijenke asociirane s pećima (T. 27: 5; SJ 345, PN 145), sve u mjerilu.

Oblici peći koji bi pripadali fazi neposredno prije promjene, s kraja 6. – 7. st., prema nalazima zgure s dna peći, ali i tehničke keramike s lokaliteta datiranih u ovaj period, vrlo vjerojatno su imali pliće, blago udubljeno ili ravno dno ognjišta te potencijalno ravne ili blago zaobljene rubove stijenki (Virje Sušine, S-5). O obliku dna svjedoče donji dijelovi i presjek zgure s dna peći, o dubini ispod sapnice najveća debljina uzoraka zgure s dna, a o blagoj zakrivljenosti i obliku stijenki činjenica da pojedini uzorci, nataloženi neposredno uz rubove stijenki pokazuju ravan jedan, a ponekad i dva ruba. (vidi poglavlje 4.2.1.2.3; Sl.4.3 kategorija 4\_5).

Jedinstven primjer su očuvane peći s lokaliteta Hlebine Dedanovice (Sl. 2.16), uz koje su pronađene i pripadajuće sapnice (T.27:1). Peći su bile postavljene zrcalno simetrično, a konstrukcijski su obje imale pravokutno ložište (a) i jamu ka kojoj se ono otvara (b) (Sl. 5.9)(Sekelj Ivančan, Karavidović 2021). Funkcionalno i oblikovno slična peć rekonstruirana je na lokalitetu Boécourt, Švicarska, a pripada također 7. st. (Echenlohr, Seernels gdoina 107, fig. 80.). Zrak je u ognjišta obiju dedanovečkih peći bio upuhivan putem sapnica, pronađenih u zapuni ognjišta (Tab. 4.6; Sl. 4.16: tip 4; T.27:1) i jami ka kojemu se otvara. Sapnice su bile položene na sjevernoj strani, na što ukazuje razina zapečenosti, vitrifikacije i glatka gotovo staklasta tekstura unutrašnjeg dijela sjevernih stijenki peći, ali i položaj zgure te pravilnog zapečenog tla pri dnu ložišta (vidi poglavlje 4.3.2.2.; T.30: 5-7; Sl. 5.9; 5.10). Izgled konstrukcije peći s otvorenim plitkim ložištem i jamom ispred njega funkcionalno odgovara potrebama kovačkih peći. Ložište je bilo otvoreno prema plićoj, otpadnoj jami, kako bi se prilikom zapunjavanja ložišta zgurom ona lakše moglo iščistiti. Makroskopska analiza zgure unutar ložišta i u zapuni jama neposredno ispred ložišta ukazuje da se radi o tipu zgure kakva je karakteristična za postupke pročišćavanja, vrlo vjerojatno do značajnije mjere obzirom na nalaze sferica zgure u zapuni (T.24: 1 i 2). Zrak se u obje peći upuhivao najvjerojatnije sa sjeverne strane, s pozicije manje tvorevine ovalnog plitkog ukopa, koja je zasigurno bila u vezi s pećima (Sl.5.9). Kako su upravo na sjevernoj strani ložišta obiju peći evidentirane staklaste stijenke te se pretpostavlja i pozicija sapnica za dovod zraka u ložište s te strane, ova tvorevina vjerojatno predstavlja mjesto na kojem se nalazio mijeh a potencijalno i prostor na kojemu se izvodio i postupak kovanja.

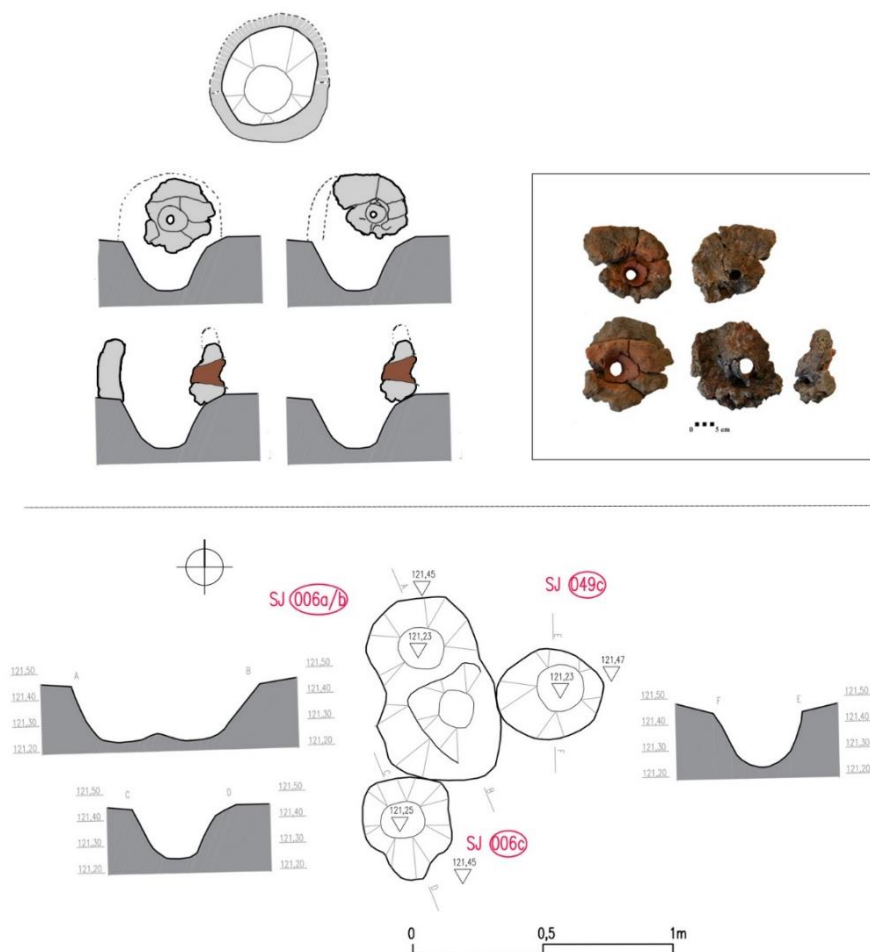


Slika 5.9. Tehnički crtež arheološkog terenskog zapisa (tlocrt i presjek)(autor: Kristina Turkalj) peći 1 i 2 s rekonstruiranim položajem sapnice, stijenki i zgre iz unutrašnjosti peći – oblika peći. Nalazi zgre – T.24:1,2; sapnica – T. 27: 1.



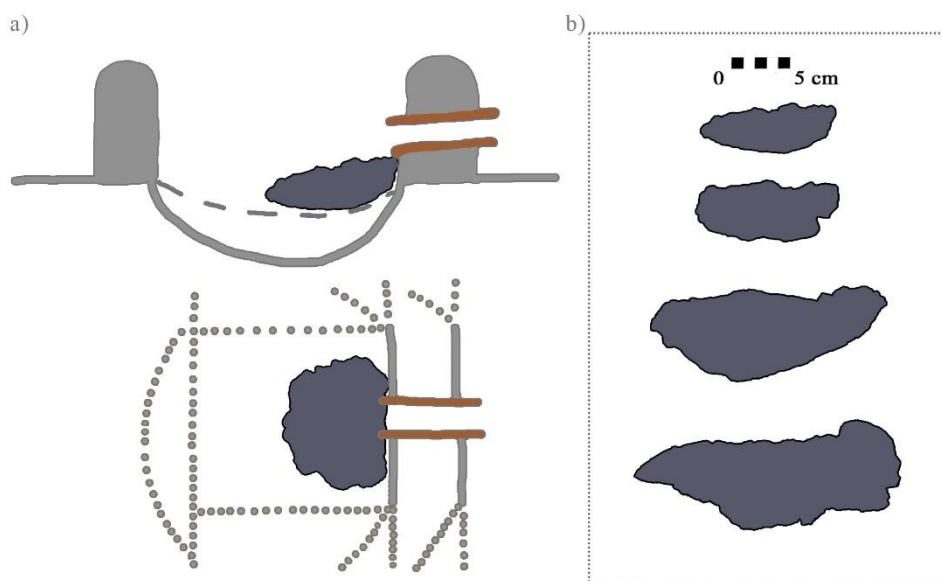
Slika 5.10. Eksperimentalna rekonstrukcija peći pronađenih na lokalitetu Hlebine Dedanovice u kojima je izveden postupak primarnog kovanja. Prikazane su faze od izgradnje do stanja peći nakon postupka – vidljiva nakupina zgre podno sapnice s unutrašnje strane stijenke peći.

Na ostalim lokalitetima ovog razdoblja pri arheološkom istraživanju nisu identificirane tvorevine koje bi se mogle dovesti u izravnu vezu s pećima. Međutim, na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine, ulomci stijenske peći sa sapnicom koja bi se funkcionalno mogla povezati s kovačkim postupcima svjedoče o obliku i relativno, o dimenzijama peći (vidi poglavlje 4.3.2, T. 27:3,4; Sl.5.9). Na ovom lokalitetu najveća koncentracija ulomaka kovačke zgure nalazi se na prostoru nedaleko talioničkih peći, a ovdje su identificirane plitke jame (Sl. 2.14, SJ 57, 44, 49, 6), dubine oko 20–30 cm i promjera oko 20–30 cm (Sl. 5.11.). Moguće je da upravo ove tvorevine čine dna ognjišta peći, koje bi prema tome bile ukopane u tlo, slično jamskim pećima na lokalitetu Sušine (S-7).



Slika 5.11. Rekonstrukcija instalacija za primarno kovanje s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine. U rekonstrukciji je prikazan tehnički crtež tlocrta i presjeka jamskih tvorevina pronađenih nedaleko talioničkih peći (ukup: SJ 6 a/b i c te 49c)(autorica: Kristina Turkalj) i stijenske peći s inkorporiranom sapnicom proširenog vanjskog dijela – kovačka (tip 3a) pronađenih na lokalitetu u slojevima otpada na kojima su vidljivi rubovi, završetci i puna visina (T. 27:3,4)

Na lokalitetu Virje Sušine S-5 nisu identificirane tvorevine koje bi se mogle dovesti u vezu s kovačkim pećima, međutim oblik zgure s dna peći i postojanje sapnica istog stožastog tipa kao i na lokalitetu Velike Hlebine (T.27: 2) sugerira sličan tip kovačke instalacije, koji je moguće datirati u 2/2 6, – sredinu i najkasnije 2/2 7. st. Dimenzije i oblik peći vrlo vjerojatno su varirale, u pojedinim kampanjama boravka na položaju Sušine S-5, ali i kroz vremensko razdoblje izvođenja aktivnosti. Potonja pretpostavka temelji se na funkcionalnosti peći, u svojstvu akomodacije zgure koja se formira u peći tijekom procesa pročišćavanja, koja je na ovom lokalitetu obilježena promjenama u dimenzijama talioničke, ali i masi i veličini kovačke zgure (T. 20)(Sl. 5.12.).



Slika 5.12. Idejna rekonstrukcija kovačkih instalacija s položaja Virje Sušine S-5 (a) i prikaz varijacije u dimenzijama zgura s dna kovačke peći (b) pronađenih na lokalitetu. (detaljniji prikaz uzoraka zgure vidi: T. 20 i 21).

## 6 Radionice za proizvodnju željeza

Arheološki zapis na istraženim položajima ukazao je na postojanje organiziranih cjelina, radionica u kojima se proizvodilo i obrađivalo spužvasto željezo. Pod pojmom radionica u ovom radu smatraju se prostori na kojima su višestruko izvedeni postupci koji vode proizvodnji željeza, pretpostavljeno u užem vremenskom okviru (aktivna proizvodnja) neovisno o dinamici izvođenja aktivnosti, a vidljiva je određena razina organizacije radnih aktivnosti i/ili prostora izvedbe istih. Prostori koje je moguće definirati kao radionice za proizvodnju i primarnu obradu spužvastog željeza nalaze se izvan istovremenih naselja, a elementi koji bi upućivali na trajniji boravak (utilitarni predmeti, keramičke posude, objekti za boravak, ognjišta i slično) nisu prepoznati u arheološkom zapisu istraženih sonde. Izvođenje postredukcijskih postupaka, prostorno je vezano uz naseobinske strukture i/ili elemente trajnijeg boravka na lokalitetima Dedanovice (kraj 6.–7.st.) i Virje – Sušine (S-7/8)(2/2 7.–8./poč. 9. st.), različite vremenske pripadnosti. Jedini lokalitet na kojemu su, uz arheološke nalaze proizvodnog otpada koje je moguće pripisati postredukcijskim ali i (malobrojnim) redukcijskim postupcima, prisutni i naseobinski elementi je Virje – Volarski breg (S-2b)(2/2 7.–8./poč. 9. st.). Kako bi se ukazalo na organizaciju radnih aktivnosti unutar prostora radionica i u asocijaciji s drugim istovremenim radioničkim prostorima, poglavito kod lokaliteta na kojima je ustanovljeno više faza iskorištavanja istih položaja ili duži vremenski period korištenja, ovdje će se promotriti radni prostori kroz položajnu i temporalnu pripadnost.

### 6.1 Organizacija radnog prostora i proizvodnih aktivnosti

#### 6.1.1 kraj 4. – 5. st.: Virje Sušine

U ovom vremenskom razdoblju tragovi proizvodnje željeza posvjedočeni su na dva položaja na lokalitetu Virje – Sušine (S-7 i 5). Ovi položaji prostorno su vrlo bliski, nalaze se na 50 metara međusobne zračne udaljenosti što može ukazivati da je širi prostor na položaju Sušine bio iskorištavan u ovom razdoblju. Rezultati geofizičkih istraživanja, ukazali su na jasnu prostornu razdvojenost nakupina otpada u ove dvije sonde, međutim glavnina otpada u S-7 (SJ 314 i 317) može se datirati u kraj 4./5. st. na temelju radiokarbonskih datuma i međusobne morfološke sličnosti otpada pronađenog u ovim slojevima, dok je glavninu otpada u S-5, prema istom principu kronološke determinacije moguće datirati u 2/2 6.-7. st. Tragovi aktivnosti u S-5 datirani u kraj 4./5. st. ustanovljeni su radiokarbonskim datumom dobivenim iz uzorka ugljena, prikupljenim iz zapune tvorevine koja nije u cijelosti istražena, a nalazila se uz zapadni rub iskopa (Sl. 2.5: SJ 237). U njoj je pronađena zgura koja nema jasnih paralela unutar ostalog otpada u sondi. Prema rezultatima geofizičkih istraživanja (Sl. 2.4) moguće je očekivati da je



na području neistraženog, zapadnijeg dijela prostora možda rasprostranjen otpad koji je moguće pripisati ovom razdoblju.

U S-7 definirani su slojevi, koncentracije otpada (SJ 314 i 317) presječeni recentnim prokopom kanala (Sl. 2.1-2.2). Debljina sloja otpada u Sondi 7 sezala je od 14 do 22 cm, a neposredno ispod njega definirane su plitke tvorevine, nedefiniranog karaktera, zapunjene otpadom. Obzirom da su slojevi otkriveni neposredno ispod humusnog sloja, koji je intenzivno podložan poljoprivrednim radovima u novije doba, poglavito dubokom oranju, za očekivati je da ovi slojevi predstavljaju donje dijelove tek djelomično očuvane gomile otpada od proizvodnje željeza. Unutar njih bile su vidljive pojedinačne nakupine stijenki peći. Koncentracija otpada na jednom mjestu svjedoči o ciljanom odlaganju otpada, dok pojedinačne koncentracije stijenki peći mogu ukazivati na dinamiku čišćenja odnosno uporabe prostora u isprekidanom ritmu. Cjelovit komad talioničke zgure pronađen je u vezi sa stijenkama peći (T.1:1) oko 1,3 m udaljen od koncentracije otpada, unutar pliče jame te se može smatrati jedinim djelomično očuvanim *in situ* nalazom položaja talioničke peći (S.2.2). U okolnom prostoru nisu definirani tragovi drugih struktura koje bi se mogle dovesti u vezu s ognjištima talioničkih peći, što implicira da su peći u ovom razdoblju na položaju Sušine mogle u prostoru biti postavljene samostalno. Postredukcijski postupci posvjedočeni su morfološkom analizom zgure, međutim tvorevine koje bi se mogle dovesti u vezu s kovačkim instalacijama nije moguće definirati u arheološkom zapisu iako je oblik peći u nekoj mjeri moguće razaznati iz oblika postredukcijske zgure s dna peći. Jasna prostorna razdioba koncentracije otpada nastalog pri proizvodnji željeza naspram pretpostavljenog položaja peći svjedoči o sustavnom odlaganju otpada na za to predviđeno mjesto i nekom vidu prostorne organizacije. O vremenu deponiranja otpada svjedoče radiokarbonski datumi koji smještaju nalaze iz Sonde 7 u vrijeme najranije kraja 4. st., a vjerojatnije oko prve polovine 5. stoljeća (s mogućnošću trajanja do u 6. stoljeće).

### **6.1.2 2/2 5. – 6. st.: Virje – Volarski breg**

U sondi S-2a u svim istraženim tvorevinama bili su prisutni ulomci zgure i/ili dijelovi nadzemne konstrukcije peći (stijenke i sapnice). Direktno ispod humusnog sloja na dijelu iskopa otkriven je sloj ovalna oblika tlocrta koji je u glavnini činila zgura, ulomci stijenki peći i keramičkih sapnica.<sup>81</sup> Obzirom na prostorno ograničenu i izrazitu koncentraciju nalaza otpada od proizvodnje željeza na dva mjesta moguće je zaključiti da se radi o prostoru na koji je ciljano deponiran otpad. U prilog tomu govori i količina prikupljenog otpada iz ove cjeline (90,883 g)

---

<sup>81</sup> Radi se o tvorevini SJ 115 (Sl. 2.9 - 2.10).

koja čini gotovo 44% ukupnog otpada pronađenog u svim arheološki istraženim cjelinama u S-2a i 3 (207,640 g). Tragovi talioničkih peći nisu definirani sa sigurnošću, no između ove dvije nakupine otpada postojala je plitka zapuna unutar duguljastog ukopa koji bi po dimenzijama mogao odgovarati pećima kakve su na temelju nalaza stijenki peći i redukcijske zgure definirane na ovom položaju. Morfološka analiza je potvrdila da se radi o otpadu koji nastaje kao posljedica postupaka proizvodnje spužvastog željeza u talioničkim pećima s plićim ognjištem iz kojeg se tijekom postupka ispuštala tekuća zgura, a rjeđe se pojavljuje i zgura koja upućuje da su se na istom mjestu odvijali i postredukcijski postupci, poput kompaktiranja i/ili pročišćavanja spužvastog željeza. Jasni tragovi kovačkih aktivnosti nisu definirani pri terenskom istraživanju, međutim u središnjem dijelu istraženog prostora, u zapuni plitkih jama relativno pravilnog kružnog tlocrta pronađena su tri uzorka zgure s dna peći koja je nastala postupkom primarnog kovanja te je moguće da su upravo na ovom mjestu izvođeni postupci kovanja, nedaleko (1,7 – 2,5 metara) od pretpostavljenog položaja talioničkih peći.

U sondi S-3, neposredno vezanoj uz prostor na kojemu je pronađen talionički otpad otkriveno je pet, nejednolično očuvanih jama koje su međusobno pokazivale iste ili slične karakteristike (Sl. 2.9; 2.11),<sup>82</sup> kao i sličnost s jamama iz S-1 na Volarskom bregu. Sastav gornjeg sloja zapune implicira da se radi o otpadnim jamama zapunjenim izlomljenim dijelovima konstrukcije peći (ulomcima stijenki i sapnica) te komadima zgure, ali donji, crni sloj pun gorevine te zapečeno tlo pri dnu ukazuje da su one možda primarno imale neku drugu, jedinstvenu funkciju. Na osnovu obilježja arheološkog zapisa moguće je pretpostaviti sličnu primarnu funkciju kao i kod jama u Sondi 1, te ih vezati za pripremu sirovina, prženje rude ili izradu drvenog ugljena (Pleiner 2000: 110, 122–126, Fig. 31, 32). Istočnije od ovih jama, istražena je koncentracija otpada od nekoliko talioničkih procesa, no strukture koje bi se mogle pripisati pećima nisu uočene, stoga je vrlo vjerojatno da se radi o prostoru deponiranja otpada. Deponiranje manje količine opada na dva ili tri prostorno izdvojena mjesta može svjedočiti o isprekidanom ritmu uporabe ili više faza uporabe prostora. Potonje bi možda sugerirala dva radiokarbonska datuma, koja datiraju vrijeme iskorištavanja prostora u 5. – 1/2 6. st. i 2/2 6. – poč. 7. st.. U arheološkom materijalu nije prepoznata razlika koja bi upućivala na više vremenski udaljenijih faza. Jedina značajnija razlika u odnosu na otpad je nakupina otpada na zapadnom dijelu sonde u kojemu je pronađena zgura koja sugerira gubitke u željezu prilikom više talioničkih postupaka.

---

<sup>82</sup> Jame iz S-3 bile su gotovo identične boje, konzistencije i sastava slojeva, ali i slijeda uslojavanja zapune. Ispod gornjeg sloja zapune nalazio se tamniji gotovo crni sloj različite debljine, ovisno o veličini i očuvanosti cjelokupne tvorevine. Jame su bile ukopane u zdravicu, a tlo je pri dnu bilo nagoreno/zapečeno.

### **6.1.3 2/2/kraj 6. st. – 2/2 7. st.: Hlebine – Velike Hlebine, Dedanovice, Virje – Sušine**

#### 6.1.3.1 Priprema sirovina, redukcijски i postredukcijски procesi

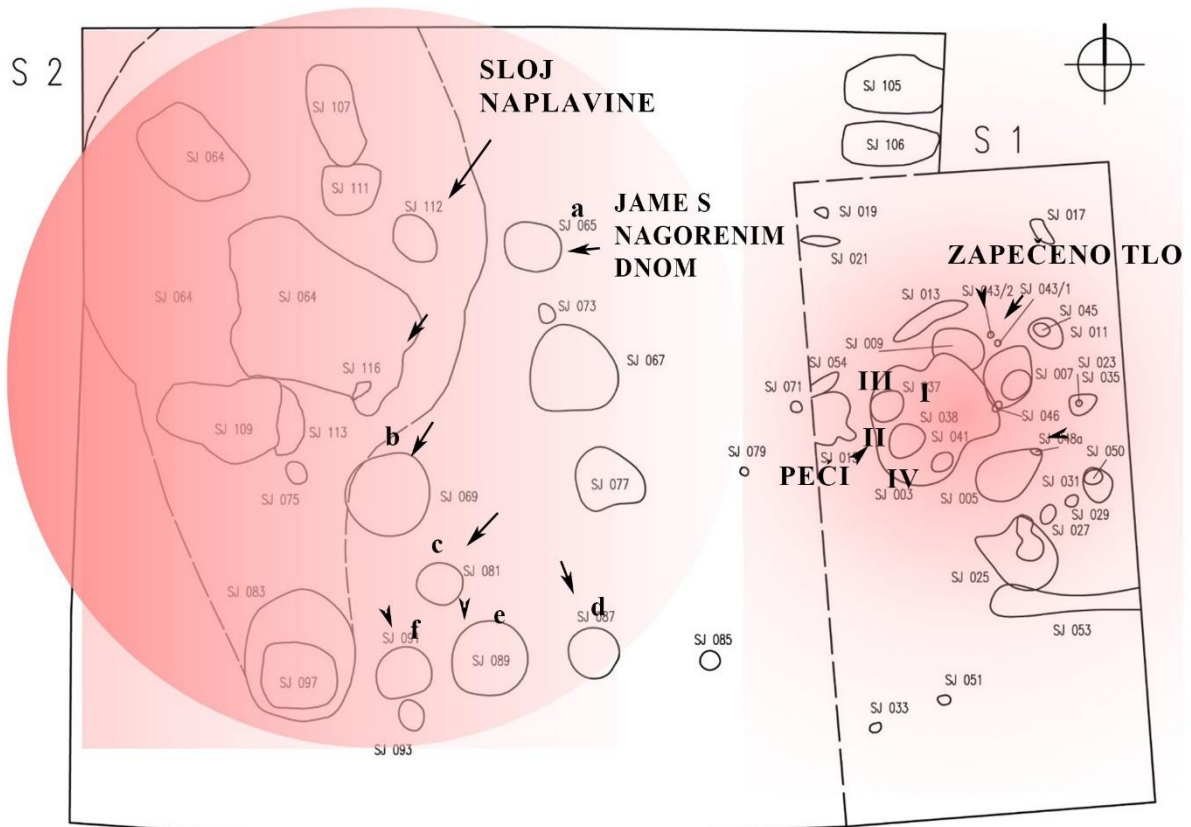
##### 6.1.3.1.1 Hlebine – Velike Hlebine

Lokalitet Hlebine – Velike Hlebine prepoznat je površinskim terenskim pregledom, a geofizičkim istraživanjima potvrđen je prostor visokih magnetskih anomalija koje su ukazale na perimetar rasprostiranja otpada od metalurških aktivnosti (Mušič et al. 2016: 15–17, sl. 16–20; 2021: 29–32), koji je potom istražen kroz dvije arheološke kampanje (Sekelj Ivančan, Valent 2017; Sekelj Ivančan 2018a). Istraženi prostor od 833,24 m<sup>2</sup> načelno se može smatrati jedinstvenom arheološkom cjelinom, radionicom za proizvodnju željeza na što, uz rezultate geofizičkih istraživanja, ukazuje analiza arheoloških struktura i nalaza. Aktivnosti su ovdje izvođene u nekom razdoblju od kraja 6. –sredine 7. st. (s mogućnošću trajanja u 2/2 7. st.).

Na temelju arheološkog terenskog zapisa moguće je definirati neke tvorevine i strukture na istraženom području (vidi poglavlje 2.4.1.2.1). Na zapadnom dijelu istraženog područja tijekom iskopavanja definirano je nekoliko plitkih jama s jače ili slabije zapečenim dnom, u dvije varijante promjera, kod kojih je primarni arheološki zapis (zapečeno dno) nastao termičkim djelovanjem na tlo, vrlo vjerojatno uslijed prženja močvarnih željeznih ruda (vidi poglavlje-rude). U zapuni potonjih jama, djelomično prekrivenih slojem naplavine, pronađena je i izvjesna količina otpada, što može svjedočiti o naknadnoj uporabi ovog prostora za odlaganje otpada iz redukcijских i postredukcijских postupaka (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021). Na krajnjem zapadnom dijelu istraženog područja, rubnom i najnižem dijelu niskog uzvišenja (Sl. 6.1.) nalazio se sloj naplavine, s metalurškim otpadom, a neposredno ispod njega pojedinačne koncentracije – slojevi zasićeni otpadom (terenski obilježeni kao ukopi nakon čišćenja) (vidi poglavlje 2.4.1.2.1). Nasuprot slojevima otpada, na istočnom dijelu istraženog područja, prepoznati su ostaci dvaju ognjišta i jame za istek zgure, konstruktivni dijelovi dna talioničkih peći (T.12, 13). Stratigrafska situacija pokazala je postojanje ranijih, djelomično negiranih dijelova ognjišta dviju peći na gotovo istom položaju, vrlo blago izmaknutim. U neposrednoj blizini peći, definiran je i niz tanjih slojeva ispod kojih su pronađni plitki, tlocrtno relativno pravilni ukopi. (Sl. 6.1).

Prostorna distribucija arheoloških tvorevina na istraženom prostoru jasno ukazuje na minimalno dva područja na kojima su prisutne arheološke tvorevine različitih značajki i gustoće pojave (Sl. 6.1.). Na istočnom dijelu istraženog područja (S-1) vidljiva je koncentracija obimom

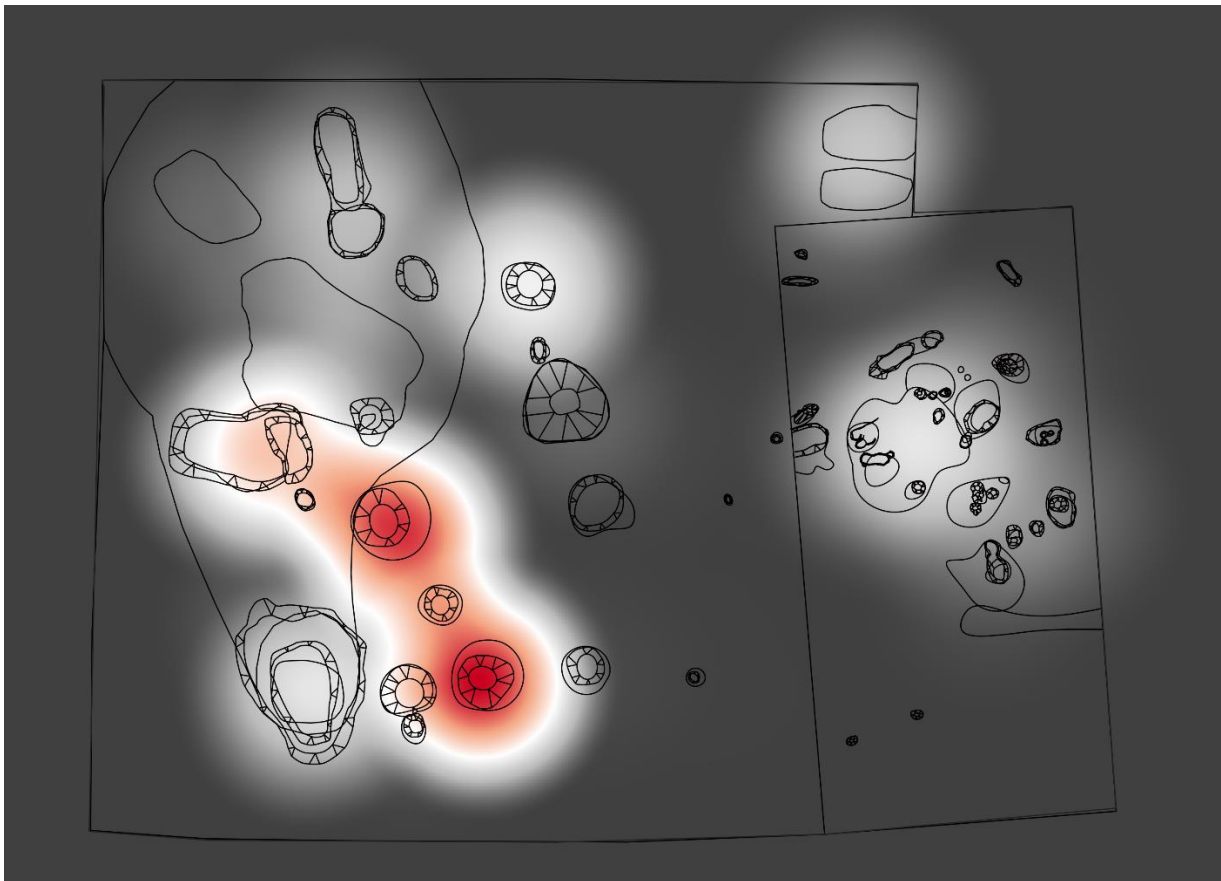
manjih struktura, slojeva ili zapuna na uskom prostoru. Zapadni dio (S-2), bio je djelomično prekriven slojem naplavine (SJ 003), a tvorevine pronađene ispod ovog sloja mogu se podijeliti na: a) plitke jame sa zapečenim dnom kružnog tlocrta, dvije dimenzije promjera, smještene na sličnom, relativno pravilnom međusobnom razmaku, b) slojeve nepravilna oblika zasićene otpadom pronađene na zapadnom rubu platoa, neposredno ispod sloja naplavine.



Vrsta nalaza	Količina/kg	udio % / ukupno	Zasićenost kg/m <sup>2</sup>	Vrsta nalaza	Količina kg	Udio % / ukupno	Zasićenost kg/m <sup>2</sup>
Zgura/Fe-magnetični otpad	382.98	81	0.61	Zgura/Fe-magnetični otpad	90.90	19	0.44
Tehnička keramika – stijenke peći	200.64	93	0.32	Tehnička keramika – stijenke peći	15.08	7	0.07

Slika 6.1 Grafički prikaz tlocrta istraženog područja s naznakom dvaju prostora odvojivih prema gustoći pojave i značajkama arheoloških tvorevina (Hlebine – Velike Hlebine) i rezultati statističke analize ukupne količine otpada na pojedinom području. Na tlocrtnoj podlozi prikazani su obrisi slojeva i/ili zapuna.

Statistička analiza prikupljenih nalaza ukazuje da se između 81 i 93% (ovisno o vrsti) ukupne količine otpada nalazi na zapadnom dijelu (S-2) (Sl. 6.1., 6.2.). Ako promotrimo zasićenost istraženog prostora s otpadom ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), također je vidljiva puno niža razina na istočnom dijelu (odnos zasićenosti je 4:1). Najviša zasićenost i koncentracija otpada vidljiva je na JZ dijelu istraženog područja, koji je tek djelomično bio prekriven slojem naplavine. Ovakva slika može biti uzrokovana utjecajem naplavlivanja prostora i nasljedno disperzije otpada na SZ dijelu područja, obzirom da je ova zona bila pod intenzivnijim naplavlivanjem, registriranim u arheološkom zapisu (Sl. 2.14). Ipak, generalno gledajući, viša razina zasićenosti prisutna je na cjelokupnom zapadnom dijelu istraženog područja (Sl. 6.2.). Središnji prostor je bez arheoloških tvorevina i nalaza. Ovi podaci sugeriraju da postoje minimalno dvije glavne zone u organizaciji prostora i to vjerojatno različita karaktera.



Slika 6.2. Grafički prikaz distribucije i zasićenosti prostora otpadom (*heatmap*)(ukupna količina otpada bez obzira na vrstu – stijenke peći, zgura iz postupaka redukcije i postredukcije, ulomci rude)(prikaz utemeljen na podacima o vrsti otpada i ukupnoj količini otpada prema arheološkom kontekstu pronalaska (SJ) i njegovom prostornom položaju).

U svrhu usporedbe otpada pronađenog na istočnom i zapadnom dijelu, koja može odražavati način deponiranja otpada, izračunata je prosječna masa ulomka za zguru i tehničku keramiku, koja posredno odražava dimenzije ulomaka odnosno stupanj fragmentiranosti ovih dvaju tipova arheoloških nalaza.<sup>83</sup> Iz rezultata je vidljiva značajnija razlika u prosječnoj masi ulomaka zgure i tehničke keramike na zapadnom naspram istočnog dijela istraženog prostora.<sup>84</sup> Prosječna masa ulomka, time i dimenzije, veća je za obje vrste arheoloških nalaza na zapadnom dijelu istraženog prostora odnosno razina usitnjavanja (stupanj fragmentiranosti) je niža. Ovo se može dovesti u vezu s vrstom aktivnosti, intenzitetom iskorištavanja prostora i načinom deponiranja otpada u vrijeme izvođenja aktivnosti, ako pretpostavimo da je postdepozitni utjecaj na lom ulomaka bio jednak na oba prostora, što je moguće obzirom na neposrednu prostornu povezanost. Postoji određena razina nepouzdanosti u odnosu na mogući posdepozitni utjecaj obzirom da su visinske kote na krajnjem zapadnom dijelu prostora nešto niže, što bi impliciralo i manji utjecaj turbacije uzrokovane kontinuiranim oranjem na ovom položaju. Također, zapadni dio prostora, minimalno je jednom prilikom bio pod utjecajem je naplavlivanja, na što ukazuje arheološki zapis, sloj naplavine. Ipak, ako dovedemo u vezu podatke o općoj zastupljenosti otpada na ova dva područja i razini fragmentiranosti, moguće je sugerirati da su ove razlike odraz organizacije radnih aktivnosti. Generalno niža učestalost pojave nalaza otpada (Sl. 6.2) i visoka razina fragmentiranosti na istočnom dijelu implicira sustavno održavanje ovog prostora, čišćenje od značajne količine otpada koja nastaje u redukcijskim i postredukcijskim postupcima. Veća razina fragmentiranosti može implicirati i značajnije usitnjavanje preostalog otpada zbog intenziteta izvođenja aktivnosti, kretanja i učestalosti boravka na ovom prostoru. S druge strane, sasvim obrnuta slika vidljiva na zapadnom dijelu implicira da je ovo prostor nižeg intenziteta izvođenja aktivnosti, odnosno povremenih aktivnosti i smanjenog kretanja. Gustoća pojave arheoloških struktura i tvorevina, također govori u prilog ovoj tezi te sugerira intenzivnu razinu aktivnosti koje su u neposrednoj međusobnoj vezi i ne zahtijevaju širok radni prostor na istočnom dijelu, dok je na zapadnom dijelu prostora vidljiva jasna prostorna

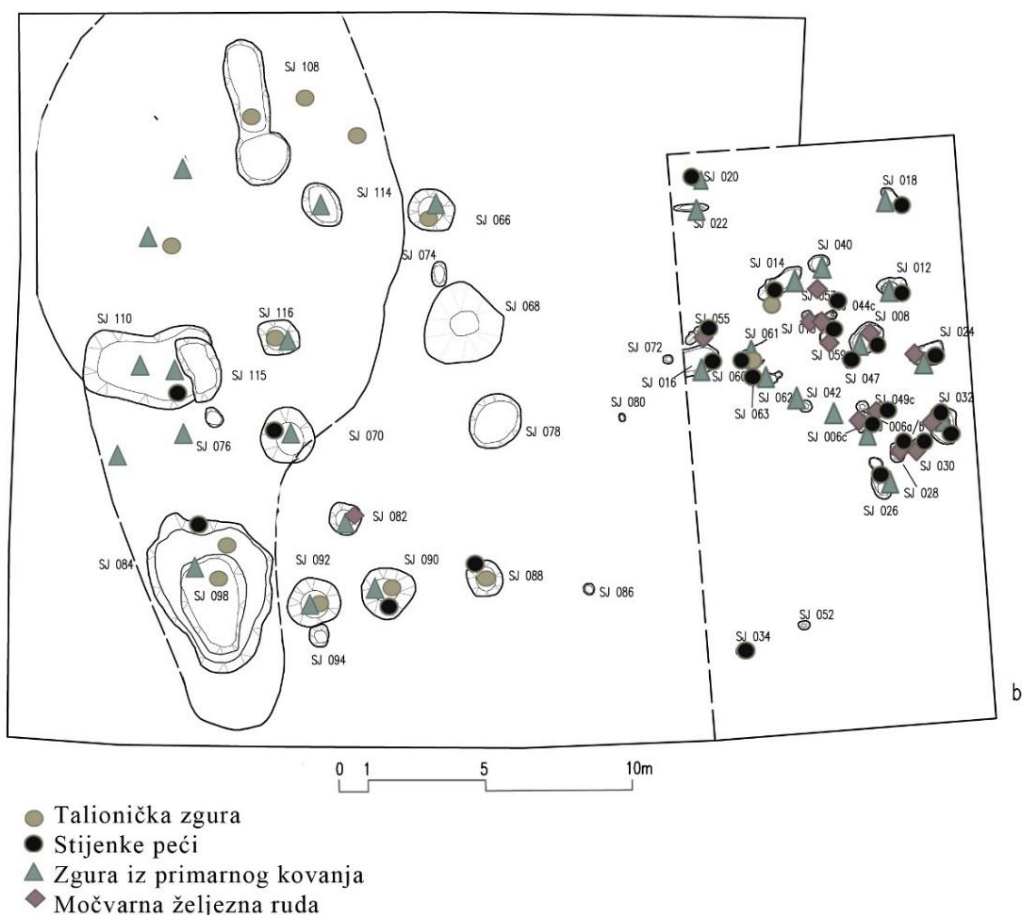
---

<sup>83</sup> Prosječna masa ulomka izračunata je za pojedini tip nalaza prema materijalu – zguru i tehničku keramiku, za svaku zatvorenu arheološku cjelinu (SJ), a čini ju odnos mase naspram broja ulomaka (g/ul.). Pretpostavka je ovdje da se radi o jedinstvenom tipu materijala (zgura ili tehnička keramika) te je prema tome prosječna masa jednog ulomka odraz dimenzija ulomka, odnosno fragmentiranosti. Kako bi se dobila jedinstvena vrijednost za usporedbu ova dva prostora, izračunat je prosjek mase ulomka za sve zatvorene arheološke cjeline na istočnom i na zapadnom dijelu istraženog prostora. Niže vrijednosti ukazuju na veću razinu fragmentiranosti odnosno prosječno manju masu ulomaka, nasljedno i dimenzije dok više vrijednosti ukazuju na manju razinu fragmentiranosti-veće dimenzije i masa pojedinačnih ulomaka.

<sup>84</sup> Prosječna masa ulomaka za istočni dio je 26,04%, a tehničke keramike 12,23%, dok je za zapadni dio ona 58,14% za zguru i 46,35% za tehničku keramiku.

udaljenost i disperzija struktura koja može upućivati na izvedbu aktivnosti koje možda nisu u neposrednoj međusobnoj vezi te zahtijevaju širi radni prostor.

Distribucija i zasićenost određenog tipa otpada može, uz definirane strukture u arheološkom zapisu, govoriti o funkciji pojedinog prostora. Ulomci zgure nastale redukcijским i postredukcijским postupcima te tehničke keramike distribuirani su na oba područja (Sl. 6.3.). Međutim, zasićenost ulomcima talioničke zgure i stijenkama peći veća je na zapadnom dijelu područja (Sl. 6.4.). S druge strane, zasićenost postredukcijским otpadom koji predstavljaju ulomci kovačkih zgura s dna peći i amorfní magnetični ulomci (kompaktiranje i kovanje) veća je na istočnom dijelu prostora i neposredno je vezana uz prostor na kojemu su definirane talioničke peći. U prostornoj distribuciji vidljive su i određene mikrozone, s jedne strane pojava i zasićenosti talioničke zgure i tehničke keramike, a s druge, zgure iz postredukcijских postupaka.



Slika 6.3. Grafički prikaz prostorne distribucije nalaza prema vrsti, lokalitet Hlebina – Velike Hlebine.



Sl. 6.4. Grafički prikaz (*heatmap*) distribucije i zasićenosti prostora određenim tipom arheološkog nalaza – zgure iz redukcijskih i postredukcijjskih postupaka, sirovine – rude i tehničke keramike – stijenki peći. Uvrštene su masene vrijednosti (g).

Na istočnom dijelu prostora talionička zgura prisutna je na području gdje su definirani ostaci talioničkih peći i zgura formirana kroz jedinstvene postupke taljenja pronađena *in situ* (Peć II-III), moguće odraz posljednjeg talioničkog procesa izvedenog na ovom položaju. Zgura koja potječe iz postupaka postredukcije (kovačke pogače, amorfni magnetični i nemagnetični ulomci) pronađena je u tanjim slojevima i zapunama ispod njih, prostorno položenim u gotovo



pravilnom luku, udaljenom oko 1,5 – 3 m od ostataka talioničkih peći (Sl. 6.3 – 6.4.). Veće koncentracije vidljive su u najmanje dvije cjeline (SI i JI od peći). Ovdje su u arheološkom zapisu definirane plitke jame, pravilnijeg kružnog tlocrta i ukopa, koje bi se prema tipu zgure pronađene u njima mogle dovesti u vezu s instalacijama za postupke postredukcije (sl. 5.1.). Dvije prostorno relativno odvojene cjeline, na položaju koji sugerira povezanost s pojedinom talioničkom peći mogle bi se tumačiti kao odraz dinamike radnih aktivnosti vezanih uz operiranje dviju talioničkih peći. U ovom slučaju moguće je pomišljati o dvije radne skupine, od kojih svaka operira jednu peć i nakon toga odrađuje postupke postredukcije, pročišćavanja spužvastog željeza. S druge strane, postojanje dviju zona moglo bi se vezati uz relativno izmještanje kovačkih instalacija i aktivnosti, vezano uz vrijeme funkcioniranja peći, odnosno sezonski karakter aktivnosti. Pri tome, jedan položaj bi se vezao uz dvije peći sa zgurom pronađenom *in situ* (Peć II i III), a drugi uz peći čiji su ostaci ognjišta presječeni potonjim dvjema pećima (Peć I i IV). Ovo bi sugeriralo nešto drugačiju organizaciju rada, jednu skupinu koja izvodi postupke sukcesivno – nakon pojedinog taljenja izvode se postupci primarnog kovanja na jedinstvenom mjestu, ili dvije skupine – jednu koja izvodi postupke taljenja i drugu koja je zaslužna za pročišćavanje spužvastog željeza. Nalazi vrlo malih zgura s dna kovačke peći te prisutnost željeznih listića u njihovoj strukturi na lokalitetu Velike Hlebine sugeriraju i povremene kovačke aktivnosti (sekundarno kovanje) ili vrlo intenzivno pročišćavanje. Ovo bi moglo ukazivati na prisutnost različitih, manje ili više specijaliziranih izvođača postupaka, no s druge strane, ne može se smatrati isključivim zaključkom. Ulomci močvarne željezne rude pronađeni su unutar zapune ognjišta peći što otvara mogućnost da je dio rude tijekom postupka taljenja ostao nereduciran. Također, malobrojni ulomci pronađeni su i u plitkoj jami SI od peći za taljenje što bi moglo ukazivati na područje gdje su se resursi poput rude i drvenog ugljena držali tijekom procesa taljenja. Uzorci rude, pronađeni su i unutar nakupina otpada na zapadnom dijelu istraženog područja. Zonalna distribucija različitih vrsta nalaza na istočnom dijelu istraženog prostora i njihova međusobna prostorna blizina upućuje na jasnu i promišljenu organizaciju prostora prema aktivnostima koje su neposredno povezani koraci u proizvodnji željeza, postupak taljenja – redukcije i primarne obrade spužvastog željeza – postredukcijskog kompaktiranja (?) i pročišćavanja. Radni prostor namijenjen za sukcesivne postupke, kao što su taljenje i obrada spužvastog željeza, prostorno je povezan i strukturiran. Visoka razina fragmentiranosti zgure i tehničke keramike na ovom prostoru te niska razina učestalosti pojave otpada naspram zapadnog dijela istraženog područja komplementarna je ovoj tezi te svjedoči o intenzitetu obavljanja aktivnosti u vezi s vrstom i održavanju radnog prostora.

Masivniji komadi i glavnina otpada od redukcije (stijenke peći – vrata talioničkih peći i talionička zgura) koncentrirani su na više područja na zapadnom dijelu prostora. Uzorci kovačke zgure i rude također su prisutni u ovim koncentracijama otpada. Potonje sugerira ciljano deponiranje otpada na za to predodređen prostor, na rubnom dijelu radnog prostora ali ujedno i rubnom dijelu platoa, visinski najnižem, gdje je plavljenje najizglednije. Prema prirodnim odlikama i opasnosti od plavljenja ovaj prostor mogao je biti predodređen kao mjesto deponija, prostor na kojemu nisu izvođene proizvodne aktivnosti. Prostorni raspored jamskih struktura dovedenih u vezu s postupcima pripreme sirovina koji prethode taljenju (vidi poglavlje 314/3.1.4.3.), ukazuje na rub aktivno iskorištavanog prostora koji je u skladu s rubom naplavnog područja, registriranog u arheološkom zapisu kroz slojeve naplavine (sl. 6.1). U razdoblju koje vjerojatno označava *terminus ante que non*, naplavlivanje je sezalo preko nekih od ovih jama, o čemu svjedoči relativna datacija sloja naplavine preko keramičkih ulomaka, datiranih u 8. st. kada na obližnjem položaju (Velike Hlebine, S-3) funkcionira naselje (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 77).

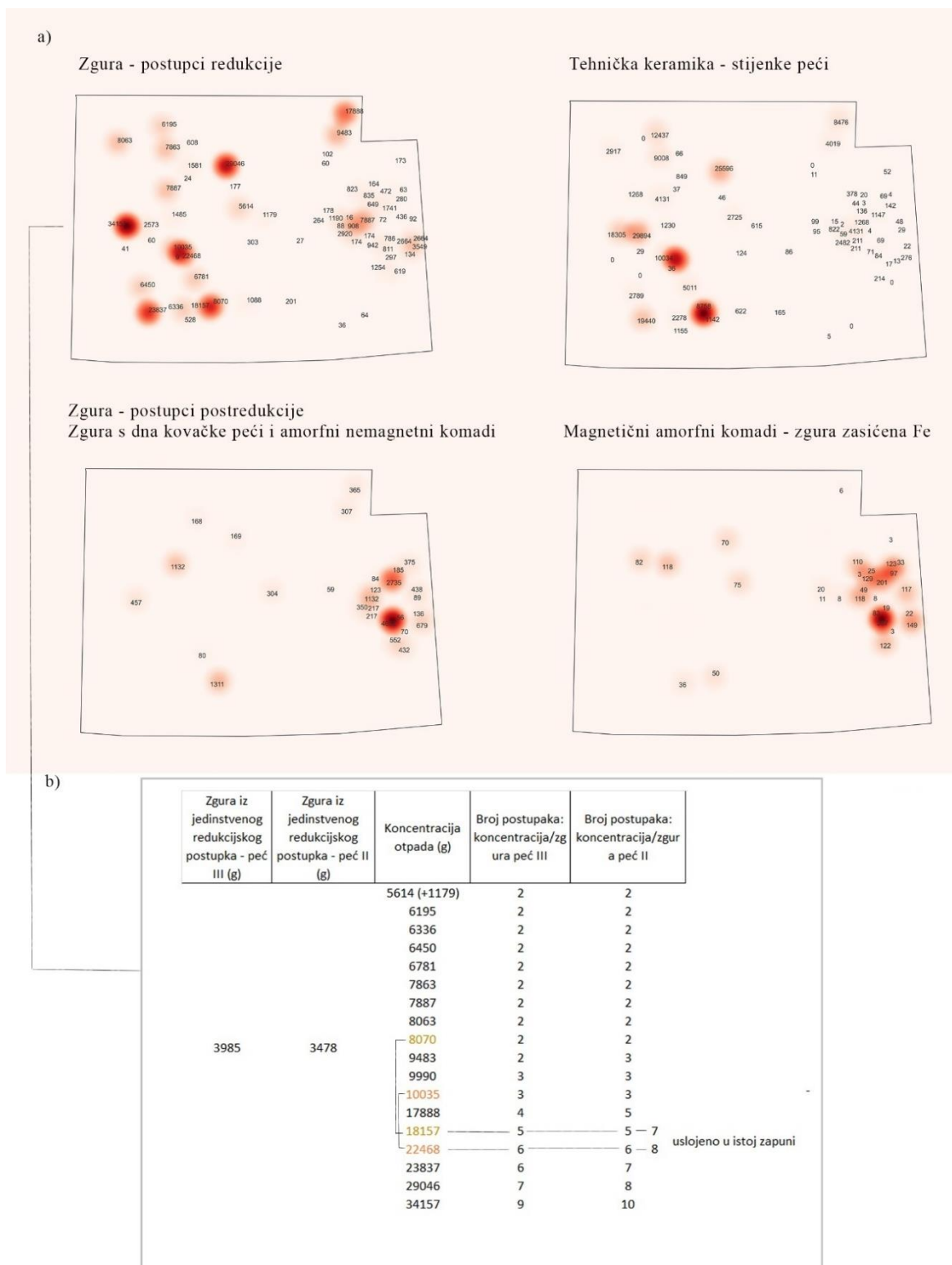
Ako promotrimo količinu otpada iz talioničkih postupaka u pojedinoj koncentraciji na zapadnom dijelu prostora, vidljive su određene pravilnosti, koje se mogu dovesti u vezu s dinamikom deponiranja otpada i uporabom prostora radionica (Sl. 6.5.). Prostorno odvojeni slojevi otpada na zapadnom dijelu, prema količini zgure iz redukcijskih procesa pokazuju da je na pojedinom mjestu deponiran otpad iz minimalno dva i maksimalno deset talioničkih postupaka<sup>85</sup> (Sl. 6.5). Svaka nakupina zgure označava otpad iz minimalno dva postupka taljenja, što je u skladu s pretpostavkom o simultanom funkcioniranju dviju peći za taljenje. Slična pravilnost u odnosu količine otpada prisutnog u ovim cjelinama, iako manje izražena, vidljiva je i kod ostalog tipa otpada – tehničke keramike i zgure iz postupaka postredukcije (Sl. 6.5: a). Ako pretpostavimo da je jedna cjelina – koncentracija otpada nastala tijekom jedne kampanje ili sesije taljenja, moguće je pretpostaviti i da je količina proizvedenog željeza u jednoj kampanji varirala. O ovome bi potencijalno svjedočila i razlika u veličini jama sa zapečenim dnom te razini nagorenosti tla, ako pretpostavimo da je nad prostorom većeg promjera i jače zapečenosti pržena veća količina rude, potrebna za više sukcesivnih postupaka taljenja.

Prema tome, dinamika proizvodnje bila je prilagodljiva, a razloge prilagodbi moguće je tražiti u ekonomskoj odnosno tržišnoj potrebi. S druge strane, nepovoljni vremenski uvjeti i

---

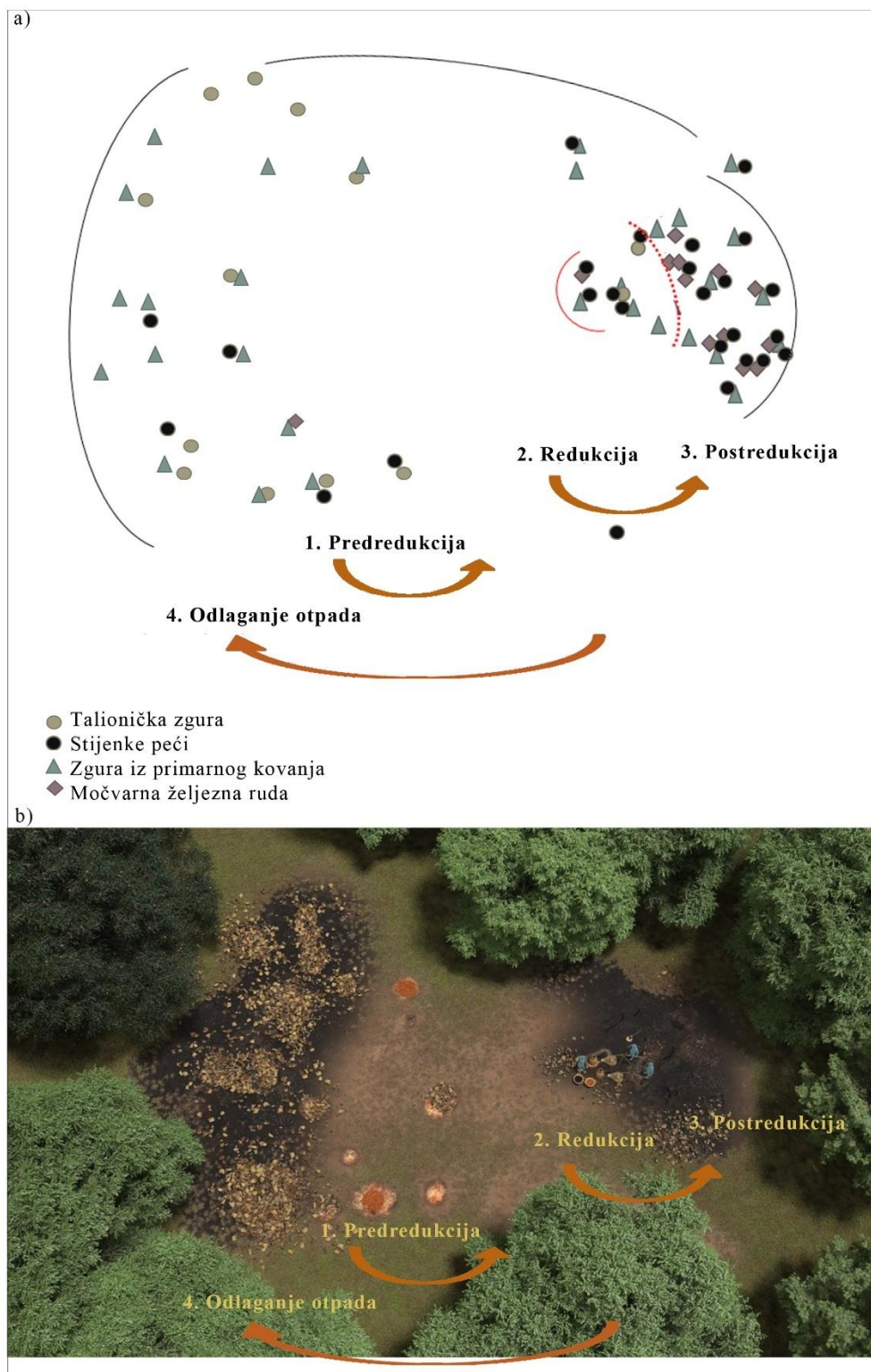
<sup>85</sup> Cjelovite zgure iz jednog postupka taljenja pronađene su u pećima II i III (vidi poglavlje 4.2.1.1.3. i 5.1.), a teže 3985 g i 3478 g. Težina ovih zgura uzeta je kao ogledna težina zgure proizašle jedinstvenim postupkom taljenja, te je poslužila kao jedinica za izračun broja potencijalnih postupaka u određenoj zatvorenoj arheološkoj cjelini (slojevi i/ili zapune jama).

naplavljanje mogli su uvjetovati manju mogućnost pristupa prostoru radionice te eksploataciji rude u neposrednoj blizini i nasljedno proizvodnji željeza na ovom položaju. Eksploatacija rude u blizini radionice pretpostavljena je na temelju položaja radionice u odnosu na potencijalne prostore razvoja ležišta močvarnih ruda, mineraloške analize uzoraka rude iz arheološkog konteksta i činjenice da se na prostoru odvijao postupak pripreme sirovina. Posljedica rjeđe dinamike posjete prostoru također se mogla ogledati u proizvodnji veće količine željeza (više talioničkih postupaka) u jednoj kampanji te na taj način objasniti varijaciju u količini deponiranog otpada na određenom mjestu. Koncentracije otpada na za to predviđenom mjestu ujedno nam govore o organiziranom zbrinjavanju otpada i isprekidanom ritmu uporabe radionice.



Slika 6.5. a) grafički prikaz distribucije, zasićenosti i količine različitih kategorija otpada na istraženom području lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine, b) izračun broja talioničkih postupaka čiji je otpad koncentriran na jednom mjestu – izračun je uspostavljen prema odnosu zgure iz jednog postupka taljenja (Peći II i III) i ukupne količine talioničke zgure unutar pojedine zapune/sloja.

Dokumentirana prostorna organizacija radionice ukazuje na postojanje jasno odvojenih prostora za određene aktivnosti/stadije koji vode proizvodnji željeza (Sl. 6.6-6.7): 1) predredukcija - priprema sirovina, 2) redukcija - taljenje željezne rude, 3) postredukcija – konsolidacija i pročišćavanje spužvastog željeza, 4) deponij otpada – dinamično, ciljano deponiranje otpada. Aktivnosti koje su usko povezane u slijedu proizvodnje željeza su i izvođene na bliskoj prostornoj udaljenosti. Pirometalurške aktivnosti koje su prethodile taljenju, poput pripreme resursa, postavljene su na obrisu područja intenzivnog kretanja i učestalijeg obavljanja radnih aktivnosti. Radni prostor je očišćen nakon izvedenog procesa taljenja i pročišćavanja spužvastog željeza ili kampanje, a otpad je odbačen na rub radnog prostora ujedno i platoa niske uzvisine, prostora na kojemu je moguće plavljenje.



Slika 6.6. a) Grafički prikaz prostorne organizacije radionice prema aktivnostima s naznačenim zastupljenim tipovima arheoloških nalaza, tlocrt, b) 3d rekonstrukcija prostora radionice: ptičja perspektiva, tlocrtna organizacija (izradili: Tena Karavidović i Ivan Štefan)

a)



b)



c)



Slika 6.7. 3d rekonstrukcija prostora radionice: a) pogled s zapada – deponij otpada i prostor pripreme sirovina - jame s zapečenim dnom, b) pogled s SI, talioničke peći i prostor za pročišćavanje spužvastog željeza ( izostaju rekonstrukcije kovačkih instalacija), c) rekonstrukcija dvaju talioničkih peći. Rekonstrukcija mijeha nema uporište u arheološkim nalazima već je primarno utemeljena na funkcionalnom testiranju kroz ekeperiment (Karavidović 2020b)(vizualizacija: Ivan Štefan).

#### 6.1.3.1.2 Virje – Sušine

Na lokalitetu Virje – Sušine istražena su dva položaja, na kojima su radiokarbonski datumi ukazali na boravak na ovim položajima u periodu 2/2 /kraja 6. st. – 2/2 7. st. Na položaju S-5 definiran je sustavno korišten radni prostor dok su tragovi aktivnosti na položaju S-7 koji pripadaju ovom razdoblju vrlo vjerojatno sporadični, na što upućuju nalazi analognih tipova sapnica (ukupno 4), od kojih je dio pronađen u nakupini otpada, iz koje je uzorak ugljena ukazao na datum 2/2 6. – poč. 7. st..

Otpad u iskopu S-5 gotovo je u potpunosti zahvaćen arheološkim istraživanjima. U sondi S-5, veće koncentracije otpada otkrivene su ispod humusnog sloja, a otpad je na mjestima bio znatno zadebljan, i do tridesetak centimetara, naročito u središnjem i sjevernom dijelu iskopa (SJ 231). Pojedinačne koncentracije stijenki peći i zgure bile su raspoređene u prostoru neposredno ispod razasutog sloja (SJ 231) (Sl. 2.4-2.5). Pojedinačne nakupine otpada svjedoče o ciljanom



odlaganju otpada, a mogu ukazivati i na dinamiku čišćenja odnosno uporabe prostora u isprekidanom ritmu, slično kao na lokalitetu Velike Hlebine. U Sondi 5 dva radiokarbonska datuma dobivena su iz uzoraka ugljena (Sl. 2.5), jedan koji ukazuje na kraj 6. i ½ 7. st. i drugi, mlađi, oko 2/2 7. st., te prostorni položaj nakupina otpada iz kojih su prikupljeni uzorci, svjedoče o uslojavanju otpada, potencijalno kroz duži vremenski period. Otpad je taložen u vis (odnos SJ 218 i 231), no prostor se zapunjavao vjerojatno i prema horizontalnoj liniji, smjeru od juga prema sjeveru (Sl. 2.5.) o čemu može svjedočiti prostorni raspored različito datiranih slojeva otpada.

Arheološki zapis koji bi upućivao na ostatke ložišta talioničkih peći nije moguće sa sigurnošću izdvojiti. Uz zapadni profil iskopa S-5 na nekoliko je mjesta bilo vidljivo zapečeno dno plitkih ukopa i to manjeg izduženog kanala i kružne jame koji bi se mogli dovesti u vezu s dnom ložišta i plitkom jamicom za istek tekuće zgure, odnosno položajem talioničkih peći (Sl. 2.5). Ove tvorevine nalazile su se zapadno od slojeva talioničkog otpada, na jednakoj udaljenosti te su gotovo paralelno postavljene u prostoru čime impliciraju istu orijentaciju peći kao naznaku prostorne organizacije položaja talioničkih peći.

Analiza nalaza ukazala je i da su se na istom prostoru izvodili i postupci koji slijede nakon same proizvodnje spužvastog željeza, postredukcijska obrada odnosno pročišćavanje spužvastog željeza. Iako je na temelju nalaza postredukcijske zgure s dna peći moguće rekonstruirati u nekoj mjeri i izgled peći (vidi poglavlje 5.2.2), strukture ili tvorevine koje bi se mogle dovesti u vezu s kovanjem nisu sa sigurnošću utvrđene u arheološkom terenskom zapisu, a zgura iz primarnog kovanja pronađena je u asocijaciji s talioničkom zgurom i stijenkama peći, među koncentracijama otpada.

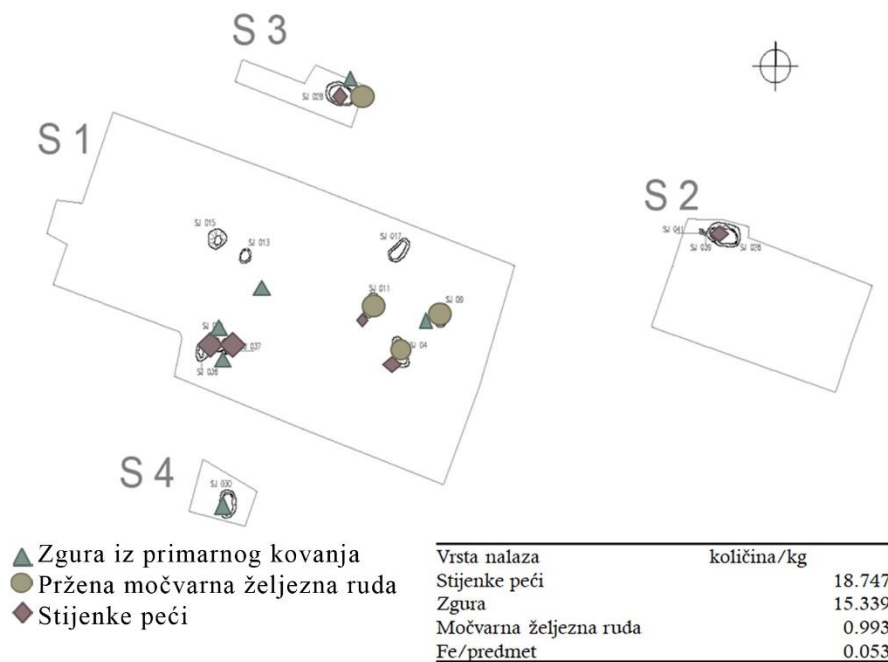
Položaj slojeva koncentriranog otpada u odnosu na druge tvorevine i pretpostavljene ostatke peći sugerira organizaciju radnog prostora, gdje je otpad ciljano deponiran na za to predviđeno mjesto, vjerojatno pri rubu radnog prostora.

Prema široj prostornoj slici geomorfologije krajolika naspram položaja nakupina otpada moguće je zaključiti da je otpad bio deponiran ne samo na rubni dio radnog prostora već i rubne dijelove uzvišenja. Prema rezultatima geofizičkih istraživanja provedenih na ovom položaju (karta 2.4), čini se da je talionički otpad odlagan još na jednoj, arheološki neistraženoj poziciji, smještenoj južno od S-5, uz zatrpan recentni bunar (Mušič et al. 2014: 20, sl. 22: E, G).

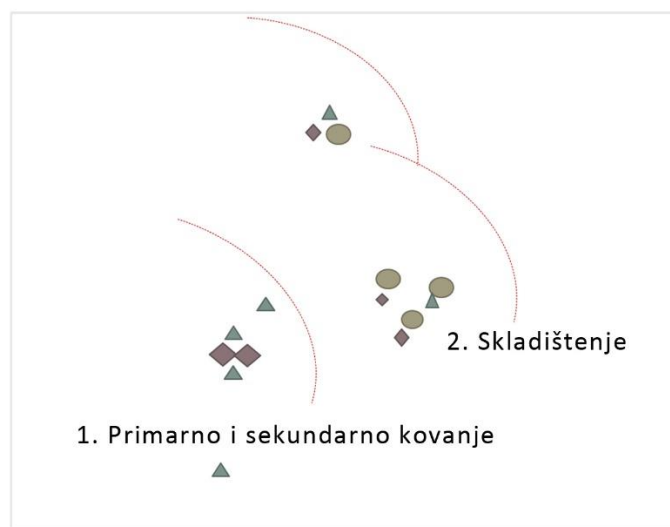
### 6.1.3.2 Postredukcijski procesi i skladištenje sirovina: naseobinski kontekst

#### 6.1.3.2.1 Hlebine – Dedanovice

Na lokalitetu Dedanovice pronađene su dvije strukture, peći za primarno kovanje (peći 1 i 2) (Sl. 2.16; 5.9) postavljene jedna uz drugu, gotovo zrcalno simetrične. Zgura pronađena na lokalitetu interpretirana je kao zgura iz primarnog kovanja, procesa pročišćavanja spužvastog željeza, no nisu isključene ni daljnje kovačke aktivnosti s obzirom na pojavu sitnih sfera i željeznih listića (okujine) u zapunama ognjišta peći (T. 24). Izgled konstrukcije peći s otvorenim plitkim ložištem i jamom ispred njega funkcionalno odgovara potrebama kovačkih peći. Većina zgure na istraženom dijelu lokaliteta pronađena je u vezi s ovim strukturama i jamama neposredno ispred ognjišta peći (70% ukupno količine pronađene u svim istraženim sondama (10778 g/502 ulomka)). Značajnija količina odloženog otpada i zgura koja se može pripisati postupku taljenja nije pronađena na istraženom prostoru, a veće koncentracije otpada ne treba niti očekivati na širem prostoru na što ukazuju rezultati geofizičkih istraživanja (sl. 2.15). Ostale tvorevine čine jame u čijoj zapuni su pronađeni ulomci keramičkih posuda (Sekelj Ivančan 2021: 149–153, Tab 1.), ali i pržene rude (Tab.3.1: H-D 1-4). Na istraženom prostoru nisu pronađene tvorevine koje bi se mogle dovesti u vezu s prženjem rude ili talioničkim postupcima. Prema rezultatima kemijske i mineraloške analize radi se o uzorcima izrazito kvalitetne, tehnološki iskoristive rude koja pokazuje značajne sličnosti zastupljenosti elemenata u tragovima i rijetkih elemenata s rudom pronađenom na položaju Velike Hlebine. Potonje može implicirati da su ove rude potekle sa iste ili vrlo bliske mikrolokacije ležišta. S obzirom na relativnu istovremenost koju impliciraju radiokarbonski datumi ovih dvaju lokaliteta i neposrednu prostornu blizinu moguće je da su aktivnosti na ovim dvama lokalitetima bile povezane te predstavljaju elemente organizacije radnog procesa. U tom smislu interpretacija radnog prostora na Dedanovicama i postojanje kvalitetne rude u zapunama jama moglo bi se dovesti u vezu sa skladištenjem rude, korištene u talioničkim postupcima. Radni prostor na lokalitetu Dedanovice u nekoj mjeri je prostorno organiziran i može se podijeliti na: 1. uski radni prostor s primarnim i/ili sekundarnim kovačkim pećima, 2. širi prostor gdje se potencijalno skladištila pržena željezna ruda. (Sl. 6.8-6.9)



Slika 6.8 Hlebine – Dedanovice. Grafički prikaz prostorne distribucije nalaza prema vrsti.



Slika 6.9 Hlebine – Dedanovice. Grafički prikaz prostorne organizacije istraženog dijela lokaliteta prema aktivnostima.

#### 6.1.4 2/2 7. – 8. st.: Virje – Volarski breg i Sušine

U razdoblje 2/2 7. st. – sredine i/ili 3/4 8. st. datiraju tvorevine i nalazi s dva položaja, Virje – Sušine (S-7 i 8) te Volarski breg (S-2b) na kojima su definirane aktivnosti primarne

proizvodnje, ali i sekundarnih procesa prerade poluproizvoda, odnosno kovačkih vrsta aktivnosti. Obe arheološke cjeline kod kojih su posvjedočene metalurške aktivnosti vezane su uz naseobinske prostore odnosno elemente koji se mogu vezati uz trajniji boravak. Na položaju Volarski breg nalazi redukcijske i postredukcijske zgure pronađeni su u jamskoj tvorevini u asocijaciji s keramičkim materijalom, datiranim relativno kronološki u širi period 2/2 7. st. – 8. st. s višom tendencijom ka 8. st. (Sekelj Ivančan 2021: 158–163, fig. 11, 12). Talioničke peći nisu bile vidljive u arheološkom terenskom zapisu, a čini se da se radi o deponiranju različite vrste otpada obzirom na asocijaciju s drugim arheološkim nalazima u zapunama, koje ukazuju na naseobinski karakter tvorevina (Sekelj Ivančan 2021: Tab. 1: SJ 107 i 111). U zapuni jedne od jama pronađeni su i uzorci rude, izrazitije loše kvalitete, interpretirani kao diskriminirani dijelovi rudnog konglomerata. Sličnosti u keramičkom materijalu vidljive su na položaju Virje – Sušine (S-7: SJ 310; S-10b; SJ 436)), a radiokarbonski datumi dobiveni iz uzoraka ugljena ovih arheoloških cjelina ukazuju na razdoblje kraja 7. –8. st.. S njima u vezu mogu se dovesti jamske tvorevine – peći za varenje, recikliranje i/ili pročišćavanje spužvastog željeza, pronađene nedaleko, na jugoistočnom dijelu istraženog prostora unutar S-7 (Sl. 2.2-2.3), datirane uzorkom ugljena u 2/2 7.-sred.8.st.. Prema okolnostima pronalaska ovih četiriju arheoloških cjelina koje su pokazivale svojevrstu jednoobraznost u izgledu, kao i u prostornom rasporedu pri čemu su na dvije pozicije smještene jedna do druge, može se pomišljati o dinamici uporabi peći u užim vremenskim razmacima. Peći jamskog tipa, u potpunosti zapunjene zgurom vrlo su vjerojatno služile za jednostruk proces, i to pročišćavanja, varenja i/ili recikliranja i spajanja željeza u jednu masu (vidi poglavlje 5.2.2, sl. 5.8). Uski prostor na kojemu je pronađeno 4 ili 5 peći sugerira ciljano iskorištavanje određenog prostora za ovu vrstu aktivnosti. Sapnice i stijenke peći koje je moguće asociirati s ovim pećima oblikovno su u velikoj mjeri analogne sapnicama s položaja obližnje sonde 5. Ovaj prostor funkcionirao je simultano ili nešto kasnije sa zadnjim fazama iskorištavanja prostora na položaju S-5, kada je ustanovljen izostanak kovačkih zgura koje bi odgovarale vidljivim tehnološkim promjenama – povećanju dimenzija peći. Prema vremenu uporabe, ove bi se peći mogle dovesti u vezu i s objektom istraženim u Sondi 8, u kojemu su pronađene zgure s dna kovačke peći i sapnice, ali i ulomci keramičkih posuda te rude. S obzirom na to da su radiokarbonske analize ugljena iz ovog objekta dale nešto kasniji datum od početka 8. st. – 2/2 8. st. i u 9. st. nije u potpunosti jasno jesu li ove aktivnosti u izravnoj temporalnoj vezi. Potonje bi moglo svjedočiti i o trajnijem boravku na ovom prostoru te višestrukim kovačkim aktivnostima i to različita karaktera, obzirom da je za dio postredukcijske zgure s dna peći iz ove sonde pretpostavljeno da bi mogla pripadati postupcima sekundarnog kovanja. U ovom razdoblju vidljiva je asocijacija

naseobinskih prostora s različitim stadijima proizvodnje željeza, od pripreme sirovina (rude loše kvalitete odnosno diskriminirani dijelovi rudnih konglomerata), redukcijskih i postredukcijskih postupaka što može sugerirati promjenu u odnosu na ranije razdoblje, kada su (prema primjeru lokaliteta Hlebine-Velike Hlebine i Virje Sušine (S-5)) prostori na kojima su izvođene talioničke aktivnosti izdvojeni iz istovremenih naselja.

#### 6.1.5 8. – 9. st.: Virje – Volarski breg

U sondi 1 otkrivene su više ili manje očuvane peći u kojima je pronađen *in situ* trag posljednjeg talioničkog postupka. Radi se o istom tipu peći, sličnih dimenzija ognjišta i jame za ispuštanje zgure neposredno ispred ognjišta. Peći su položene gotovo paralelno, u paru, s ložištima na sjevernoj strani (Sl. 6.10). Ovakva prostorna organizacija, ali i činjenica da je u pećima pronađena gotovo identična količina zgure (Tab. 5.1), sugerira da su peći bile operirane istovremeno.



Slika 6.10 Virje – Volarski breg (S-1), idejna 3d rekonstrukcija prostora oko peći za taljenje željezne rude (vizualizacija: Ivan Štefan)

U SZ dijelu iskopa istraženo je pet plitkih jama koje je prema sadržaju zapune i uslojavanju vrlo vjerojatno moguće dovesti u vezu s pripremom sirovina, i to drvenog ugljena ili rude. Sve jame bile su koncentrirane u istočnom, nižem dijelu arheološke sonde (S-1). Arheološki zapis kod potonjih jama vrlo je sličan, a prema sastavu zapuna te zapečenom dnu moguće je pretpostaviti da je primarna funkcija bila vezana za pripremu sirovina neophodnih u postupku

proizvodnje željeza, poput prženja željezne rude ili izrade drvenog ugljena.<sup>86</sup> (Sl. 6.11). Primjeri arheološkog zapisa vezanog uz proizvodnju ugljena su rijetki ali ipak poznati (Pleiner 2000: 115–130, Fig. 31, 32), a kao glavni asocijativni argument tumačenju arheološkog zapisa kao traga nadzemnih ugljenica plitko ukopanog dna/baze, izdvaja se zapečeno dno i slojevi zapune plitkih jama zasićeni ugljenom, kakvi su prisutni i u arheološkoj slici jama s Volarskog brega. Međutim, sličan arheološki zapis mogao je nastati i pri prženju željezne rude (Pleiner 2000: 110; Echenlohr, Serneels 1991: 94, fig. 76) na što ukazuju i rezultati eksperimentalnog prženja močvarne željezne rude (Karavidović 2020), kakva je vrlo vjerojatno korištena i na Virju (Brenko et al. 2020; Brenko et al. 2021). U potonjem eksperimentu, testirane su dvije varijante ravnog ložišta za prženje (eng. *roasting hearth*): sa stožastom i s četvrtastom nadzemnom konstrukcijom od suhog i pougljenog drva.<sup>87</sup> Razina nagorijevanja tla ovisila je o trajanju postupka, razvijenoj temperaturi, ali i vrsti podloge (tla) nad kojom se odvijalo prženje. Prženje rude u ovom eksperimentalnom testiranju ostavilo je i manju količinu pougljenog nedogorenog drva, ugljena i pepela. Pougljeno drvo rezultat je reduktivnih uvjeta kakvi su se mogli razviti, primjerice pri dnu i u unutrašnjosti konstrukcije, a ugljen je mogao zaostati i uslijed korištenja djelomično pougljenog drva za prženje rude kakvo je korišteno u eksperimentu (Karavidović 2020). Uzorci rude nisu pronađeni pri istraživanju u S-1 međutim uzorci nepržene močvarne željezne rude (Tab.3.1: V–VB 1-3) pronađeni su pri istraživanju ostataka naseobinskog karaktera (S-2b) koje je funkcioniralo nešto ranije ili istovremeno. Iako nije moguće sa sigurnošću interpretirati temelje nastanka arheološkog zapisa prisutnog kod ovih jama, zasigurno je da je neka vrsta termičkog utjecaja djelovala na tlo, a aktivnosti vezane uz proizvodnju željeza koje bi ostavile ovakve tragove mogu se vezati uz radnje koje prethode postupku taljenja željezne rude, pripremu sirovina. Prostor je možda sekundarno iskorišten za odlaganje otpada, o čemu svjedoče gornji slojevi zapune jama, u kojima se isključivo javljaju arheološki nalazi, otpad koji je moguće direktno vezati uz postupak taljenja (talionička zgura i keramičke sapnice).<sup>88</sup>

---

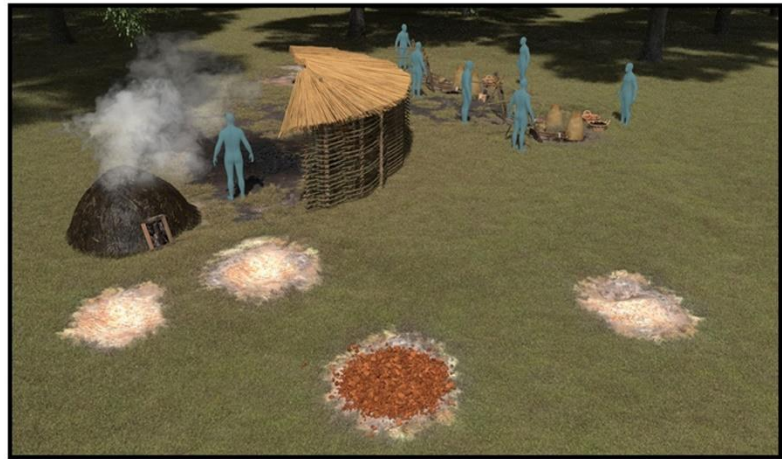
<sup>86</sup> Promjer jama sa zapečenim dnom varira od 1,4 do 1,95 m, a dubina između 0,26 i 0,51 m.

<sup>87</sup> U središnjem dijelu dna konstrukcije razvijena je prosječna temperatura 811 – 812 °C (eksperiment 1) te 500 i 650 °C (eksperiment 2), dok je maksimalni raspon u oba eksperimenta bio između 357 °C i 1038 °C. Aktivno izgaranje drveta i prženje rude trajalo je 2 i 6 sati (Karavidović 2020).

<sup>88</sup> U jami III (SJ 079) pronađeni su i ulomci prapovijesne keramike. Njihova pojava vrlo vjerojatno je posljedica iskorištavanja prostora na kojemu su evidentirani i raniji objekti iz latenskog razdoblja (Sekelj Ivančan 2010: 37–38).



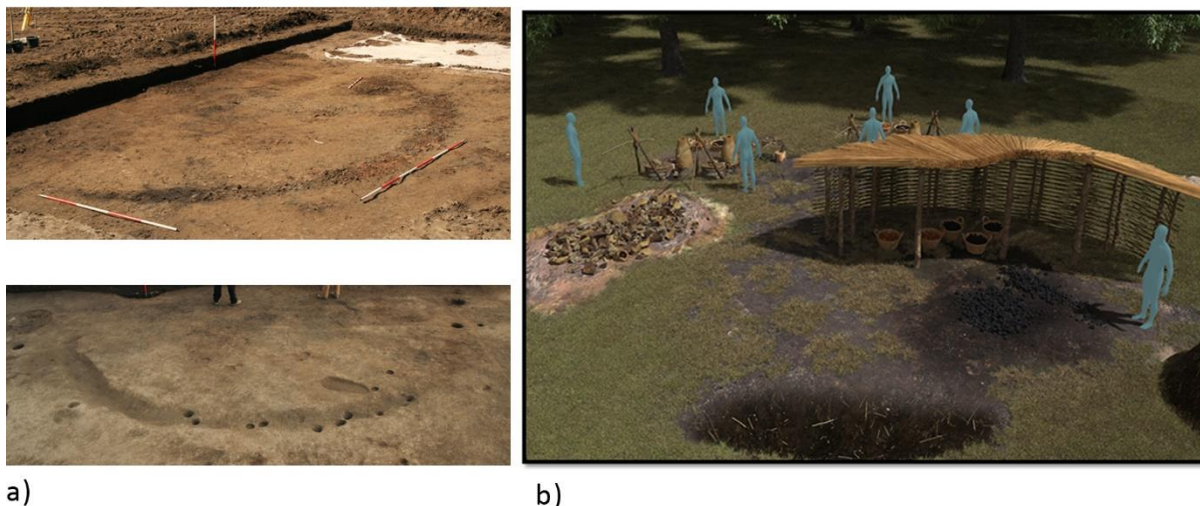
a)



b)

Slika 6.11. Virje – Volarski breg (S-1), a) ispražnjene plitke jame sa zapečenim dnom tijekom istraživanja, b) 3d rekonstrukcija radionice – pogled na prostor za pripremu sirovina

Ipak, o prisutnosti značajne količine drvenog ugljena svjedoči i sloj zasićen ugljenom, nepravilnog oblika (Sl. 2.8; rekonstrukcija Sl.6.12) (Sekelj Ivančan 2009: 69) koji se prostirao između jama sa zapečenim dnom i talioničkih peći. Sloj je zamijećen neposredno ispod humusa, bio je vrlo tanak te je ležao na sterilnom sloju zdravice. S obzirom na jedinstvenost zapisa među istraženim tvorevinama te značajnu koncentraciju ugljena u sloju moguće je pretpostaviti da je riječ o prostoru unutar radionice na kojemu se izrađivao, pripremao (usitnjavao) i/ili pohranjivao drveni ugljen za daljnju upotrebu u procesu proizvodnje spužvastog željeza. U neposrednoj blizini uočena je tvorevina koja bi mogla pružiti dodatnu argumentaciju interpretaciji funkcionalnih karakteristika prostora na kojemu je pronađen sloj zasićen ugljenom. Radi se o plitkom, tlocrtno polukružnom ukopu pri čijem su dnu prepoznate pravilne rupe, kružnog tlocrta, malog promjera (detaljnije vidi poglavlje: 2.4.1.2.1). Ova tvorevina vrlo vjerojatno je trag jednostavne konstrukcije, svojevrsne ograde (prepleta?). Uzevši u obzir i pravilni niz rupa od stupova istočno od pretpostavljene ograde, moguće je da se radi o jednostavnoj, natkrivenoj konstrukciji. Ovakva tvorevina u zadanom kontekstu mogla bi se tumačiti kao mjesto pripreme i/ili pohrane sirovina, u prvom redu drvenog ugljena (Sl. 6.12) .



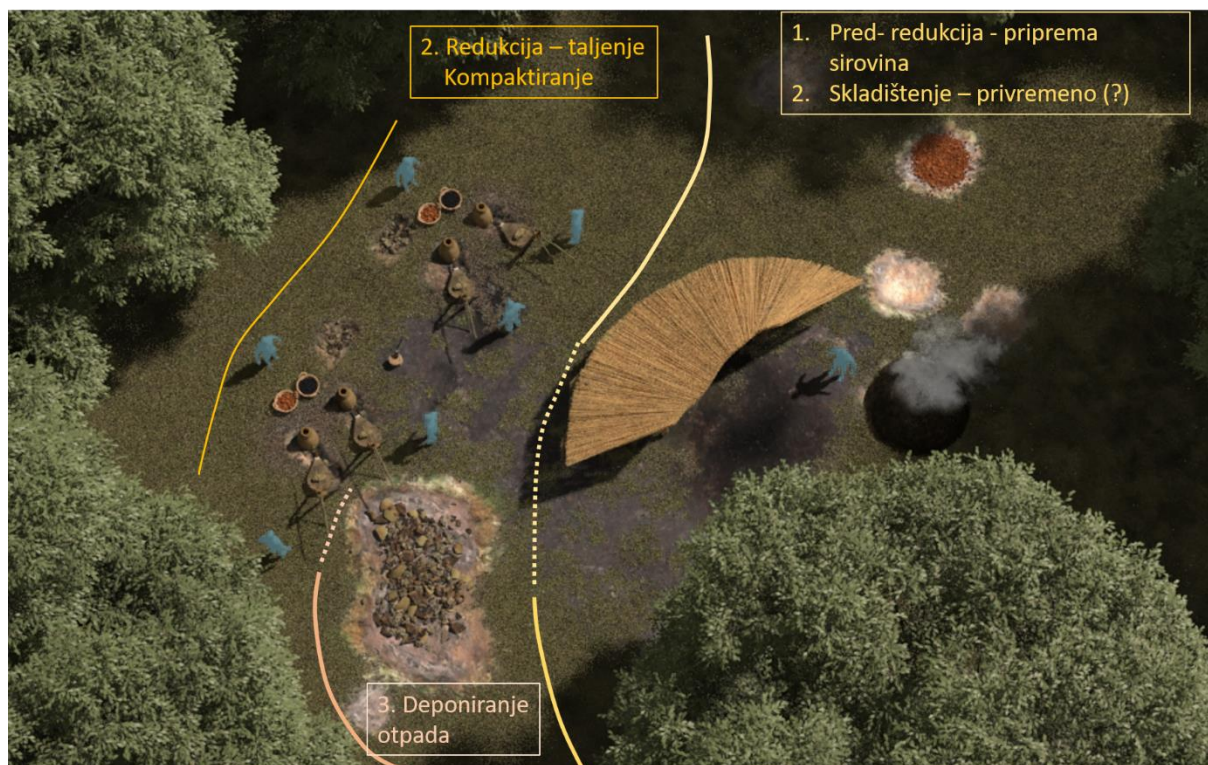
Slika 6.12. Virje – Volarski breg (S-1), a) arheološki terenski zapis b) 3d rekonstrukcija radionice – pogled na prostor za skladištenje sirovina/boravak

Na zapadnom dijelu istraženog prostora nalazio se jedinstven sloj (SJ 27) zasićen otpadom, iz kojega je prikupljena najveća količina otpada (otpad selektivno probran pri istraživanju). Jedini uzorak zgure koja bi se mogla pripisati primarnom kovanju, pronađen je u SJ 44/45, plitkoj jami uz rubni, zapadni dio radionice te svjedoči da su se postupci kompaktiranja i/ili primarnog kovanja odvijali na prostoru radionice.

Prostorno grupiranje određenih tvorevina, talioničkih peći u SZ dijelu iskopa, jama sa zapečenim dnom u JI dijelu, odnosno pretpostavljene polukružne ograde koja je okruživala prostor gdje je u arheološkom zapisu evidentiran sloj zasićen ugljenom za razliku od mjesta odlaganja talioničkog otpada na zapadnom dijelu iskopa,<sup>89</sup> ukazuje da je na prostoru gdje se odvijala talionička djelatnost postojala svojevrsna organizacija radnog prostora s obzirom na specifične aktivnosti koje su podrazumijevale postupke pripreme sirovina, taljenje željezne rude te postredukcijsku obradu, kompaktiranje i/ili konsolidaciju spužvastog željeza. Dodatno je moguće primjetiti i da se strukture za predredukcijske postupke pripreme sirovina koncentriraju na najnižem dijelu istraženog područja, uz rubove platoa (Sl.6.13).

<sup>89</sup> Arheološke ostatke istražene pod brojem SJ 027 čini sloj, tlocrtno nepravilnog, ovalnog oblika dimenzija 4,14x2,64 m, s proširenjem na južnoj strani dimenzija 1,56x1,16 m, a činili su ga ostaci rastresitog crvenkastog zapečenog lijepa/stijenki peći, debljine svega nekoliko centimetara (4-5 cm) položeni na hodnu površinu.





Slika 6.13. Virje – Volarski breg (S-1). Rekonstrukcija prostora radionice, ptičja perspektiva s naznačenim zonama unutar područja na kojima su se odvijale aktivnosti prema slijedu u procesu proizvodnje željeza

## 6.2 Dinamika uporabe prostora radionica

Glavnina istraženih radionica za proizvodnju spužvastog željeza prostorno je izmještena od istovremenih naselja dok su uz prostore na kojima su izvođene kovačke aktivnosti (sekundarno kovanje i varenje) tijekom 2/2 7. st. – 8. st. (Virje – Sušine, S-7 i 8) i sredinom – 2/2 7. st. (Hlebine – Dedanovice (primarno i sekundarno(?) kovanje) pronađeni i tragovi trajnijeg boravka, objekti zapunjeni s keramičkim materijalom. Izmještenost od naselja i potpuni nedostatak elemenata koji bi ukazali na trajniji boravak (objekti, ognjišta, keramički materijal itd.) implicira povremenu, kratkotrajnu sezonsku ili kampanjsku aktivnost. S druge strane, kovačke aktivnosti koje podrazumijevaju drugačiju dinamiku rada, broj izvođača i set aktivnosti, alata i sirovina potrebnih za izvedbu smještene su na rubnim dijelovima naselja. Jedinu iznimku čini položaj Virje – Volarski breg (Sonda 2b), relativno datiran prema značajkama keramičkog materijala u 2/2 7. – sredinu ili 2/2 8. st., na kojemu je u asocijaciji s

naseobinskim elementima pronađena i talionička zgura. Ako se uspoređi količina pronađene zgure (10,235 g) s količinom zgure iz jednog taljenja u istovremenoj ili nešto kasnije radiokarbonski datiranoj radionici na položaju Sonde 1 (8445 g) vrlo je vjerojatno da je ovakva situacija odraz neke jedinstvene ili povremene aktivnosti.

Ritam odvijanja sezonalnih aktivnosti i identitet izvođača ovih aktivnosti vidljivi su kroz jedine arheološke predmete prisutne u kontekstu radionica, tvorevine ljudskih ruku – sapnice. Razlike u načinu pečenja (i fakturi?) kod sapnica vidljive su unutar zatvorenih cjelina radionica, no sapnice s pojedinim karakteristikama u glavnini nisu individualno zastupljene nego se uvijek pojavljuje više primjeraka talioničkih i kovačkih tipova sapnica, što sugerira višestruku izradu grupe sapnica. Standardizacija oblika i njihova pojava u više faktura i načina pečenja sugerira jednoobraznost sustava izrade ali i izradu pod relativno različitim preduvjetima, poput pečenja, odnosno moguće je da je izrada sapnica izvršena u više navrata, radnih kampanja. Gotovo identična oblikovna (i funkcionalna) svojstva grupa sapnica unutar pojedinog lokaliteta pokazuju svojevrsnu standardizaciju, održavanje istih parametara, a ukazuju i na mogućnost da se radi o istim izvođačima procesa izrade sapnica i nasljedno talioničkih postupaka. Ovakva situacija prisutna je unutar svih istraženih cjelina. Pojedini talionički proces u pećima s pomičnim dijelom – vratima iskoristit će po jednu sapnicu, stoga grupa morfološki sapnica predstavlja mogućnost višestrukih taljenja u jednoj kampanji o čemu uostalom svjedoči i dizajn peći (vrata) te drugi faktori u morfologiji zgure pojedinačno vezani uz određene radionice (primjer: Virje – Volarski breg, S-1 – dvoslojna zgura s dna peći). Sapnice s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine pokazuju najvišu razinu međusobne sličnosti, prema svim zadanim parametrima, čak i prema fakturi, boji i načinu pečenja, te se mogu smatrati vrlo standardiziranim proizvodima. Razina standardizacije mogla bi se smatrati mjerilom učestalosti i vremenskog okvira korištenja radnog prostora ako se komparativno promatraju različiti radni prostori. Visoka razina standardizacije, kakva je prisutna na Velikim Hlebinama mogla bi ukazivati na intenzivniju proizvodnju u užem vremenskom razdoblju, potencijalno od strane jedne skupine izvođača ili linije izvođača koji primjenjuju jednake operativne parametre, barem u smislu konstrukcije peći. Ovakvu sliku potvrđuje i izrazita organizacija radnog prostora prema aktivnostima te dva vrlo bliska radiokarbonska datuma koji smještaju ovu radionicu u sam kraj 6. – sredine 7. stoljeće. S druge strane, na djelomično istovremenom lokalitetu Virje – Sušine, na položaju sonde 5, vidljiva je geneza oblikovnih svojstava sapnica i više grupa sapnica sličnih oblikovnih svojstava i fakture (vidi poglavlje 4.3.1.2) te više proizvodnih faza i razvoj novih tehnoloških rješenja, što implicira i duže trajanje korištenja ovog radnog prostora,

vjerojatno od strane iste skupine izvođača. Ovdje je također bila prisutna organizacija radnog prostora, a o dinamici kontinuiranog iskorištavanja prostora kroz duži vremenski period ali isprekidanim, kampanjskim ritmom svjedoči slijed zapunjavanja prostora otpadom, argumentiran dvama radiokarbonskim datumima koji smještaju aktivnosti u širi vremenski raspon nego kod radionice na položaju Velike Hlebine, i to u kraj 6. – sredine 7. st. i 2/2 7. st.. Potencijalni, izolirani boravak na Sušinama i nešto kasnije implicira jedinstvena pojava sapnice (tip 1f) koja se može dovesti u vezu sa sapnicama prisutnima na lokalitetu Virje – Volarski breg (S-1) (tip 1 i 1f), kod kojega su radiokarbonski datumi dobiveni iz uzorka ugljena iz kanalića za istek zgre, konstruktivnog dijela talioničke peći dali vremenski okvir 8. – poč. 9. st.. Povremene talioničke postupke tijekom 2/2 6. – poč. 7. st. moguće je očekivati i na lokalitetu Sušine, na položaju S-7. O ovomu, osim radiokarbonskog datuma svjedoče i talionički izljevi, rijetki jednostruki isteci manjeg promjera te kraće cilindrične sapnice (1c i 1b (S-7)) koje se sporadično javljaju u asortimanu sapnica s ovog lokaliteta (9 ili 7 sapnica). Svi oni pokazuju sličnosti s nalazima koji potječu iz sonde 2a i 3 s lokaliteta Volarski breg. Na potonjem položaju radiokarbonski datumi ukazali su na vrijeme izvođenja aktivnosti u nekom periodu 2/2 5. – sredine 6. st. i sredine 6. – poč. 7. st.. Prostorna distribucija nakupina otpada svjedoči da su se ovdje možda aktivnosti i odvijale u dvije vremenski udaljenije faze. O potonjem bi svjedočila i specifičnost otpada pronađenog na prostoru Sonde 3, koji je ukazao na nekoliko talioničkih procesa s gubitcima u željezu, čija je uspješnost također stavljena u pitanje (vidi poglavlje 5.1.2) dok je iz otpada u Sonde 2a vidljiva konzistentnost i uniformnost.

Najintenzivnija aktivnost na položaju Sušine (S-7) odvijala se tijekom kraja 4./5. st., kada je na temelju radiokarbonskog datuma iz jedne, djelomično istražene jame posvjedočena i sporadična (ili nepotpuno prostorno istražena) aktivnost na obližnjem položaju S-5. Glavnina otpada pronađena u jedinstvenoj nakupini otpada u S-7, presječenom s recentnim kanalom, ukazuje na relativno standardiziran način proizvodnje. Pojava sapnica tipa 5 može se dovesti u vezu s ovim razdobljem na istraženom prostoru. One se pojavljuju u dva osnovna podtipa i četiri skupine fature i boje, sve zastupljene s po više primjeraka što svjedoči o višestrukome, isprekidanom ritmu uporabe prostora radionice. Obzirom na uniformnu pojavu sapnica, i u ovom slučaju izvođenje postupaka moglo bi se pripisati jednoj skupini ili barem više skupina povezanih izvođača.

O trajanju pojedine kampanje, kod vremenski i prostorno udaljenih lokaliteta potrebno je zaključivati na temelju više parametra: a) broju talioničkih sapnica istih svojstava fature i načina pečenja – zastupljenost grupa sapnica koja posredno govori o broju talioničkih

postupaka, b) prediktivno – prema vremenskom trajanju aktivnosti koje podrazumijevaju cjelovit niz koraka za proizvodnju željeza, a ustanovljene su kroz arheološki zapis, mineralošku i morfološku analizu otpada i sirovina. Obzirom da podaci nisu jednolični za sve radionice, oba mehanizma moguće je primijeniti tek djelomično na pojedini arheološki kontekst.

Organizacija rada koja podrazumijeva operiranje 2–4 peći simultano može sugerirati optimizaciju utroška ljudskih i vremenskih resursa naspram količine proizvedenog željeza. Prema podacima o trajanju postupka taljenja određene količine rude korištene u jednom postupku taljenja, u radionicama na Velikim Hlebinama i Virju – Volarskom bregu (vidi poglavlje 5.1.2.), u toku jednog dana je bilo moguće izvesti maksimalno četiri (Hlebina–Velike Hlebina, Virje – Sušine, S-7) i dva (Virje – Volarski breg, S-1) postupka u pojedinoj peći. Ovakvi podaci sugeriraju da su kampanjske aktivnosti mogle trajati tek jedan dan ako je cilj višestruka proizvodnja komada spužvastog željeza. Ipak, ako pridodamo vrijeme potrebno za pripremu sirovina (prženje rude (Velike Hlebina) i proizvodnju ugljena (Volarski breg)), izgradnju peći i njezino sušenje (Karavidović 2020b), vremenski period boravka je morao biti duži. Prema mineraloškoj analizi uzoraka rude s lokaliteta Velike Hlebina, rude su bile pržene tek djelomično, dovoljno za dehidraciju rude netom izvađene iz ležišta (vidi poglavlje 3.1.4). Eksperimentalna testiranja (Karavidović 2020a) prženja rude ukazala su da je oko 40 i 60 kg rude moguće efikasno, slabije ispržiti u roku od dva sata na ložištu sličnih dimenzija kao što su jame sa zapečenim dnom prepoznate u arheološkom zapisu na lokalitetu Velike Hlebina (Karavidović 2020a). Konkretnije i jednoličnije prženje trajalo je duže, oko šest sati. Usitnjavanje ove količine rude relativno je brz proces koji je moguće izvesti u narednih sat vremena. Ovakva količina rude, uz gubitke u težini od oko 40–50 % uslijed dehidracije i usitnjavanja odgovarala bi oko 20 – 36 kg rude spremne za taljenje. Obzirom na količinu rude (6–8 kg) upotrijebljene u jednom talioničkom postupku na lokalitetu Velike Hlebina (Tab. 5.4: uzorci H-VH 1-2), prženje između 40–60 kg rude osiguralo bi sirovinu za 2–6 postupaka taljenja. Ako usporedimo ove podatke s količinom zgure iz redukcijskih postupaka prisutne unutar jedne definirane cjeline zapunjene otpadom za koju je pretpostavljeno da je odraz jedne kampanje (2–10) (vidi poglavlje 6.1.3), moguće je pretpostaviti da je cjelokupni proces minimalnog broja talioničkih postupaka, koji podrazumijeva rudarenje (pod uvjetom poznavanja položaja ležišta), prženje i dva redukcijska postupka (simultano u svakoj peći) te postupke postredukcije bilo moguće izvesti u jednom danu, iako vrlo intenzivnim ritmom rada. U slučaju više uzastopnih redukcijskih i postredukcijских postupaka, cjelokupni proces ne bi bio moguć u toku jednoga dana. Vrlo je vjerojatno da se kampanjska aktivnost ipak odvijala

kroz dva ili više dana, ovisno o broju postupaka odnosno količini proizvedenog željeza. Sapnice prisutne na lokalitetu Velike Hlebine prilično su standardiziranog izgleda stoga nije moguće donositi zaključke o dinamici provođenja radnih aktivnosti ovim putem.

O pripremi sirovina unutar radnog prostora svjedoče i plitke jame zapečenog dna na lokalitetima Virje – Volarski breg, S-1 i S-3. Na lokalitetu Virje – Volarski breg (S-1) u arheološkom zapisu prepoznate su jame sa zapečenim dnom koje bi potencijalno mogle predstavljati dna/baze nadzemnih ugljenica (vidi poglavlje 6.1.4), iako prženje rude također nije isključeno. Obzirom na porast količine spužvastog željeza koje se proizvodi na ovom položaju u razdoblju 8./poč. 9. st., nasljedno i resursa potrebnih za proces redukcije, najznačajniji količinski faktor čini ugljen. Količina ugljena je prema pretpostavljenim omjerima rude i ugljena kojima se zapunjava peć (2-1.2:1) potencijalno duplo veća nego količina rude, te iznosi od 63 do 195 kg ugljena (Tab. 5.4: uzorci V-VB S1-1 i 2) za jedan postupak redukcije. Uz simultano funkcioniranje četiriju peći prepoznatih u arheološkom zapisu, utrošak ugljena u jednoj sesiji bio bi između 252 i 780 kg. Za izradu oko 780 kg ugljena prema eksperimentalnim testiranjima ovog tipa ugljenice (Valent 2018) bilo bi potrebno između 5–7 i 10–14 dana.<sup>90</sup> Ovaj proces zahtjeva konstantni nadzor, stoga je boravak u prostoru neophodan. S obzirom na utrošak energije za prijenos velike količine drva potrebnog za ovaj proces, te izdvojenost radionice od istovremenog naselja moguće je pretpostaviti da je i drvo prikupljano u neposrednoj blizini te je ovom vremenu potrebno pridodati i vrijeme obaranja i pripreme drvne građe. Na ovom lokalitetu pretpostavljano je i postojanje poluotvorene – natkrivene strukture za čuvanje sirovina (tragovi ugljena) koja je između ostalog mogla biti pogodna i za dugotrajniji, privremeni boravak. Vrlo je izgledno da su ovdje kampanje trajale i po nekoliko dana.

Iz razdoblja 4./5. st. na položaju Virje – Sušine (S-7) poznati su nam podaci o jednom potencijalnom položaju peći iz čega proizilazi da su peći korištene samostalno. Arheološke tvorevine koje bi se mogle dovesti u vezu s pripremom sirovina nisu prepoznate u terenskom zapisu, međutim rude su u ovom razdoblju bile pržene o čemu svjedoči mineraloška analiza uzoraka iz ovog konteksta, stoga je moguće da se i sam postupak odvijao u neposrednoj blizini. O dinamici kampanjske aktivnosti mogle bi svjedočiti grupe sapnica jednakog načina pečenja i fature. Sapnice tipa 5, pripisane ovom razdoblju, javljaju se u dva osnovna podtipa (5a i b) i maksimalno 5 grupa koje sačinjava od 2 do 6 sapnica. Međutim značajan udio sapnica nije

---

<sup>90</sup> Ugljenica je izgrađena u sklopu eksperimentalnog testiranja procesa proizvodnje željeza u mjestu Adamov, nedaleko Brna (Republika Češka) tijekom 2018. godine. Izgradnja je trajala dva dana, a proces sagorjevanja pet dana. Iz oko 720-730 kg bukva drva dobiveno je oko 400 kg drvenog ugljena, a ugljenica je bila veličine 6m<sup>3</sup>, oblikom poput stošca. Drvo bukve izgubilo je na masi oko 55% u procesu karbonizacije.

moгуće pripisati nekom od ovih podtipova zbog niske razine očuvanosti, stoga bi ovaj podatak bi tek relativno referentan. Ipak, ovdje je sugestija da su u sklopu jedne sesije izvedena 2–5 taljenja. Ukupan broj sapnica ovog tipa je između 38 – 46 što bi označavalo minimalni broj taljenja na ovom položaju tijekom kraja 4./5. st..

O dinamici uporabe prostora na položaju Virje – Sušine (S-2a i 3) svjedoče arheološke tvorevine, koje vrlo vjerojatno predstavljaju dna ugljenica i grupe sapnica. Ovdje je prisutno ukupno 25 ili 26 (S-2a) i 5 ili 6 (S-3) sapnica od kojih je na osnovu fakture i boje moguće izdvojiti tri ili četiri skupine talioničkih sapnica koje bi sugerirale tri ili četiri kampanje. Potonji podaci svjedoče o povremenoj i kratkotrajnoj aktivnosti na ovom prostoru.

### 6.3 Obim proizvodnje

Ukupna količina proizvedenog spužvastog željeza i željeza pročišćenog do neke razine primarnim kovanjem (Tab. 6.1) te resursa korištenih u redukcijskim postupcima (Tab. 6.2) izračunata je na temelju omjera dobivenih eksperimentalnim testiranjem i podataka iz literature, a za ugljen i prema podacima dobivenim analizom kemijskog sastava talioničke zgure iz kojega je pretpostavljen omjer rude i ugljena u procesu taljenja (literaturu i rezultate vidi: Tab. 5.2-3). Za sirovine i poluproizvode izražena je maksimalna varijabilnost te optimalni prinos ili utrošak koji je izračunat na temelju podataka eksperimentalnog testiranja, koji su u usporedbi s rezultatima poznatim iz literature najčešće srednja ili relativno viša vrijednost. Za izračun je uzet arheološki podatak o količini talioničke zgure na svakom lokalitetu (Tab. 4.2), a uvršteni su lokaliteti koji predstavljaju radionice za izradu željeznih poluproizvoda redukcijskim postupkom i postredukcijskim postupcima pročišćavanja istog.<sup>91</sup> Obzirom da dio uzoraka zgure nije bilo moguće opredijeliti morfološki te ih vezati uz određeni tip postupka, ove podatke potrebno je shvatiti okvirnim. Udio neopredijeljenih uzoraka na svim lokalitetima čini manje od 20% (Tab. 4.2). Kako bi se izračunao približan broj talioničkih postupaka u pojedinoj radionici koriste se podaci o cjelovitim, rekonstruiranim zgurama iz jednog postupka taljenja (Hlebine – Velike Hlebine, Virje – Sušine (S-7) i Volarski breg (S-1)) te ukupan broj pronađenih sapnica koje je moguće pripisati talioničkim postupcima. Obzirom da funkcionalna klasifikacija sapnica nije u potpunosti razvidna za pojedine lokalitete s više vremenski odvojenih faza iskorištavanja prostora, ili nedovoljnom količinom sagledivih podataka na

---

<sup>91</sup> Na položajima Virje – Sušine: Sonda 11, 10b, 9, 6 pronađena je manja količina jače fragmentiranih ulomaka iz konteksta prapovijesti i razvijenoga srednjeg vijeka te humusa, za koje je pretpostavljeno da se radi o tragu talioničkih postupaka koji bi mogli biti u vezi tek s korištenjem istog prostora na kojem se nalaze talioničke radionice, te su ovdje sekundaran nalaz, na što uostalom ukazuju i kvantitativni podaci o količini prisutne zgure. Iz istog razloga ovi podaci su prikazani u tablici zbog izražavanja količinskih odnosa, no ne ulaze u analizu.

temelju koje se funkcija sapnice može dovesti u isključivu vezu s jednim postupkom, sagledani su podaci za sve prisutne sapnice. Na temelju rezultata geofizičkih istraživanja, u kojima se podpovršinski zapis vezan za postojanje arheoloških tvorevina koje ukazuju na pirometalurške procese ili otpad nastao proizvodnjom i preradom željeza vrlo jasno očituje, moguće je pretpostaviti potencijalnu razinu istraženosti određene radionice. Jedini lokalitet koji se može smatrati u cijelosti istraženim prostorom zatvorene arheološke cjeline, odnosno radionice je lokalitet Hlebine – Velike Hlebine. Na lokalitetima Virje – Sušine S-7 i 5 gotovo je u cijelosti istražen otpad vidljiv kroz geofizička istraživanja te se mogu smatrati glavninom otpada od aktivnosti izvedenih na ovim položajima. Položaji na lokalitetu Virje – Volarski breg nisu snimljeni geofizičkim metodama, stoga nije razvidno radi li se o kompletnom otpadu, a nalazi s položaja Sonde 1 prikupljeni su selektivno stoga je ovdje reper o broju postupaka i nasljedno proizvedenog željeza isključivo broj pojava sapnica. Također, kod pojedinih lokaliteta na kojima je ustanovljeno više faza boravka s pretpostavljenim talioničkim aktivnostima (Virje – Sušine, S-7) teško je odvojiti količinu zgure koja bi pripadala pojedinom razdoblju, obzirom na slično tehnološko rješenje i time slična morfološka svojstva zgure iz postupaka redukcije. U potonjem slučaju marker odnosa zgure koja bi se mogla pripisati kraju 4. –5. st. i 2/2 6. –7. st. mogle bi biti sapnice. Sapnice koje su pronađene u zatvorenom kontekstu s uzorkom ugljena iz kojeg je dobiven mlađi radiokarbonski datum pripadaju kovačkom tipu sapnica te su zastupljene sa samo četiri sapnice. Ipak, moguće je da se odvio i poneki talionički postupak. Također, pojava cilindričnih sapnica u kontekstu ovog lokaliteta govori o potencijalnom postojanju još jedne faze. U svakom slučaju glavnina sapnica pronađenih u kontekstu otpada datiranog u sam kraj 4./5. st. pripada tipu 5 i može se smatrati reperom za minimalni broj talioničkih procesa u ovom razdoblju te komparativno s ukupnim brojem talioničkih postupaka.<sup>92</sup> U tom smislu, na položaju Sušine (S-7) tijekom faze datirane u kraj 4./5. st. izvedeno je između 38 i 88 postupaka. Povremenu talioničku aktivnost na ovom položaju, s minimalno devet postupaka moguće je očekivati u širem vremenskom razdoblju između 2/2 6. – poč. 8. st.. U tijeku 2/2 7. –8. st. na ovom lokalitetu izvođeni su procesi postredukcije - varenja, recikliranja ili pročišćavanja u jamskim pećima. Iako je potonje postredukcijski proces, nije moguće u potpunosti isključiti povremene talioničke postupke, iako analiza sapnica ne ukazuje na ovakvu situaciju. Ukupna produkcija, od koje glavnina pripada 4./5. st. rezultirala je s količinom pročišćenog spužvastog željeza između 40 i 100 kg, optimalno oko 50 kg.

---

<sup>92</sup> Ukupni broj talioničkih postupaka izračunat je na temelju jedinice jednog postupka – rekonstruiranih cjelovitih zgura iz jedinstvenog postupka taljenja, pronađenih in situ (vidi tab. 4.2).

	Otpad	Prozvodi							Broj pojedinačnih postupaka redukcije		
	Zgura - redukcija Ukupno	Spužvasto željezo				Željezo pročišćeno					
Izvor podataka	Arheološki podatak	Eksperiment		Literatura		Eksperiment	Literatura+eksperiment		Arheološki podaci		
Tip izračuna	-	opt.	opt.	min.	max.	opt.	max.	min.			
Oznaka	ZRU	SŽKU-A	SŽKU-B	SŽKU-C	SŽKU-D	ŽPKU-A	ŽPKU-B	ŽPKU-C	P	SAP	
Izračun	-	ZRU*0,28	ZRU*0,3 3	ZRU*0,2	ZRU*0,5	ZRU*0,16	SŽKU-D*0,61	SŽKU-C*0,61	ZRU/ZR : uzorci Tab. 5.1.	Ukupan broj sapnica - pretpostavljeno za talionički postupak i neodređene /// kovačke sapnice	
Jedinica	kg								br.		
Lokalitet	Sonda										
Volarski Breg	1*	25,76	7,21	8,50	5,15	12,88	4,12	7,86	3,14	3	33-48 (sve sapnice); (16-15 tip 1 i 13-14 tip 2)
	2b	10,24	2,87	3,38	2,05	5,12	1,64	3,12	1,25		6-4 (sve sapnice - nepoznat tip)
	2a - 3	131,04	36,69	43,24	26,21	65,52	20,97	39,97	15,99		25-27 (sve sapnice); 9-10 (tip 1) i 15-14 (tip 2)
Sušine	5	649,00	181,72	214,17	129,80	324,50	103,84	197,95	79,18		87-100 (tip 1, 2, 4) + 15 (nd.) /// 28-29 (tip 3)
	6	0,14	0,04	0,05	0,03	0,07	0,02	0,04	0,02		0
	7	331,11	92,71	109,27	66,22	165,56	52,98	100,99	40,40	88	45-56 (tip 1, 9-7 i tip 5, 47-38) /// 4 (tip 3)
	8	45,60	12,77	15,05	9,12	22,80	7,30	13,91	5,56		2
	9	0,40	0,11	0,13	0,08	0,20	0,06	0,12	0,05		1
	10b	0,19	0,05	0,06	0,04	0,09	0,03	0,06	0,02		1
	11	0,42	0,12	0,14	0,08	0,21	0,07	0,13	0,05		0
Velike Hlebine	1 i 2	281,97	78,95	93,05	56,39	140,98	45,11	86,00	34,40	71 - 81	60-64 (tip 2) + 6 (nd.) /// 17-12 (tip 3)

Tablica 6.1. Izračun: a) prinosa u nepročišćenom spužvastom željezu i željezu nakon postupka pročišćavanja, prema ukupnoj količini zgure iz postupaka redukcije u pojedinom kontekstu i b) broja pojedinačnih postupaka prema ukupnoj količini zgure iz redukcijskih postupaka naspram zgure iz jedinstvenog postupka taljenja (lokaliteti Hlebine – Velike Hlebine, Virje – Volarski breg (S-1) i Virje – Sušine (S-7)) te broju sapnica



Tablica 6.2. Izračun količine utrošenih resursa za sve postupke na istraženim dijelu lokalitetaprema ukupnoj količini zgure iz postupaka redukcije u pojedinom kontekstu

Lokalitet	Sonda	Otpad	Sirovine												
		Zgura - redukcija	Ruda									Ugljen			
			Ruda postupak redukcije			Ruda ležište max.			Ruda ležište min.			Ugljen min.redukcija		Ugljen max. redukcija	
Izvor podataka	Arheološki podatak	Eksperiment	Literatura		Eksperiment	Literatura+eksperiment		Eksperiment	Literatura+eksperiment		Kemijska analiza + eksperiment				
Tip izračuna		opt.	max.	min.	opt.	max.	min.	opt.	max.	min.	max. raspon		min. raspon		
Oznaka	ZRU	RU-A	RU-B	RU-C	RL1U-A	RL1U-B	RL1U-C	RL2U-A	RL2U-B	RL2U-C	UU1-B	UU1-C	UU2-B	UU2-C	
Izračun	-	ZRU*1,75	ZRU*2	ZRU*1,4	RU-A*2,69	RU-B*2,69	RU-C*2,69	RU-A*1,90	RU-B*1,90	RU-C*1,90	2*(RU-B*2,67)	2*(RU-C*2,67)	2*(RU-B*3,08)	2*(RU-C*3,08)	
Jedinica	kg														
Volarski Breg	1	25,76	45,09	51,53	38,65	121,28	138,61	103,96	88,82	97,90	73,43	275,16	206,37	317,41	640,38
	2b	10,24	17,91	20,47	15,35	48,18	55,06	41,30	35,29	38,89	29,17	109,31	81,98	126,10	254,40
	2a - 3	131,04	229,32	262,08	196,56	616,88	705,01	528,75	451,77	497,96	373,47	1399,53	1049,65	1614,44	3257,13
Sušine	5	649,00	1135,75	1298,00	973,50	3055,17	3491,63	2618,72	2237,43	2466,20	1849,65	6931,33	5198,50	7995,69	16131,31
	6	0,14	0,25	0,29	0,21	0,67	0,77	0,58	0,49	0,54	0,41	1,53	1,15	1,76	3,55
	7	331,11	579,44	662,22	496,67	1558,70	1781,37	1336,03	1141,50	1258,22	943,66	3536,25	2652,19	4079,28	8229,94
	8	45,60	79,80	91,20	68,40	214,66	245,32	183,99	157,20	173,28	129,96	487,00	365,25	561,78	1133,39
	9	0,40	0,69	0,79	0,60	1,87	2,14	1,60	1,37	1,51	1,13	4,24	3,18	4,89	9,87
	10b	0,19	0,33	0,38	0,28	0,89	1,01	0,76	0,65	0,71	0,54	2,01	1,51	2,32	4,67
Velike Hlebine	11	0,42	0,73	0,84	0,63	1,97	2,25	1,69	1,44	1,59	1,19	4,46	3,35	5,15	10,39
	1	43,30	75,78	86,61	64,95	203,85	232,97	174,73	149,29	164,55	123,41	462,48	346,86	533,49	1076,32
	2	238,66	417,66	477,32	357,99	1123,50	1284,00	963,00	822,79	906,92	680,19	2548,91	1911,68	2940,32	5932,09

Na lokalitetu Virje – Sušine (S-2a i 3) datiranom u razdoblje 2/2 5. – 6. st. izvedeno je između 25 i 27 postupaka koji su rezultirali s oko 16–40 kg pročišćenog željeza te utroškom od oko 196–230 kg rude. U potonjem slučaju na temelju makroskopske, mineraloške i kemijske analize primijećeni su i gubitci u željezu, odnosno potencijalni neuspješni postupci stoga je vrlo vjerojatno da je omjer dobivenog željeza nešto niži.

Na lokalitetu Virje – Sušine, prema više radiokarbonskih datuma, analizi sapnica i zgure te prostornom rasporedu otpada, proizvodnja željeza izvođena je u nekoj vrsti kontinuiteta, iako isprekidano – sezonski ili kampanjski kroz duži vremenski period u razdoblju od kraja 6. – kraja 7. st., s potencijalnim jedinstvenim postupcima i kasnije, u 8. st.. Potonje potvrđuje u neku ruku i analiza utroška resursa i količine prinosa, koja je značajnija nego kod svih promatranih položaja. Ovdje je moglo biti proizvedeno 80–198 kg željeza koje je rezultat 88–100 (+15) postupaka. Podaci o broju isteka svjedoče da je vjerojatno izvedeno oko 120 postupaka. Pri tome je iskorišteno oko tonu pripremljene rude i između 5 i 16 tona ugljena, samo za redukcijske postupke. Na djelomično istovremenom lokalitetu Velike Hlebine, na kojemu je pretpostavljeno kraće trajanje i postojanje jedne skupine izvođača, izvedeno je između 81 i 66 postupaka, a proizvedeno između 34 i 86 kg pročišćenog željeza.

Talionički postupci tijekom 2/2 7. – 8./poč. 9. st. posvjedočeni su u naseobinskim kontekstima na lokalitetu Virje – Volarski S-2b i potencijalno Virje – Sušine S-8 te u sklopu organiziranog radioničkog prostora na lokalitetu Volarski breg (S-1). U naseobinskim prostorima, ova aktivnost je čini se bila povremena, posvjedočena kroz tek nekoliko postupaka, prema primjeru S-2b, između 6 i 4 postupka koji su rezultirali s 3–4 kg pročišćenog željeza.

Prema podacima o obimu proizvodnje u pojedinoj radionici, ali i strukturiranju radnog prostora, morfološkim oblicima zgure proizašle iz redukcijskih i postredukcijskih postupaka te gotovo standardiziranom obliku sapnica čini se da je u razdoblju 4./5. st. na položaju Virje – Sušine (S-7) postojala specijalizirana, aktivna proizvodnja. U sljedećoj fazi posvjedočenoj na tlu Podravine, prema lokalitetu Virje – Volarski breg (S 2a i 3) određeni radni prostori koriste se za proizvodnju manje količine željeza, što može sugerirati općenito manju potrebu ili drugačiji način organizacije radnih procesa koji podrazumijeva učestalu promjenu položaja, potencijalno u potrazi za sirovinom. Obzirom na dostupne podatke teško je razabrati radi li se o specijaliziranim skupinama, međutim određena razina standardizacije vidljiva je iz uporabe sapnica istih morfoloških svojstava i pojavi cjelovitih izljeva gotovo jednake težine što sugerira

i standardiziranu proizvodnju. Intenzivnija proizvodnja na jednom položaju, vrlo vjerojatno od strane iste skupine proizvođača (Hlebine – Velike Hlebine) ili iste proizvodnje linije (Virje – Sušine, S-7) posvjedočena je u razdoblju kraja 6.–7. st.. Standardizacija oblika sapnica u periodu od 2/2/kraja 6. – sredine i početka 2/2 7. st. jasno je vidljiva kroz oblikovnu i funkcionalnu sličnost sapnica s ova dva lokaliteta. Potonje može ukazivati na usvojen standardni sustav, dizajna peći ali i načina proizvodnje. Čini se da je u ovom periodu potražnja za željezom uzrokovala intenzivniju i vrlo organiziranu proizvodnju, o čemu svjedoče ne samo standardni oblici sapnica, količina proizvedenog željeza i sličnosti u općenitom dizajnu peći već i jasna organizacija prostora, poglavito prisutna na lokalitetu Velike Hlebine. Paralelna uporaba dviju peći na ovom lokalitetu može se uzeti kao odraz optimizacije radnih procesa, utroška vremena i ljudskih resursa te kao takva smatrati promišljenim sustavom koji teži višoj produkciji uz snižavanje troška. Kao odraz standardizacije, ali i potencijalne specijalizacije u ovom periodu, moguće je uzeti i konzistentnu pojavu ruda dobre kvalitete, te izrazitije sličnosti sastava zgure s lokaliteta Virje – Sušine (S-5) i Hlebine – Velike Hlebine.

Tijekom 2/2 7. i u 8. st. povećava se poluproizvod o čemu svjedoči promjena u dizajnu peći (Virje – Sušine, S-7), nalazi masivnijih izljeva i zgure iz primarnog kovanja, pojava jamskih peći za spajanje i/ili pročišćavanje željeznih poluproizvoda, ali i nešto kasnija pojava četiriju peći koje su mogle biti operirane simultano (Virje – Volarski breg, S-1). Svi oni svjedoče o povećanju obima proizvodnje željeza u ovom periodu na generalnoj razini, ali i u sklopu jedinstvenog radnog prostora (Virje – Volarski breg, S-1). Manja razina produkcije događa se i uz prostore naseljavanja, o čemu svjedoče nalazi zgure iz redukcijskih postupaka i rude s lokaliteta Virje – Volarski breg (S-2b).

## **6.4 Odabir položaja**

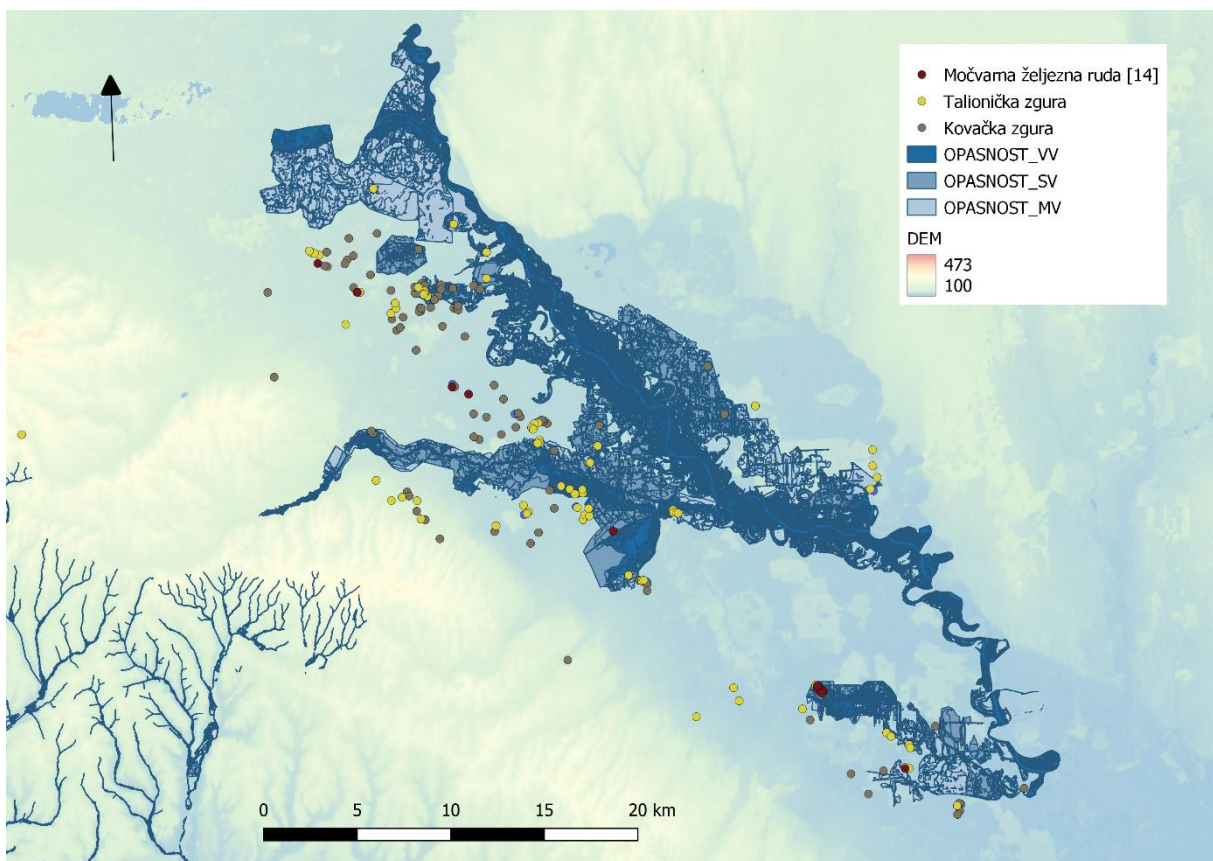
Proizvodnja željeza primarno podrazumijeva dostupnost prirodnih resursa, sirovina poput željezne rude i drva (ugljen), a karakteristike okoliša diktiraju mogućnosti iskorištavanja i eksploatacije sirovina. Uzroci smještaja radionica izvan nasebinskih prostora te njihovo pozicioniranje u krajoliku sugerirani su kroz više poglavlja u ovom radu, na temelju različitih razina istraživanja. Sezonalne aktivnosti, izmještenost od nasebinskih prostora i položaj neposredno uz područja na kojima je izražen potencijal razvoja ležišta močvarne željezne rude, prisutnost željezovitih pedotvorenina u strukturi glinene smjese stijenki peći, kao i aktivnosti

pripreme sirovina koje su se izvodile u sklopu radionica (prženje rude i proizvodnja ugljena) te značajne količine sirovina potrebnih za višestruke postupke redukcije izvođene u jednoj kampanji, sugeriraju odabir položaja na temelju blizine izvora sirovina. Iako je sugestija da su ovi položaji najčešće birani na temelju blizine ležišta ruda, drvo (ugljen) čini količinski najznačajniji resurs korišten u postupcima redukcije, ali i postredukcije. Arheološki zapis na dva položaja lokaliteta Virje – Volarski breg datirana u 2/2 5. – poč. 7. st. (S-2a i3) i 8.–poč. 9. st. ukazuje da je ovdje vjerojatno proizvođen ugljen u ugljenicama plitkog dna pri čemu je moguće pomišljati da je upravo ovaj resurs bio temeljni razlog odabira položaja radionica. Za razdoblje 8. i poč. 9. st. ovo bi mogli sugerirati i nalazi rude u naseobinskim kontekstima (Hlebine – Velike Hlebine (S-3), Volarski breg (S-2b) i Log Parag 1). Čini se da potraga za resursima i prilagodba okolišnim preduvjetima utječe na odabir položaja radionica, ujedno i organizaciju rada (sezonalna aktivnost) u svim promatranim vremenskim periodima. Pravilnosti koje ukazuju na dominantan utjecaj krajolika u ovom segmentu organizacije radnih procesa očituju se i na krajolično, prostorno i vremenski značajnijoj razini – ako promotrimo sve lokalitete s tragovima proizvodnje željeza prisutnim na površini tla, ubiciranim terenskim pregledima (Valent et al. 2021). Površinski prikupljena zgura je talioničkog (70 položaja) i kovačkog (88 položaja) karaktera te svjedoči o postojanju različitih, međusobno povezanih metalurških aktivnosti u ovoj regiji. Jasne datacijske okvire za pojedini lokalitet nije moguće uspostaviti (vidi poglavlje 2.5) obzirom na izostanak temporalno osjetljivih arheoloških nalaza, pojavu nalaza iz više različitih razdoblja na istom lokalitetu te činjenicu da su do sada istražene radionice obrađene u ovom radu u pravilu lišene istovremenih arheoloških nalaza koji bi omogućili relativnu dataciju.

Na prostoru Podravine vidljivo je paralelno longitudinalno pružanje (SZ – JI) osnovnih reljefnih oblika (Dravske nizine i Bilogore) (karta 2.1), ali i geoloških te pedoloških značajki. Hipsometrijski gledano, visinske kote sustavno opadaju u svojevrsnim terasama u smjeru SZ – JI čineći tako razliku od gotovo 30 metara između najjisturenijih točaka, lokaliteta Mali Otok – Gmanje (135.9 n.v.) u okolini Legrada na SZ i lokaliteta Pitomača – Zakovačice (111.0 n.v.) te Kladare – Orešje – Lasci (107.00 n. v.) na JI u okolini Pitomače. Dominantnu ulogu u nizinskom prostoru Podravine ima rijeka Drava, te njezina plavna dolina. Poplave na području Podravine poznate su iz povijesnih izvora (Petrić 2005), no i u današnjem krajoliku koji je prošao kroz niz hidroregulacijskih zahvata u proteklim stoljećima (Slukan–Altić 2002: 130–132; Feletar, Feletar 2008: 187–189; Petrić 2013; Petrić et al. 2019: 110–119), povremena plavljenja su prisutna. Ovi prirodni preduvjeti uvjetovali su stvaranje prostorne slike naseljenosti u prošlosti

kao i danas (Feletar, Feletar 2008), a distribuciju položaja na kojim je površinski prikupljena zgura, pretpostavljenih položaja talioničkih aktivnosti ili radionica te kovačkih aktivnosti, moguće je dovesti u vezu s potonjim utjecajima.

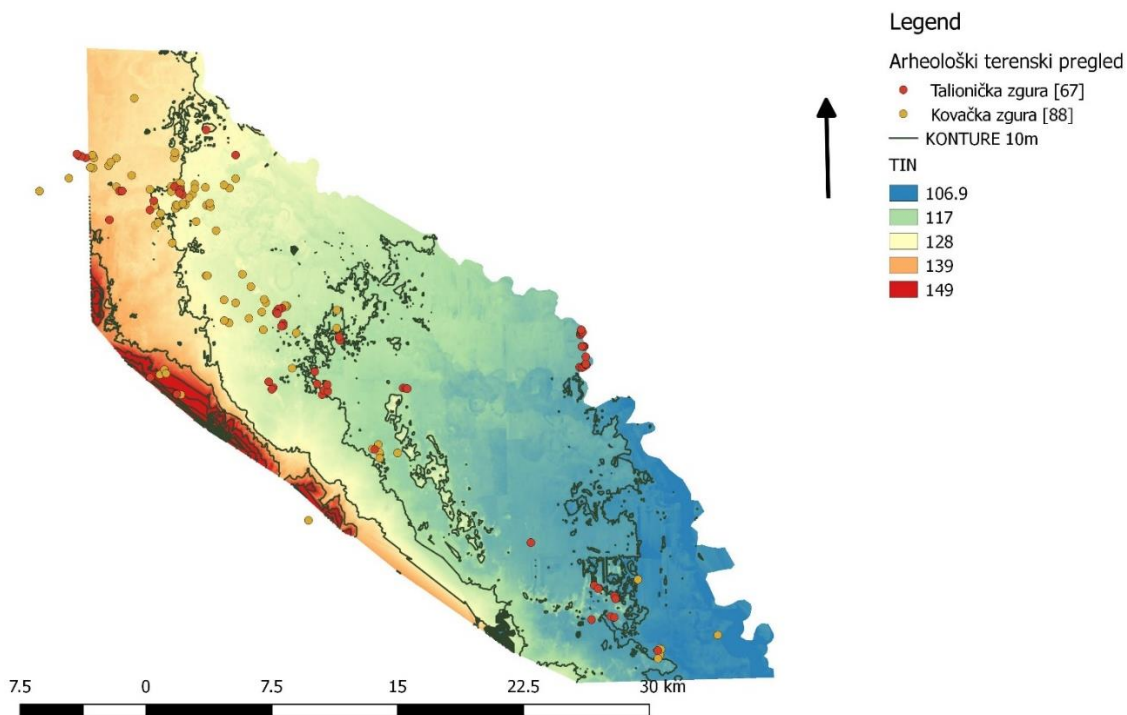
Projekcija opasnosti od poplava na prostoru Dravske nizine u Podravini vidljiva je iz istraživanja Hrvatskih voda (GHE) – u prediktivnom scenariju pojavljivanja poplava (male, srednje, visoke vjerojatnosti). Iz potonje predikcije vidljiva je najuža prostorna zahvaćenost i najniža vjerojatnost pojave poplave na SZ dijelu promatranog prostora (Karta 6.1). Scenarij male vjerojatnosti pojavljivanja uključuje i poplave uslijed mogućih rušenja nasipa na većim vodotocima te rušenja visokih brana te se može smatrati najbližim prikaz potencijalne opasnosti u arheološkim razdobljima. Glavnina promatranih položaja zonalno je raspoređena uz rubove područja srednje opasnosti od poplava, te područjima na kojima je mala vjerojatnost poplava danas, a u prošlosti vrlo vjerojatno značajnije i učestalije plavljenim. Iz arheološkog terenskog zapisa poznato nam je da su pojedini položaji bili izloženi plavljenju, no vjerojatno tek po napuštanju istih (Hlebine – Velike Hlebine i Virje – Volarski breg).



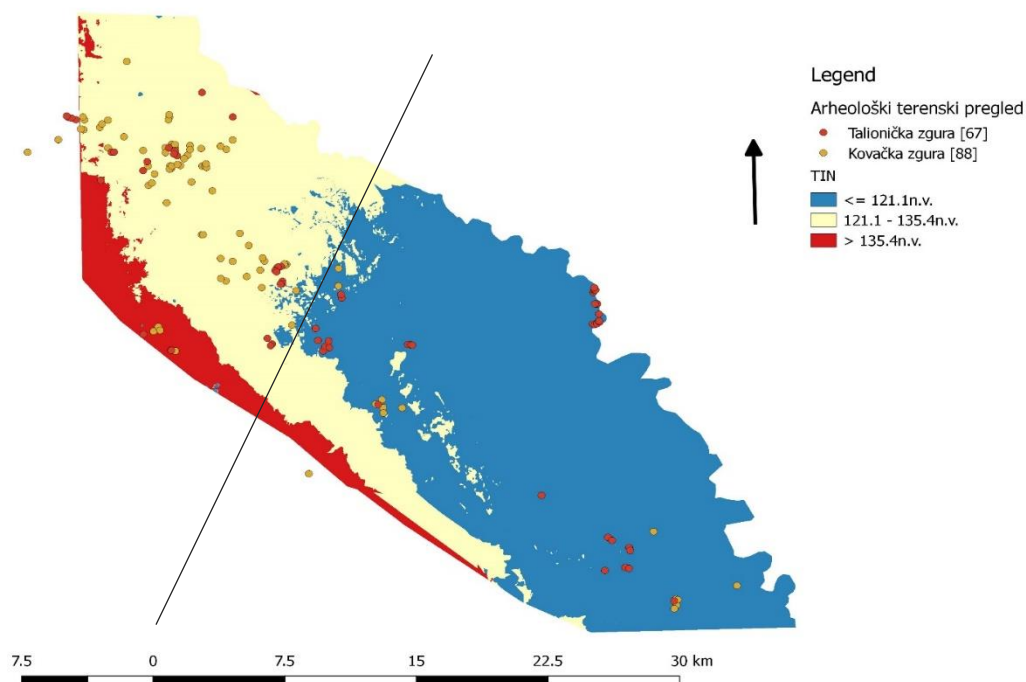
Karta 6.1. Prostorna distribucija lokaliteta s površinski prisutnim nalazima talioničke zgure (zgure iz postupaka redukcije) i kovačke zgure (zgure iz postredukcijских postupaka) te nalaza rude naspram projekcije opasnosti od poplava (izvor: Hrvatske vode, Geoportal Hrvatske vode,

<https://preglednik.voda.hr/>, pristupljeno 01.04.2022.)(podloga: podloga: DEM 2020, [www.earthdata.nasa.gov](http://www.earthdata.nasa.gov))

Longitudinalna zonalnost prirodnih karakteristika krajolika može se dovesti u vezu sa zonalnom distribucijom arheoloških lokaliteta. Izrazitija pojava i mjestimična koncentracija lokaliteta s površinski prikupljenom kovačkom zgurom nalazi se u zoni viših nadmorskih visina, na SZ dijelu prostora (Sl. 6.2). Lokaliteti su široko prostorno distribuirani, više položaja je često grupirano u blizini položaja s površinski prisutnom zgurom nastalom redukcijskim postupcima, no ovi položaji nisu isključivo prostorno vezani. S druge strane, lokaliteti s površinskim nalazima talioničke zgure relativno su jednolično distribuirani u odnosu SZ-JI. Primjetno je i grupiranje položaja na mikrolokacijama, a rjeđe se javljaju pojedinačne, izolirane pojave. Ovakva situacija može biti odraz istraženosti, tj. većeg intenziteta terenskih pregleda na SZ dijelu istraživanog područja. Ipak, manja vjerojatnost i opasnost od poplava odnosno više nadmorske visine, poželjna je karakteristika za osnivanje naselja, dok u slučaju odabira položaja radionica za proizvodnju željeza ona nužno ne čini isključiv faktor obzirom da se, pretpostavljeno, radi o sezonskim aktivnostima kod kojih intenzitet te vrijeme boravka i funkcioniranja ovisi o dostupnosti resursa, vremenskoj pogodnosti (dugotrajni boravak na otvorenom), stanju hidroloških preduvjeta (poplave), ali i potražnji za željezom. Kovačke aktivnosti podrazumijevaju sirovinu koja se nabavlja, a ne proizvodi iz prirodnih resursa (u sustavu proizvodnje sa specijalizacijama), raznovrsnije aktivnosti i potencijalno proizvodnju različitih proizvoda kao i obimniji set alata te, pretpostavljeno, veću učestalost izvedbe i manji radni prostor, stoga je njihov smještaj uz naselja sasvim logičan. Također, sve istražene radionice za proizvodnju željeza izdvojene su od istovremenih naselja dok se kovačke peći i nalazi zgure koji upućuju na kovačku aktivnost pronalaze u asocijaciji s nasebinskim elementima, na lokalitetima datiranim u 7.st. (Hlebine – Dedanovice) i 8. st. / poč. 9. st. (Virje – Volarski breg, S-2b i Virje – Sušine, S-8). Mikrolokacijski gledano, položaji talioničkih radionica nalaze se uz rubove manjih uzdignutih greda (Karta 2.2-2.3), a prema primjeru lokaliteta Virje – Volarski breg (Sl. 3.10), tijekom hidrološke godine, vizura krajolika i dostupnost ovih lokacija je promjenjiva.



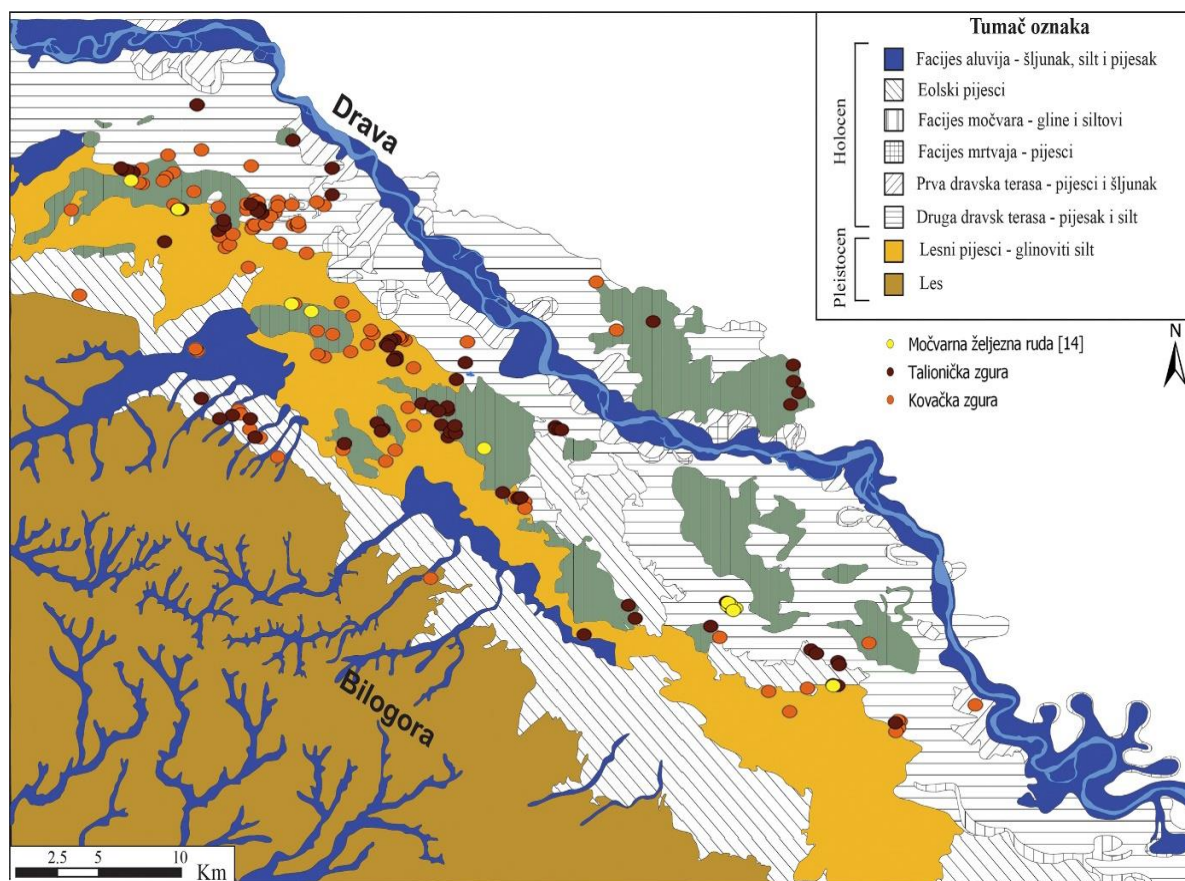
a)



b)

Karta 6.2. Hipsometrijska karta Podravine i položaji lokaliteta s površinski prisutnom talioničkom i kovačkom zgurom: a) s označenim konturama područja s visinskim razlikama od 10 m, b) s označenim područjima visinske razlike oko 15 m. Vidljiva zonalnost prirodnih odlika krajolika i pojave lokaliteta različita karaktera (SZ-JI).

Osim longitudinalne zonalnosti prirodnih obilježja krajolika, u poprečnom presjeku prostora između rijeke Drave i obronaka Bilogore (smjer S-J) moguće je izdvojiti dvije osnovne reljefne cjeline, široku naplavnu ravan tj. dravski poloj neposredno uz rijeku te terase holocenskog i würmskog postanka (Feletar, Feletar 2008) (Sl. 6.3). Hipsometrijski gledano teren se uzdiže prelazeći od dravskog poloja ka jugu, u smjeru Bilogore (Karta 6.2.). Područje uz dravski poloj čini kontaktnu i drugu terasu koja je danas neznatno, tek nekoliko metara uzvišenija od samog poloja, gotovo neprimjetna u prostoru, međutim takva situacija do neke mjere je uzrokovana stoljećima sustavnog iskorištavanja zemljišta u poljoprivredne svrhe, sustavima melioracije i hidroregulacije koje su za posljedicu imale i relativnu nivelaciju terena. Većina lokaliteta i položaja pronalaska rude nalazi se upravo na kontaktnom prostoru i drugoj dravskoj terasi. (Karta 6.1, 6.2.).



Karta 6.3. Geološka karta Podravine s označenim položajima lokaliteta s površinski prisutnom talioničkom i kovačkom zgurom i ulomcima močvarne željezne rude.

Iznimke u prostornoj distribuciji lokaliteta s površinski prisutnom talioničkom zgurom čini Legrad koji se nalazi na prostoru dravskog poloja, no sama pozicija pronalaska nalazi se na uzvišenijoj terasi, a generalno gledajući, SZ dio prostora hipsometrijski je viši no JI. Tok rijeke



Drave u nizinskom krajoliku Podravine znatno pada sljedeći reljefne zadatosti te mu je povećana brzina i meandriranje u ravnici što pridonosi eroziji tla na koritu rijeke i gomilanju šljunka i pijeska. Iz ovog razloga, neposredno uz korito rijeke Drave mjestimično se nalaze uzdignuta i ocjedita područja (Feletar, Feletar 2008: 177, 195; Petrić 2012: 58). Druga iznimka su lokaliteti na dijelu treće terase neposredno uz bilogorsko pobrđe, Bakovčice – Velike livade, Glogovac – Selište i Veliko polje 4 (Valent et al. 2021). Uzorci ruda nisu pronađeni na ovom prostoru, no na svim spomenutim lokalitetima pronađeni su nasebinski elementi (površinski prisutna keramika) datirani u kasni srednji vijek, što može sugerirati drugi način organizacije radnih procesa nego u promatranim razdobljima. Obzirom da nije istražen niti jedan kasnosrednjovjekovni lokalitet na kojemu su izvođene aktivnosti taljenja močvarne rude, nije poznato ni tehnološko rješenje stoga nije moguće sa sigurnošću reći pripada li površinski prisutna zgura ovom periodu.

Upravo prostor druge i treće terase je kroz povijesna razdoblja i u novije doba bio najnaseljeniji (Feletar, Feletar 2008). Radi se o ocjeditom prostoru na podlozi pijesaka i šljunka te glinovitih siltova (2. terasa), na trećoj terasi i lesoidno-glinovitih siltova (Sl. 6.3). Mjestimično se na drugoj terasi stvaraju prostori aluvijalnih facijesa kao što su močvarni i facijes mrtvaja. Upravo uz ove, nekada značajno zamočvarene predjele, na kojima je visoka vjerojatnost pojave močvarnih ruda, koncentrirani su lokaliteti s karakterom talioničkih radionica (Karta 6.3.). U usporedbi s prostornom distribucijom današnjih naselja, poglavito onih većih i naseljenijih, čini se da se prostori talionica nalaze ipak bliže dravskom poloju te se nalaze na kontaktnom dijelu poloja i riječne terase, nedaleko područja koja su mogla imati pravi močvarni karakter. Prostori na kojima je vidljiv barski facijes, ne nalaze se redovito direktno uz obale rijeke Drave, već su udaljeni i nekoliko kilometara. Razlog ovomu je što je upravo ovdje teren najniži, visinske razlike nekih 2 – 3 m od korita Drave te je pogodan za zamočvarenje, odnosno nakon poplava ovdje bi se zadržavala voda. Iako vegetacijske zone prisutne u prošlosti nije moguće u potpunosti rekonstruirati, distribuciju prirodne vegetacije na riječnim naplavnim ravnima uključujući Dravsku nizinu odlikuje također određena razina zonalnosti (Vukelić, Rauš 1998; Kevey 2019), koju je moguće dovesti u vezu sa zonalnošću reljefnih, geomorfoloških i pedoloških značajki prostora Podravine (Kranjčev 1980; Feletar, Feletar 2008: 189). Tako se na dravskim riječnim terasama, u poloju i na nižim terasama mjestimično i danas javljaju zajednice hrasta lužnjaka, vrbe, topole dok se na nešto višim prostorima würmskih terasa i pobrđa javljaju zajednice hrasta kitnjaka, breza, lipa i bukve. Na višim brdovitim predjelima Bilogore i Kalnika javljaju se zajednice bukve, hrasta kitnjaka, topole, graba. Analiza ugljena

(vidi poglavlje 3.2.; Botić, Culibeg 2021) i arheološki zapis na pojedinim lokalitetima svjedoči upravo o dominantnoj uporabi vrsta koje je bilo moguće naći u neposrednoj blizini položaja radionica, diljem druge dravske terase.

## 7 Zaključna razmatranja

Eksploatacija lokalnih prirodnih resursa (močvarne željezne rude, drva i gline) te proizvodnja željeza bila je prisutna na području današnje Podravine kroz dug vremenski period, tijekom kasne antike i ranoga srednjega vijeka, od kraja 4./5. –8./poč. 9. st. o čemu svjedoče arheološki podaci s lokaliteta Virje –Sušine i Volarski breg te Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice obrađeni u ovom radu te analiza sirovina i otpada koja je ukazala na genetsku, geokemijsku vezu između uzoraka ruda i zgure iz arheološkog konteksta te analize uzoraka ruda (Brenko et al. 2020; 2021) prikupljenih geoarheološkom prospekcijom područja Podravine. Krajobraz kao jedina konstanta oblikovanja kulturnih krajolika u ovom dugom vremenskom razdoblju uvelike je utjecao na različite aspekte proizvodnje željeza, primarno organizacije radnih aktivnosti i mehanizama proizvodnje, bez obzira na promatrano razdoblje. Zakonitosti prirodnih preduvjeta u sprezi s potrebama proizvodnje željeza (znanje, vještina, ljudski, vremenski i prirodni resursi) uvjetovale su u nekoj mjeri: 1) **sezonalnost** koja podrazumijeva povoljne hidrološke i klimatološke prilike (doba godine) te s tim u vezi dostupan pristup prostoru ležišta, 2) **odabir položaja radionica** koje su smještene izvan naselja, uz plitke depresije pogodne za nastanak močvarne željezne rude što je pokazao primjer jedinog do sada prepoznatog ležišta na prostoru Podravine, onaj na položaju Kalinovac – Hrastova greda te rekonstrukcija prirodnih preduvjeta nastanka rude, prepoznata na temelju distribucije lokaliteta i nalaza rude na području druge dravske terase gdje je na osnovu geoloških i hidroloških (podzemne vode) preduvjeta moguće očekivati pojave močvarne rude, ali i vrste drva korištene u proizvodnji ugljena čija zonalnost također ukazuje na idealne prirodne preduvjete za pojavu i ovih neophodnih resursa nedaleko položaja radionica, 3) **organizaciju i slijed proizvodnih procesa** prepoznatih u aktivnostima eksploatacije i pripreme rude, te redukcijских i postredukcijских procesa prisutnih u radionicama. Svladavanje prirodnih nepogodnosti poput loše kvalitete močvarne željezne rude vidljivo je kroz tehnološku prilagodbu koja se iščitava na lokalitetima datiranim 4./5. st. – 8./9. st., a čine ju procesi pripreme ruda, primarno pretpostavljena diskriminacija jalovih minerala iz rudnog konglomerata te postupci prženja rude. Iako je sličnost u tehnološkim rješenjima,

dizajnu peći i organizaciji radnih aktivnosti znatna u odnosu na dug vremenski period promatranja, znakovite promjene ipak su vidljive na više razina. One se mogu dovesti u vezu s društvenim i ekonomskim preduvjetima, a vidljive su prvenstveno kroz evoluciju tehnoloških rješenja, razlike u poluproizvodima, obimu proizvodnje i organizaciji radnih procesa.

Najraniji arheološki istraženi tragovi sustavne proizvodnje željeza na određenom položaju na području Podravine potječu s lokaliteta Virje – Sušine (S-7 i 5), a datiraju u kraj 4./5. st.. Ovo razdoblje, ne označava nužno početak eksploatacije prirodnih resursa i lokalne proizvodnje na tlu Podravine, koje je, barem obzirom na laku dostupnost resursa, moguće pretpostaviti i za ranija arheološka razdoblja. Naime, iz antičkog razdoblja, na temelju površinskih nalaza zgure poznata je pojava kovačkih tipova zgure u asocijaciji isključivo s antičkim arheološkim površinskim nalazima (Valent et al. 2021), što sugerira metaloprerađivačku aktivnost. Međutim, obzirom na dosadašnju razinu spoznaja nije moguće utvrditi poveznicu s lokalnim sirovinama i nasljedno lokalnom proizvodnjom željeza. Za antičko razdoblje potrebno je svakako pretpostaviti mogućnost trgovine poluproizvodima iz većih proizvodnih centara, kao što su Norički i Panonsko-dalmatinski centar (srednja i SZ Bosna), koji aktivno djeluju tijekom antike (Škegro 1999; Pleiner 2000; Cech 2014). Ipak, za razdoblje antike pretpostavljena je i određena razina lokalne proizvodnje, međutim na vremenski, prostorno i karakterom udaljenim lokalitetima. Takav je slučaj lokaliteta na području današnje Slovenije u okolici antičke Emone (Inkret 2013), a prema klasifikaciji proizvodnih centara i jedinica u antičko doba na području rimske provincije Britanije koju je napravio H. Cleere (1981), proizvodnja željeza mogla se odvijati i u okviru antičkih vila kao jedna od gospodarskih aktivnosti. Komunikacijska mreža riječnih i cestovnih puteva mogla je osigurati prijenos poluproizvoda unutar provincija i to do većih središta (poput antičke Siscije), odakle su dalje, u obliku finalnih proizvoda ili poluproizvoda, distribuirani diljem Carstva (Škegro 1999: 104–105, 129; Durman 2002: 28 (Siscia)). Za područje Panonije izražen je značaj Siscije koji se ogleda u tome što ona u 2. st. postaje upravno sjedište za rudnike Dalmacije i Panonije (Durman 1992; 2002: 25), te u postojanju strukturirane organizacije za ubiranje poreza na čelu s predstojnikom u rangu carskog upravitelja, poglavito u 3. st., kada je proizvodnja željeza u dalmatinsko-panonskim rudnicima morala imati značajniju ulogu vezanu uz obrana Carstva u Podunavlju (Škegro 1999: 101 i pripadajuća literatura). O distribuciji poluproizvoda poteklih vjerojatno iz panonsko-dalmatinskog centra na području srednje i/ili SZ Bosne, željeznih ingota, svjedoče nalazi iz Hrvatske Dubice i Suvaja kod Bosanske Dubice (Košćević 1995: 24; Durman 1992; 2002: 28; Škegro 1999: 105 i pripadajuća literatura). Datacija ovih nalaza nije sigurna, no prema A.

Durmanu (2002: 29) mogli bi pripadati 4.st.<sup>93</sup> Rudonosno područje sjeverozapadne i središnje Bosne, poglavito šire područje oko Japre, Sane i Une intenzivno je eksploatirano od 2. do ½ 4. st. (Pašalić 1954; Bojanovski 1988; Koščević 1995; 1997; Basler 1999: 94–96; Škegro 1999: 99–138; Durman 2002). Rudnici i proizvodni pogoni bili su pod upravom države, u promjenjivom ritmu od 2. do ½ 4. st., putem carskih prokuratora te zakupnika (Koščević 1995: 24; Škegro 1999: 100–103, 128–130, 133–138). Pojava radionice za proizvodnju željeza tijekom kasne antike (kraj 4. st. – poč. 5. st.) na području Podravine koincidira s raslojavanjem, promjenama u organizaciji i/ili prestankom rada panonsko-dalmatinskog proizvodnog centra uslijed nestabilnosti i barbarskih provala (Škegro 1999: 127–128; 131–133), stoga je moguće da se lokalna proizvodnja spužvastog željeza javlja tek u kasnoj antici na širem prostoru, u nekom razdoblju tijekom 4. st.. Potonjoj tezi bi u prilog mogla ići i uredba Valentinijana I i Valensa iz 365., te Valensove odredbe iz 370. ili 373. kojima je dopušteno lokalno rudarenje uz uvjet plaćanja taksi državi te ustupanje prava prvootkupa metala (Škegro 1999: 132, fn. 5–7). Ove uredbе dolaze u vrijeme kada se reaktivira carska uprava nad rudnicima Panonije i Dalmacije (pojava *comes metallorum per Illirycum*) te moguće, između ostalog, proizlaze iz značajnije potrebe za željezom uslijed provala Zapadnih Gota. Iz istog bismo mogli iščitati i da je lokalno rudarenje i proizvodnja željeza diljem provincije postojalo i ranije, a odredbom je tek uređeno pravo prvootkupa u razdoblju pojačane potrebe. Radionica istražena na položaju Virje – Sušine ukazuje na intenzivnije korištenje u kraćem vremenskom periodu i određenu razinu standardizacije načina proizvodnje i količine izlaznog poluproizvoda što ukazuje i na jednu liniju proizvođača odnosno potencijalno skupinu istih izvoditelja. Mineraloške i geokemijske analize uzoraka rude i zgure iz istog konteksta ukazale su na veliku razinu varijabilnosti u elementnom sastavu, ali i kvaliteti rude. Varijabilnost se može pripisati iskorištavanju različitih izvorišta (mikrolokacija leće), no nužno ne označava prostorno udaljena ležišta, štoviše varijabilnost je moguća i unutar istog ležišta prema primjeru istraženog ležišta na položaju Kalinovac – Hrastova greda. Tehnološka prilagodba kroz način pripreme rude (diskriminaciju jalovih dijelova rudnih konglomerata) ovdje je pretpostavljena s obzirom na kontekst pronalaska uzoraka rude. Ipak, visoka razina varijabilnosti u kvaliteti rude označava

---

<sup>93</sup> Prema A. Durman (2002: 29) tragove pristaništa (za transport željeza) i kovačnice(a) potrebno je pretpostaviti s lijeve strane rijeke Kupe u Sisku (na položaju predrimске Segestike) uz kovačnicu novca koja je u Sisciji djelovala od 263. do 423. godine (Durman 2002: 29 prema Hoti 1992: 153), što autor podupire slučajnim nalazima ingota i serije identičnih sjekira iz korita Kupe te vlastitim nalazom nedovršene(?) sjekire na istom položaju, čavala i ulomaka keramike. Datacija ovih nalaza je nepoznata, no u koritu rijeke s 19 identičnih sjekira pronađen je novac datiran u 4. st. Slična je situacija i s datacijom ingota iz Hrvatske Dubice koju nije moguće donijeti sa sigurnošću, no iskopavanje na istoj poziciji vođeno od strane A. Durmana, gotovo stoljeće nakon pronalaska ingota, iznjedrilo je ostatke građevine i bogatog groba koji se prema autoru mogu pripisati 4. st. (Durman 2002: 29).

potencijalno i nepredvidivost ishoda, količine proizvedenog spužvastog željeza i upitnu kvalitetu istog. Sustav proizvodnje u kojemu je kvaliteta upitna vrlo vjerojatno reagira na tržište čija potreba za željezom ne uvjetuje kvalitetu, a zadržavanje istih obrazaca pod ovakvim preduvjetima može implicirati i kontinuiranu tržišnu potrebu bez obzira na kvalitetu izlaznog poluproizvoda. Također, ono može implicirati i nisku tržišnu konkurenciju, i u tom smislu proizvodnju za lokalne potrebe. Jedinstven nalaz peći s ovog lokaliteta upućuje da su one bile operirane kao samostalne jedinice, što načelno označava usku skupinu izvođača postupaka i ide u prilog nižoj razini produkcije koja bi se opet mogla povezati s proizvodnjom za lokalne potrebe. Iz narednog razdoblja, 2/2 5. i 6. st. (najkasnije do početka 7. st.) istražen je jedan položaj, radionica na lokalitetu Virje – Volarski breg (S-2a i 3). Prema morfološkim karakteristikama sapnica, moguće je u nekoj mjeri nazrijeti sličnost s ranijim razdobljem, barem prema segmentu dizajna peći. Komparativna analiza težine cjelovitih izljeva ukazuje na relativno povećanje izlaznih poluproizvoda u odnosu na ranije razdoblje, međutim izostanak mjerljivih parametra ovdje onemogućuje detaljniju sliku o količini proizvedenog željeza u toku jednog talioničkog procesa, time i poluproizvoda namijenjenog za daljnju distribuciju. Prema primjeru istraženog područja na Sušinama (S-2a i 3) pojedini prostori koriste se manjim intenzitetom. Potonje može implicirati veću razinu kretanja u potrazi za sirovinom(?), ali i nižu učestalost potrebe za novim željeznim poluproizvodima. U prilog objema tezama išla bi vidljiva viša razina varijabilnosti rude utemeljena na rezultatima elementnog profiliranja uzoraka zgure s ovog lokaliteta. Niska razina potrebe za željezom mogla bi se dovesti u vezu s distribucijom na lokalno, manje tržište. S druge strane, na ovom lokalitetu posvjedočena je uporaba talitelja (zasićenost CaO u zguri) čija funkcija se može ogledati u povećanju količine dobivenog željeza, ali i smanjenju utjecaja fosfora te pougljičenja dobivenog željeza. Iako je analizirani uzorak odraz neuspjelog postupka taljenja, on može ukazivati na tendenciju ka proizvodnji veće količine željeza sa smanjenim utroškom rude, ali i neiskustvo u izvođenju postupaka taljenja uporabom ruda varijabilnih svojstava, kakve su močvarne rude. U tom kontekstu, interpretacija tržišnih ili društvenih preduvjeta na temelju primjera ovog lokaliteta vrlo je nezahvalna jer se može ogledati u sasvim različitim interpretativnim okvirima. Organizacija prostora radionice i jednoobraznost morfoloških svojstva sapnica kao i cjelovitih izljeva te količina pronađene zgure, svjedoči o višestrukoj proizvodnji poluproizvoda sličnih karakteristika, vjerojatno od strane jedne grupe izvoditelja.

U razdoblju 2/2 6./kraj 6. st. – sredine ili 2/2 7. st. posvjedočenom na tri lokaliteta: Virje – Sušine (S-5) i Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice vidljiva je određena razina promjena u

odnosu na proteklo razdoblje, ali i svojevrsna evolucija tehnoloških rješenja. Jedinostvenom poveznicom može se smatrati 1) povećanje količine proizvedenog željeza i 2) promjene u organizaciji radnih aktivnosti u odnosu na proteklo razdoblje. Analiza arheoloških nalaza s lokaliteta Virje – Sušine i Hlebine – Velike Hlebine upućuju na izrazite sličnosti u morfološkim svojstvima zgure, sapnica te nasljedno dizajna peći i količine proizvedenog željeza, općenito gledajući sličnosti u načinu izvođenja postupka tijekom 2/2/kraja 6. – sredine 7. st. O potonjem svjedoče gotovo identična morfološka svojstva i pojava dvaju tipova sapnica – kovačke i talioničke, te izrazitija sličnost kemijskog sastava zgure koja može ukazivati na jedinstvenost operativnih parametara. Temeljni oblik i dimenzije peći slične su kao i u prethodnom razdoblju, koliko je moguće razabrati iz arheoloških nalaza tehničke keramike, međutim, određene su promjene vidljive u organizaciji radnih procesa i samom dizajnu peći kroz dizajn sapnica. Dizajn sapnica se mijenja, ali u vidu pojave pretpostavljeno kovačkih sapnica (tip 3) izrazito stožastog oblika, time i drugačijeg dizajna kovačkih instalacija. Potonje u nekoj mjeri svjedoči i o razlikama u organizaciji postredukcijskih procesa, i općenito radnih aktivnosti. O razini organizacije proizvodnih procesa i kontinuiranoj proizvodnji te možda stabilnijim preduvjetima (potražnja) može svjedočiti izrazitija organizacija radnog prostora, prisutna poglavito na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine, te količina pojedinačnih postupaka izvedena u pojedinoj radionici i duže vremensko trajanje iskorištavanja određenog prostora koje je pretpostavljeno na lokalitetu Virje – Sušine (S-5). U ovom razdoblju prepoznato je i skladištenje rude u naseobinskim prostorima (lok. Dedanovice) koje također može ukazivati na stabilniju potrebu za proizvodnjom željeza i značajniju razinu aktivnosti. Simultana uporaba dviju peći, posvjedočena u arheološkom zapisu na lokalitetu Velike Hlebine, može se shvatiti kao mehanizam optimizacije utroška resursa (ljudskih i vremenskih) naspram izlaznog proizvoda te upućivati na veću tržišnu potrebu za željezom. Sustav korištenja dviju peći postavljenih u neposrednu blizinu poznat je s ranosrednjovjekovnih lokaliteta na širem europskom prostoru, te se ne može vezivati za određene društvene skupine (Pleiner 2000: 77–79). Promjene vidljive u odnosu na ranije razdoblje, vrlo su suptilne te na ovoj razini istraživanja nije moguće zaključivati radi li se o novim utjecajima, u vidu novih tehnoloških tradicija. Međutim, kemijska analiza odnosa glavnih oksida koja se može dovesti u vezu s operativnim parametrima primijenjenim pri redukcijskim postupcima ukazuje na izrazitu sličnost u načinu ophođenja s postupkom redukcije tijekom ovog i prethodnog razdoblja. U tom smislu, promjene vidljive u dizajnu peći, organizaciji rada i pretpostavljeno proizvodnji veće količine željeza, mogle bi se ogledati u prilagodbi proizvođačkih okvira novo nastalim uvjetima na tržištu. Na lokalitetu Virje – Sušine (S-5), jedan radiokarbonski datum ukazao je na iskorištavanje prostora radionice

i u 2/2 7. st.. Analiza arheološkog materijala koja se kontekstualno može dovesti u vezu s ovom fazom iskorištavanja prostora na Sušinama u svrhu proizvodnje željeza, ukazuje na tehnološki tip promjene, koji se ogleda u povećanju kapaciteta talioničkih peći, nasljedno i izlaznog poluproizvoda odnosno količine proizvedenog željeza u jednom postupku taljenja. Ova promjena prema analizi evolucije oblika sapnica pronađenih u istom prostornom kontekstu može se dovesti u vezu s jedinstvenom proizvođačkom linijom te smatrati određenim tipom inovacije izrasle unutar iste tehnološke tradicije, koja se održava u razdoblju između kraja 6. – sredine 7. st. i 2/2 7. st.. Ona također može svjedočiti o (novoj?) potrebi povećanja količine proizvedenih željeznih poluproizvoda ili usvajanju drugačijeg rješenja intenzivnije proizvodnje nego što je vidljiv na lokalitetu Velike Hlebine, s kojega potječu radiokarbonski datumi koji ukazuju na nešto ranije razdoblje, od kraja 6. –sredine 7. st.. Intenzivnija proizvodnja željeza mogla bi se dovesti u vezu s populacijskim povećanjem. Prema podacima moguće je pomišljati i o dvije faze tehnoloških promjena, jednu krajem 6. i do sredine 7. st. i drugu koja tek počinje s 2/2 7. st., a obje streme povećanju količine proizvedenog željeza. U tom pogledu mogli bismo govoriti i o sukcesivnom populacijskom porastu, možda uzrokovanom dvama fazama doseljena slavenskog stanovništva na ovo područje. Jesu li suptilne razlike u dizajnu peći i organizaciji postupaka proizvodnje u odnosu na ranije razdoblje, 2/2 5. – 6. st., odraz novih tehnoloških tradicija koje nosi nova populacija, teško je reći na osnovu obrade i analize ovog specifičnog arheološkog materijala, međutim izgleda da je proizvodnja željeza na ovom prostoru utemeljena na ranijoj tradiciji te su promjene samo odraz prilagodbe novim društvenim potrebama.

Slijedeća faza evolucije proizvodnih procesa na tlu Podravine, najavljena u 2/2 7. st. na lokalitetu Virje – Sušine (S-5) vidljiva je na obližnjem položaju S-7 na kojemu se razdoblju 2/2 7. st. –sredine 8. st. mogu pripisati specifične jamske peći za postredukcijske procese. U ovom razdoblju povremeni talionički postupci prisutni su i uz naseobinske prostore (Virje – Sušine, S-2b), a istovremeno ili nešto kasnije u tijeku 8./poč. 9. st., i proizvodnja željeza u prostorno organiziranoj radionici izvan naselja, onoj na Volarskom bregu, s četirima pećima koje potencijalno funkcioniraju zajedno. Interpretacija tehnološkog rješenja primijenjenog kod jamskih peći, izvedena u doktorskom radu nema analogija u arheološkoj literaturi. Prema potonjoj interpretaciji, funkcija ovih peći u osnovi je spajanje željeznih poluproizvoda u jedinstvenu masu. Prema količini zgure pronađene u pećima, cilj ovoga postupka je stvaranje većeg poluproizvoda od onoga kojeg je bilo moguće izraditi u talioničkim pećima tijekom jednog postupka. Promjena u tipu poluproizvoda i njegovo povećanje, može označavati i porast u potražnji za željezom te adaptaciju novim tržišnim potrebama, no nužno ne označava i

količinski veću proizvodnju željeza, štoviše ona samo koncentrira više talioničkih poluproizvoda u jedan. Pojava velikih, teških i dobro pročišćenih komada željeznih poluproizvoda datiranih relativno u 8. i 9. st. na prostoru današnje Republike Mađarske, točnije lokalitetima na prostoru južne i JZ Mađarske, između Dunava, Drave i Balatona (iz okruga Somogy (Lábod-Petesmalom), Zala (Zalavár-Vársziget) i lokaliteta Eperjes; Török et al. 2017; Gömöri 2018: sl. 1:4) mogla bi se dovesti u vezu s ovakvim tehnološkim rješenjem te svjedočiti o sličnom tehnološkom trendu, potencijalno i zajedničkom tržištu. Novija istraživanja ovih poluproizvoda ukazala su upravo na mogućnost da se radi o kompozitima spojenim iz različitih komada željeza (Török et al. 2017). Talioničke peći na spomenutom mađarskom području, široko datirane u razdoblje od 7. do 9. st., oblikovno su vrlo slične pećima na području Podravine, a čine ih samostojeće peći s plitkim ognjištem iz kojeg je ispuštana zgura, dimenzija ognjišta 30–40 cm (Nemesker i Avarski tip peći, Gömöri 2000). Osim njih postoje naznake da se pojavljuju i peći većeg kapaciteta, do širine ognjišta 95 cm, također datirana u širokom rasponu 7.–9. st. (lok. Zamardi, Török et al. 2018). Pojava velikih i teških poluproizvoda na ovom prostoru do sada nije u potpunosti razjašnjena. Iskorištavanje močvarnih željeznih ruda, poznato je u razdoblju kraja 6. –8./poč. 9. st. u regijama prostorno bliskim Podravini (Somogy, Zala) u asocijaciji s avarskim naseobinskim prostorima. Oblikovna svojstva peći istraženih na širem prostoru SZ, JZ i centralne Mađarske u dužem periodu od 7. do 9. st. (Gömöri 2000; Gömöri, Török 2002; Gallina 2002; Gallina et al. 2007a; 2007b; Török et al. 2015; 2018) vrlo su slična pećima istraženim na lokalitetima u Podravini, međutim detaljnije studije na temu koje bi mogle ukazati na sličnosti ili razlike tehnoloških rješenja na ova dva prostora, poput organizacije prostora radionica, proizvodnih procesa ili operativnih parametara nisu do sada izvedene, stoga je detaljna komparativna studija, za sada, nažalost nemoguća.



## 8 Prilozi

### 1. Eksperimentalna testiranja

#### Tehnološka iskoristivost rude

Eksperiment se provodio na uzorcima rude iz ležišta Kalinovac – Hrastova greda. Analizom njenih karakteristika i tehnološke iskoristivosti cilj je bio razumjeti obrazac pojave ruda sličnog sastava u arheološkom kontekstu te definirati mogućnosti i način njihove uporabe u svrhu proizvodnje željeza tijekom kasne antike i ranoga srednjeg vijeka. Analiza pogodnosti rude za proizvodnju spužvastog željeza i utjecaja postupka prženja na svojstva rude, izvedena je kroz eksperimentalno testiranje: 1) postupka prženja rude i 2) taljenja primjenom tehnološkog rješenja prisutnog u arheološkim razdobljima te 3) makroskopske, mineraloške (XRD) i kemijske analize (ICP–AES) uzoraka rude i zgure proizašle iz postupka.

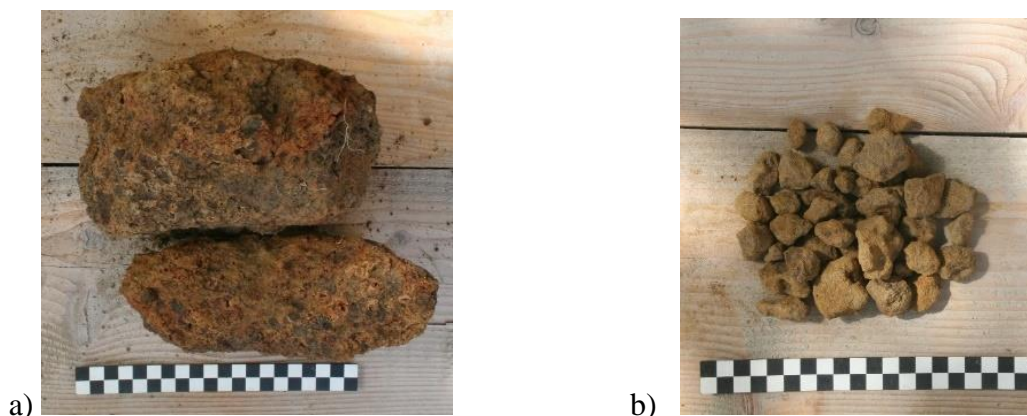
#### Priprema sirovina: prženje močvarne željezne rude

##### Operativni parametri

U postupcima prženja, a potom i taljenja, korištena je močvarna željezna ruda iz razorenog ležišta pronađena prilikom geoarheološke prospekcije položaja Kalinovac – Hrastova greda (Sl.1., Poglavlje 3.1.2: karta 3.2). Uzorci potencijalne rude prikupljeni su na dvije mikrolokacije (položaj 1 i 2). U eksperimentima je korištena ruda s Položaja 1 (Sl. 2.), obzirom da je nakon detaljne makroskopske i mineraloške analize zaključeno da tvorevine prikupljene na položaju 2 (Sl. 2.) vrlo vjerojatno nisu u potpunosti formirana željezna ruda već pjeskovito – željezovite nakupine, niskog udjela željezovitih oksida, te je pretpostavljeno da su nepogodne za uspješan postupak taljenja. Ruda prethodno prženju nije mehanički očišćena od potencijalne jalovine odnosno nisu primijenjeni postupci prebiranja niti ispiranja. Veličina ulomaka postavljenih na lomaču iznosila je oko 15x10x10 cm i 5x3x5 cm. Ukupno je u jednom postupku prženo 97 kg djelomično vlažne rude.



Slika. 1. Položaj Kalinovac – Hrastova greda. Vidljiva izorana zemlja zasićena željezovim oksidima



Slika 2. a) Uzorak rude, Položaj 1 (Tab.2: 1), b) Uzorak željezovitih pedotvorenina, Položaj 2 (Tab.2: 4)

U postupku prženja rude korišteno je lokalno (Podravina) suho, neoguljeno drvo (oblice i granje) raznolikih vrsta. Promjer oblica bio je 10 – 12 te 5 –7 cm.

Prženje se odvijalo na otvorenoj vatri, a konstrukcija je slagana vertikalno u redovima. U pojedinom redu oblice drveta slagane su paralelno, izmjenične orijentacije u svakom narednom redu – u vidu rešetke (dim. Š = 1,20 m , D = 1,10 m, V = 0.60 m), a ruda je polagana između redova drva (Sl. 3.). Po završetku slaganja, konstrukcija je stožasto obložena granjem i potpaljena. Ložište je nakon potpale kontinuirano gorilo 5 sati.



Slika 3. Faze izgradnje konstrukcije za prženje

#### Karakteristike, tijek postupka i utrošak resursa

Postupak prženja trajao je ukupno 5 sati (tab. 1., sl. 4.) kada je izgorjela većina goriva te je potom nakupina rude, pepela i nepotpuno izgorjelog drva (pougljeno) razgrnuta kako bi se potaklo brže hlađenje. Pred kraj postupka primijećeno je da drvo u unutrašnjosti konstrukcije nije u potpunosti izgorjelo već je ostalo pougljeno. Težina iskorištenog drva nije zabilježena, a volumen<sup>94</sup> je bio oko 0,792 m<sup>3</sup>. Nakon prženja izmjerena masa rude iznosila je ukupno 49 kg, odnosno ruda je izgubila na masi 49.5% što je moguće pripisati gubitku vlage. Dio rude se uslijed pucanja<sup>95</sup> fragmenata usitnio na fragmentaciju ispod 1 cm promjera, ukupno 13 kg

<sup>94</sup> Volumen je izračunat na osnovu formule za volumen pravokutnika:  $V = \check{s} \times d \times v$

<sup>95</sup> Pucanje ulomaka moguće je pripisati pritisku koji stvara voda u strukturi rude u trenutku u kojemu dosegne temperaturu vrenja (Pleiner 2000: 114).

odnosno 13% ukupne mase nepržene, relativno vlažne rude. Drugim riječima, od količine nepržene rude, mjerivo u masi, ukupno je dobiveno 49 kg rude odnosno 50.5% količine, od čega je prikupljeno 36 kg (37.113%) dimenzija iznad 1 cm promjera i 13 kg (13.402%) rude fragmentirane ispod 1 cm promjera. Pri izračunu udjela gubitka u masi potrebno je naglasiti da se manji udio rude u potpunosti usitnio, gotovo u rudni prah te ga nije bilo moguće izdvojiti od pepela i gara te pridružiti izračunu.



Slika 4. Tijek postupka prženja rude – nakon 2 sata gorenja i pred kraj prženja. Vidljivi ostaci pougljenog drva i pepela te promjena boje rude

Maksimalni raspon temperature između svih mjerenih položaja kroz cijelo vrijeme trajanja postupka sezao je između 160 i 976 °C (tab. 1, sl. 5). Prosječne temperature po pojedinom položaju i prema vremenu trajanja kao i temperaturni režim tijekom trajanja procesa pokazuje sličan opći trend kod svih položaja. Nakon prvih sat vremena prženja cjelokupna konstrukcija se zapalila te su postignute najviše temperature na svim položajima (976 – 731 °C) koje se, daljnjim sagorijevanjem spuštaju postepeno i simultano na svim mjerenim položajima<sup>96</sup> te se kreću do 180 – 160 °C. Tijekom cijelog postupka najviša postignuta temperatura očitana je na položaju 3.1 odnosno u središnjem, unutrašnjem dijelu konstrukcije, od 891 do 609 °C, u

<sup>96</sup> Pri kraju prženja izmjerene su nešto više temperature no ranije, a razlog tomu je što su u ovoj fazi prženja ostale isključivo užarene pougljene deblje oblice, gotovo isključivo u središtu ložišta. Točke mjerenja u ovoj fazi su bile vrlo blizu jedna drugoj, obzirom na razgorijevanje i propadanje ložišne konstrukcije.

prosjeku oko 720 °C. Temperatura na položajima vanjskog obruba konstrukcije nešto je niža, te seže od 976 do 160 °C, u prosjeku između 382 – 405 °C. Sličan trend temperaturnog režima na svim izmjerenim vanjskim položajima (Položaj 1–3), tijekom cijelog postupka ukazuje na mogućnost ravnomjernog prženja rude na ovim položajima, no značajnije razlike u temperaturnom režimu postignute su u unutrašnjem dijelu ložišta, odnosno za očekivati je neravnomjernu razinu prženja ulomaka s vanjske strane i u središtu konstrukcije. Međutim, ove razlike nisu jednako naglašene kao kod konstrukcije oblika krnjeg stošca (Karavidović 2020a),<sup>97</sup> Također, raspadanje rešetkaste konstrukcije teče postepeno te na kraju sva ruda pada u središnji dio gdje su izmjerene više temperature. Stoga je moguće reći da su realne postignute temperature koje djeluju na ulomke rude nalaze između prosjeka temperature prema vremenu trajanja i položaju. U tom slučaju, prosječna je temperatura djelovanja na sve ulomke bila između 472 i 390 °C, s mogućnošću zadržavanja više temperature na ulomcima u središnjem dijelu konstrukcije (Položaj 3.1) i to u prosjeku oko 720 °C . U usporedbi s drugačijim rješenjem konstrukcije, poput stošca, rešetkasti tip konstrukcije optimalan je izbor ako je cilj ravnomjernije i jednoličnije prženje.<sup>98</sup> Postignute temperature ali i boje rude ukazuju da je kao rezultat prženja močvarna željezna ruda (getit) pri zagrijavanju uz pristup kisika mogla prijeći u hematit ( $2\text{FeO}\cdot\text{OH} + \text{toplina} \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ) pri temperaturi od 300 do 500 °C na što bi ukazivali crvenkasti tonovi ulomaka. Daljnjim povećanjem temperature, 500 – 800 °C, i pri redukcijskim uvjetima hematit se mogao reducirati u magnetit ( $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$ ), na što bi upućivala plavičasto crna boja pojedinih ulomaka. Iako redukcijske uvjete ne treba očekivati na otvorenoj vatri, redukcijsku atmosferu teoretski je moguće mjestimično postići na otvorenoj vatri pri unutrašnjem dijelu ložišne konstrukcije. O redukciji u postupku bi mogli svjedočiti i ulomci pougljenog, nedogorenog drva sa samog dna središnjeg dijela konstrukcije koje je zaostalo pri završetku procesa (sl. 4.)

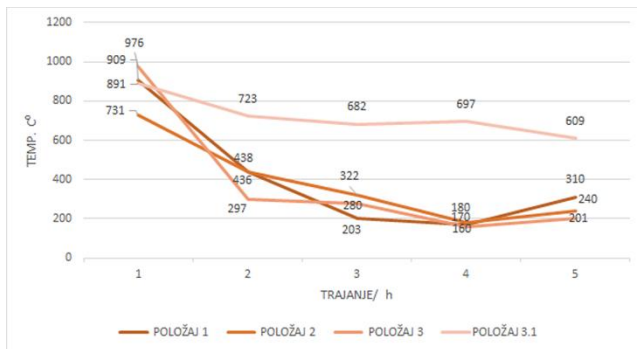
Tablica 1. Izmjerene temperature na svim položajima i izračun prosječnih vrijednosti tijekom postupka prženja

Oznaka eksperimenta: KC MDM 2020	TRAJANJE/h					Prosječna temperatura °C /položaj
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	
Položaj mjerenja	TEMPERATURA °C					
POLOŽAJ 1	909	436	203	170	310	<b>405.6</b>
POLOŽAJ 2	731	438	322	180	240	<b>382.2</b>

<sup>97</sup> Eksperimentalno prženje rude istog podrijetla na otvorenoj vatri gdje je ruda posložena na ložište u obliku stošca izvedeno je i opisano u: Karavidović 2020a.

<sup>98</sup> Podaci se uspoređuju s rezultatima eksperimentalnog testiranja opisanog u: Karavidović 2020.

POLOŽAJ 3	976	297	280	160	201	<b>382.8</b>
POLOŽAJ 3.1 (unutrašnjost)	891	723	682	697	609	<b>720.4</b>
Prosječna temperatura °C/vrijeme	<b>820</b>	<b>437</b>	<b>263</b>	<b>175</b>	<b>275</b>	
Ukupni prosjek °C /položaj	<b>472.8</b>					
Ukupni prosjek °C /vrijeme	<b>394</b>					



Slika 5. Temperaturni režim tijekom prženja na svim mjerenim položajima (1, 2, 3, 3.1)

#### Fizička, mineraloška i kemijska svojstva rude

Postupak prženja na makroskopskoj razini utjecao je na boju i konzistenciju rude (usp. sl. 2a i 6, tab.2.). U tijeku postupka prženja, nakon 2 sata trajanja, primijećeno je da je proces promjene boje rude zahvatio značajniju količinu ukupne rude podvrgnute postupku prženja. Boja ulomaka rude je kroz postupak prženja promijenjena od oker smeđe — mjestimično crvenkaste i tamno sivo crne do crvenkasto i tamno sivo intenzivniju boju. Ova promjena označava i promjenu mineralne faze rude te je makroskopski prepoznatljiv znak postignute temperature i uspješnosti postupka prženja. Razina rahlosti i lomljivosti ulomaka se povećala postupkom prženja. Ulomci rude iz istog ležišta korišteni u eksperimentu, nisu u potpunosti jednolične strukture, boje i konzistencije što je moguće primijetiti već na ulomcima nepržene rude, no ova značajka postaje jasnije prepoznatljiva nakon provedenog postupka prženja. Pojedini ulomci očituju veću zasićenost jalovinom poput nakupina gline i pijeska, mjestimično i sitnog šljunka u strukturi. Također, zastupljenost globularnih nakupina nije jednolična kod pojedinačnih ulomaka rude, odnosno konglomerata globularnih rudnih nakupina, gline, pijeska i sitnog šljunka.



Slika 6. Uzorci pržene rude (U – 3)

Tablica 2. Makroskopske karakteristike uzoraka rude prije i nakon prženja

OZNAKA	VRSTA	BOJA	TEKSTURA	STRUKTURA	KONZISTENCIJA
1	ruda nepržena	oker, smeđe, sivo - kapilarno	hrapava	globularne nakupine, glina, pijesak, šljunak sitni	lomljivo pod jačim mehaničkim pritiskom, rukom
2	ruda pržena	crveno, sivo tamno, smeđe	hrapava	globularne nakupine (mala zasićenost), glina, pijesak, šljunak sitni	mrvi se, vrlo rahlo
3	ruda pržena	crveno, sivo tamno, smeđe	hrapava	globularne nakupine (zasićeno), glina, pijesak, šljunak sitni	rahlo
4	željezovita pedotvorenina, nepržena	oker-vanjščina, presjek tamno sivo	hrapava	sloj pijesak okorina, središte nepravilna globularna nakupina	lomljivo pod jačim mehaničkim pritiskom, mrvi se okorinski dio

U uzorku nepržene rude (tab.3: 1) s položaja Kalinovac – Hrastova greda (položaj 1) značajno je zastupljen kvarc te getit, željezni oksihidroksid ( $\text{FeOOH}$ ) mineral tipičan za močvarne željezne rude. Ostale, minerale u tragovima čine minerali glina i minerali iz skupine feldspata/plagioklasa. Željezovitu pedotvoreninu karakterizira izrazito nizak udio getita naspram minerala kvarca (tab. 3: 4). Ostale, minerale u tragovima čine minerali glina (ilit), glinenaca (ortoklas) i minerali iz skupine feldspata/plagioklasa. Kod prženih ruda, prepoznati su minerali kvarca i željeznih oksida - hematita, moguće i magnetita, sporadično maghemita te minerali skupine plagioklasa/feldspata. Potonje odgovara rezultatima eksperimentalnih

testiranja, gdje je pretpostavljena temperatura djelovanja na ulomke rude, prosječna vrijednost prema vremenu trajanja i mjerenim položajima između 472 i 390 °C. Ovaj raspon označava temperaturnu vrijednost pri kojoj je getit mogao prijeći u hematit, koji nastaje zagrijavanjem i dehidroksilacijom getita. Time je moguće zaključiti da izračun prosječnih vrijednosti postignutih temperatura unutar cjelokupnog trajanja postupka i prema svim mjerenim položajima čini realan mehanizam pretpostavke o učincima prženja, u kombinaciji s makroskopskim karakteristikama rude (boja i konzistencija). Pojava magnetita i maghemita te heterogen mineralni sastav ulomaka pržene rude svjedoči i o mogućnosti reduktivnih uvjeta te višim i dugotrajnijim temperaturnim izbojima, postizanju više temperature. Prema konstrukcijskim zadanostima (rešetka, pravilno sagorijevanje) i tragovima pri završetku prženja (pougljeno drvo) moguće je zaključiti da su se reduktivni uvjeti mogli stvoriti u samom središtu konstrukcije (pri dnu?) gdje je izračunata prosječna temperatura bila oko 720 °C.

Kod svih uzoraka ruda, prženih i neprženih dominantno je prisutan kvarc dok su željezoviti minerali prisutni u nešto manjem udjelu, a ostale čine minerali glina, glinenaca i skupine plagioklasa. Ovakva slika može se povezati i s makroskopski vidljivim karakteristikama uzoraka rude. Na makroskopskoj razini moguće je prepoznati da se u rudnom konglomeratu nalazi značajna količina jalovine u vidu pijeska, glina pa čak i manjih ulomaka šljunka. S druge strane globularne nakupine unutar konglomerata koje su karakteristične za močvarne željezne rude prvenstveno zbog mehanizama njihovog formiranja<sup>99</sup> prisutne su u manjoj mjeri.

Tablica 3. Rezultati mineraloške analize (XRD) uzoraka rude i željezovite pedotvorenine te zgure proizašle iz postupka taljenja. + – relativni sadržaj minerala unutar močvarne željezne rude korištenjem XRD–a (kvantitativnavrijednost nije pridružena); +++ glavna komponenta, ++ sporedna komponenta; + komponenta u tragovima

OZNAKA/Uzorak (U)	Fay	Qtz	Gt	Hem	Mag	Wue	Ostali minerali
1	-	+++	++	-	-	-	Pl, 10A, gline
2	-	+++	-	++	?	-	Pl, 10A, maghemit
3	-	+++	-	+++	-	-	Pl, 10A
4	-	+++	+	-	-	-	Pl, 10A, illit, ortoklas
5	+++	+++	-	-	-	-	kristobalit?
6	+++	+++	-	++	++	-	Pl

<sup>99</sup> Proporcionalno s trima razvojnim fazama, udio željezovitih oksida se uobičajeno linearno povećava (Theleman et.al. 2017; Kaczorek i Sommer 2003).



Kemijska analiza provedena je na uzorcima nepržene (U–1) i pržene rude (U–2 i 3) (Tab.1.3.). Geokemijska slika glavnih oksida prisutnih u uzorcima rude u velikoj je mjeri analogna uzorcima močvarnih željeznih ruda sa šireg europskog prostora (Theleman et al. 2017). Analiza odabranih primjera iz literature prema M. Theleman et al. (2017: 475) ukazuje da kod močvarnih ruda s prostora srednje i sjeverne Europe udio  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  varira između 35 i 50 % ukupne mase uzorka, no može doseći do 95 % ukupne mase. Kemijski sastav močvarnih ruda ukazuje na visok udio mangana i fosfora koji može doseći 8% ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) te 10% ( $\text{MnO}$ ). Ostale elemente čine silicij – dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), manganov – oksid ( $\text{MnO}$ ), fosforov – pentoksid ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), kalcijev karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) i oksid ( $\text{CaO}$ ), natrijevi spojevi i voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ) te elementi u tragovima (aluminij ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), kalij ( $\text{K}_2\text{O}$ ), barij ( $\text{BaO}$ ), magnezij ( $\text{MgO}$ ) i natrij oksid ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), titan – dioksid ( $\text{TiO}_2$ ), ukupni organski ugljik (TOC) i ukupni anorganski ugljik (TIC)). LOI vrijednost označava gubitak mase zagrijavanjem na 1000 °C, a značajna razlika prisutna je između termički obrađenih uzoraka (U – 2 i 3) te neprocesuirane rude (U–1). Iz rezultata je vidljiv pozitivan utjecaj postupka prženja na karakteristike rude koji se prvenstveno očituje u povećanju udjela željezovitih oksida.

Tablica 4. Rezultati kemijske analize (ICP – MS), udjeli glavnih oksida (%) i vrijednost LOI

OZNAKA /Uzorak (U)	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe2O3	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SiO2	SrO	TiO2	LOI	Total
1	5,05	0,14	0,72	<0,01	35,56	0,64	0,49	1,54	0,55	0,93	43,26	0,02	0,27	11,74	100,9
2	6,24	0,24	0,92	0,01	40,11	0,82	0,59	2,93	0,65	0,7	45,09	0,01	0,3	0,78	99,42
3	5,78	0,18	0,88	<0,01	39,55	0,78	0,55	2,12	0,59	0,79	43,59	0,01	0,28	2,39	97,49

Postupak prženja ruda uspješno je proveden na što ukazuju makroskopske karakteristike rude, ali i mineraloška te geokemijska analiza ruda. Ruda postupkom prženja gubi vodu, postaje rahlija, a na mineraloškoj razini transformacija je vidljiva kroz prisutnost mineralnih faza hematita, magnetita (?) i maghemita u uzorcima prženih ruda. Geokemijski, udio željezovitih oksida se prženjem povećava. Neujednačenost izgleda pojedinih uzoraka rude moguće je očekivati kod močvarnih željeznih ruda, zbog načina formiranja i intenzivnog utjecaja mikrokolišnih uvjeta na njihovu formaciju, a prema primjeru analiziranih uzoraka, ovakve razlike moguće je očekivati unutar istog ležišta. Ova neujednačenost očituje se i na mineraloškoj te geokemijskoj razini, u relativnoj zastupljenosti pojedinih minerala i udjelu glavnih oksida. Viša zastupljenost minerala kvarca naspram getita u slučaju nepržene i hematita

u slučaju pržene rude, ukazuje na kvalitetu rude (zasićenost željezovitim oksidima), ali može biti indikativna i za način pripreme rude. Mehaničkim prebiranjem i čišćenjem i /ili ispiranjem jalovine (glina, pijesak, sitni šljunak) od globularnih željezovitih nakupina potencijalno bi se povećala kvaliteta rude, odnosno rudni konglomerat bi bio pogodniji za taljenje što bi se na mineraloškoj i geokemijskoj razini moglo očitovati u povećanju udjela željezovitih minerala odnosno željeznih oksida naspram minerala glina ili silikata– pijeska. Uzorak rude kod kojega je na makroskopskoj razini bila vidljiva razlika primarno u zastupljenosti globularnih nakupina naspram jalovine, ukazuje na veću zastupljenost minerala hematita nakon prženja, iako je s nesigurnošću moguće prepoznati i magnetit odnosno ova dva uzorka vrlo su slična relativnog odnosa sastava minerala kvarca i željezovitih minerala.

### **Talionički postupak: proces direktne redukcije**

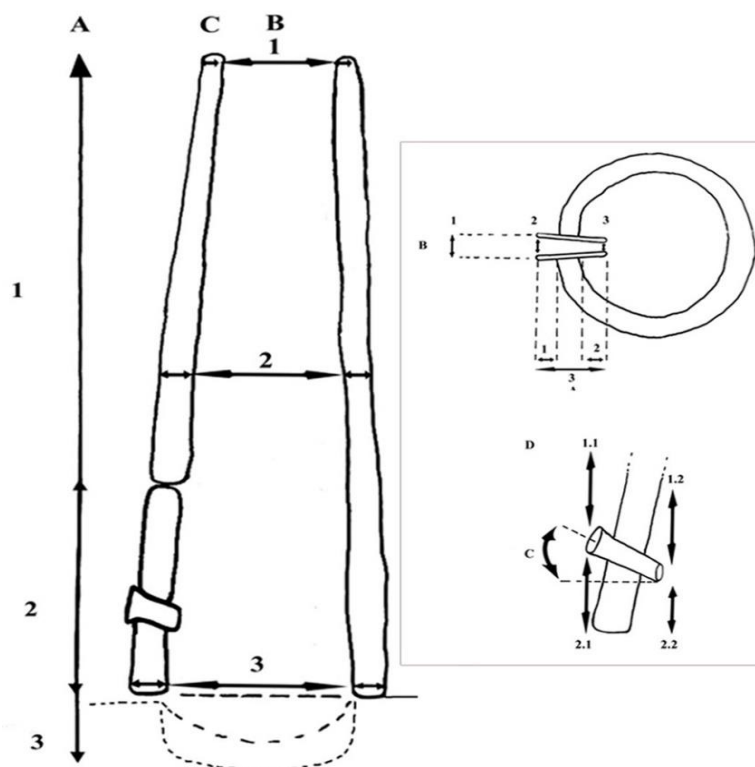
#### Dizajn peći i operativni parametri

Ekperimentalno testiranje talioničkog postupka, provedeno je metodom direktne redukcije kakva je korištena tijekom arheoloških razdoblja (Pleiner 2000: 131–137). Osnovu za rekonstrukciju talioničkih peći čini arheološki zapis i nalazi s lokaliteta Virje – Volarski breg i Sušine i Hlebine – Velike Hlebine na kojima su definirane radionice za proizvodnju spužvastog željeza u sklopu kojih su pronađeni i tragovi talioničkih peći (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021) te s kojih potječu uzorci ruda lošije kvalitete. U eksperimentu su korištene rekonstrukcije dviju samostojećih peći, s plićim (10 cm) i dubljim ognjištem (20 cm), a postupak taljenja izveden je jednom u svakoj peći (sl. 7). Tijekom postupka primijenjeni su operativni parametri (tab. 5.),<sup>100</sup> utemeljeni na prethodno izvedenim eksperimentalnim testiranjima u kojima je postupak taljenja uspješno izveden, koristeći isti tip rude, močvarnu željeznu rudu (Karavidović 2020b). U oba eksperimentalna testiranja, taljena je ruda prikupljena iz istraženog ležišta, termički obrađena (pržena) na otvorenom ložištu te usitnjena na fragmente (tab.5). Tijekom postupka zabilježene su temperature vanjske stijenke (položaj 1. – 4.) i unutrašnjosti peći, u zoni najviše postignute temperature, kroz sapnice (položaj 5.). Korišten je infracrveni pirometar (Volcraft IR 2200–50D) postavljen na  $\epsilon = 0.83$ . Izmjerene temperature odnose se na

---

<sup>100</sup> Termin operativni parametri podrazumijeva skup parametara koji su primjenjeni tijekom postupka, a odnose se na način izvođenja postupka taljenja (omjer rude i ugljena, veličina mijeha i ritam upuhivanja zraka) i karakteristike ulaznih sirovina (vrsta pripreme – ispiranje, sušenje, prženje i granulacija/usitnjavanje rude te usitnjavanje, prosijavanje ugljena). Detaljnije o značaju strukturnih i operativnih parametara na ishod postupka taljenja vidi T. Karavidović (2021b).

maksimalne postignute temperature u točki mjerenja. Postupak je u cijelosti dokumentiran koristeći prethodno osmišljenu dokumentacijsku strategiju (prema: Karavidović 2021b).



a)

Dizajn peći - dimenzije (cm / °)			Peć	
			1	2
Nadzemna konstrukcija i ognjište	A	1+2	69,5	62
		3	8 – 10	20
		2	25 x 26	nema
	B	1	16,5	17
		2	24,5	20
		3	35	25
Stijenke peći	C	1	4,5	4 – 4,5
		2	4,5	4 – 4,5
		3	5 – 6	5 – 5,5
Sapnica	A	1	7 – 8	7 – 8
		2	2	2
		3	13,5	13 – 13,5
	B	1	7	6
		2	4,5	4
		3	4,5	4
C		20°	20°	
D	1.1		53,5	46

	1.2	55,5	49
	2.1	9	10
	2.2	17	37

b)

Slika 7. Dizajn i dimenzije peći 1. i 2.

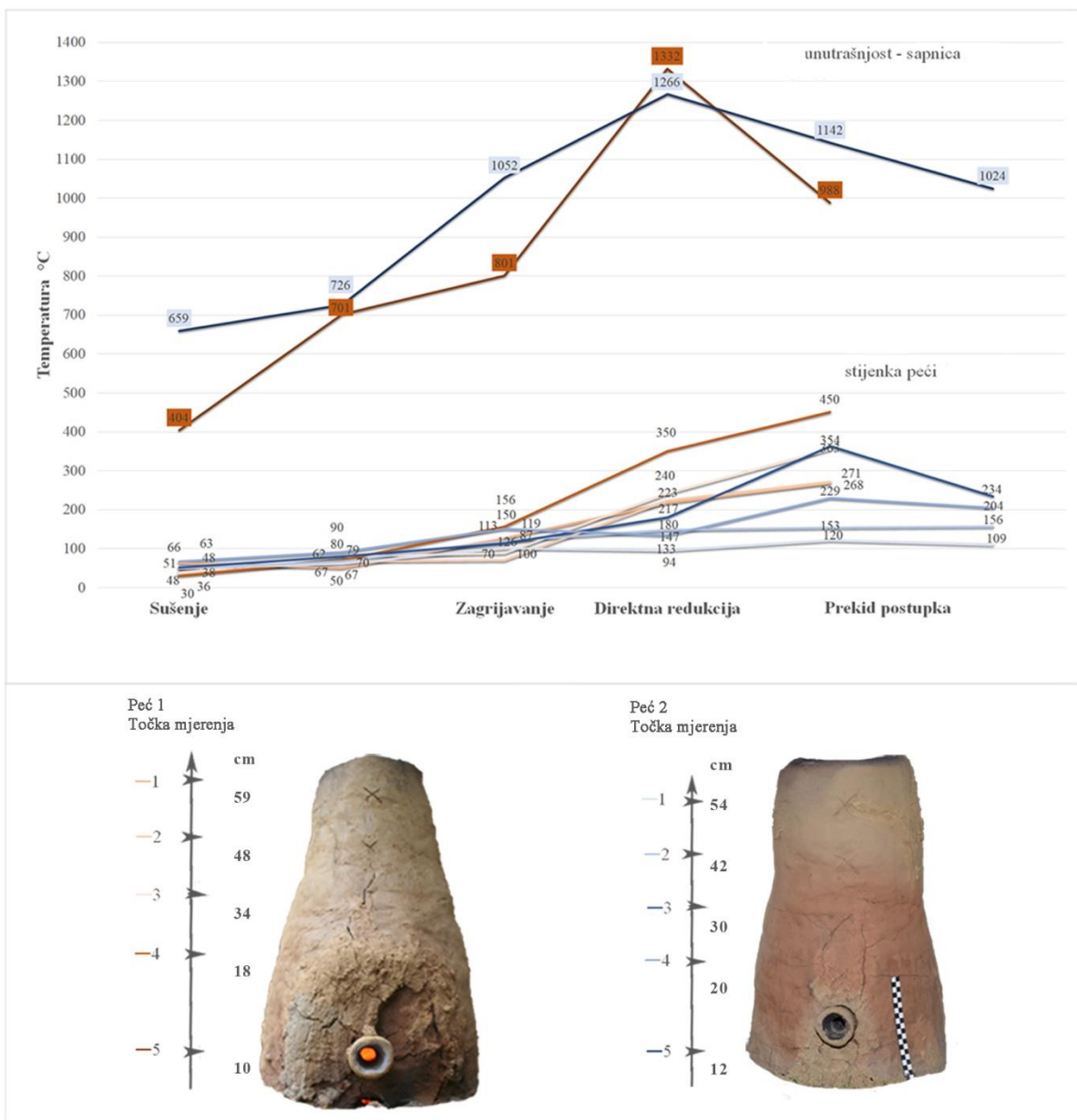
Tablica 5. Operativni parametri primijenjeniu eksperimentalnim testiranjima.

Eksperiment/Peć	Operativni parametri					
	Ruda			Ugljen		
	Vrsta	Dimenzije	Priprema	Vrsta	Dimenzije	Priprema
1 i 2	fragmenti iz ležišta	5x3 - 3x2 cm	pržena, usitnjena	bukva i grab	5x3/2 - 2x2 cm	usitnjen
	Omjer ugljen : ruda	Zapremnina mijeha	Vrsta mijeha		Količina upuhnutog zraka	
	0.5 kg : 0.5 kg	85 l	ručni - harmonika		21.25 l/sek.	

#### Tijek postupaka

Priprema za postupak taljenja podrazumijevala je izgradnju i sušenje peći (prirodno tijekom noći (Peć 1) i inducirano – paljenjem vatre unutar ložišta (Peć 2)). Postupak taljenja podrazumijeva dva osnovna stadija: 1) zagrijavanje peći (umetanje ugljena – puna zapremnina peći), 2) direktna redukcija: a) postepeno, naizmjenično zapunjavanje rudom i ugljenom, b) zapunjavanje ugljenom (produžena redukcija) i sagorijevanje ili sagorijevanje preostalog ugljena i redukcija zadnjih mjerica rude. Tijekom postupaka zagrijavanja i taljenja u obje peći upuhivan je zrak pomoću mijeha. Korišten je tzv. harmonika tip mijeha, zapune 85 litara, koji se u potpunosti punio zrakom prije svakog upuha. Pojedini upuh trajao je 4 sekunde (kontinuirani jednoličan protok zraka, 21,25 litara zraka/1 sek) i jedna sekunda zapunjavanja volumena mijeha zrakom. Tijekom postupka direktne redukcije, nastala zgura značajno je počela čepiti sapnicu u obje peći, gotovo u istom dijelu postupka redukcije (Stadij 2a), kada su prve mjerice rude i ugljena dosegle zonu najviših temperatura, oko sapnice. Sapnicu se tijekom postupka mehanički odčepljivo željeznom šipkom, međutim, intenzitet nakupljana zgure bio je toliki da je gotovo cijelo vrijeme bilo potrebno čistiti otvor sapnice što je inhibiralo dotok zraka u sustav peći te posljedično sagorijevanje ugljena, održavanje temperature i redukcijske atmosfere, spuštanje rude niz okna i pravilnu redukciju. Iz istog razloga postupak je u oba

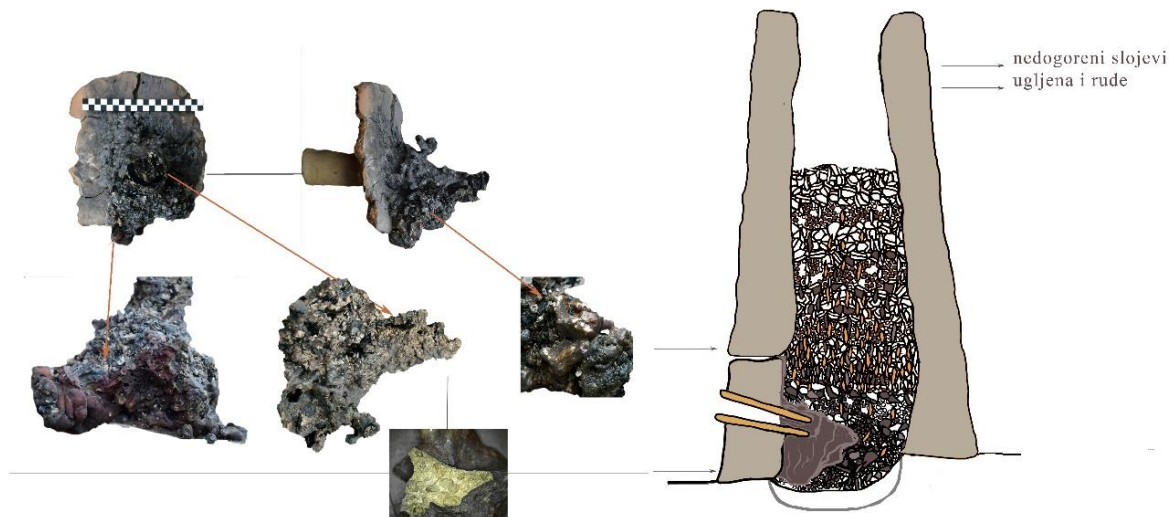
slučaja obustavljen, nakon 1,04 sata (Peć 1) i 2,05 sata (Peć 2) od početka direktne redukcije. Utrošeno je ukupno 4 (Peć 1) i 5 kg (Peć 2) rude i ugljena. Temperaturni režim u obje peći, zabilježen kroz cijelo vrijeme trajanja postupka, pokazuje da su postignute temperature u peći do trenutka prekida bile pravilno vertikalno raspoređene (uzlazno pri spuštanju rude niz okno) te optimalne za redukciju rude (sl. 7.). Nakon prekida postupka obje peći su otvorene kako bi se provjerilo stanje unutar peći izdvojilo spužvasto željezo. Međutim, u oba slučaja spužvasto željezo se nije formiralo, već je sva sirovina koja je prošla proces rastaljena u zguru. U pećima je ostalo nedogorenog ugljena uslijed prekida postupka, a kod eksperimenta u peći 2 zadnje mjerice rude ostale su nereducirane (na visini od oko 23 cm od razine otvora sapnice).



Slika 7. Temperaturni režim tijekom postupka sušenja, zagrijavanja i direktne redukcije. peć 1. i 2.

Fizičke, mineraloške i kemijske karakteristike zgure

Postupkom taljenja kalinovačke rude u obje se peći stvorila isključivo zgura, bez izdvajanja spužvastog željeza. Zgura je većinom bila zalijepljena uz stijenke peći vrata, koncentrirana oko djelomično začepljenih sapnica (sl. 8.).



Slika 8. Peć 1. a) vrata peći sa zalijepljenom zgurum, vidljiva tekstura i boje zgure, b) grafički prikaz situacije u peći neposredno prije prekida postupka (fotografija i grafički prikaz: T. Karavidović, 2021).

Nakupine zgure iz peći 1 i 2 morfološki su vrlo slične, a većinom su glatke površinske teksture, solidificirane u tekućem stanju. Mjestimično je vidljiva gruba, granulirana i hrapava površina, a zgura je u presjeku većinom izrazito porozna, tek mjestimično gušće nataložena. Boja zgure seže od svijetlo sivo–zelenkaste do tamno sive, a djelomično se pojavljuje i jarka tamno crvena boja. Za mineralošku i geokemijsku analizu prikupljen je po jedan, indikativni uzorak iz svake peći. Položaj uzorkovanja zgure je relativno različit. Uzorak iz peći 1 prikupljen je neposredno ispod prostora sapnice dok je kod peći 2 prikupljen iznad sapnice, u njoj neposrednoj blizini. Uzorci su makroskopski zasebno opisani (tab. 6.)

U uzorku iz peći 1 (tab. 6, 7: 6) prisutni su fajalit ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) i kvarc kao glavne mineraloške komponente, dok se u tragovima pojavljuje i kristobalit. U uzorku iz peći 2 (tab. 6,7: 7) javljaju se fajalit i kvarc kao glavne komponente, te hematit i magnetit kao i minerali skupine plagioklasa/feldspata. Kemijska analiza ukazuje da su kod oba uzorka najzastupljeniji spojevi  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dok se ostali pojavljuju u manjoj količini, a slijedom zastupljenosti čine ih  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MgO}$  te  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{TiO}_2$  te  $\text{SrO}$  i  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (tab. 7.). Za uzorke zgure izračunat je indeks redukcije (RII) prema Charlton et al (2010), kako bi se na teoretskoj razini procijenila učinkovitost postupka taljenja. Indeks redukcije željeza (Charlton et al. 2010: 356) iznosi 2,734 – 2,463.

Tablica 1. Fizička obilježja i rezultati mineraloške analize uzoraka zgure (XRD). + – relativni sadržaj minerala (kvantitativnavrijednost nije pridružena); +++ glavna komponenta, ++ sporedna komponenta; + komponenta u tragovima.

Uzorak	Peć br.	Boja	Tekstura površine	Struktura presjeka	Konzistencija	Položaj uzorkovanja	Fay	Qtz	Gt	Hem	Mag	Wue	Ostali minerali
6	peć 1	tamno sivo, svijetlo sivo, oker - zelenkasto	glatka	porous	lomljivo rukom	unutrašnjost peći, uz sapnicu (ispod)	+++	+++	-	-	-	-	Crs
7	peć 2	tamno sivo, svijetlo sivo, oker, crveno	glatka i mjestimično hrapava-granulirana	heterogeno - porozno, gusto	mjestimično lomljivo rukom	unutrašnjost peći, uz sapnicu (iznad)	+++	+++	-	++	++	-	Pl

Tablica 2. Rezultati kemijske analize uzoraka zgure (ICP – AES).

Uzorak / Sample	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Total	RII
6	44,79	0,32	6,33	40,58	0,83	2,64	2,85	1,24	0,66	0,92	0,24	0,02	-4,23	97,21	2,734
7	43,42	0,3	6,15	43,19	0,6	3,27	0,97	0,87	0,62	0,84	0,27	0,02	-3,35	97,19	2,445



## Kvaliteta rude i uspješnost postupaka taljenja

Rezultati eksperimentalnog testiranja tehnološke iskoristivosti rude primjenom direktne redukcije ukazuju da rudu iz ležišta Kalinovac – Hrastova greda nije moguće uspješno istaliti, odnosno dobiti spužvasto željezo. Teoretski, razlog neuspješnosti postupka može se ogledati u karakteristikama sirovina, strukturnim (dizajn peći) te operativnim parametrima postupka (način izvođenja postupka te razina i vrsta pripreme sirovina). Međutim, dizajn peći i operativni parametri bili su isti kao i kod prethodno izvedenih eksperimenata u kojima je također korištena močvarna željezna ruda s prostora obližnje regije Somogy (Republika Mađarska) više kvalitete (70, 10 – 73, 50%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  prema Thiele 2014: T.1.2.2: 9–11), a koji su rezultirali uspješnim ispuštanjem zgure tijekom postupka te formiranjem spužvastog željeza (Karavidović 2020b). Time je načelno isključena mogućnost značajnijeg utjecaja ovih parametara na ishod taljenja, odnosno temeljni utjecaj moguće je pripisati sirovini, rudi. Komparativna analiza mineraloškog i kemijskog sastava rude i zgure može ukazati na tijek, razinu utjecaja parametara i razlog neuspješnosti postupka taljenja. Kemijski i mineraloški sastav zgure nastale taljenjem rezultat je kompleksne dinamike utjecaja sastava izvorišnih sirovina korištenih u postupku (ruda, ugljen, tehnička keramika – stijenke peći) te učinka termodinamičkih uvjeta u peći (temperatura, atmosfera) ostvarenih kroz operativne parametre upotrijebljene tijekom postupka (Seernels, Crew 1997; Crew 2000; 2007; Joosten 2004; Senn et al. 2010). Mineraloška analiza ukazala je da je u oba uzorka najzastupljeniji fajalit, očekivana mineralna faza kod zgure nastale proizvodnjom spužvastog željeza. Fajalit nastaje reakcijom silikatne komponente (kvarca) i željezovitih minerala prisutnih u rudama, pri temperaturi od 1100 do 1200 °C (Joosten et al. 1998: 130; Pleiner 2000: 135). Prisutnost alotropskih modifikacija silicijevog dioksida, kvarca i kristobalita, kod uzorka iz eksperimenta u peći 1 (tab. 5: 6), također je očekivana u zguri, no kada se pojavljuju u značajnoj mjeri označava i izrazitu količinu jalovine u rudi. Kristobalit je visoko temperaturna modifikacija kvarca te sugerira da je u peći postignuta temperatura iznad 1470 °C, a javlja se u zguri najčešće kada je zastupljenost silikatnih minerala u rudi značajna (Bachman 2016: 14). Temperaturni režim zabilježen kroz sapnicu ne ukazuje na tako visoke postignute temperature (sl. 7.). Maksimalna temperatura unutrašnjosti peći, zabilježena kroz sapnicu iznosi 1322 °C te se pojava kristobalita i postizanje ovako visokih temperatura tumači kratkotrajnim temperaturnim izbojima koji nisu zabilježeni (mjerenje je izvršeno u vremenskim razmacima od pola sata). Tomu u prilog ide i niska zastupljenost kristobalita u uzorku te istovremena pojava kvarca. Moguće je da su se više temperature postigle nakon sesije

odčepeljivanja sapnice kada je zbog kratkotrajnog prestanka upuhivanja pretpostavljeno da se u peći smanjila temperatura te se pristupilo bržem ritmu upuhivanja zraka putem mijeha, odnosno intenzivnijem dotoku zraka u sustav – kratkotrajnom intenzivnom povećanju temperature. Uzorak zgure iz peći 2. (tab. 5: 7) u sastavu ima hematit i magnetit što se može tumačiti nepotpunom redukcijom rude te povišenom koncentracijom kisika u sustavu tijekom taljenja (Morton, Wingrove 1969; Manasse, Mellini 2002; Bachman 2016: 15–16; Thiele, Török 2011). Vrijedi napomenuti da se ovi minerali mogu javiti i kao sekundarna pojava uslijed oksidacijskih uvjeta pri solidifikaciji. U slučaju izvedenog eksperimenta, prisutnost ovih mineralnih faza označava nepotpunu redukciju, zbog prekida postupka, a u vezi je i s mjestom uzorkovanja (iznad sapnice – nije doseglo zonu najviših temperatura). Pojava silikatnih minerala feldspata/plagioklasa u neizmijenjenom obliku također može biti indikativna za nepotpunu redukciju, obzirom da su ovi minerali prisutni i kod ruda te tla.

Učinkoviti postupci direktne redukcije rude, teoretski bi trebali rezultirati redukcijom od 10 do 20 % mase Fe u proizvedeno spužvasto željezo (Puttkammer 2012). Iz rezultata kemijske analize vidljivo je da sadržaj željeza u zguri (tab. 6.) kod oba eksperimenta nije niži no kod rude (tab. 4: 4), odnosno nije došlo do odvajanja željeza u spužvasto željezo.<sup>101</sup> Močvarne željezne rude lako su taljive zbog svoje porozne strukture ali i sastava, u prvom redu prisutnosti spojeva koji potpomažu proces direktne redukcije, taljenja (Pleiner 2000: 88). U kemijskom sastavu analiziranih uzoraka posebno je značajna iznimna količina SiO<sub>2</sub>, vidljiva i na mineraloškoj razini u zastupljenosti minerala kvarca. Uspješnost talioničkog procesa općenito je iznimno ovisna o prisutnosti jalovina u sastavu rude, a u slučaju rude s Kalinovca – Hrastove grede pretežno o visokom udjelu silikata, zbog čije iznimne prisutnosti je došlo do ranog formiranja fajalita (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) uslijed čega je onemogućen pristup reduktivnih agenata (CO) te formacija spužvastog željeza. Dodatna potvrda neuspjelog postupka uvjetovanog zastupljenošću SiO<sub>2</sub> vidljiva je iz indeksa redukcije željeza (RII). Ovaj indeks može odražavati učinkovitost redukcijskog postupka kojim je nastala zgura, te je vrijednost indeksa moguće pozitivno korelirati s uspješnošću postupka (Charlton et al. 2010). Kod oba uzorka zgure indeks redukcije željeza (tab. 5: 6, 7) značajno prelazi vrijednost 1. Ako je indeks redukcije željeza veći od 1, SiO<sub>2</sub> ostaje u sustavu zgure te je moguće pretpostaviti višu razinu efikasnosti postupka taljenja, no prema primjeru izvedenog eksperimenta, visoke vrijednosti (2,734 i 2,463) označavaju rano stvaranje fajalita i izostanak izdvajanja spužvastog željeza koji je

---

<sup>101</sup> Manje razlike u zastupljenosti mogu se pripisati ograničenoj mogućnosti preciznijeg uzorkovanja zgure i rude odnosno mogućoj varijabilnosti udjela glavnih oksida u izdvojenim uzorcima rude i zgure.

moгуće pripisati kvaliteti odnosno sastavu rude, poglavito odnosu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{SiO}_2$ . Sastav rude i zgure te rezultati eksperimentalnog taljenja, svjedoče da je visok udio silikata u rudi inhibirao nastanak spužvastog željeza, u oba eksperimenta. Kod uzorka iz peći 2. ova situacija nije u potpunosti razvidna s obzirom na pojavu mineralnih faza koje upućuju na nepotpuni proces redukcije, što se može pripisati mjestu uzorkovanja. Međutim, uz snažnu zasićenost silikatima, kemijska slika uzorka iz peći 1. govori o pretjeranoj redukciji (rana pojava fajalita uslijed visokog udjela silikata), a vidljivi su i utjecaji ostalih parametara iz sistema. Očituje se povećanje  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  u odnosu na korištenu rudu koje se može pripisati primarno utjecaju sastava pepela od drvenog ugljena, a u nekoj mjeri i stijenki peći (Crew 2000; 2007; Joosten 2004: 41–46, Fig. 14; Charlton et al. 2010: 354, Tab. 1). Kod uzorka iz druge peći ovo povećanje se ne očituje, odnosno utjecaji nisu ušli u sustav, što je moguće iznova pripisati nepotpunoj redukciji odnosno prekinutom postupku.

Na temelju eksperimentalnog testiranja moguće je zaključiti da rudu koja u sastavu ima oko 35%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i značajna udio silikata nije moguće istaliti uspješno.

## **2. Vegetacijski i pedološki pokazatelji prostora ležišta močvarne rude i položaja arheoloških lokaliteta metalurškog karaktera u suvremenom krajoliku: potencijal daljinskih istraživanja**

### **Potencijal istraživanja vegetacijskih i pedoloških pokazatelja**

Predmet promatranja ovdje fokusiran je na analizu vegetacijskih i pedoloških pokazatelja u vezi s geološkim fenomenom razvoja močvarne željezne rude i arheološkim fenomenom pojave značajnije količine željezovitog, metalurškog otpada u podpovršinskom arheološkom zapisu na položaju Kalinovac - Hrastova greda. Uz analizu vegetacijskih pokazatelja izvedena je i analiza reljefnih i hidroloških uvjeta na položajima na kojima su ustanovljeni podpovršinski i površinski arheološki nalazi. Položaji potencijalne pojave ležišta u nastanku ili u potpunosti razvijenih ležišta putem terenskog pregleda i geoprostornih analiza opisani su detaljno u poglavlju 3.2. Radi se o reljefnim značajkama poput plitkih depresija, poglavito rubnih dijelova, te povremeno vlažnih, plavnih prostora ili prostorima na kojima se zadržava voda. S druge strane, arheološki lokalitet metalurškog karaktera, prisutan neposredno uz prostor pojave ležišta nalazi se na ocjeditoj gredi, nisko uzdignutoj nad plitkim depresijama. Ovakav slučaj, osim na lokalitetu Kalinovac – Hrastova greda prisutan je i kod većine ostalih lokaliteta metalurškog karaktera na tlu Podravine.

Potencijalne položaje ležišta u krajoliku moguće je pretpostaviti putem prostorne analize hidroloških i reljefnih odlika prostora – analize zatvorenih depresija, topografskog indeksa vlažnosti i akumulacije oborinskih voda (Poglavlje 3.2: Karta 3.3.). Međutim, značajan element prepoznavanja podpovršinskih ležišta močvarnih željeznih ruda u krajoliku je vegetacija (Thelleman et al. 2017: 483 i pripadajuća literatura), i to u okolišu s primarnom vegetacijom (pokrovom samoniklog bilja) kakvu je moguće očekivati u arheološkim razdobljima. U suvremenom krajoliku Podravine, u kojemu dominiraju meliorirana, poljoprivredna obrađena zemljišta, vegetacijske pokazatelje u vidu samoniklog bilja nije moguće očekivati, no efekt hidroloških i reljefnih preduvjeta te različite pedološke podloge i uvjeta u tlu na rast i razvoj zasađenih usjeva potrebno je pretpostaviti. Prostor položaja Kalinovac – Hrastova greda na kojemu je pronađeno jedino do sada poznato ležište na području Podravine u proteklim desetljećima korišten je kao poljoprivredno zemljište, a učestalo je zasađena jednoobrazna poljoprivredna kultura (kukuruz, *lat. Zea mays*) čime se na ovom položaju otvara mogućnost analize utjecaja prirodnih značajki na vegetaciju putem zračne fotografije/satelitskih snimaka.

Također, kod identifikacije arheoloških lokaliteta putem zračne fotografije značajni rezultati postignuti su upravo kroz studije nizinskih područja na površinama zasađenim poljoprivrednim kulturama, uz istaknut utjecaj antropogenih ali i geomorfoloških te pedoloških utjecaja na vegetacijske pokazatelje (Gojda, Hejcman 2012; Hejcman et al. 2010; 2012; Czajlik et al. 2021 i pripadajuća literatura). Utjecaj prisutnosti kemijskih elemenata u tlu nastalih zbog raspadanja organskog materijala unutar arheološkog konteksta jasno je prepoznat pri istraživanju vegetacijskih pokazatelja arheoloških subpovršinskih struktura (Gojda, Hejcman 2012; Hejcman et al 2010; 2012). U istom kontekstu moguće je pomišljati o utjecaju zasićenosti tla željezom, bilo pod utjecajem arheološkog podpovršinskog zapisa ili prirodnih karakteristika područja, prostora razvoja močvarne rude. Ph vrijednosti tla ali i prisutnost teških metala poput željeza imaju značajan utjecaj na izgled, rast i razvoj samoniklih biljaka i poljoprivrednih kultura obzirom na elementarnu važnost apsorpcije željeza kod biljaka (Vukadinović, Vukadinović 2011: 217—218). Stoga bi geokemijski sastav tla u vidu povećane koncentracije željeza odnosno postojanje razvojnih faza močvarne željezne rude u tlu i podzemnih voda zasićenih željezom, poglavito bliskih površini (zona korjenja) mogao imati utjecaja na rast i razvoj usjeva. Željezo se u podzemnim vodama pojavljuje u obliku  $Fe^{2+}$  i  $Fe^{3+}$  a upravo je u ovom stanju moguća apsorpcija kod biljaka (Vukadinović, Vukadinović 2011: 215). Količina željeza u tlu na prostorima izrazito zasićenim željeznim ionima može biti kritična pri čemu može doći do suviška opskrbljenosti željezom u sustavu biljke<sup>102</sup>. Prema analizi profila tla s položaja Kalinovac – Hrastova greda, u sloju dubine 60 – 80 cm količina željezovih oksida značajno prelazi kritičnu granicu zasićenosti koja može imati toksičan utjecaj, a u plićim slojevima, pretpostavljeno korjenu dostupnim, ona je niža (iako još uvijek iznad granice) stoga je izgledno sa će se odraziti na vegetaciju.<sup>103</sup> Međutim, upitno u kojoj mjeri i da li je moguće prepoznati ovaj utjecaj putem satelitskih snimaka. U istom smislu, zasićenost humusa i podpovršinskog arheološkog zapisa metalurškim otpadom mogla bi utjecati na karakteristike vegetacije. Dodatni, značajan element pod čijim utjecajem je vegetacija, su razlike u prisutnosti

---

<sup>102</sup> Suvišak željeza nije učestala pojava, te se događa u vrlo kiselim, slabo prozračenim tlima, gdje je moguće negativno, toksično djelovanje suviška željeza. Negativan utjecaj odnosno toksično djelovanje suviška željeza moguće je prepoznati kroz inhibiciju vegetacijskog rasta te boju lišća i korjenja (tamnom, plavozelenom lišću i mrkoj boji korijena) (Vukadinović, Vukadinović 2011: 218).

<sup>103</sup> Kritična granica toksičnosti za Fe je 400—1000 ppm, a prema podacima geokemijske analize slojevi u profilu tla između 60 – 100 cm su najzasićeniji željeznim oksidima, te u najzasićenijem intervalu na 60 – 80 cm dubine sadrži 27,93%  $Fe_2O_3$  = 195342 ppm Fe što je značajno iznad granice toksičnosti. Ph tla je blago do jače kiseo s tendencijom povećanja u dubljim slojevima (Brenko et al. 2019: Tab 3.). U plićim slojevima tla vrijednosti su niže no ipak visoke obzirom na granicu toksičnosti (Brenko et al. 2019: Tab 4.), te iznose 17,77 %  $Fe_2O_3$  = 124283 ppm Fe (0– 30 cm) i 22,71%  $Fe_2O_3$  = 158834 ppm Fe (30—60 cm).

vlage u tlu koje je moguće očekivati između položaja arheološkog lokaliteta (ocjedite grede) i prostora razvoja močvarnih ruda (plitke depresije).

U širem smislu, područja na kojima se razvija močvarna ruda, depresije, močvarna ili područja zasićena vlagom, vodnim tokovima i stajaćicama nepogodna su za trajniji boravak ali i smještaj radionica za proizvodnju željeza te mogu služiti kao negativan pokazatelj potencijala za smještaj arheoloških lokaliteta. Cilj potonje analize je izražavanje potencijala ove metode za daljnju, prediktivnu prostornu ubikaciju potencijanih ležišta i arheoloških lokaliteta metalurškog karaktera.

## **Metodologija**

### **Antropogeni utjecaj na prostornu distribuciju geoloških i arheoloških tvorevina**

Mehanizam prepoznavanja položaja rudnih ležišta kroz analizu prostorne distribucija površinski i subpovršinski prisutnih geoloških tvorevina, u studiji slučaja položaja Kalinovac – Hrastova greda (Poglavlje 3.2.), višestruko je argumentiran kroz komparativnu analizu s prirodnim preduvjetima za stvaranje močvarnih ruda. Međutim, svakako je potrebno naglasiti i ograničenja široke primjene ove metode, prvenstveno zbog narušavajućeg potencijala kumulativnog negativnog djelovanja prirodnih i antropogenih utjecaja i procesa na rezultate površinskih pregleda, u ovom slučaju površinsku distribuciju geoloških tvorevina (ležišta, fragmenata i nodula-konkrecija). Potonje djelovanje dobro je poznat element rasprave brojnih arheoloških studija vezanih uz interpretaciju rezultata površinskih terenskih pregleda te čini neizostavnu čimbenik uspostave metodološkog okvira za izvođenje ovog tipa istraživanja (Gruškovnjak 2017 s pripadajućom bibliografijom). Analiza distribucije arheoloških površinskih nalaza naspram rezultata geofizičkih istraživanja i arheološkog iskopavanja na položaju Kalinovac – Hrastova greda 1, ukazuje na efekt primjene ove metode u potonjoj studiji slučaja. Na položaju Kalinovac – Hrastova greda, uzgoj poljoprivrednih kultura te intenzivno duboko oranja kao i prirodni procesi, primarno erozija i plavljenje te podzemni tokovi vode, mogli su utjecati na distribuciju arheoloških nalaza ali i geoloških tvorevina. Rezultati površinskih terenskih pregleda (Valent et.al 2021: 4, fig. 2) i geofizičkih istraživanja (Mušič et al. 2019) pokazuju vrlo dobro preklapanje areala distribucije arheoloških subpovršinskih tvorevina i površinskih nalaza koji su upućivali na metalurški karakter lokaliteta, smještenog na blagom pješčanom uzvišenju (Karta 3.2.). Ipak, tijekom terenskog pregleda primjećena je slabija površinska prisutnost zgure na padinama uzvišenja (Mušič, Medarič 2019), na kojima nisu prepoznate podpovršinske arheološke strukture ili slojevi, čime ovakva situacija implicira djelovanje erozije i/ili redepoziciju materijala uslijed agrarne obrade zemljišta i erozije. Jasno

je vidljiv i izostanak arheoloških površinskih nalaza te podpovršinskog zapisa u potolini neposredno uz uzvišenje, na prostoru koje je pronađena koncentracija fragmenata močvarne rude. U slučaju distribucije geoloških tvorevina, redepozicija uzrokovana erozijom vrlo vjerojatno nije imala značajan utjecaj iako je moguća akumulacija erodiranog tla nad izorane slojeve s indikativnim geološkim tvorevina te slabija vidljivost istih. Tijekom terenskog pregleda primjećena je puno šira prostorna distribucija nodula naspram fragmenata, koja može implicirati korelaciju između konzistencije i veličine materijala s prostornom distribucijom odnosno arealom redepozicije, a uglavnom je uvjetovana kontinuiranim oranjem. S druge strane, moguće je da područja na kojima je proces formiranja aktivan i u početnim fazama razvoja (crvenkasta zemlja, noduli) obuhvaćaju širi prostor no u potpunosti oformljena ležišta ruda koja čine zadnje razvojne fazu čvrste konzistencije. Potonje nalazi argument u izrazitoj osjetljivosti na postojeće preduvjete u tlu i utjecaj agrarne djelatnosti te u primijećenim specifičnim idealnim prostorima razvoja (primjerice rubovi zatvorenih depresija) naspram onih u kojima je razvoj u nekoj mjeri prisutan no nije dosegao zadnju razvojnu formu.

### **Daljinska istraživanja**

Analiza zapisa sa satelitskih snimki izrađena je u svrhu definiranja pedoloških i vegetacijskih pokazatelja prisutnih na prostoru istraženog ležišta i područja s najvećim potencijalom pojave ležišta močvarne željezne rude (Poglavlje 3.2.) ali i arheoloških lokaliteta definiranih terenskim pregledom (sl. 1: Položaj 1-3)(Valent et al. 2017: 17–18), geofizičkim istraživanjem i arheološkim iskopavanjem (položaj 1)(Valent et al. 2017: 17–18; 2021: Fig. 2). Poglavit naglasak stavljen je na vidljivost i vrstu utjecaja sastava površinskog i subpovršinskog tla na vegetacijske i pedološke pokazatelje na prostoru pojave lokaliteta s tragovima proizvodnje željeza (sl.1: Položaj 1) (Karavidović 2021a). Izdvajanje pedoloških i vegetacijskih pokazatelja s snimki izvedeno je korištenjem programa Adobe Photoshop CS4, te alata za (polu)automatsko prepoznavanje i odabir prostora jednakih vrijednosti boje (*Magic wand*), koristeći postavku tolerancije na vrijednost 10 – 12. Analizirane su i dostupne povijesne karte kako bi se dodatno razumjele promjene vidljive u okolišnim, vegetacijskim i pedološkim pokazateljima, a u vezi s potencijalnim podpovršinskim zapisom iz povijesnih razdoblja te dodatno, kako bi se utvrdio način korištenja prostora. Korištene su satelitske snimke preuzete s Google Earth Pro aplikacije i od Državne Geodetske Uprave Republike Hrvatske ([www.geoportal.dgu.hr](http://www.geoportal.dgu.hr)), snimljene kroz vremenski period od 2011 – 2021. godine te u različito doba godine<sup>104</sup> i georeferencirane karte

---

<sup>104</sup> Analizirane su snimke od travnja do kolovoza, 2006–2021. godine. Snimke ostalih mjeseci nisu bile dostupne, međutim upravo su proljeće i ljeto značajani periodi, u kojima je vidljiv ciklus razvoja zasađene poljoprivredne kulture na položaju Kalinovac – Hrastova greda te je moguće komparativno promatrati pedološke

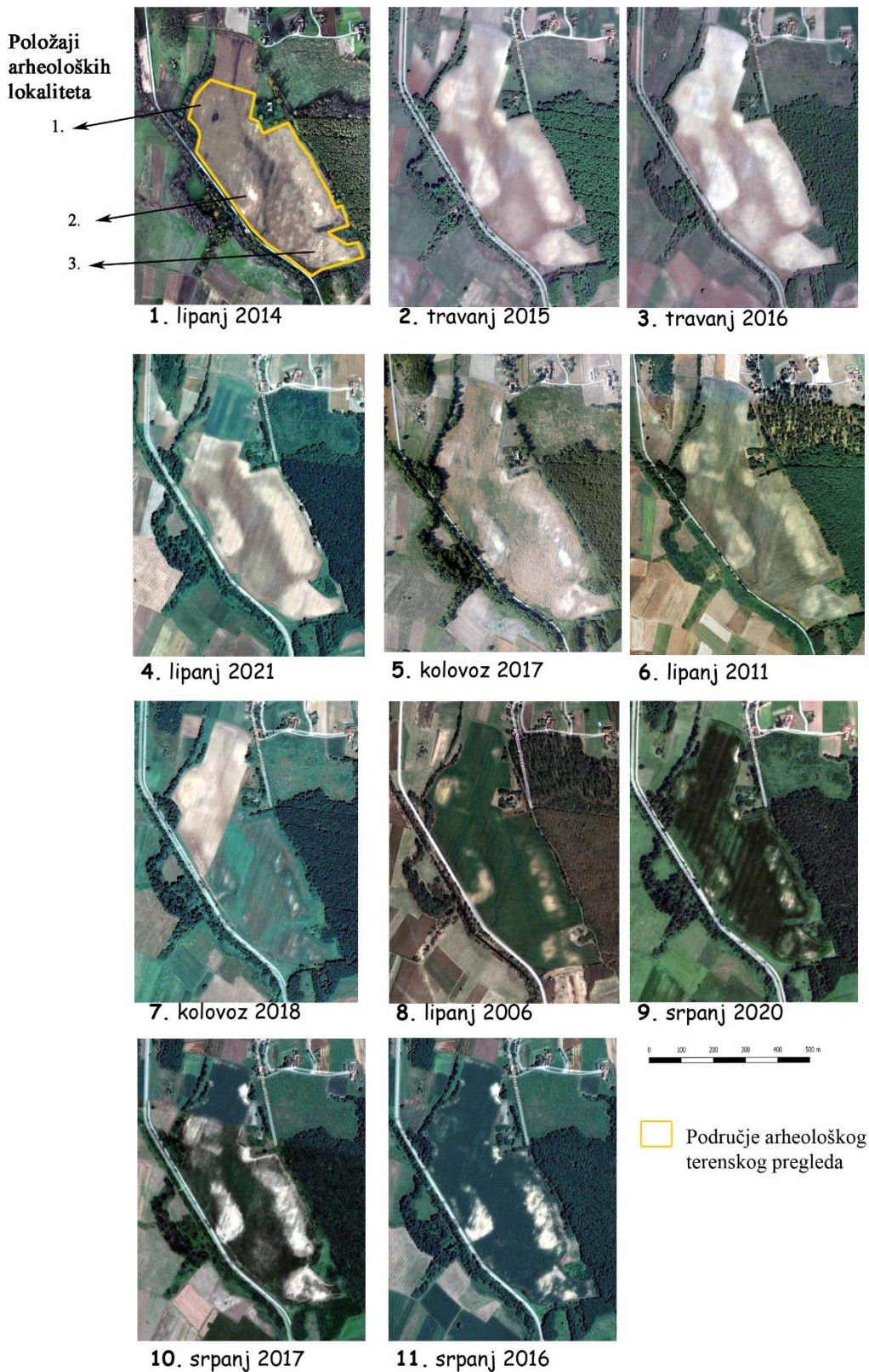
iz 19.st (Croatia (1865–1869) – Second military survey of the Habsburg Empire i Habsburg Empire (1869–1887) – Third Military Survey (1:25000)<sup>105</sup> preuzete s web–stranice <https://mapire.eu>.

---

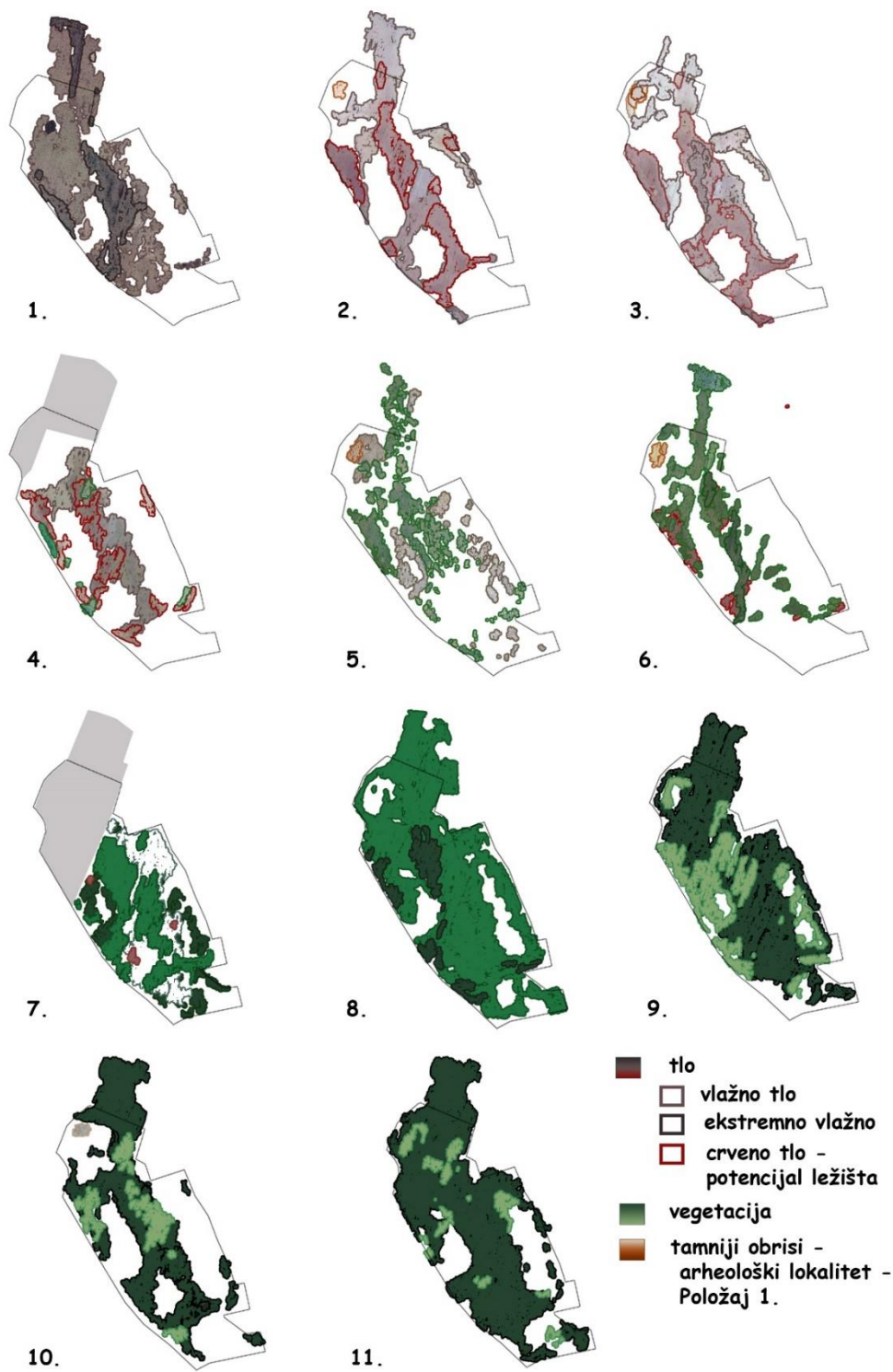
i vegetacijske pokazatelje u različitim fazama rasta i razvoja. U istom razdoblju teoretski je moguće očekivati i razlike u hidrološkim preduvjetima, primarno vodostaju rijeke Drave i podzemnih voda.

<sup>105</sup> Na dostupnoj karti Varaždinskog generalata (Warasdiner Generalat (1781–1782) – First Military Survey) na promatranom području ucrtana je isključivo šuma, te nije korištena kao relevantan izvor potrebnih podataka.





Slika 1. Analizirane snimke: 1 – 4) razdoblje bez prisutne vegetacije i vrlo sporadične pojave, 5 – 7) razdoblje početka rasta i razvoja – niska vegetacija, 8 – 11) razdoblje uznapredovalog rasta – srednje visoka i visoka vegetacija. Redosljed prati razvojne faze zasađene poljoprivredne kulture, što u glavni koincidira s mjesecima tijekom godine.



Slika 2. Izdvojeni vegetacijski i pedološki pokazatelji vidljivi na snimkama. Boja vegetacije načelno odgovara boji prisutnoj na satelitskim snimkama.

## Analiza pokazatelja

### Prostor razvoja močvarne željezne rude

Vlažna područja (odnosno područja visokog topografskog indeksa vlažnosti (TWI) i potencijala za akumulaciju oborinskih voda (FA) (usp. Karta 3.3.) moguće je prepoznati putem pedoloških pokazatelja, prvenstveno kroz boju tla, i to na snimkama koje prikazuju doba godine prije prve pojave izdanaka usjeva i pri razdoblju ranoga rasta (travanj, lipanj i u nekim slučajevima kolovoz). Ponekad je jasno razlučljiva i crvenkasta boja tla, posebice na prostoru plićih depresija i rubovima dubljih depresija, pretpostavljeno idealnim položajima za razvoj močvarne rude. Distribucija crvenkastog tla vidljiva iz analiziranih snimaka (sl. 2: 1 – 4, 6.) u velikoj mjeri odgovara rezultatima površinskog terenskog pregleda (karta 3.3: a) odrađenim tijekom ožujka 2020. godine, pod sličnim uvjetima vidljivosti, prvenstveno izoranom tlu bez vegetacije te prediktivnom modelu potencijala pojave ležišta (Poglavlje 3.1.2.). Dublji dijelovi depresije, najzasićeniji vlagom (Karta 3.3: c - visok TWI i e – visok FA te uvid pri terenskom pregledu) su izrazitije tamne, sivo–smeđe boje. Na snimci iz lipnja 2014. (sl. 2.) jasno je vidljiv tok podzemne vode<sup>106</sup>, pretpostavljeno visokog vodostaja u trenutku snimanja, a koja u pravilu markira položaj najviše razine vlažnosti i na ostalim snimkama što je učestalo vidljivo i u pedološkim te vegetacijskim pokazateljima (Sl. 3.2: 1 – 11.). Vizualni pokazatelji pjeskovitijeg, ocjeditog tla i niske potencijalne razine vlažnosti uočljivi su na prostorima blagih uzvišenja na svim analiziranim snimkama odnosno u fazi bez vegetacije te tijekom različitih faza rasta i razvoja biljaka. Oni su uvijek, u manjem ili većem obimu prisutni (ovisno o razini ocjeditost, nagibu terena i potencijalnoj eroziji te fazi razvoja biljke), a karakterizira ih svijetla boja tla i manja gustoća pojave ili potpuni izostanak vegetacije (najčešće na središnjem, najvišem dijelu platoa koji je ujedno i izrazitije ocjedit).

---

<sup>106</sup> Ovaj tok u prošlosti je mogao predstavljati i nadzemnu vodu, svojevrsni potok. Brojni hidroregulacijski zahvati kao dio melioracijskih mjera uzrokovali su snižavanje razine podzemnih voda. Na kartama iz 19.st. (slika) također nije vidljiva površinska prisutnost vode na ovom mjestu, međutim u ovom razdoblju određene mjere zaštite od poplava i druge, melioracijske mjere već su postojale. Prve naznake regulacije rijeke Drave te utjecaj na okolni prostor poznat nam je iz povijesnih izvora s početka 17.st., dok prvi značajniji planovi sustavne regulacije potječu iz 1780. godine. Prema Slukan – Altić (2002: 130) o planu hidroregulacije svjedoči karta Drave u pet listova: “*Nacrt Podravlja of Hlebina do međe Virovitičke županije uz oznaku vodogradnja*” u mjerilu 1:28.800 (karta se čuva u Hrvatskom Državnom arhivu, pod oznakom E.IX.39.). Iz karte se jasno vidi da je Dravska obala već u vrijeme izrade karte bila regulirana do određene mjere, no intenzitet ovih radova postaje osjetan tek od početka 19. stoljeća (Petrić et al. 2019: 110–119, Slukan – Altić 2002: 130–132.). Na kartama vojnih mapiranja iz 2/2 19. stoljeća, na položaju Kalinovac – Hrastova greda vidljiva je i regulacija prisutna i danas, južnije od promatranog položaja – potok Čivičevac s ukoričenim tokom (usp. [www.mapire.com](http://www.mapire.com)). Naznake neregulirane nadzemne vode, potoka, vidljive su zapadno od položaja, na prostoru na kojemu je i danas prisutan potok u manjem obimu (usp. Sl. 3.2.), neposredno uz postojeću lokalnu cestu.

Vegetacijske pokazatelje čini prvenstveno nejednoličnost u razvoju, vidljiva u vremenu i gustoći pojave te boji vegetacije. Manja gustoća pojave i vremenski okašnjeli porast izdanaka zasađenih kultura očituje se na prostoru izrazitije pjeskovite podloge, na blagim ocjeditim uzvišenjima kroz sve promatrane faze razvoja. Veća gustoća pojave i raniji porast izdanaka očituje se na prostoru potolina, i to najdubljih dijelova s visokim topografskim indeksom vlažnosti odnosno mogućnošću akumulacije oborinskih voda, a poglavito na dijelu središnje i najdublje depresije, prostoru na kojemu je moguće pretpostaviti i izravan utjecaj podzemnih voda na humusno–kumulativni sloj<sup>107</sup>. Istovremeni razvoj očituje se i na prostorima na kojima je vidljivo crvenkasto tlo, zasićeno željeznim oksihidroksidom i ujedno relativno vlažan prostor, koje se javlja u plićim dijelovima depresija odnosno pri rubovima zatvorenih depresija (usp. Poglavlje 3.2: Karta 3.3. i sl. 2). Na ovim područjima tijekom cijelog promatranog ciklusa moguće je primjetiti razliku u boji vegetacije, no obim prostora u kojemu se očituju razlike varira ovisno o fazi razvoja, a vrlo vjerojatno je i pod utjecajem specifičnih okolnosti (temperaturni režim, količina oborinskih voda) karakterističnih za pojedino razdoblje promatranja.

Prema analiziranim parametrima geomorfoloških i hidroloških preduvjeta ovih mikrolokacija, razlika u rastu i razvoju biljaka može se dovesti u vezu s humidnošću tla ali i višom razinom zasićenja tla željezom no na okolnom prostoru. Crvenkasto tlo označava izraženiju zasićenost željeznim oksihidroksidom getitom, odnosno ova područja imaju najviši potencijal za nastanak rudnih ležišta/taloženje željeza. Prostor aktivnog protoka podzemnih voda također je zasićen željezom, obzirom da se taloženje odvija upravo kroz utjecaj podzemnih voda obogaćenih željeznim ionima a one u najdubljim dijelovima depresija dosežu humusni horizont. Željezo je mikroelement kod ishrane bilja no asimilacija željeza u živo tkivo biljke jedan je od bitnih metaboličkih procesa. Suficit ili deficit željeza značajno utječe na rast, razvoj i izgled (boju listova i korijena) biljaka (Vukadinović, Vukadinović 2011: 214 –219, sl. 7.7.) stoga razina njegove prisutnost u tlu može biti izniman indikativni parameter pri promatranju vegetacijskih pokazatelja. Prema istom, dvojakom mjerilu (nedostatak i suvišak) moguće je promišljati o utjecaju vlage na rast i razvoj biljaka. Analiza snimaka ukazuje na određenu dinamiku utjecaja podloge s većom razinom vlage i prisutnosti željeza. U ranim fazama razvoja, izdanci se javljaju rano i simultano na obe pedološke podloge te su svijetlije zelene boje (Sl. 2: 1 – 3/4 usp. 5 – 7.). U srednjoj fazi razvoja primjetna je veća gustoća vegetacije i jarka svijetlije zelena boja,

---

<sup>107</sup> Tok podzemne vode, odnosno izrazita vlažnost tla najizraženije je vidljiv je na snimci izoranog tla iz lipnja 2014 (DGU podloga) (Slika 1)

koja implicira brži, značajniji rast i razvoj no na okolnim područjima. Međutim, u zadnjoj promatranj fazi razvoja, utjecaj se ne čini jednoličnim na svim snimkama (Sl. 2: 11.) te su razlike na prostoru promatranja manje iskazljive. Promjenjivo, na područjima s crvenim tлом u podlozi, vegetacija je tamnije ali i svijetlije zelene boje te je gušća ili rijedja (značajnije ili slabije razvijena) (Sl.2:11.), a ponekad se elementi boje i gustoće gotovo ne mogu razlikovati od nekih dijelova padina ili platoa uzvišenja (Sl. 2: 11.) na ocjeditijoj, pjeskovitijoj podlozi (Položaj 1). Ipak, pojedini dijelovi uzvišenja koji su značajnije zasićeni vegetacijom mogu se dovesti u vezu s mogućnošću jače akumulacije oborinskih voda (usp. Karta 3.2.) a vrlo vjerojatno i s prisutnošću arheološkog podpovršinskog zapisa (sl. 1: Položaj 1.—3.). Obzirom na progresivan razvoj i rast u prve dvije faze (Sl. 2: 1—7.), vrlo je vjerojatno da zasićenost željezom i vlažno tlo imaju pozitivan učinak na zasađenu kulturu, no za posljednje faze razvoja moguće je očekivati promjenjiv i neravnomjeran učinak (Sl. 3.2.7: 8—11.). Ipak, ova područja u svakoj fazi su u nekoj mjeri iskazljiva, odnosno u manjem ili većem prostornom obimu ih je moguće raspoznati od okolnih pojava. Gradacija u ritmu rasta i razvoja bilja (gustoća i vrijeme pojave) i vidljivost pedoloških pokazatelja u različitim fazama razvoja može se dovesti u vezu s razlikama u reljefu i posredno razinom ocjeditosti odnosno vlage. Tako se područja niže gustoće pojave biljaka konstantno očituju na najvišim uzvisinama i platoima dok se nešto niža područja popunjavaju vegetacijom s vremenskim odmakom slijedeći pritom primarnu pojavu na značajnije vlažnim područjima.

Osim pokazatelja u boji, gustoći, vremenu pojave vegetacije te pedološkim karakteristikama, iz rezultata je jasno vidljiva i razina indikativnosti u vezi s fazom razvoja te posredno, godišnjim dobom promatranja. Vegetacijski pokazatelji su prisutni i vidljivi jasno i prilično jednolično u razdoblju početnog stadija rasta i razvoja te u slijedećoj fazi, nešto intenzivnijeg razvoja. Ovisno o promatranj godini, odnosno vrsti poljoprivredne kulture, vremenu sadnje te ostalim, promjenjivim preduvjetima razvoja (temperatura, oborine, vjetar) ovaj period pada između kasnog proljeća i ljeta. Kada je vegetacija potpuno izrasla i nabujala, iste značajke prisutne su na više različitih položaja (preduvjeta) te nije u potpunosti moguće razlikovati varijabilnosti u reljefim i hidrološkim preduvjetima odnosno vidljivost je niska, stoga je ovo razdoblje najmanje indikativno, a u promatranom slučaju radi se o ljetu. Pedološki pokazatelji najizraženiji su kada je tlo izorano, vegetacija izostaje ili je u početnim fazama razvoja, tijekom ranog proljeća i ranog ljeta. Tada su vidljiva područja s tлом zasićenim željeznim oksidima, područja povišene vlažnosti (depresije i prostori visokog potencijala nakupljanja oborinskih voda) ili suhoće (pjeskovite grede), a na pojedinim snimkama jasno su vidljivi i tokovi podzemnih voda koje na

najdubljim dijelovima depresija dotiču humusno–kumulativni sloj (Sl. 1.). Potonja snimka u osnovi nije značajnije indikativna za ostale, uobičajeno pedološki vidljive pokazatelje, pretpostavimo zbog izražene vlažnosti tla na cijelom promatranom području, što se može pripisati visokom vodostaju podzemnih voda ali i količini oborina u tom periodu te potencijalu akumulacije vode obzirom na reljefne odlike (usp. sl. 2. i karta 3.3). Podaci Državnog hidrometeorološkog zavoda (tab. 1) o količini oborina za najbliže područje (Grad Koprivnica) jasno pokazuju da je količina oborina u 2014. godini bila najviša kroz razdoblje od 2014. do 2021. godine (promatrano i na satelitskim snimkama), kao i da je u razdoblju do lipnja 2014. bila značajnija nego ostalih godina, odnosno, ako usporedimo s ostalim satelitskim snimkama iz istog razdoblja (lipanj 2021. godina) jasno je vidljiva i razlika u izgledu tla odnosno indikacija vlažnosti. Snimke koje bilježe ovakve prirodne preduvjete pružaju uvid u područja najviše potencijalne razine vlažnosti i tok podzemnih voda no istovremeno izostaju drugi indikativni elementi. Potonja situacija ukazuje i na značaj drugih, promjenjivih preduvjeta na indikativnost zračnih snimaka, poput količine oborina te na nasušnu potrebu komparativnog promatranja veće količine zračnih fotografija ali i dostupnih podataka o prirodnim promjenjivim elementima utjecaja.

Tablica 8. Podaci Državnog hidrometeorološkog zavoda o količini oborina na godišnjoj razini za razdoblje od 2014 – 2021. (raniji podaci nisu dostupni), mjerna postaja Koprivnica (izvor: <https://meteo.hr/>, pristupljeno u 15. siječnja 2022. godine). \*\* nepotpuni podaci u mjesecu /godini

godina / mjesec	I	II	III	IV	V	VI	ukupno I-VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	godišnje (mm)
2014	58	176	20	65	123	85,9	528,3	88	134	322	138	33,7	61	1.304,30
2015	72	98,5	20	19	178	73,7	462,5	39	50	124	162	32	3,5	872,6
2016	60	117	77	53	95	76,4	476,4	58	51	56	98,5	92,5	2	834,4
2017	23	33	23	23	73	72	246,7	46	28	181	76	81,5	117	775,7
2018	60	131	94	51	37	147	519,5	57	78,2	108	28,5	57,5	24	872,7
2019	34	24	33	75	195	88,5	449,3	70	57	89	30	119	105	919
2020	18	32,5	43	23	67,5	116	299	**	118	86	116	13,5	81	**
2021	40	22	19	43	127	7	257,5	**	62	42	63,5	78	94	**

### Arheološki lokaliteti metalurškog karaktera

Metodološki pristup ubikacije arheoloških lokaliteta na nizinskim predjelima s obradivim površinama zasađenim poljoprivrednim kulturama, putem zračne fotografije pokazao se iznimno učinkovitim u nizu studija, međutim promatranje satelitskih i infracrvenih snimki

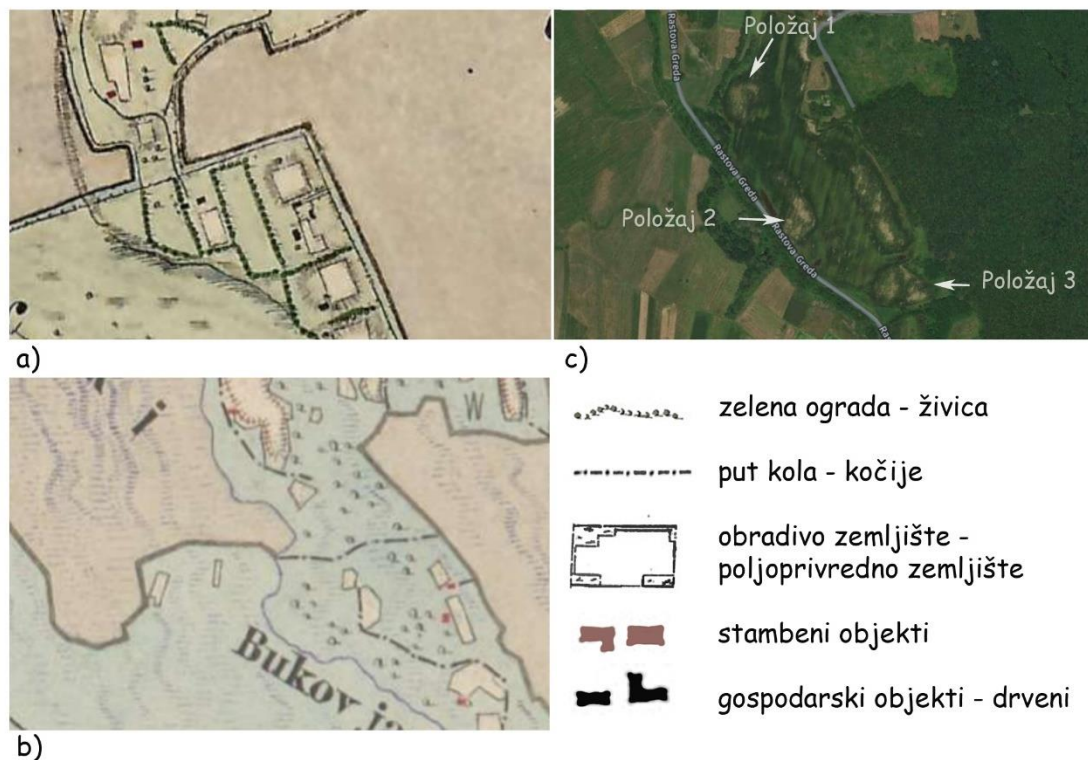
prilikom ubikacije arheoloških lokaliteta s metalurškim karakteristikama na prostoru Podravine, prema dosadašnjim istraživanjima, nije pokazao značajan potencijal (Valent et. al. 2021), iako su na pojedinim lokacijama jasno izdvojene ocjedite uzvisine bez mnoštva vegetacije kao lokacije arheoloških lokaliteta, potvrđene terenskim pregledom. Smještaj arheoloških lokaliteta na blage uzvisine u nizinskom krajoliku, vrlo vjerojatno je izravno povezan s mogućnosti poplave, zadržavanja oborinskih voda (teška, slabo propusna glejna tla i reljefne odlike), ili izviranjem podzemnih voda u dubljim depresijama odnosno prisutnošću izrazite količine vlage. Međutim, nedostatak vegetacije na ovim položajima, u suvremenom krajoliku u kojemu ih je većina poljoprivredno zemljište, u direktnoj je vezi s prirodnim karakteristikama tla, reljefa te ocjeditošću terena i može se smatrati indikacijom za arheološki lokalitet isključivo zbog toga što se radi o uzvišenjima. Upravo suprotno, arheološki podpovršinski depozit koji u svom sastavu ima dosta propadajućeg organskog materijala (poput drvenih struktura, grobova i slično) trebao bi pozitivno djelovati na rast i razvoj biljaka, naravno, ovisno o vrsti vegetacije (poljoprivredne kulture), sastavu depozita i poredbeno, okolnog tla (Hejcman et al 2010; 2013; Gojda, Hejcman 2012). S druge strane, zidane strukture mogle bi imati drugačiji efekt na rast i razvoj biljaka. Stoga je identifikacija arheoloških lokaliteta na ovakvim položajima otežana zbog kompleksnosti arheološkog zapisa stvorenog kroz više arheoloških razdoblja i izrazite ovisnosti o karakteru lokaliteta, prirodnim preduvjetima ali i naknadnim prirodnim i antropogenim utjecajima. Ipak, ako uzmemo u obzir potencijalne negativne pokazatelje smjestaja arheoloških lokaliteta (depresije) i izoliramo prostore s višim potencijalom pojave poput blagih uzvisina odnosno greda, određeni pokazatelji postaju jasniji. Također, iako daleko u vremenskim okvirima, promatranje povijesnih karata za prostor proučavanje može donjeti značajne uvide u logiku iskorištavanja prostora naspram prirodnih zadatosti i time ojačati argumentaciju vezanu uz prediktivne modele prirodnih preduvjeta za smjestaj arheoloških lokaliteta.

### **Položaj arheoloških i povijesnih antropogenih tvorevina**

Na prostoru obuhvata terenskog pregleda Kalinovca – Hrastove grede identificirane su tri mikrolokacije, blaga uzvišenja, na kojima su prepoznati arheološki i povijesni tragovi boravka (sl.1: Položaj 1-3). Osim lokaliteta s površinski prisutnim nalazima zgre, koji je u fokusu istraživanja (Položaj 1), tragovi boravka identificirani su na još dva položaja. Radi se o ulomcima brončanodobne keramike i ulomku litike, ulomcima kasnosrednjovjekovne keramike datirane od 14 – 16. st. (Položaj 2 i 3) te ulomku glazirane (novovjekovne?) keramike (Položaj 3.) (Valent 2018: 77; Valent et. al. 2018: 143, Tab.1.). Pregledom povijesnih karata iz vojnih

terenskih pregleda i mapiranja iz 19. st. na položajima 2 i 3 te šire, razvidno je postojanje drvenih gospodarskih objekata i obradivih površina te ograda ili živica u razdoblju 1865–1869. godine (sl. 3: a), a nešto kasnije između 1869–1887. godine (sl. 3: b) i stambenih te gospodarskih objekata uz obradive površine kao i “put kola – kočije” odnosno poljski put. Potonji objekti i obradive površine se nalaze upravo na prostoru uzvisina, te se potencijalno mogu dovesti u vezu s nalazima glazirane novovjekovne keramike. Ako se ova slika prostorne distribucije usporedi s vegetacijskim i pedološkim pokazateljima s satelitskih snimaka te ostalim prirodnim preduvjetima prostora, razvidno je da se neke značajke ipak mogu dovesti u vezu s postojanjem arheoloških ostataka, iako, razina indikativnosti ovih podataka neusporedivo je manja no kod analize prirodnih zadatosti prostora i područja potencijalne pojave močvarne rude. Obradive površine ucrtane na karti iz 1869–1887. godine jasno se položajem i oblikom mogu dovesti u vezu s uzvišenjima i to središnjim, najvišim platoom pojedinog uzvišenja dok je su na karti iz 1865–1869. godine one prisutne no oblikovno su nešto drugačije. Ovakvo ucrtavanje prostora uzvisina kao obradivih površina implicira promišljeno iskorištavanje prirodno ograničenih prostora te se može smatrati indikativnim za karakteristike prostora, pretpostavimo, prvenstveno nedostatak prekomjernog utjecaja vode u vidu plavljenja i zadržavanja oborina te shodno tome pogodnost za poljoprivrednu obradu. Poljski put (sl. 3: b) prati područje uz rubove greda i blaze uzvisine uz jače ocjedita područja, slične nadmorske visine (ravnina puta) a ujedno zaobilazi dublje depresije odnosno područja izražene mogućnosti zadržavanja vode odnosno visokog topografskog indeksa vlažnosti. Ucertani objekti mahom se nalaze uz rubove uzvisina.



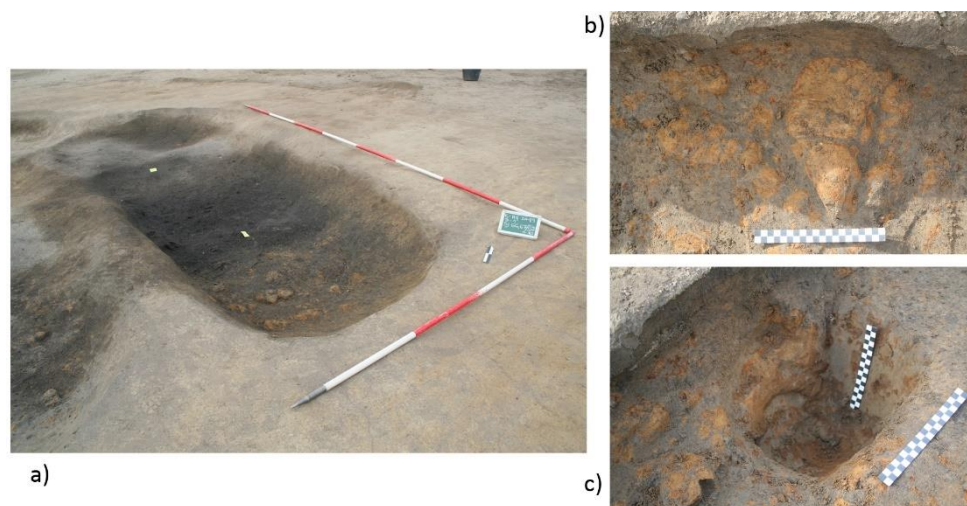


Slika 3. Područje položaja Kalinovac – Hrastova greda prikazano na georeferenciranim povijesnim kartama a) Croatia – Second military survey of the Habsburg Empire (1865–1869), b) Habsburg Empire – Third Military Survey (1869–1887) (1:25000) te c) satelitska snimka položaja (izvor: [www.mapire.eu](http://www.mapire.eu))

### Vegetacijski i pedološki pokazatelji

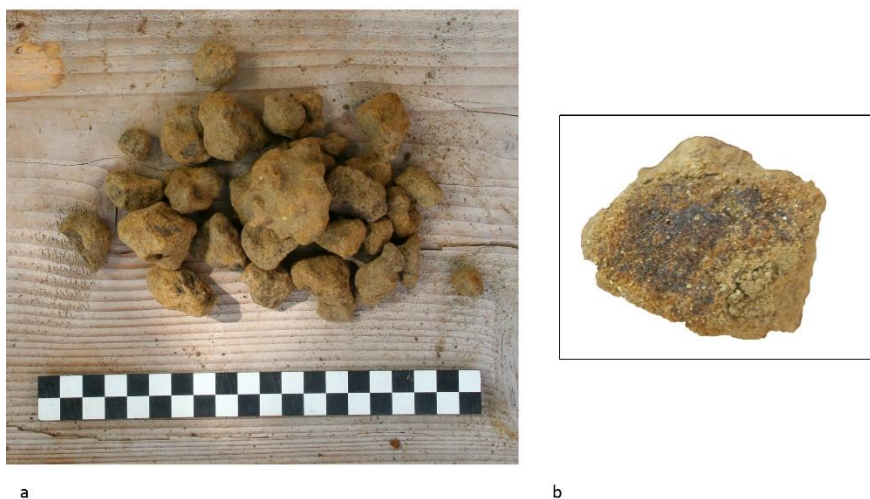
Ucrtane objekte nije moguće prepoznati preko vegetacijskih pokazatelja s sigurnošću. Oni se nalaze uz rubove greda i iako se na nekim primjerima satelitskih snimki koje prikazuju kasne faze razvoja poljoprivredne kulture vide razlike u boji i zasićenosti vegetacijom na pretpostavljenim položajima (sl. 2: 9, 11.), one nikako nisu pravilo te su vrlo nesiguran, tek donekle indikativan čimbenik. Obzirom da se radilo o drvenim građevinama, moguće je da je propadanje drva na pjeskovitoj i ocjeditoj podlozi ipak u nekoj mjeri oplemenilo tlo za rast vegetacije. Također, moguće je i da ovi prostori odražavaju neka ranija propadanja struktura ili podpovršinski arheološki zapis, obzirom da su upravo na njima pronađeni ulomci brončanodobne i kasnosrednjovjekovne keramike (položaj 3). Na položaju 2, na središnjem dijelu platoa, vidljiv je pravilni četvrtasti oblik, na kojemu je vegetacija učestalo prisutna u ranijim fazama rasta i u većini slučajeva pri fazi potpune izraslosti, dok je na snimkama izoranog, golog tla, vidljiv blago tamniji obris, odnosno tamnije površinsko tlo. Potonje implicira da je tlo na ovom prostoru plodnije no na ostatku pjeskovitog platoa odnosno otvara

se mogućnost za postojanje podpovršinskog zapisa. Najiskazljiviji pedološki i vegetacijski pokazatelji prisutni su upravo na položaju 1, na kojemu je kroz neinvazivna istraživanja i iskopavanje potvrđeno postojanje objekata, struktura (stijenke peći?) i zgre proizasle iz postupka taljenja i/ili primarnog kovanja (Karavidović 2021a) (sl. 2: 2—3, 5—6, 8—11.). Također, područje uzvisine nepogodno je za nastanak močvarnih željeznih ruda, o čemu osim studije u Poglavlju 3.2 svjedoči i pojava željezovitih pedotvorenina pri dnu istraženog arheološkog objekta. Pri arheološkom iskopavanju na položaju Kalinovac – Hrastova greda 1, pri dnu objekta (SJ 66, 67/62) i u sloju zdravice prepoznate su pjeskovite nakupine, narančasto-crvenkaste zemlje, nešto čvršće konzistencije nego okolno pjeskovito tlo (sl. 4.). Ove nakupine, prema fizičkim svojstvima (prvenstveno boji) imaju u sastavu željeznih oksihidroksida<sup>108</sup> a mogu se dovesti u vezu s pjeskovitim pedotvoreninama s željeznim matriksom kakve se pronađene pri padini istoga uzvišenja (sl. 5: b) a predstavljaju neku početnu fazu taloženja željeza u tlu, te kao i spomenute pedotvorenine vjerojatno svjedoče o nepotpuno ispunjenim uvjetima za cjelovit proces razvoja rude (tri razvojne faze).



Slika 4. a) pogled na objekt (SJ 66,67/62) kod kojega je djelomično ispražnjen sloj zapune te je vidljiva pjeskovita zdravica s primjesom tvrdih narančastih nakupina, željezovitih pedotvorenina, b) detalj tla pri dnu ukopa objekta, c) probni iskop u sloj zdravice na prostoru zasićenom željezovitim pedotvoreninama.

<sup>108</sup> Uzorak je prikupljen pri arheološkom istraživanju no nije mineraloški ni geokemijski analiziran.

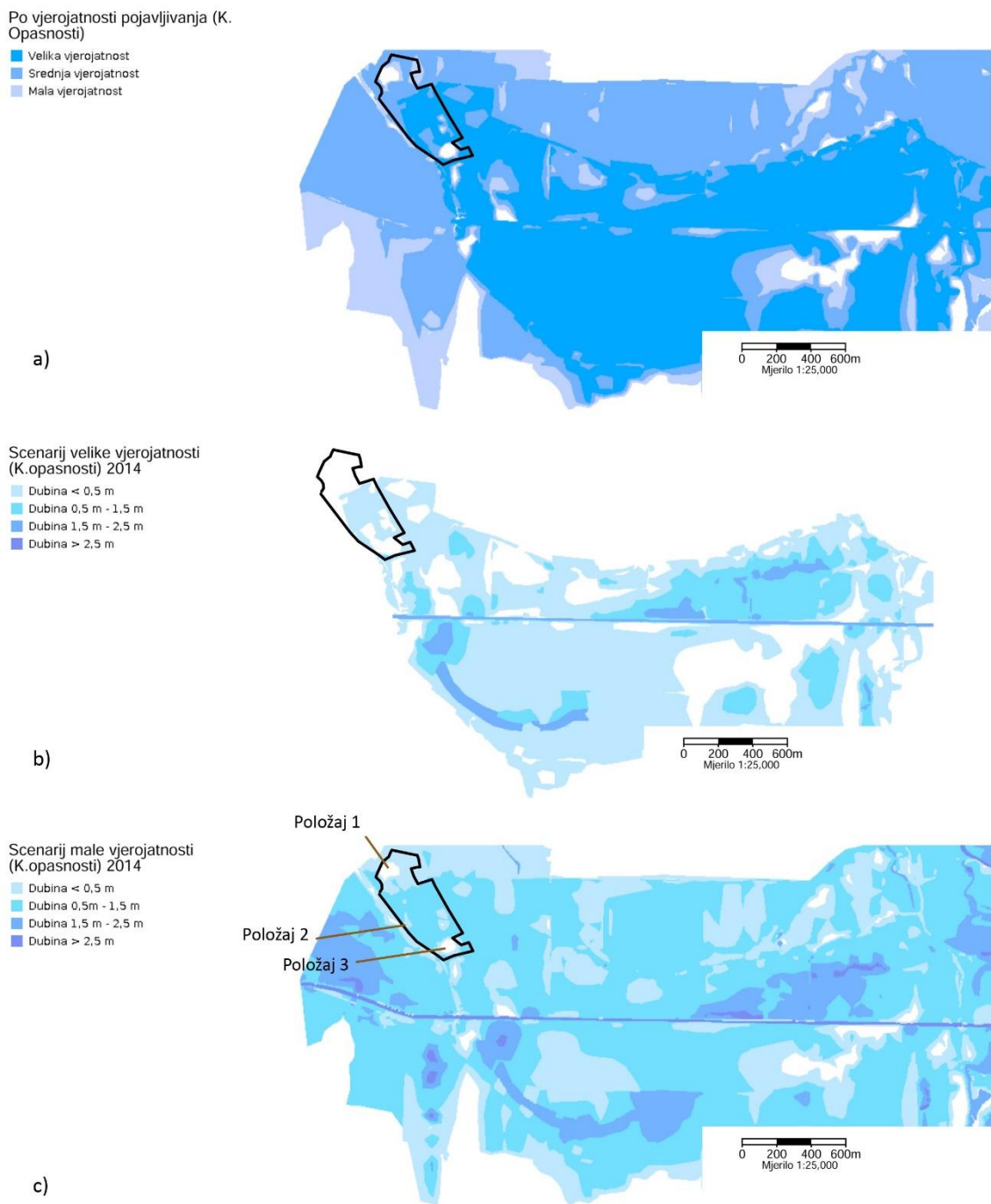


Slika 5. a) pedotvorenine s pjeskovitom okorinom, b) presjek jedne od pedotvorenina s željezovitim matriksom u središtu uzoraka.

Na snimkama izoranog tla bez vegetacije, vidljiva je diskoloracija tla na središnjem dijelu platoa i istočno od njega, što bi odgovaralo položaju većeg istraženog objekta (sl. 4, karta 3.2.) te drugih stratigrafskih jedinica i distribuciji zgure. Vegetacijski pokazatelji, slični su kao i kod ostalih uzvisina, pri čemu na najvišem dijelu platoa vegetacija porasta najkasnije, iako je nešto značajnije zastupljena no na položaju 2, što se vjerojatno može pripisati razlici u karakteristikama reljefa između ova dva položaja, točnije nadmorskoj visini te blažim padinama i sukladno višem topografskom indeksu vlažnosti na položaju (usp. Poglavlje 3.1.2.: Karta 3.3.). Potonje je slučaj i kod položaja 3. U kasnijim stadijima razvoja poljoprivredne kulture, uzvisina na položaju 2 je značajnije prošarana vegetacijom. Moguće je da prisutnost značajnije količine zgure u tlu, koja sadržava u velikoj mjeri željezo ali i ostale, neophodne elemente (poput Mn, Mg, P itd.) biljne ishrane doprinosi oplemenjivanju mekote te je rast i razvoj biljaka na ovom mjestu nešto značajniji no na drugim ocjeditim uzvišenjima. Eksperiment oplemenjivanja tla željezom, mrvljenjem zgure (proizašle od proizvodnje čelika u elektrolučnoj peći) i mjerenje učinaka na željezom depriviranim supstratima, mješavine zemlje i pijeska, ukazalo je na pozitivne učinke ove metode na rast i razvoj biljke kukuruza (Jelić 2010). U ovom slučaju zgura je djelovala kao izvor mikroelemenata u supstratu, poglavito Fe, Mn i Mg potrebnih biljci te je zaključeno da se njezinom uporabom znatno može smanjiti kloroza listova u biljaka koje rastu na tlima siromašnim željezom. Dodatno, prema nekim snimkama (sl. 2: 8 i 11.) boja vegetacije na spomenutom prostoru uvelike je slična s dijelovima terena na kojima je prisutna veća količina vlage ali i crvenog tla zasićenog željeznim oksihidroksidom (getitom) odnosno na prostorima najvišeg potencijala razvoja močvarne željezne rude. Utjecaj kemijskog sastava tla

prepoznat je i pri istraživanju vegetacijskih pokazatelja (nasad ječma) prisutnih na prapovijesnim arheološkim lokalitetima naseobinskog karaktera i to upravo zbog razlike u Ph tla te primarno koncentraciji P, Ca i Mg ali i ostalih elemenata (Cu and Zn) kako u podpovršinskim slojevima tako i u mekoti (Hejzman et al. 2013). Iako je u potonjem istraživanju većinom riječ o raspadanju organskih komponenti prisutnih u arheološkom podpovršinskom zapisu, te elemenata poput glinenih zidova kuća, obogaćenje istim elementima moguće je očekivati i pri većoj koncentraciji zgure (poglavito Mn, Mg, P), a na lokalitetu Kalinovac Hrastova greda nije isključeno ni raspadanje organskog materijala, prvenstveno zbog pirometalurškog karaktera proizvodnog procesa koji podrazumijeva i povećanu primjenu ugljena a pri istraživanju registrirano je i mnoštvo tehničke keramike, glinenih stijenki peći (Karavidović 2021a).

Obzirom na prirodu nizinskih krajolika i izrazitu ovisnost o utjecaju vode komplementni mehanizam za iskazivanje vjerojatnosti pojave arheoloških lokaliteta (boravak?) mogao bi se ogledati i u podacima o opasnosti od poplava odnosno procjeni rizika od poplava (vjerojatnosti pojave) dostupnim na Geoportalu Hrvatskih voda, kao dio informacijskih sustava Hrvatskih voda (<https://preglednik.voda.hr/>). Iako ovi podaci reflektiraju projekciju vjerojatnosti pojave poplava za period od 2016 do 2021. godine i kroz prizmu suvremenog krajolika uvažavajući postojeće hidroregulacijske čimbenike, projekcija male vjerojatnosti uključuje i poplave uslijed mogućih rušenja nasipa na većim vodotocima te rušenja visokih brana. U relativnim okvirima, ove projekcije ipak odražavaju karakteristike plavnih režima kakav je u nekom, vjerojatno intenzivnijem obliku i drugačijoj dinamici bio prisutan i u arheološkim razdobljima, te mogu biti referentni za procjenu osobitosti položaja i vjerojatnosti pojave arheoloških lokaliteta.



Slika 7. Karte opasnosti od poplava s ucrtanim prostorom proučavanja i terenskog obuhvata na položaju Kalinovac – Hrastova greda: a) obuhvat različitih razina vjerojatnosti poplave, b) obuhvat i dubine poplave, scenarij velike vjerojatnosti pojavljivanja, c) obuhvat i dubine poplava, scenarij male vjerojatnosti pojavljivanja – projekcija uključuje i poplave uslijed mogućih rušenja nasipa na većim vodotocima te rušenja visokih brana te se može smatrati najbližim prikaz potencijalne opasnosti u arheološkim razdobljima. (izvor: Hrvatske Vode, Geoportal Hrvatske Vode, <https://preglednik.voda.hr/>, pristupljeno 01.04.2022.) (dopuna i obrada: T. Karavidović)

Za promatrano područje Kalinovac – Hrastova grada razvidno je da su upravo položaji 1 i 3 izuzeti od rizika poplava (na rubnim dijelovima padina mala vjerojatnost) u svakom prediktivnom scenariju, dok na ostalom prostoru postoji srednja ili visoka vjerojatnost poplava (podaci za 2014. godinu) (sl. 7: a–c). U obuhvatu poplava visoke vjerojatnosti na promatranom području pretpostavlja se poplavljanje dijelova na kojima se nalaze depresije do rubova platoa uzvišenja, odnosno dubine do 0.5 m pri čemu ni ostala uzvišenja ne bi bila poplavljena (Položaj 2). Mala je vjerojatnost poplava većih razmjera u kojoj bi položaji 1 i 3 ostali u potpunosti nepoplavljeni dok bi ostala uzvišenja u manjoj ili većoj razini poplavila. Ako usporedimo podatke iz arheoloških terenskih istraživanja, razvidno je da se upravo na prirodno najzaštićenijem položaju 1 i 3 te nešto manje zaštićenom položaju 2, nalaze ostaci metalurških aktivnosti i vjerojatno dvije faze boravka u kasnom i ranom srednjem vijeku (položaj 1)<sup>109</sup> te kasnosrednjovjekovni, novovjekovni i brončanodobni tragovi boravka (položaj 3 i 2). Ako izuzmemo novovjekovne tragove boravka, kada su vjerojatno postojale određene hidroregulacije, najučestalija (više vremenskih perioda) pojava arheoloških tragova nalazi se upravo na položaju 1 – prirodno najzaštićenijem od utjecaja oborinskih i poplavnih voda ali i najprostranijem.

Prepoznavanje arheoloških lokaliteta daljinskim metodama u nizinskim krajolicima u velikoj je mjeri ovisno o tipu lokaliteta odnosno vrsti arheološkog podpovršinskog zapisa te prirodnih preduvjeta, poglavito reljefnih, hidrološki i pedoloških značajki, stoga čini izrazito kompleksan zadatak. Ipak, kombinacija različitih metoda i označavanje prostora poput potencijalno vlažnih, poplavnih područja te močvarnih tala (geološka, pedološka, topografska podloga, satelitska i zračna fotografija uključujući infracrvene snimke, akumulacija oborinskih voda, topografski indeks vlažnosti, scenariji plavljenja– hidrološke predikcije) i depresija (digitalni model reljefa – zatvorene depresije) te analiza vegetacijskih pokazatelja mogla bi doprinjeti ubikaciji arheoloških lokaliteta putem daljinskog istraživanja ali i unaprijediti promišljanja arheologije krajolika vezane uz lokalitete u nizinskom krajoliku. Svi arheološki lokaliteti metalurškog karaktera na prostoru Podravine, koji se mogu okarakterizirati kao prostori povremenog boravka smješteni su na prostoru blagih uzvisina sa pretpostavljeno nižim topografskim indeksom vlažnosti i razinom akumulacije oborinskih voda (odnosno značajnijim otjecanjem) te opasnosti od poplava. Utjecaj reljefnih značajki poglavito bi bio bitan za smjestaj trajnijih

---

<sup>109</sup> Površinski nalazi keramike prikupljeni pri terenskom pregledu mogu se svrstati u kasni i rani srednji vijek (Valent et al. 2017: 17 –18).

naselja, prvenstveno u vidu zaštite od plavljenja, zamočvarenja ili nakupljanja oborinskih voda. Ovakav odabir položaja u nizinskom krajoliku Podravine, prisutan je i kroz povijesna razdoblja (Feletar, Feletar 2008), kada su melioracijske mjere i drugi hidroregulacijski zahvati već značajno obuzdali put vode i smanjili učinke kopnenih i podzemnih voda, zbog čega je nužno pretpostaviti isto i za arheološka razdoblja.

### 3. Tablice rezultata analiza

#### Kemijske analize

Tablica 1. Uzorci rude, elementna analiza (glavni elementi i elementi u tragovima) (ICP– IMS 230)

ID uzorka	Ag ppm	Al ppm	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca ppm	Cd ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Cu ppm	Fe ppm
V-SS7 1	0.07	12600	584.2	800	0.80	0.10	2500	0.61	23.03	21.3	48	1.39	17.1	495900
V-SS7 2	0.13	57900	37.5	1337	3.88	0.23	9800	2.62	116.42	82.9	161	3.39	21.4	135900
V-SS7 3	0.16	39900	548.5	332	1.39	0.17	6600	0.21	38.82	16.1	125	2.98	29.7	324700
H-DS3 1	0.02	3900	915.8	98	0.35	0.05	4400	0.23	12.05	26.3	22	0.37	7.1	>500000
H-DS1 1	0.03	8000	588.6	114	0.46	0.09	2500	0.29	15.32	22.6	59	0.68	7.0	>500000
H-DS1 2	0.05	8900	503.5	419	0.52	0.08	3200	0.77	15.04	17.5	42	0.92	16.1	>500000
H-DS1 3	0.03	7300	333.0	157	0.46	0.08	3600	0.53	14.01	19.1	53	0.69	10.7	>500000
H-VHS2 1	0.06	17800	3890.2	121	0.64	0.05	3500	0.08	20.69	30.3	177	1.16	39.7	>500000
H-VHS2 2	0.07	24300	622.9	167	0.87	0.07	4100	0.11	28.63	18.8	254	1.63	34.3	430300
H-VHS2 3	0.03	8100	4225.9	63	0.30	0.03	2200	0.08	8.99	93.8	58	0.51	106.5	500000
H-VHS3 1	0.03	19800	1393.6	640	0.97	0.12	3200	0.55	34.89	61.9	52	1.45	9.7	420200
V-SS8 1	0.11	59000	35.9	1507	4.84	0.27	6200	2.37	124.82	78.2	241	4.67	24.3	143900
V - SS10b 1	0.13	76100	18.0	626	2.51	0.29	8500	0.39	73.36	16.3	260	5.19	25.2	59500
V-VBS2B 1	0.08	46700	266.9	1353	2.02	0.35	7100	0.79	82.35	55.2	88	4.63	31.0	284700
V-VBS2B 2	0.07	45100	143.9	652	1.81	0.30	5300	0.64	74.81	38.2	84	4.23	30.2	284300
V-VBS2B 3	0.07	40100	335.7	538	1.73	0.28	4300	0.45	61.33	39.2	124	3.66	26.5	321500
V-SS9 1	0.15	50800	40.3	3721	7.13	0.29	2700	1.88	162.87	89.2	408	3.68	24.6	154400
KR -R	1.08	32100	4733.1	211	2.02	0.10	9500	0.68	39.11	60.5	1310	1.95	16.2	333500
KI-LP 2	0.11	77300	31.2	913	3.90	0.28	4900	0.94	122.98	119.9	249	4.93	19.0	118000
KI-LP 1	0.06	25000	1690.5	1683	1.18	0.15	9200	0.18	26.68	7.2	38	2.67	12.8	359500
NP-MB 16	0.04	13800	230.8	6457	0.48	0.10	39600	0.33	13.92	80.5	35	1.39	12.9	230600
NP-MB 17	0.04	18500	362.4	6289	0.98	0.16	8300	1.52	36.40	98.9	38	1.76	26.6	314000
NP-MB 18	0.02	3800	488.6	1065	0.65	0.09	4400	0.67	15.61	66.3	15	0.33	18.3	480400
K- HGF	0.03	26400	556.2	1218	1.05	0.20	5200	0.21	43.65	16.3	59	2.39	14.8	252500
K-HGN	0.06	29600	621.4	2667	2.22	0.20	5200	0.82	63.42	43.3	239	2.06	21.9	255400
D-BG	0.11	38400	482.0	2090	2.76	0.23	7500	1.74	61.79	63.0	177	2.99	27.0	272400
P-C	0.10	62400	109.6	682	5.19	0.35	5800	0.89	130.81	51.3	263	5.25	45.2	162600



ID uzorka	Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	K ppm	La ppm	Li ppm	Mg ppm	Mn ppm	Mo ppm	Na ppm	Nb ppm	Ni ppm	P ppm	Pb ppm
V-SS7 1	3.19	0.46	0.3	0.017	2700	10.6	3.2	1600	9180	20.56	2000	1.8	50.4	2346	13.2
V-SS7 2	15.11	<0.05	0.4	0.056	17200	68.5	41.9	4300	36554	4.03	5000	10.4	220.0	>10000	44.1
V-SS7 3	9.17	0.07	1.2	0.031	9500	19.8	11.7	2900	2795	14.45	4000	7.2	174.7	4470	70.2
H-DS3 1	1.38	0.43	0.1	0.007	900	5.9	1.3	1300	2890	22.50	<2000	0.7	36.2	1756	4.4
H-DS1 1	2.11	0.40	0.2	0.012	1700	7.2	2.4	1300	3243	17.78	<2000	1.3	209.2	1807	3.6
H-DS1 2	2.18	0.29	0.2	0.011	1900	7.6	3.3	1500	7166	20.39	<2000	1.2	150.0	3308	4.4
H-DS1 3	1.89	0.30	0.2	0.009	1700	7.2	2.5	1600	5677	13.52	<2000	1.2	198.5	2190	3.6
H-VHS2 1	6.10	0.67	0.4	0.015	4800	10.4	6.6	2000	407	33.57	3000	3.4	410.9	3093	5.3
H-VHS2 2	6.77	0.11	0.5	0.020	6400	14.3	8.3	2800	717	13.27	4000	5.1	874.2	2011	7.2
H-VHS2 3	5.55	0.78	0.2	0.007	2000	4.6	4.4	1100	119	75.66	<2000	1.5	231.4	2109	2.2
H-VHS3 1	4.68	<1	0.4	0.020	5000	16.2	6.8	2000	9534	34.42	4100	3.3	120.7	3377	7.3
V-SS8 1	15.80	<0.05	0.5	0.062	14500	71.3	20.0	2900	29441	13.05	<2000	10.1	973.9	>10000	38.6
V - SS10b 1	16.83	<0.05	0.5	0.068	18900	36.5	27.0	7900	1145	2.34	10000	8.5	360.3	8638	22.0
V-VBS2B 1	11.63	0.06	0.7	0.046	7300	46.8	23.5	3800	42500	6.31	4000	5.9	241.0	1237	27.1
V-VBS2B 2	11.14	0.05	0.6	0.044	7700	38.0	22.1	3700	12245	4.60	4000	5.8	103.5	3304	19.0
V-VBS2B 3	9.26	0.08	0.5	0.040	6700	35.1	16.1	3100	13464	9.72	4000	5.0	358.3	2205	17.1
V-SS9 1	15.27	0.07	0.6	0.064	11500	72.5	24.2	2100	42615	6.39	<2000	9.8	1232.6	7945	50.7
KR -R	9.14	0.08	0.3	0.031	8800	24.6	8.2	5300	235	13.31	3000	6.6	969.6	1392	31.4
KI-LP 2	18.03	0.05	0.7	0.072	20000	42.8	33.1	4600	26167	7.67	6000	12.2	678.4	>10000	35.2
KI-LP 1	6.26	0.18	0.3	0.025	6600	13.9	14.8	4500	27067	19.09	<2000	3.2	27.6	9336	16.1
NP-MB 16	3.32	0.06	0.2	0.015	3600	7.3	9.9	4000	>100000	10.97	<2000	1.7	62.2	2882	10.0
NP-MB 17	5.23	0.06	0.4	0.021	3800	19.9	14.9	3100	>100000	21.63	<2000	2.8	148.5	3302	9.7
NP-MB 18	1.54	0.10	0.2	0.006	1100	8.8	1.9	1600	52027	27.29	<2000	0.9	81.8	4764	11.2
K- HGF	6.26	<1	0.4	0.021	5400	20.1	11.7	3000	11054	15.66	4900	3.4	107.6	3028	12.2
K-HGN	7.70	<0.05	0.4	0.026	6000	28.3	13.7	2900	22594	20.96	<2000	4.8	627.5	2547	18.9
D-BG	9.80	0.11	0.4	0.039	7900	31.0	20.5	4400	33279	6.68	<2000	6.0	527.6	9069	25.2
P-C	17.19	0.14	0.8	0.062	14300	52.1	33.7	5800	4307	4.09	7000	9.7	706.5	9115	70.9

ID uzorka	Rb	Re	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
V-SS7 1	24.8	0.004	200	1.3	3.7	<1	0.6	31.1	0.19	<0.05	2.7	500	0.41	2.0	49	1.0	11.6	36	14.2
V-SS7 2	73.2	0.004	400	1.2	11.5	<1	2.5	126.6	0.84	0.27	10.7	3400	0.49	2.5	124	1.9	55.9	358	12.4
V-SS7 3	49.8	0.003	600	2.0	7.2	<1	1.7	61.1	0.56	<0.05	5.8	2300	0.25	2.1	76	1.5	14.6	47	40.8
H-DS3 1	5.7	0.003	100	1.2	2.0	<1	0.2	28.1	0.08	<0.05	1.0	200	0.09	0.6	41	0.6	9.9	13	7.1
H-DS1 1	11.0	0.003	100	1.0	2.6	<1	0.4	19.9	0.13	0.09	1.9	400	0.12	0.6	54	0.8	8.5	21	10.3
H-DS1 2	15.5	0.003	100	1.5	2.3	<1	0.4	33.5	0.13	0.09	1.9	400	0.23	1.4	53	0.5	7.4	37	8.0
H-DS1 3	11.6	0.003	100	1.3	2.1	<1	0.4	24.9	0.11	0.13	1.6	300	0.15	0.7	64	0.7	8.0	41	7.7
H-VHS2 1	25.8	0.004	1200	2.5	3.2	<1	1.0	35.3	0.30	<0.05	2.7	1000	0.10	0.7	48	1.5	5.8	24	13.7
H-VHS2 2	35.1	0.003	1000	1.4	4.2	<1	1.2	46.7	0.42	<0.05	3.6	1600	0.15	1.0	42	1.4	8.3	46	18.1
H-VHS2 3	11.1	0.005	900	4.8	1.6	<1	1.4	16.9	0.14	<0.05	1.3	400	0.05	0.4	28	0.8	2.9	12	8.6
H-VHS3 1	32.6	0.005	<100	1.1	5.1	<1	0.8	55.8	0.24	<0.05	3.9	1100	0.62	0.7	63	1.1	14.4	64	14.8
V-SS8 1	97.2	0.002	200	1.7	10.7	<1	2.4	122.8	0.82	0.08	10.5	3500	0.87	3.1	161	1.8	58.9	326	15.0
V - SS10b 1	100.7	<0.002	<100	0.7	14.1	<1	2.0	155.3	0.76	<0.05	10.8	3800	0.55	1.5	101	2.2	19.7	149	17.0
V-VBS2B 1	59.7	0.003	300	2.1	9.6	<1	1.8	52.3	0.49	0.13	8.4	1800	0.56	2.7	77	1.3	25.8	49	23.2
V-VBS2B 2	59.0	0.004	100	1.9	9.3	<1	1.7	49.5	0.48	0.09	8.0	1900	0.44	1.6	75	1.3	23.1	65	20.2
V-VBS2B 3	50.8	0.003	200	2.0	8.2	<1	1.5	41.4	0.44	<0.05	7.1	1600	0.43	1.8	70	1.2	21.8	44	17.5
V-SS9 1	78.7	0.003	200	1.7	9.6	<1	2.1	105.6	0.87	0.25	12.6	3300	1.13	5.4	189	2.3	50.7	239	20.2
KR -R	39.3	0.002	600	14.7	8.2	2	1.6	48.4	0.58	<0.05	5.6	2200	0.35	1.9	154	1.8	33.9	62	10.5
KI-LP 2	94.9	0.002	200	1.2	13.5	<1	3.1	101.1	1.01	0.17	14.6	4100	1.35	4.6	144	2.1	20.2	230	26.7
KI-LP 1	38.6	0.003	100	0.5	6.0	<1	1.1	112.3	0.27	<0.05	3.9	1000	0.25	0.7	45	8.4	17.2	31	9.6
NP-MB 16	23.3	0.002	600	1.2	3.0	<1	0.7	1209.4	0.13	<0.05	2.4	500	0.25	2.7	30	0.4	6.2	24	8.5
NP-MB 17	25.5	0.003	500	2.3	4.6	<1	0.8	769.7	0.21	0.07	3.4	800	0.43	3.6	49	0.9	16.2	35	15.6
NP-MB 18	5.3	0.003	200	2.2	1.9	<1	0.2	183.4	0.06	0.12	1.1	200	0.15	2.2	36	0.8	10.0	35	7.9
K- HGF	36.5	0.003	100	1.2	5.1	<1	1.0	76.3	0.24	<0.05	5.2	1100	0.26	1.0	47	1.7	15.2	34	12.8
K-HGN	32.4	0.004	200	2.1	6.0	<1	1.2	85.3	0.36	0.13	4.5	1400	0.33	1.5	80	2.0	20.0	41	15.8
D-BG	49.6	0.004	400	2.5	7.8	1	1.6	110.4	0.49	<0.05	6.3	1800	0.56	3.3	80	1.5	19.2	125	14.2
P-C	105.8	0.003	200	2.1	13.7	1	2.5	95.9	0.77	0.10	12.6	3000	0.59	3.9	185	2.2	32.8	125	30.4

Tablica 2. Uzorci talioničke i kovačke zgure, elementna analiza (glavni elementi i elementi u tragovima) (ICP–IMS 230)

ID UZORKA	Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca %	Cd ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Cu ppm	Fe %	Ga ppm
VS S7VK 3	0.04	2.01	397.1	250	1.31	0.04	1.59	0.04	32.16	16.8	76	0.91	34.4	45.99	5.11
VS S7VK 4	0.04	2.65	648.6	257	1.28	0.06	0.77	0.09	31.96	27.6	111	1.36	102.4	35.85	6.75
VS S7VK 1	0.02	1.45	2208.2	217	0.84	0.02	1.57	0.02	19.97	64.7	70	0.44	83.6	>50	5.70
VS S7VK 2	0.03	1.76	1242.0	174	1.00	0.04	0.85	0.07	24.42	33.6	116	0.85	1421.1	49.86	5.45
VS S7 T ZDP 1	0.03	2.50	34.1	383	1.52	0.03	2.44	0.07	37.51	2.3	104	0.92	16.6	43.67	5.63
VS S7 T IZ 1	0.02	2.62	1.8	424	2.09	0.05	0.85	<0.02	50.33	2.2	154	1.29	7.7	49.85	4.78
VS S8 K 4	0.02	2.54	21.2	400	1.85	0.03	1.36	0.23	54.22	2.1	104	0.85	11.7	47.40	6.16
VS S8 K 2	0.02	2.08	44.2	545	1.40	0.03	1.96	0.14	34.43	3.8	67	0.71	21.5	>50	6.20
VS S8 K 6	0.02	2.04	551.3	234	1.19	0.02	1.28	0.03	33.02	16.5	77	1.06	40.4	49.24	6.55
VS S8 K 7	0.01	2.21	446.1	262	1.41	0.01	1.81	0.02	41.30	14.2	65	1.14	35.3	47.95	5.09
VS S8 K 3	0.03	2.20	489.5	391	1.01	0.03	1.55	0.16	28.94	33.5	84	1.03	99.3	44.39	6.21
VS S10B K 1	0.04	1.98	263.0	197	0.86	0.05	0.69	0.06	25.98	11.9	75	0.94	35.5	48.71	5.92
VS S7 ZUP 1	0.03	2.01	441.7	185	1.09	0.04	0.58	0.09	32.63	12.2	58	0.91	28.9	44.25	5.43
VS S7 K 1	0.02	1.68	574.7	202	0.95	0.02	1.30	0.13	25.76	23.9	71	0.65	45.7	>50	5.36
VS S7 K 2	0.02	1.55	570.6	198	0.85	0.02	1.49	0.18	24.03	15.1	56	0.59	43.4	>50	4.03
VVB S3 T ZDP 1	0.02	4.02	51.9	339	2.10	0.03	1.56	0.06	66.47	5.2	116	2.20	21.6	43.10	8.70
VVB S3 T ZDP 2	0.01	3.02	86.5	250	1.82	<0.01	1.26	0.02	52.79	8.3	90	1.26	32.3	>50	7.85
VVB S3 T ZDP 7	0.02	3.39	11.6	409	2.16	0.02	1.81	0.03	62.32	2.8	101	1.70	10.0	48.28	7.01
VVB S3 T ZDP 3	0.03	2.91	107.1	264	1.51	0.03	1.11	0.03	50.14	10.1	69	1.47	26.8	>50	7.77
VVB S3 T ZDP 4	0.02	4.43	117.8	417	2.10	0.02	1.36	0.10	59.99	5.7	90	2.63	23.8	42.12	8.71
VVB S3 T IZ 1	0.02	4.38	6.1	827	2.47	<0.01	1.31	<0.02	82.92	2.3	125	2.91	7.2	43.56	6.83
VVB S3 T ZDP 5	0.01	4.33	74.9	329	1.81	0.02	1.56	0.04	55.16	8.3	98	2.86	22.4	45.74	9.69
VVB S3 T IZ 2	0.01	5.42	12.6	1252	4.14	<0.01	16.67	0.02	125.18	1.8	116	2.03	5.8	16.18	3.13
VVB S3 T ZDP 6	0.01	2.41	668.4	185	1.15	0.01	1.05	0.03	36.75	22.5	70	0.94	43.2	>50	6.71
VVB S2A K 3	0.01	2.49	1601.7	117	0.95	0.02	0.53	0.04	29.86	21.4	51	1.00	48.5	>50	7.88
VVB S2B K 1	0.03	3.67	460.3	235	1.33	0.03	1.54	0.06	47.82	20.4	55	2.41	57.8	43.76	10.42
VVB S2A K 1	0.02	3.24	73.9	239	1.23	0.05	1.20	0.06	43.63	5.2	63	2.12	20.3	48.51	9.62
VVB2a T IZ 1	0.02	3.93	14.5	443	2.12	0.02	1.29	<0.02	66.41	2.4	88	2.66	8.4	45.89	7.21
VVB2a T IZ 2	0.02	3.64	7.1	506	2.07	<0.01	1.34	<0.02	67.93	1.8	96	2.53	7.5	47.51	6.81
VVB S1 T ZDP 1	0.02	2.88	106.5	551	1.45	0.04	1.25	0.04	47.68	12.4	69	1.77	38.2	42.41	7.26
HD K 1	0.01	2.86	13.4	446	1.52	0.03	1.77	<0.02	46.44	1.8	69	1.87	6.9	41.11	4.35
HD K 2	0.02	2.45	24.0	332	1.17	0.05	1.09	0.03	36.96	3.3	82	1.59	7.6	48.01	5.27
HD K 3	<0.01	2.38	15.2	439	1.07	0.03	4.61	0.05	37.58	2.9	57	0.97	8.0	40.52	3.45
HD K 4	0.02	2.94	10.8	338	1.20	0.04	1.18	0.03	41.20	5.8	79	1.81	7.9	43.84	6.26
VS S7 T IZ 2	0.03	2.75	2.3	471	2.31	0.03	1.83	0.02	62.51	1.1	121	1.58	5.3	39.95	4.83
VS S7 T IZ 3	0.01	2.12	14.7	247	1.60	0.03	1.31	<0.02	43.83	4.7	102	1.14	11.6	>50	4.55
VS S7 T IZ 4	<0.01	2.33	4.0	241	1.76	0.03	1.94	<0.02	51.39	1.1	108	0.75	4.0	46.39	3.26
VS S7 T IZ 5	0.01	3.72	2.5	465	2.52	0.02	1.23	<0.02	88.15	0.9	164	2.22	4.7	38.09	4.53
VS S10B K 2	<0.01	2.13	104.2	261	1.07	0.03	1.70	0.03	34.92	3.4	63	0.84	18.1	46.95	5.10
VS S7 B	0.02	2.34	1152.2	455	1.23	0.06	0.87	0.13	45.22	17.6	248	1.37	36.2	37.83	8.17
VS S5 T IZ 3	<0.01	2.88	5.9	740	1.90	0.03	0.73	<0.02	73.57	7.1	71	1.67	14.9	43.09	6.51
VS S5 T IZ 1	<0.01	3.55	3.0	535	1.98	0.02	0.94	<0.02	81.00	2.4	145	2.08	7.2	36.35	6.61
VS S5 T IZ 4	<0.01	3.37	34.8	566	2.20	0.04	1.93	0.04	79.14	2.8	112	1.77	7.8	36.47	4.81
VS S5 T IZ 2	0.02	2.77	48.7	496	1.60	0.04	1.04	0.04	60.62	4.1	71	1.65	10.0	43.18	5.99
HVH K 3	0.03	1.79	276.2	156	1.45	0.04	0.80	0.04	32.86	13.4	60	0.73	29.1	>50	4.19
HVH K 2	0.04	1.97	372.0	217	1.04	0.04	1.05	0.03	30.15	15.6	67	0.82	29.6	>50	5.11
HVH T IZ 2	0.04	2.90	5.2	354	2.10	0.02	1.43	<0.02	52.17	1.2	107	1.04	6.1	49.24	3.83
HVH K 7	0.05	2.93	51.0	249	1.94	0.05	2.56	0.06	47.71	3.6	84	1.13	16.3	47.08	5.62
HVH T ZDP 3	0.05	2.77	356.9	353	1.24	0.04	1.11	0.06	37.70	14.2	75	1.14	39.7	47.56	7.47
HVH T IZ 5	0.05	3.18	2.7	787	2.79	0.02	1.65	<0.02	75.46	2.0	113	1.54	9.5	46.22	5.10
HVH K 8	0.03	1.65	325.3	162	1.31	0.05	1.05	0.09	30.35	8.1	62	0.60	29.8	>50	4.08
HVH T IZ 3	0.06	3.26	11.6	400	2.63	0.02	0.96	<0.02	75.52	2.5	139	1.40	8.4	46.94	5.11
HVH T IZ 6	0.04	2.84	6.7	760	3.08	0.03	1.51	<0.02	78.72	1.3	97	1.24	8.3	48.18	4.68
HVH T IZ 8	0.04	2.20	3.9	509	2.12	0.04	1.20	0.03	56.58	1.4	104	0.97	7.9	48.86	4.18
HVH T ZUP 4	0.06	2.69	22.9	613	2.23	0.04	1.27	0.06	65.23	7.5	82	1.41	19.7	44.20	5.18
HVH T IZ 4	0.05	3.62	13.8	587	2.87	0.02	1.70	<0.02	67.87	2.7	121	1.91	8.2	41.89	5.21
HVH K 9	0.04	2.12	440.1	174	1.19	0.04	1.57	0.10	28.03	14.9	57	0.93	49.8	49.93	5.40
HVH K 10	0.05	3.70	633.5	242	1.43	0.05	1.72	0.07	42.20	22.3	72	2.04	37.3	37.59	8.81
HVH T ZDP 1	0.05	2.47	43.8	278	1.78	0.15	1.16	0.10	42.52	2.2	107	0.83	12.5	>50	3.65
HVH T ZUP 1	0.08	2.51	86.5	246	1.56	0.03	0.98	0.03	41.20	5.1	125	0.96	18.7	45.99	4.99
HVH T IZ 1	0.05	2.46	16.5	259	1.72	0.20	0.69	<0.02	59.15	3.5	133	1.02	10.6	>50	5.07
HVH T ZDP 2	0.05	2.74	6.4	291	2.52	0.02	1.49	<0.02	63.33	1.8	135	1.26	8.1	>50	5.19
HVH T ZDP 4	0.06	3.32	39.7	327	2.13	0.10	1.39	0.03	53.67	2.3	102	1.38	9.5	41.07	4.88
HVH K 4	0.04	2.24	177.3	180	1.55	0.09	0.63	0.05	38.57	10.3	93	1.11	24.6	47.22	5.09
HVH K 6	0.04	2.19	748.4	233	1.05	0.02	1.90	0.05	31.04	24.3	65	0.78	79.7	47.19	6.27
HVH T ZUP 2	0.04	2.71	4.6	301	2.00	0.02	1.14	<0.02	47.81	1.6	91	0.98	8.3	49.36	3.85
HVH T SKL 1	0.13	4.72	10.9	355	1.97	0.10	1.03	0.03	60.89	7.0	168	2.50	13.6	27.96	10.05
HVH K 1	0.04	2.43	30.7	553	1.57	0.06	3.75	0.03	44.14	5.5	84	0.82	21.3	>50	6.39

ID UZORKA	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm	Ba ppm	Ce ppm	Cr ppm	Cs ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Ga ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	La ppm
VS S7 VK 3	15.7	11	54.9	328.8	35.6	73	1.05	2.56	1.53	0.66	5.1	2.68	2.1	0.52	17.0
VS S7 VK 4	13.4	26	31.6	327.1	34.9	116	1.60	2.63	1.53	0.61	6.8	2.56	3.2	0.52	16.9
VS S7 VK 1	9.8	<5	44.3	256.9	21.9	54	0.43	1.74	1.01	0.41	3.9	1.76	0.8	0.34	10.6
VS S7 VK 2	11.4	14	43.3	210.3	25.7	74	0.89	1.85	1.13	0.45	4.3	2.09	1.7	0.38	12.6
VS S7 T ZDP 1	18.2	10	95.2	526.9	44.0	106	1.10	3.03	1.74	0.76	5.8	3.14	2.7	0.60	21.3
VS S7 T IZ 1	23.6	10	91.6	540.1	55.9	135	1.43	3.83	2.19	1.00	4.7	4.12	2.1	0.77	27.2
VS S8 K 4	32.6	17	86.2	524.5	59.9	89	0.92	4.99	3.05	1.13	5.7	5.19	1.8	1.01	28.1
VS S8 K 2	16.2	18	61.4	701.5	37.4	51	0.79	2.55	1.40	0.66	5.4	2.61	1.7	0.49	19.1
VS S8 K 6	15.0	8	68.2	301.8	35.7	57	1.22	2.40	1.38	0.58	5.5	2.50	1.6	0.49	16.8
VS S8 K 7	19.7	6	92.6	339.6	46.1	54	1.26	3.24	1.81	0.76	4.4	3.40	2.3	0.61	22.9
VS S8 K 3	11.8	29	49.0	501.9	31.1	72	1.05	2.10	1.24	0.50	5.9	2.23	1.9	0.44	15.5
VS S10B K 1	10.9	17	36.7	244.5	27.4	64	1.01	1.99	1.10	0.46	5.3	2.02	2.5	0.41	13.4
VS S7 ZUP 1	14.5	15	45.6	235.2	36.3	50	1.00	2.43	1.34	0.61	5.0	2.65	2.4	0.45	17.0
VS S7 K 1	11.3	28	51.8	249.5	25.9	45	0.70	1.76	1.03	0.44	4.0	1.92	1.3	0.33	12.5
VS S7 K 2	11.7	34	56.1	249.2	24.6	34	0.68	1.74	0.98	0.42	3.2	1.78	1.2	0.36	12.2
VVB S3 T ZDP 1	32.4	11	98.9	447.7	70.9	111	2.38	5.41	3.13	1.24	8.3	5.84	2.5	1.07	35.2
VVB S3 T ZDP 2	28.2	<5	84.0	317.6	54.1	59	1.34	4.33	2.43	1.02	5.8	4.31	1.5	0.85	26.3
VVB S3 T ZDP 7	29.1	26	88.9	518.8	61.0	83	1.69	4.38	2.62	1.10	6.6	4.61	2.2	0.89	29.3
VVB S3 T ZDP 3	24.7	7	82.9	330.2	51.1	49	1.48	3.78	2.14	0.91	6.2	4.05	1.7	0.72	24.8
VVB S3 T ZDP 4	28.7	9	102.2	526.5	65.5	85	2.70	4.63	2.64	1.11	8.5	5.02	2.3	0.92	31.7
VVB S3 T IZ 1	35.3	8	109.9	1018.1	79.7	125	2.90	5.39	2.98	1.41	6.9	5.93	3.0	1.05	39.2
VVB S3 T ZDP 5	27.6	11	97.1	410.0	57.3	90	2.82	4.26	2.47	1.07	9.1	4.64	2.4	0.86	28.6
VVB S3 T IZ 2	67.1	<5	155.4	1388.4	107.5	160	1.71	9.64	5.84	2.33	4.6	10.27	1.7	1.99	54.2
VVB S3 T ZDP 6	17.4	<5	70.2	237.1	36.2	46	0.92	2.60	1.50	0.66	5.3	2.74	1.5	0.52	17.1
VVB S2A K 3	12.6	6	43.6	145.2	29.9	38	0.96	1.94	1.15	0.56	6.5	2.34	1.1	0.40	14.7
VVB S2B K 1	20.8	12	93.4	289.3	45.7	41	2.35	3.27	1.87	0.82	8.3	3.59	1.9	0.66	22.1
VVB S2A K 1	16.9	13	58.1	292.5	41.7	51	2.02	2.82	1.51	0.75	8.2	3.22	1.9	0.54	19.8
VVB2a T IZ 1	29.5	14	91.1	566.9	65.0	82	2.54	4.55	2.69	1.14	7.1	5.02	2.3	0.96	31.4
VVB2a T IZ 2	30.5	14	94.9	645.4	65.6	95	2.40	4.67	2.63	1.18	6.9	4.97	2.2	0.89	31.6
VVB S1 T ZDP 1	19.0	13	66.2	697.8	45.8	72	1.65	3.21	1.74	0.77	7.7	3.35	2.5	0.63	21.9
HD K 1	27.0	8	104.0	589.4	50.2	87	1.98	4.03	2.54	0.95	5.3	4.30	2.4	0.80	24.6
HD K 2	20.5	12	90.8	425.8	38.7	122	1.65	3.05	2.02	0.73	7.2	3.40	2.6	0.66	19.0
HD K 3	20.2	7	83.4	560.7	36.8	67	1.02	2.76	1.87	0.71	4.7	3.12	0.9	0.61	18.0
HD K 4	20.0	15	88.7	441.6	45.7	101	1.85	3.30	2.09	0.78	7.8	3.74	2.4	0.70	23.0
VS S7 T IZ 2	35.0	<5	101.6	621.0	64.7	146	1.57	5.09	3.32	1.17	6.1	5.84	1.9	1.04	33.1
VS S7 T IZ 3	24.4	11	82.3	311.3	46.2	140	1.16	3.64	2.33	0.89	6.3	4.24	1.6	0.77	22.4
VS S7 T IZ 4	28.2	<5	84.0	305.2	53.6	145	0.71	4.42	2.78	1.03	4.6	4.84	1.6	0.89	25.8
VS S7 T IZ 5	43.0	8	136.3	574.1	89.6	184	2.20	6.56	3.96	1.68	5.9	7.36	3.1	1.35	40.1
VS S10B K 2	16.8	<5	85.6	333.0	36.7	82	0.81	2.69	1.72	0.61	6.5	2.93	2.1	0.55	18.1
VS S7 B	19.8	18	59.6	573.0	46.3	267	1.37	3.28	2.02	0.84	9.6	3.83	2.2	0.68	22.4
VS S5 T IZ 3	31.8	24	105.3	974.6	74.9	89	1.65	5.01	3.01	1.34	7.9	5.90	2.6	1.02	36.0
VS S5 T IZ 1	36.7	19	110.3	698.7	83.8	170	2.08	6.37	3.91	1.62	8.4	7.13	3.2	1.31	39.8
VS S5 T IZ 4	33.9	6	116.6	724.8	79.5	125	1.75	5.66	3.22	1.48	6.5	6.61	3.0	1.11	37.8
VS S5 T IZ 2	25.5	19	85.7	637.8	60.9	87	1.63	4.23	2.43	1.15	7.4	4.97	2.2	0.86	29.3
HVH K 3	18.1	12	48.1	173.9	36.5	86	0.77	3.25	2.06	0.82	4.8	3.48	1.9	0.68	17.9
HVH K 2	13.2	19	49.5	238.2	32.9	97	0.83	2.61	1.55	0.64	6.1	2.90	1.5	0.50	16.3
HVH T IZ 2	23.8	6	103.4	413.7	57.9	151	1.09	4.48	2.68	1.23	4.3	5.12	2.4	0.89	28.0
HVH K 7	20.9	14	104.1	274.4	49.9	95	1.05	3.69	2.22	0.95	5.5	4.09	2.0	0.75	23.6
HVH T ZDP 3	14.0	23	91.1	369.8	39.1	79	1.10	2.81	1.62	0.72	7.4	3.09	2.6	0.53	19.4
HVH T IZ 5	33.3	17	107.7	889.5	80.1	157	1.67	5.71	3.43	1.58	5.5	6.54	2.3	1.15	36.0
HVH K 8	15.4	13	57.2	183.2	33.5	78	0.58	2.82	1.76	0.72	4.3	3.12	1.4	0.56	16.3
HVH T IZ 3	40.8	8	117.1	436.4	78.9	178	1.35	6.42	4.06	1.72	5.4	7.25	2.5	1.37	36.1
HVH T IZ 6	43.6	18	105.3	920.3	90.4	115	1.39	7.32	4.57	2.01	4.9	8.39	1.9	1.59	42.4
HVH T IZ 8	32.5	14	77.8	563.8	60.5	125	1.03	5.10	3.36	1.29	4.6	5.59	1.7	1.10	29.1
HVH T ZUP 4	35.4	24	89.4	710.9	72.2	101	1.44	5.89	3.69	1.58	6.0	6.20	2.1	1.24	33.3
HVH T IZ 4	30.7	12	115.0	671.4	71.8	159	1.88	5.52	3.42	1.45	6.0	6.10	2.5	1.13	33.4
HVH K 9	12.3	27	58.2	194.7	29.8	69	0.93	2.28	1.46	0.63	5.8	2.62	1.2	0.48	14.9
HVH K 10	13.7	38	53.1	247.7	41.2	80	1.87	2.89	1.72	0.77	9.1	3.24	3.1	0.58	20.4
HVH T ZDP 1	19.3	44	83.8	292.4	44.4	120	0.89	3.41	2.15	0.95	3.8	3.98	1.6	0.67	21.5
HVH T ZUP 1	16.7	56	68.1	269.9	44.6	165	1.04	3.51	2.05	0.97	5.5	3.90	2.3	0.70	21.1
HVH T IZ 1	34.6	26	102.2	286.3	62.2	156	1.08	5.57	3.62	1.46	5.4	6.21	1.8	1.20	29.3
HVH T ZDP 2	33.1	11	102.2	297.8	61.6	166	1.25	5.44	3.30	1.35	5.3	5.76	1.8	1.07	29.2
HVH T ZDP 4	22.9	20	94.7	377.6	59.4	133	1.50	4.70	2.76	1.29	6.0	5.17	2.8	0.96	28.2
HVH K 4	20.0	20	48.2	217.2	44.7	131	1.21	4.09	2.64	1.01	6.3	4.62	2.3	0.85	22.4
HVH K 6	13.8	16	92.1	250.9	32.5	82	0.76	2.53	1.57	0.65	6.6	2.63	1.8	0.50	16.0
HVH T ZUP 2	21.5	11	91.7	346.6	51.5	117	1.05	4.13	2.53	1.14	4.4	4.55	1.9	0.80	25.3
HVH T SKL 1	19.1	130	71.6	397.2	65.6	213	2.55	4.32	2.65	1.24	11.5	5.10	5.4	0.89	32.1
HVH K 1	19.1	6	92.3	631.8	47.6	96	0.86	3.55	2.04	0.99	7.0	3.97	1.4	0.72	24.0

## Makroskopska obrada - zgura s dna kovačke peći i jamske peći

Lokalitet - Sonda - SJ	Datacija	N-U	Oblik funkcionalno	Oblik-T-kategorija	Oblik-P-kategorija	Slojnost	Inkluzije Fe /sfere/listići	Širina/cm	Dužina	Visina/debljina	Spljoštenost )(kod mogućih)	Izduženost (kod mogućih)	Težina ulomak	Očuvanost - udio očuvan %	Ukupna masa	Kategorija težina/veličina-interno unutar cjeline	Magnetno	
V-S 7 337	kraj 4/5.st.	416/ 12	1_2_3	1_is	B	2		6,00	6,00	1,70	3,53	1,00	65	85	76	1	blago	
V-S 7 337		416/ 13	1_2_3	1_is	B	1		6,00	6,00	1,90	3,16	1,00	48	45	107	1	da	
V-S 7 001/288		277/ 2	4_5	4b	A_B	1		7,50	6,40	2,20	3,16	1,17		100	0	1	blago	
V-S 7 337		387/ 9	1_2_3	1	E	1		8,00	8,00	2,20	3,64	1,00	64	25	256	1	da	
V-S 7 317		305/3/ 13	4_5	4a	A	2	da	12,00	12,00	2,20	5,45	1,00	111	45 - 80%				
V-S 7 348		471/2/ 13	1_2_3	3_is	A	1		8,00	4,80	2,40	2,67	1,67	72	100	72	1		
V-S 7 317		354/2/ 30	1_2_3	1	C	2	da	6,80	6,00	2,40	2,67	1,13	344	100	344	1	vrlo	
V-S 7 317		354/1 / 14	1_2_3	1	E	1		7,70	7,30	2,50	3,00	1,05	60	45	133	1	blago	
V-S 7 314		295/1/ 7	1_2_3	1_is	A	1		5,10	4,30	2,50	1,88	1,19	71	50	142	1		
V-S 7 340		423/ 4	4_5	4a	B	1	da	7,60	6,30	2,60	2,67	1,21	236	90	262	1	vrlo	
V-S 7 340		423/ 4	4_5	4a-b	A_B	1		7,60	7,00	2,60	2,81	1,09	236	75	315	1	da	
V-S 7 314		295/ 82	4_5	4a	A_B	1	da	10,60	9,60	2,70	3,74	1,10	135	50	270	1		
V-S 7 345		459/2/ 11	4_5	4a_is	A	1		8,30	8,30	2,70	3,07	1,00	142	45	316	1		
V-S 7 317		305/3/ 12	1_2_3	2	A	1		5,60	4,40	2,80	1,79	1,27	63	100	63	1		
V-S 7 317		305/1/ 29	1_2_3	1	B	1		10,00	10,00	2,80	3,57	1,00	98	25	392	2		
V-S 7 317		305/3/ 11	1_2_3	2	B	3	da	8,20	6,50	2,90	2,53	1,26	172	100	172	1		
V-S 7 314		295/6/ 79	1_2_3	3	C	1		7,20	8,00	2,90	2,62	0,90	76					
V-S 7 314		295/2/ 31	1_2_3	2	B	1		8,20	6,00	3,00	2,37	1,37	127	50	254	1		
V-S 7 317		305/4/ 50	4_5	4a	D2	1	da	7,90	4,60	3,00	2,08	1,72	136					
V-S 7 348		471/2/ 12	1_2_3	2	A	1		9,10	8,60	3,10	2,85	1,06	131	50	262	1		
V-S 7 317		354/1 / 13	1_2_3	1	A	1	sfere	12,00	10,00	3,10	3,55	1,20	198	68	291	1	da	
V-S 7 317		354/2/ 20	1_2_3	1_is	A	1		7,00	6,90	3,10	2,24	1,01	200	100	200			

Lokalitet - Sonda - SJ	Datacija	N-U	Oblik funkcionalno	Oblik-T-kategorija	Oblik-P-kategorija	Slojnost	Inkluzije Fe /sfere/listići	Širina/cm	Dužina	Visina/debjina	Spljoštenost )(kod mogućih)	Izduženost (kod mogućih)	Težina ulomak	Očuvanost - udio očuvan %	Ukupna masa	Kategorija težina/veličina-interno unutar cjeline	Magnetno
V-S 7 317		354/2/ 31	1_2_3	1	D2	1		10,50	9,50	3,20	3,13	1,11	85	25	340	1	
V-S 7 317		444/ 2	1_2_3	2	A	1		7,00	4,70	3,20	1,83	1,49	82				blago
V-S 7 327		407/ 2	4_5	4b	D3	2		10,50	7,60	3,30	2,74	1,38	186	100	186	1	
V-S 7 317		305/2/ 39	1_2_3	2	A	1	da	10,60	8,60	3,40	2,82	1,23	378	100	378	1	
V-S 7 001/323		327/ 2	1_2_3	1	A	2		5,60	5,60	3,50	1,60	1,00	74	100	74	1	
V-S 7 317		354/1 / 12	4_5	4a	D2	1		7,80	6,90	3,50	2,10	1,13	174	100	174	1	
V-S 7 348		471/2/ 11	1_2_3	1_is	A	1		9,90	9,20	3,50	2,73	1,08	277	100	277	1	da
V-S 7 314		295/16/ 131	4_5	4a	B	grumenje		12,00	7,50	3,70	2,64	1,60	400	100	400	2	
V-S 7 317		305/1/ 28	1_2_3	1	A	1		8,00	8,00	3,80	2,11	1,00	142	25	568	2	
V-S 7 317		305/ 32	4_5	4a	A_B	1	da	8,70	7,80	4,00	2,06	1,12	340	100	340	1	
V-S 7 314		295/4/ 59	1_2_3	1	A	2		11,00	11,00	4,00	2,75	1,00	530				
V-S 7 317		305/4/ 51	4_5	4a	D1	1	da	9,70	5,70	4,40	1,75	1,70	207	98	211	1	
V-S 7 317		305/3/ 9	1_2_3	2	A	3		11,40	9,30	4,70	2,20	1,23	556	95	585	2	
V-S 7 317		305/4/ 53	4_5	4a	D2	1		12,50	9,00	5,00	2,15	1,39	461	100	461	2	
V-S 7 317		305/3/ 8	1_2_3	2	A	2	da	11,90	9,80	5,50	1,97	1,21	566	100	566	2	
V-S 7 317		444/ 3	4_5	4a	D3	1		7,70	6,50	5,60	1,27	1,18	263	100	263	1	
V-S 7 314		295/4/ 58	1_2_3	1	C	2		16,00	16,00	5,90	2,71	1,00	665	60	950	3	
V-S 7 346		453/ 3	1_2_3	2	A	1	sfere	14,00	7,30	6,00	1,78	1,92	676	50	1352	3	mjestimično
V-S 7 314		295/14/ 117	4_5	4a	C	2	da	14,50	12,40	6,40	2,10	1,17	1117	95	1176	3	da
V-S 7 317		305/4/ 52	4_5	5	A	2	da	10,70	10,90	7,00	1,54	0,98	758	95	798	2	
V-S 7 314		296/1/ 5				1	da	10,90	9,80	8,00	1,29	1,11	700	100	700		
V-S 7 317		305/3/ 39	1_2_3	2	A	2	da										
V-S 7 314		296/2/ 14											92				

Lokalitet - Sonda - SJ	Datacija	N-U	Oblik funkcionalno	Oblik-T-kategorija	Oblik-P-kategorija	Slojnost	Inkluzije Fe /sfere/listići	Širina/cm	Dužina	Visina/debjina	Spljoštenost )(kod mogućih)	Izduženost (kod mogućih)	Težina ulomak	Očuvanost - udio očuvan %	Ukupna masa	Kategorija težina /veličina- interno unutar cjeline	Magnetno
V-VB 2a 116	2/2 5- poč.7.st.	260/ 1	1_2_3	1	A	2		10,60	10,40	5,20	2,02	1,02	563	95	593		
V-VB 2a 173		/ 1	4_5	4a	A	1		12,00	11,00	4,60	2,50	1,09	546	85	642		
V-S 5 214	2/2 6- 2/2 7.st.	95_2/ 4	1_2_3	1	A	1	da	9,60	7,70	3,60	2,40	1,25	417	100	417	1	
V-S 5 214		95_1/ 1	1_2_3	2_is	D3	1		11,00	9,80	5,00	2,08	1,12	421	100	421	1	
V-S 5 214		95_8/ 4	1_2_3	1_is	A_B	2	da	10,80	10,70	4,30	2,50	1,01	486	100	486	1	
V-S 5 231		96_7/ 4	1_2_3	1_is	E	1		10,00	9,80	5,50	1,80	1,02	578	100	578	1	da
V-S 5 217		107/ 3	4	4a_is	A	1		11,70	10,60	4,50	2,48	1,10	592	100	592	1	da
V-S 5 215		87_1/ 1	1_2_3	1	A	1	da	9,50	9,50	5,00	1,90	1,00	366	60	610	1	
V-S 5 231		96_8/ 3	1_2_3	1_is	A	2	da	10,40	10,20	4,80	2,15	1,02	639	100	639	1	da
V-S 5 218		120/ 7	1_2_3	1_is	A	1		11,20	11,20	4,50	2,49	1,00	648	100	648	1	da
V-S 5 214		95_5/ 1	4	4a	A	2		13,20	10,20	4,70	2,49	1,29	653	100	653	2	blago
V-S 5 214		95_1/ 2	1_2_3	1	A	1	da	12,30	11,10	3,70	3,16	1,11	588	90	653	2	
V-S 5 214		95_2/ 3	1_2_3	2	A	1		11,80	9,30	5,60	1,88	1,27	661	100	661	2	
V-S 5 214		95_2/ 2	1_2_3	2	A	1		13,80	11,70	5,70	2,24	1,18	813	100	813	2	
V-S 5 214		95_1/ 5	4	4a	A	2		13,10	10,10	6,50	1,78	1,30	877	100	877	2	
V-S 5 214		95_1/ 4	1_2_3	1_is	A	1		13,10	10,10	6,50	1,78	1,30	877	100	877	2	
V-S 5 214		95_1/ 9	1_2_3	3	A	2		15,20	12,90	7,20	1,95	1,18	1034	100	1034	3	da
V-S 5 214		95_4/ 1	1_2_3	1	A	1		15,50	16,90	5,70	2,84	0,92	1411	100	1411	3	
V-S 5 214		95_2/ 1	1_2_3	1	A	2		13,50	12,50	6,00	2,17	1,08	1372	97	1414	3	
V-S 5 231		96_11/ 1	1_2_3	3	A	2		21,00	15,00	6,50	2,77	1,40	2012	100	2012	3	
V-S 5 214		95_2/ 5	1_2_3	1	A	1							117		np.	np.	
V-S 5 214		95_1/ 3	1_2_3	2	A	1		11,80	11,20	3,00	3,83	1,05	517		np.	2	
V-S 5 215	104/ 2	1_2_3	3	C	3+									np.	3		
H-VH 1 31		64/ 1	1_2_3	2	E	1		5,40	4,50	2,00	2,48	1,20	60	100	60	1	

Lokalitet - Sonda - SJ	Datacija	N-U	Oblik funkcionalno	Oblik-T-kategorija	Oblik-P-kategorija	Slojnost	Inkluzije Fe /sfere/listići	Širina/cm	Dužina	Visina/debija	Spljoštenost )(kod mogućih)	Izduženost (kod mogućih)	Težina ulomak	Očuvanost - udio očuvan %	Ukupna masa	Kategorija težina/veličina-interno unutar cjeline	Magnetno
H-VH 2 89/90	kraj 6-sred. 7.st. (2/2 7.st.)	217/ 7	1_2_3	2	B	1		7,00	6,90	1,90	3,66	1,01	101	100	101	1	
H-VH 1 48c		89/ 1	1_2_3	2_is	C	1		11,20	6,70	3,80	2,36	1,67	164	100	164	1	
H-VH 1 45 - dno		75/ 5	1_2_3	2	A	1	sfere i izdanci	7,80	7,60	3,80	2,03	1,03	201	100	201	1	
H-VH 1 5A		128/ 7	4_5	5	A	2	listići i sfere	6,90	5,60	3,00	2,08	1,23	213	100	213	1	da
H-VH 2 89/90		213/ 6	4_5	4e	E	1		12,30	7,50	3,40	2,91	1,64	194	90	216	1	
H-VH 2 23		28/ 4	4_5	2_4b	F	1		9,80	7,40	6,30	1,37	1,32	213	95	224	1	
H-VH 1 50		83/ 2	1_2_3	2_4b	A	1		7,50	8,00	2,00	3,88	0,94	113	50	226	1	
H-VH 1 31		74/ 6	1_2_3	1	B	1		8,50	8,50	2,40	3,54	1,00	114	50	228	1	
H-VH 1 5A		128/ 5	1_2_3	3	D1	2	listići, sfere, izdanci	9,70	6,70	4,30	1,91	1,45	236	100	236	1	
H-VH 1 5A		128/ 4	4_5	5	D1	2		8,00	7,00	5,00	1,50	1,14	265	100	265	1	da
H-VH 1 5A		128/ 6	4_5	4a	A	1	listići i sfere	9,00	5,00	3,00	2,33	1,80	325	100	325	1	
H-VH 1 7		87/ 1	1_2_3	1	E	1		13,40	14,00	2,00	6,85	0,96	430	100	430	2	
H-VH 2 65(66)		169/ 2	4_5	4b	B_D1	2		10,00	11,00	6,40	1,64	0,91	298	50	596	2	
H-VH 2 99/70		187/ 25	4_5	4d	A	1		16,00	9,80	8,70	1,48	1,63	676	100	676	2	
H-VH 1 5A		128/ 2	4_5	4_is	B	1	listići	11,00	8,20	3,00	3,20	1,34	769	100	769	3	da
H-VH 1 5A		128/ 1	1_2_3	2	C	2		7,50	13,70	4,50	2,36	0,55	786	100	786	3	da
H-VH 1 5A		128/ 3	1_2_3	3_is	A	grumenje	listići	15,00	11,00	5,20	2,50	1,36	982	98	1002	3	da
H-VH 1 5A		128/ 8	1_2_3		A	2	listići i sfere	8,30	6,00	4,00	1,79	1,38	216			np.	
H-VH 1 5A		128/ 9	1_2_3	3	F								66			np.	



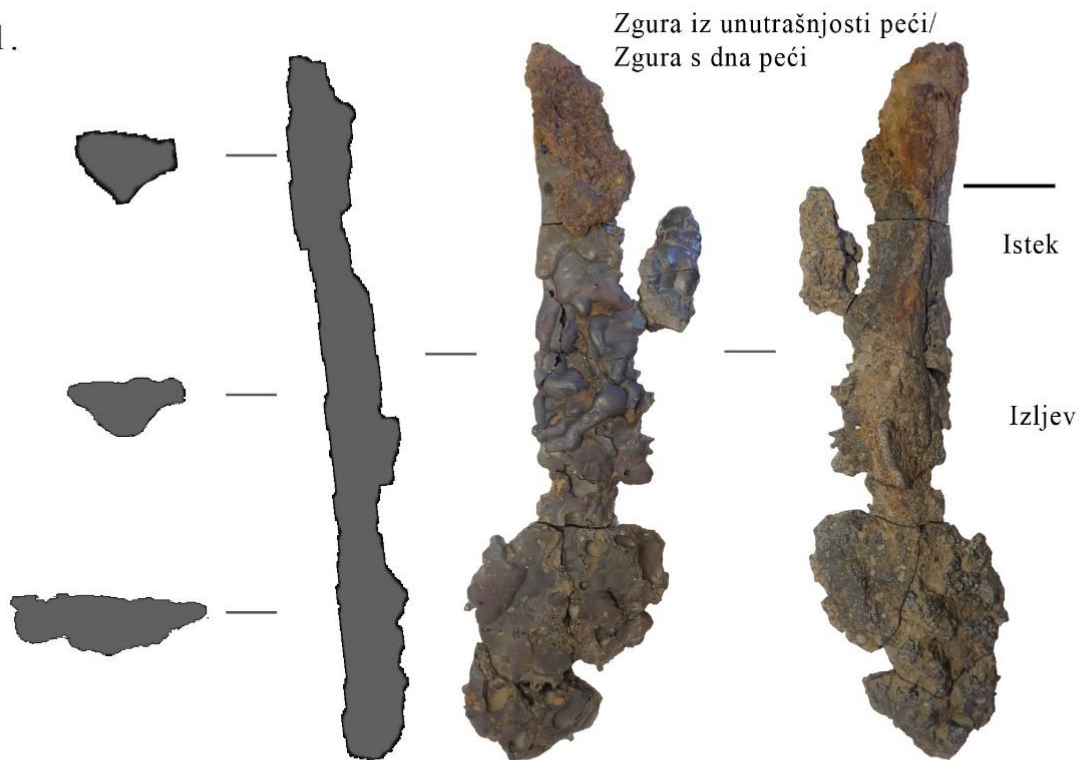
Lokalitet - Sonda - SJ	Datacija	N-U	Oblik funkcionalno	Oblik-T-kategorija	Oblik-P-kategorija	Slojnost	Inkluzije Fe /sfere/listići	Širina/cm	Dužina	Visina/debjina	Spljoštenost )(kod mogućih)	Izduženost (kod mogućih)	Težina ulomak	Očuvanost - udio očuvan %	Ukupna masa	Kategorija težina /veličina-interno unutar cjeline	Magnetno
H-VH 1 5A		128/ 10	1_2_3	3	F								128			np.	
H-VH 1 31		74/ 7											53			np.	
H-VH 1 31		74/ 5	1_2_3	2	G	2							148			np.	
H-VH 1 46 - dno		75/ 6	1_2_3	3	C	3							133			np.	
H-VH 2 109/112		251/ 5 i 8	1_2_3	1	B	2							373			np.	
H-DED 1 31b		63/ 5	1_2_3	2	B	1		13	22	7	0,59	2,50			1000	3	
H-DED 1 33a		27/ 2	1_2_3	2	D2	2		16	22	8	0,73	2,38	889	95	935-1184(ostali)	3	
V-S 10 b 001_002	2/2 7– 8.st. (3/4)	389/ 1	1_2_3	3	A	2						131	50	262			
V-S 8 315_316	8–poč. 9. st.	294/ 14	1_2_3	2	A	2		6,50	5,60	2,80	2,16	1,16	127	100	127	1	
V-S 8 315		302/ 3	4_5	4ab_is	A	2		6,50	5,70	3,90	1,56	1,14	127	50	254	1	
V-S 8 315_316		294/ 10	4_5	4ab_is	A	1		10,60	9,50	4,30	2,34	1,12	336	100	336	2	
V-S 8 315_316		294/ 11	4_5	4ab_is	A_B	2 ++		12,90	10,50	8,10	1,44	1,23	781	100	781	3	
V-S 8 318		320/ 13											61		np.		
V-S 8 318		342/ 17	4_5	4ab_is	A_B	1		10,00	6,20	3,00	2,70	1,61	161		np.		
V-VB 2b 131a		151/ 2	4_5	4ab	A	1		13,20	10,80	6,00	2,00	1,22	878	100	878		
V-VB 2b 107		114/ 1	4_5	4ac	A	1		10,00	8,20	4,50	2,02	1,22	309	100	309		
V-S 7 296 (Peć 3)	2/2 7. - 8.st.	411/1/2/3	1_2_3	1	A	2+	listići i sfere, izdanci	30,00	30,00	20,00	1	1,5	7401	100	7401		da

Lokalitet - Sonda - SJ	Datacija	N-U	Oblik funkcionalno	Oblik-T-kategorija	Oblik-P-kategorija	Slojnost	Inkluzije Fe /sfere/listići	Širina/cm	Dužina	Visina/debjina	Sploštenost )(kod mogućih)	Izduženost (kod mogućih)	Težina ulomak	Očuvanost - udio očuvan %	Ukupna masa	Kategorija težina /veličina- interno unutar cjeline	Magnetno
V-S 7 290 (Peć 1)		442/369/370/414				2+	listići i sfere, izdanci								6240		da
V-S 7 292 (Peć 2)		372/443				2+	?								1830		da
V-S 7 300 (Peć 4)		404-405/288/290/378-379				2+	?								6150		da
V-S 7 302 (Peć 5)		352/353				2+	?								2180		da

## 4. Table

# T.1.

1.



2.



3.

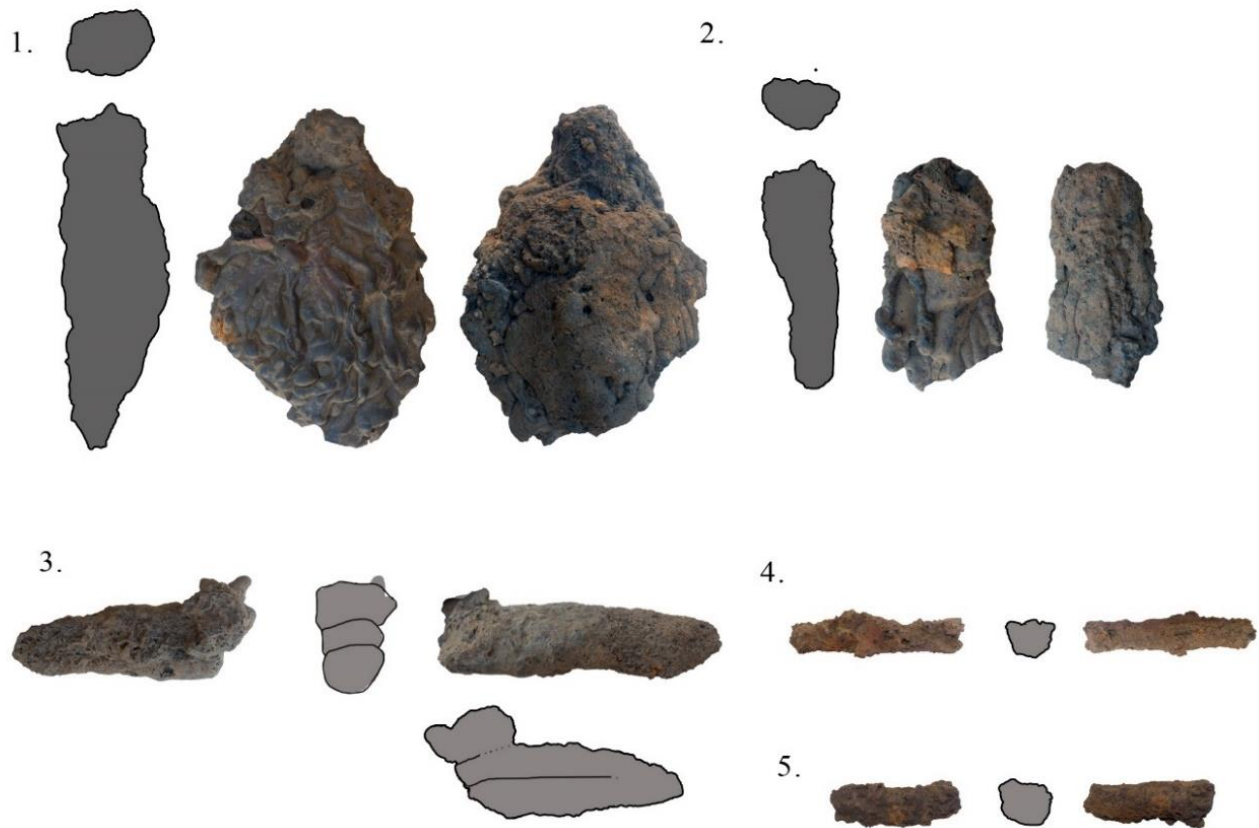


4.









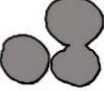
0 ■ ■ ■ 5 cm

# T.2.



6.

Veličina /oblik

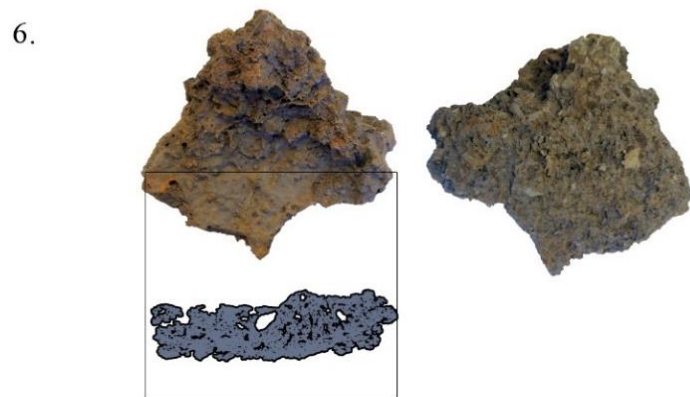
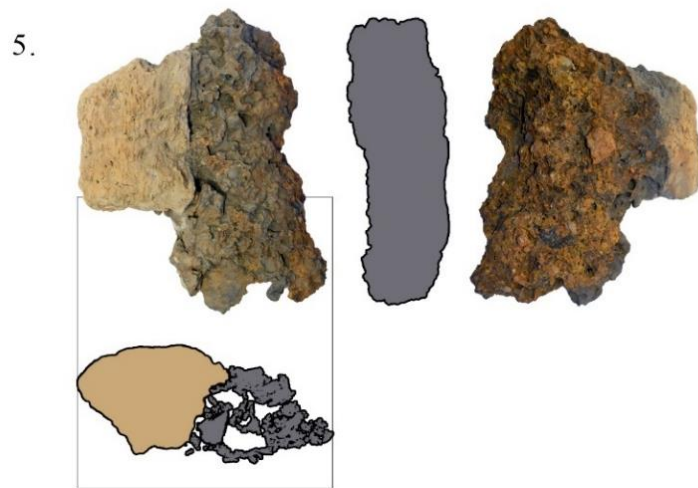
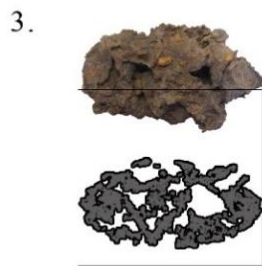
1. Jednostruk

2. Dvostruk

3. Trostruk

0  5 cm

# T.3.



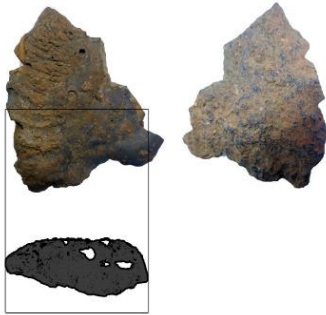
0 ■ ■ ■ 5 cm

T.4.

1.



2.



3.



4.



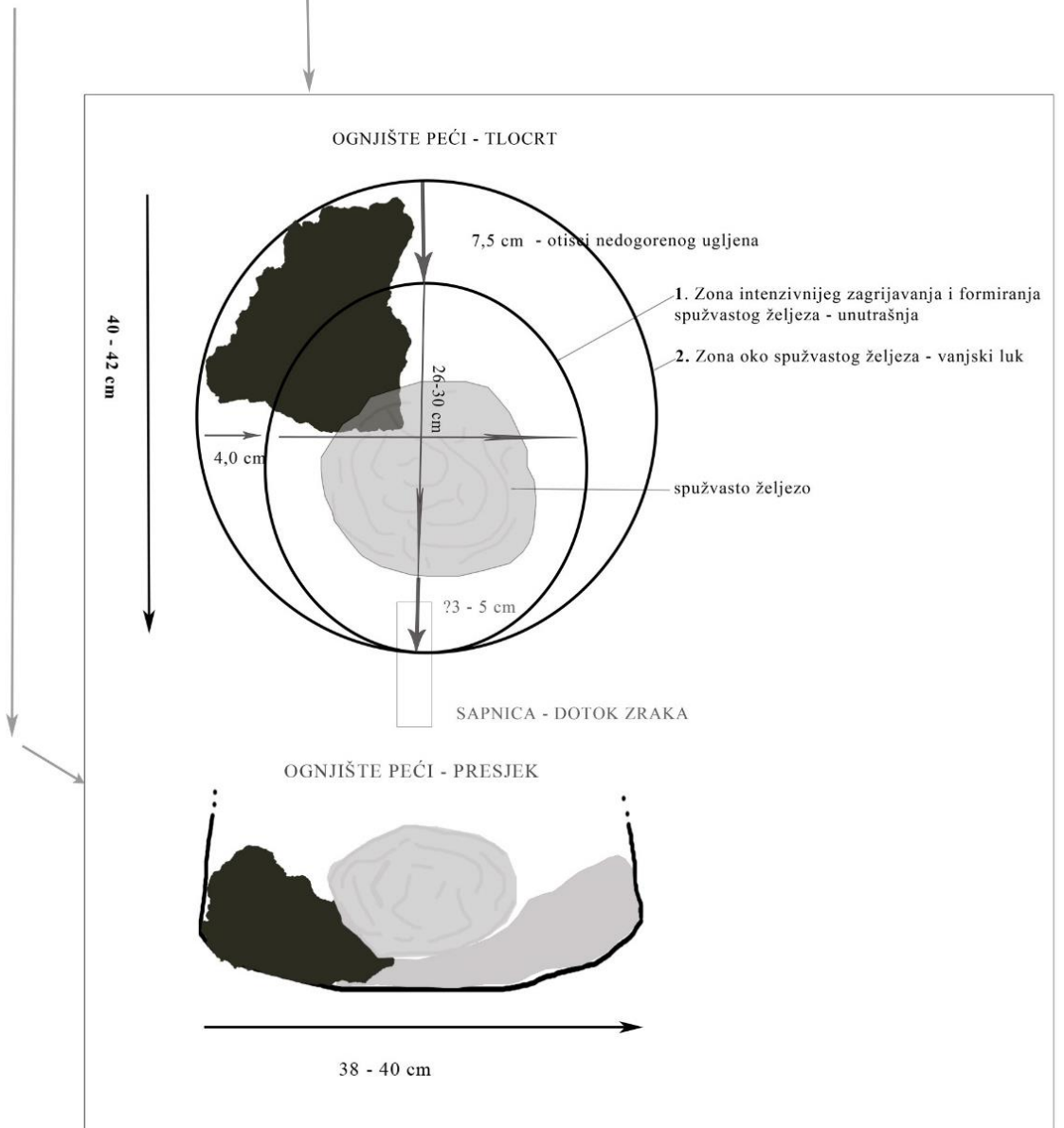
0 ■■■ 5 cm

# T.5.

1.



2.



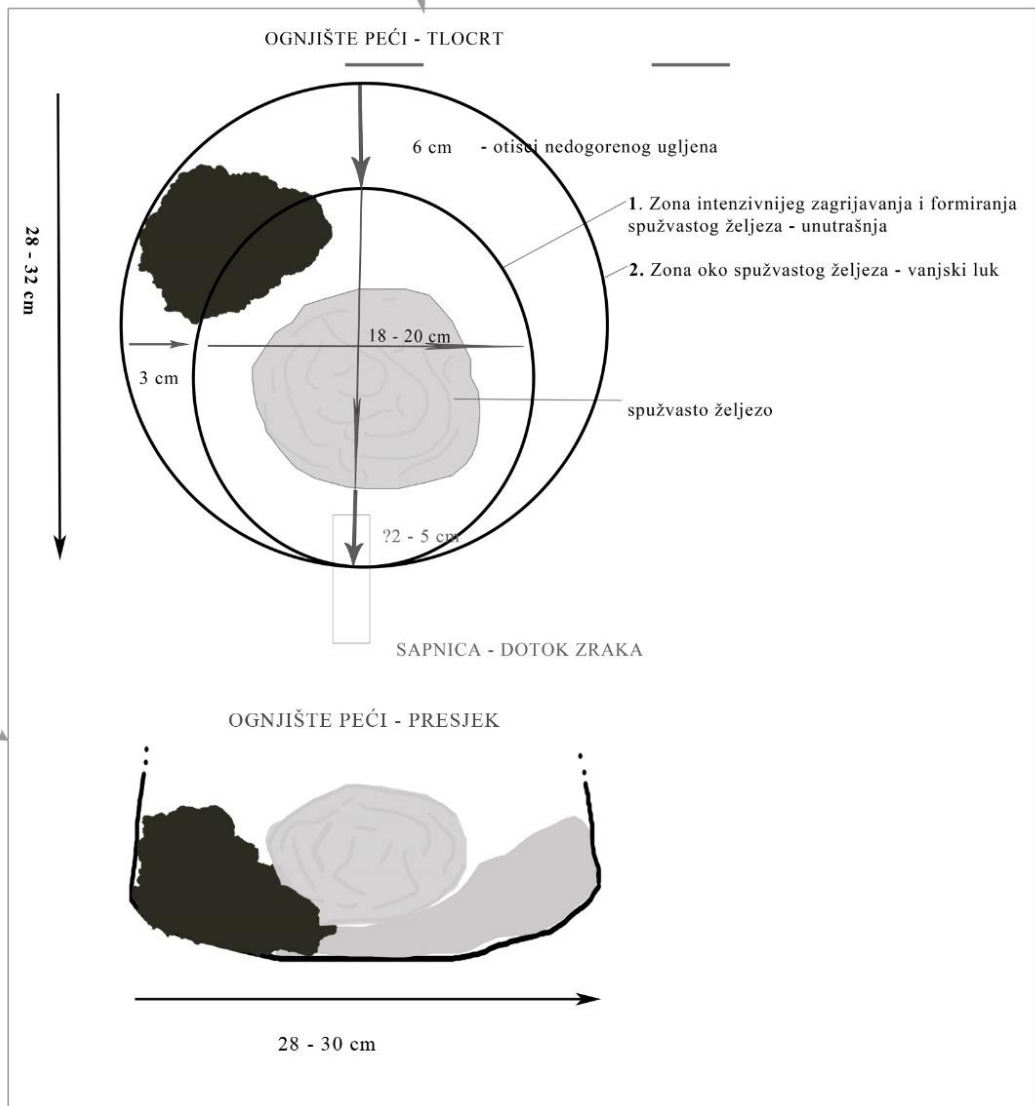


# T.6.

1.

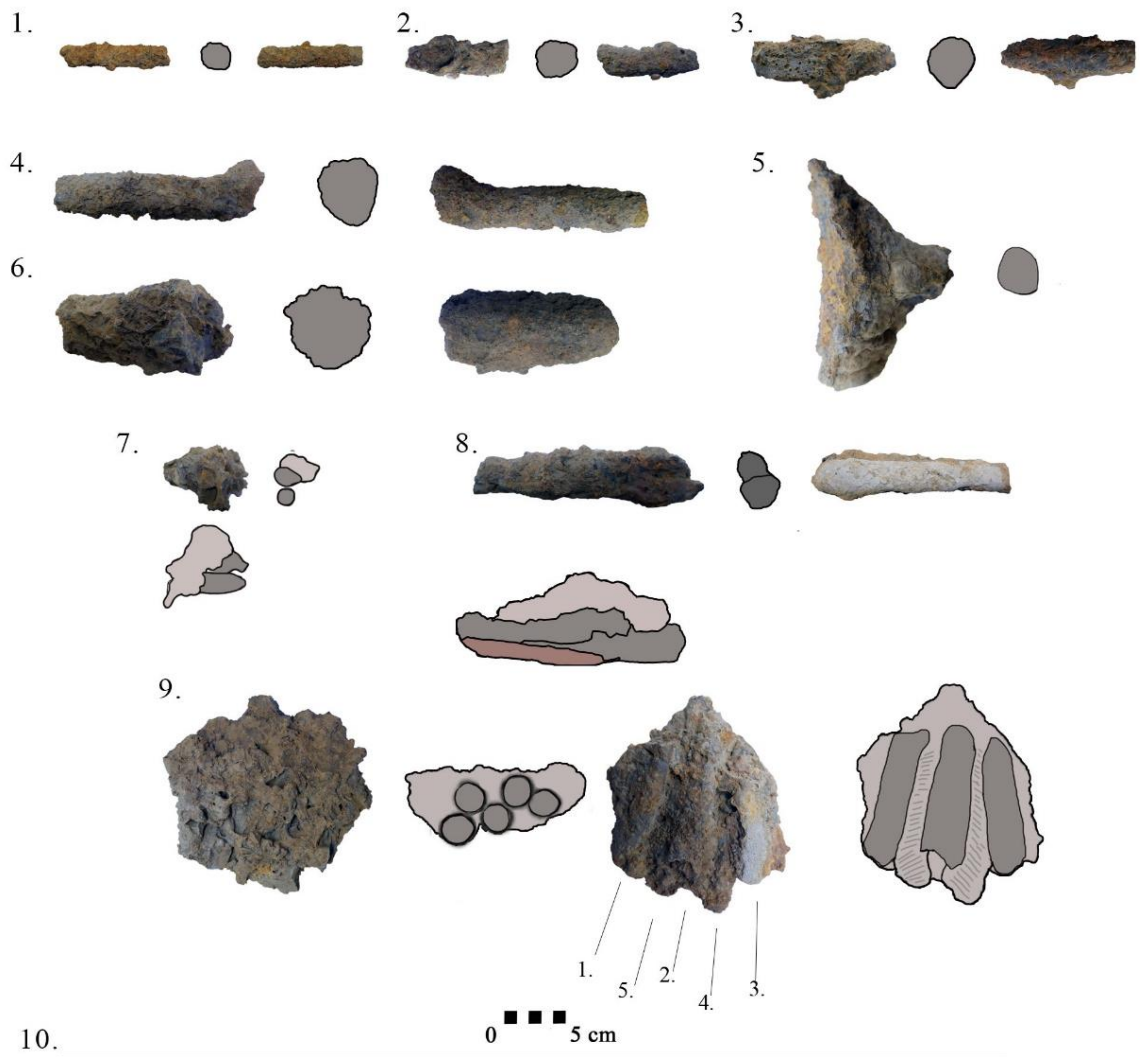


2.

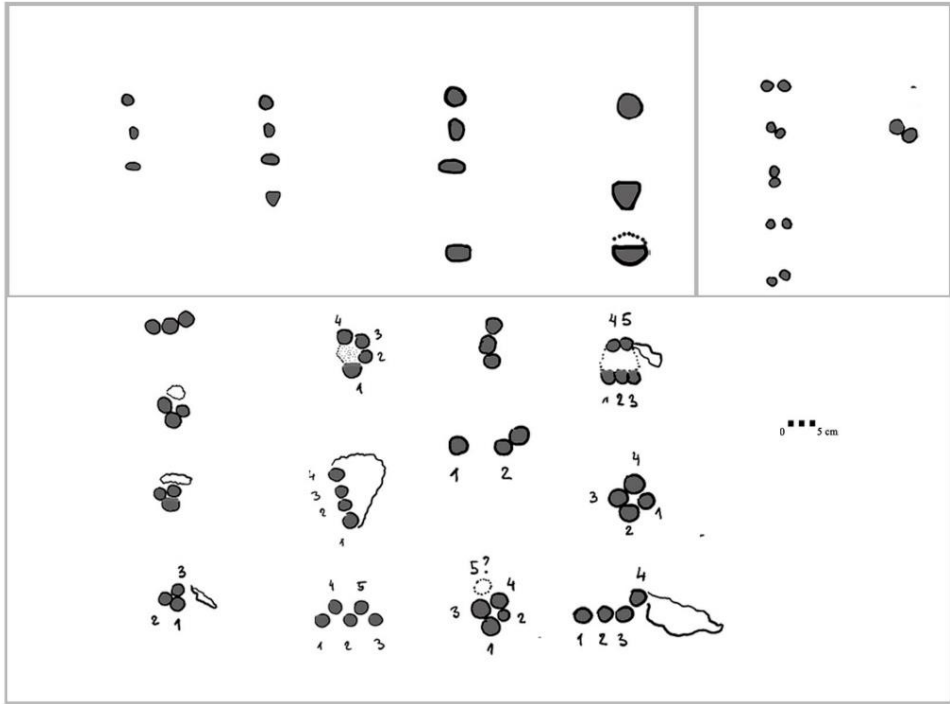


0 5 cm

T.7.

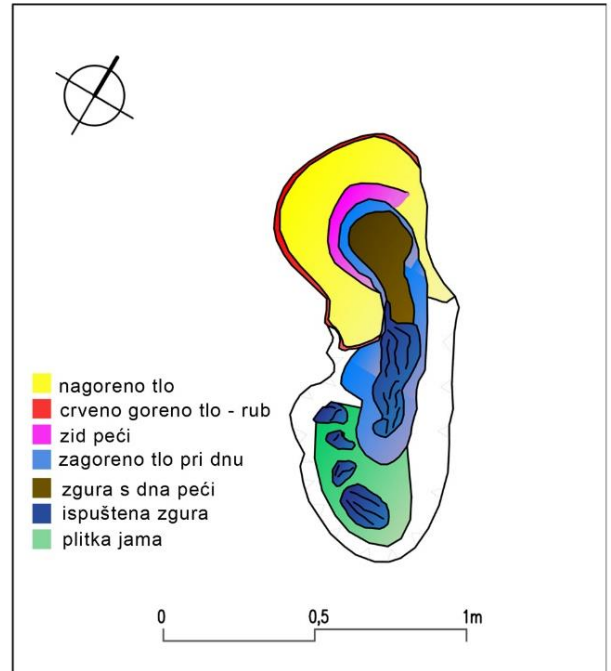
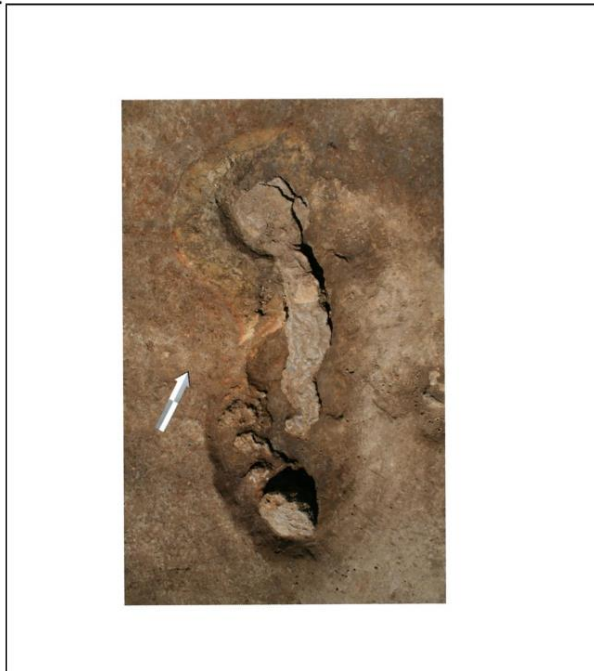


10.



# T.8.

1.



a

b

2.

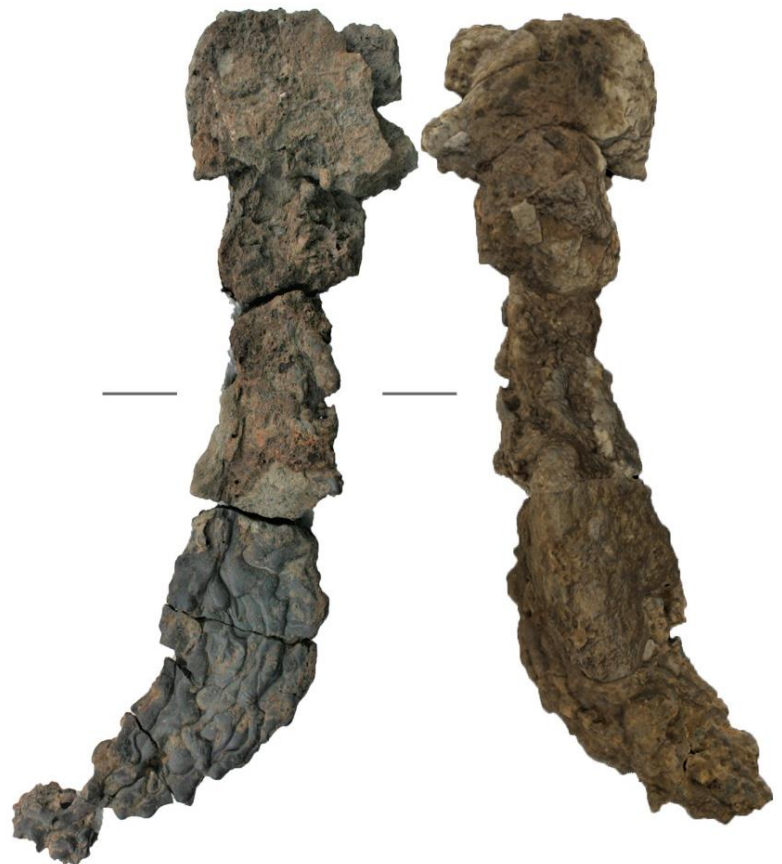
Zgura iz unutrašnjosti peči/  
Zgura s dna peči



Istek - kanal za ispust zgure



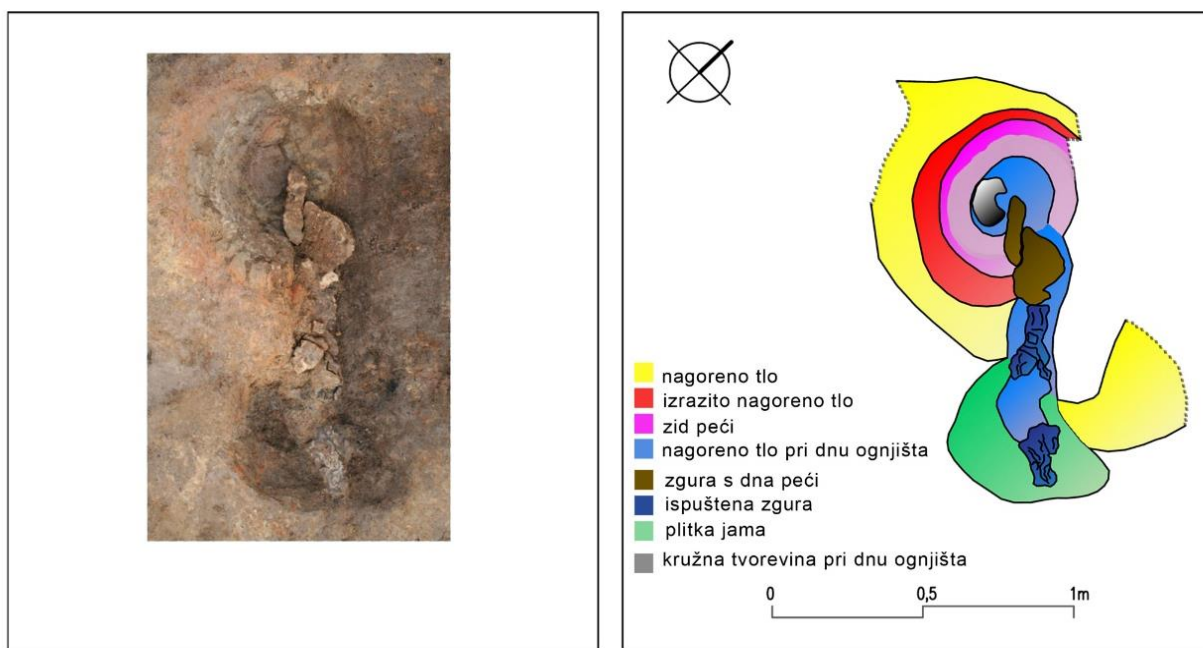
Izljev



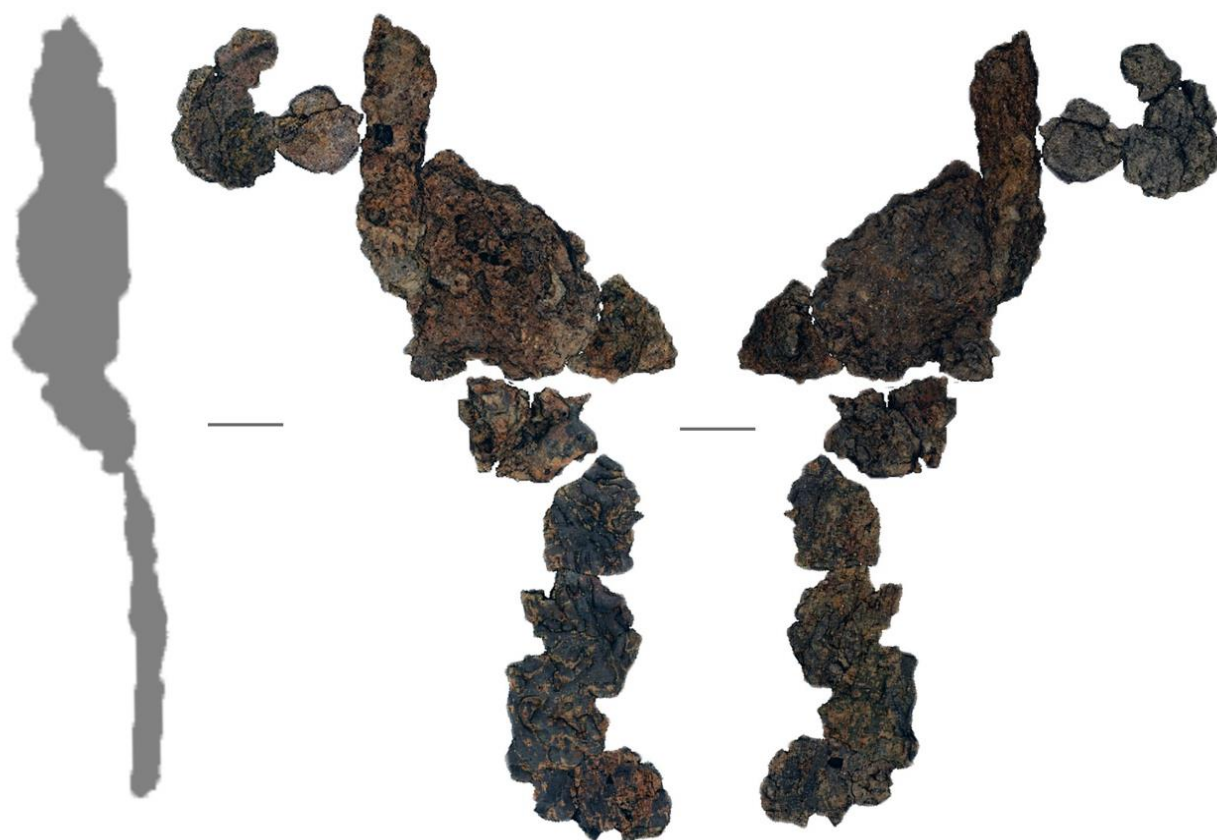
0 ■■■ 5 cm

# T.9.

1.



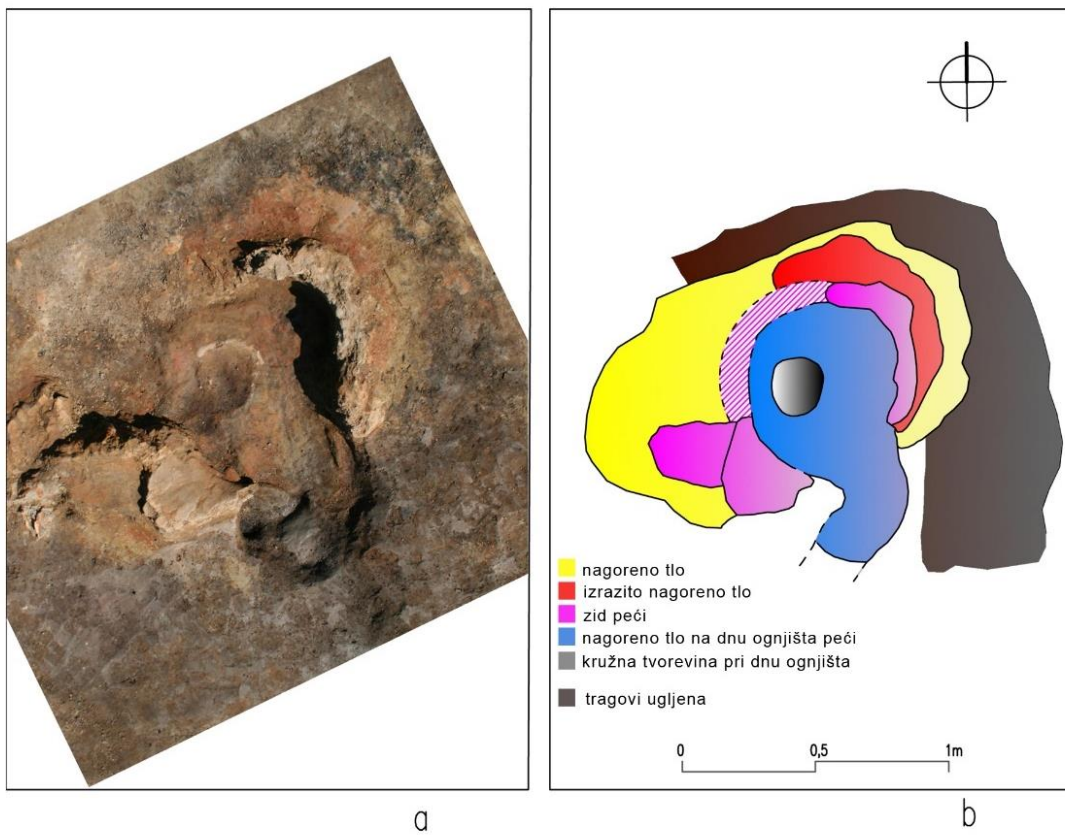
2.



0 ■■■ 5 cm

# T.10.

1.



2.



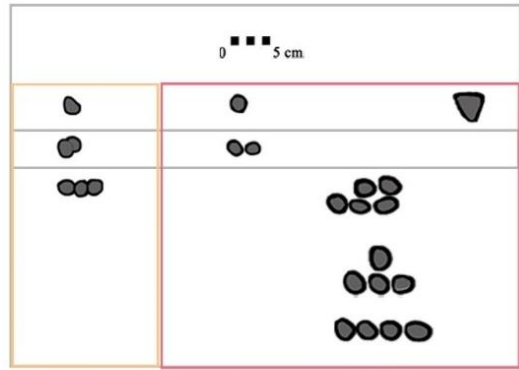
0 ■ ■ ■ 5 cm

# T.11

1.



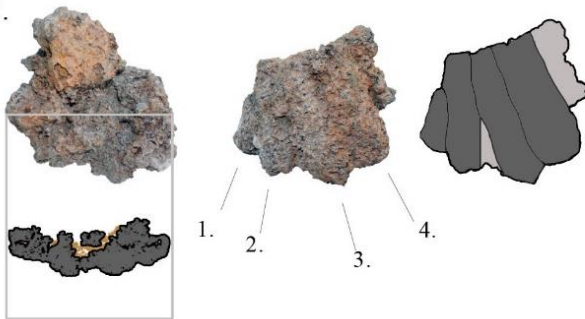
7.



Sonda - 2a

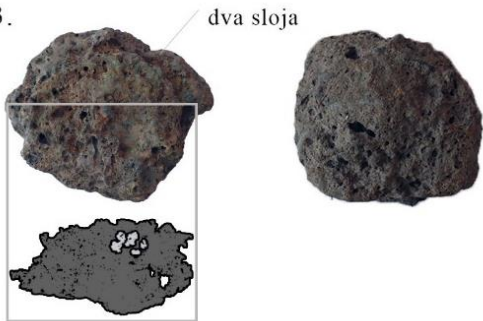
3

2.



- zgura
- željezo
- hrđa
- poroznost

3.



4.



5.



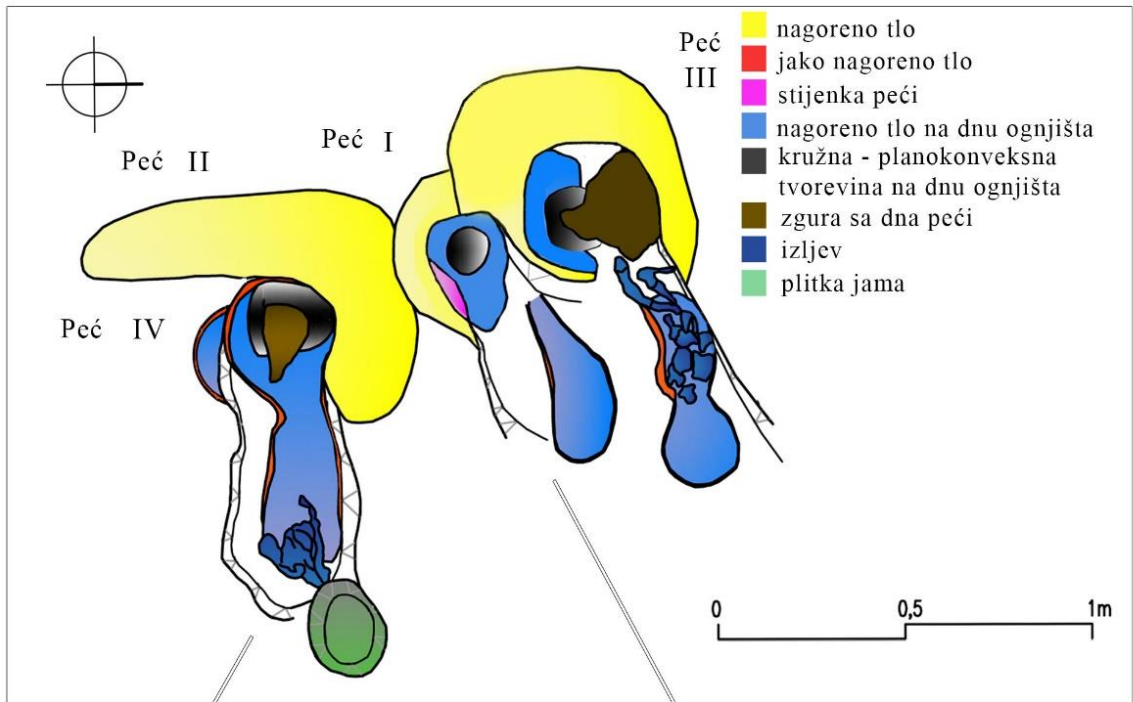
6.



0 ■ ■ ■ 5 cm

# T.12.

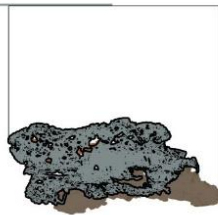
1.



2.



3.

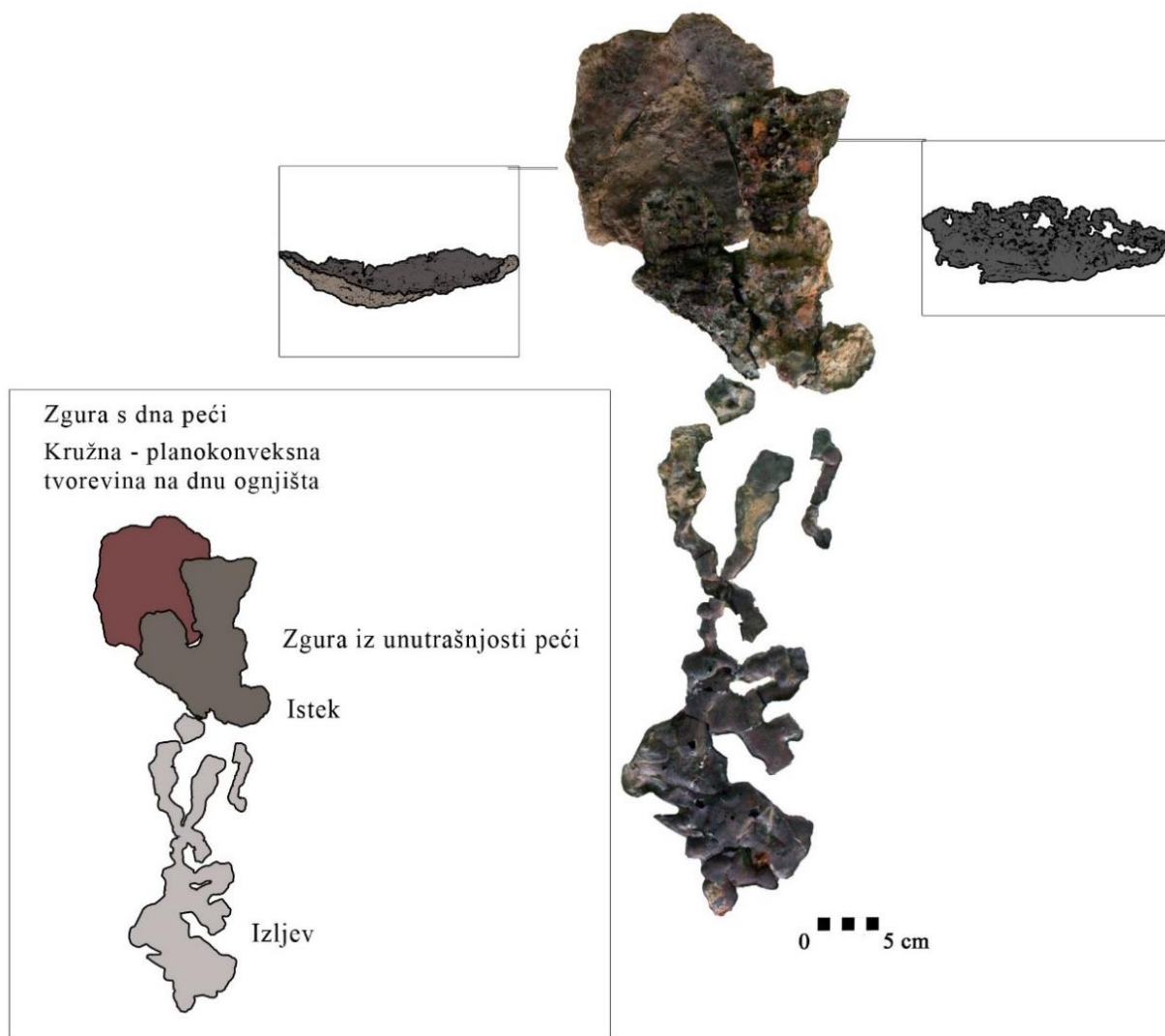


- korozija
- zgura
- zapečeni pijesak/glina

0 ■ ■ ■ 5 cm

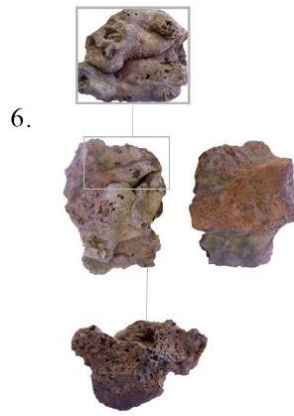
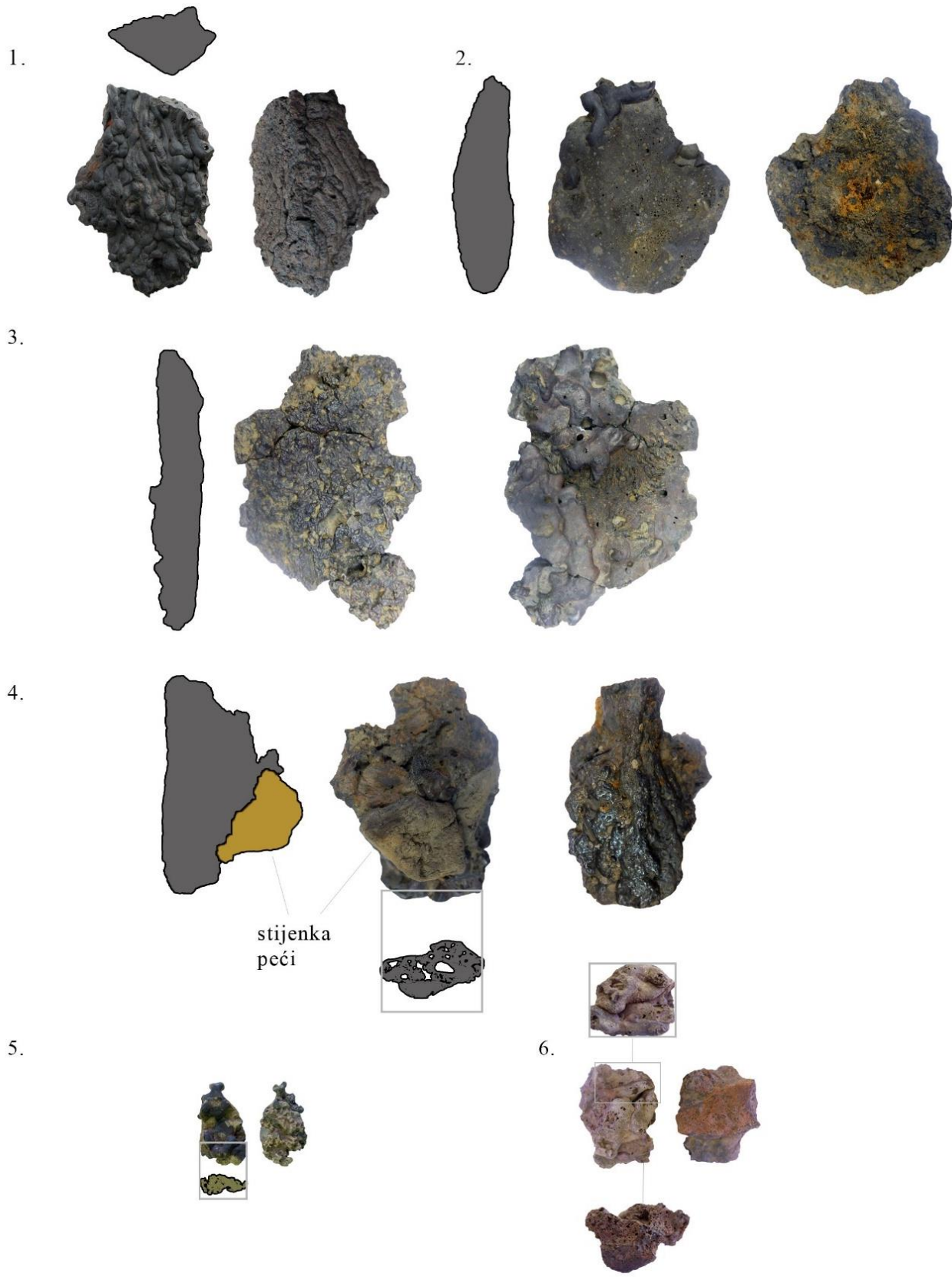
# T.13.

1.





# T.14.



0 ■■■ 5 cm

# T.15.

1.



2.



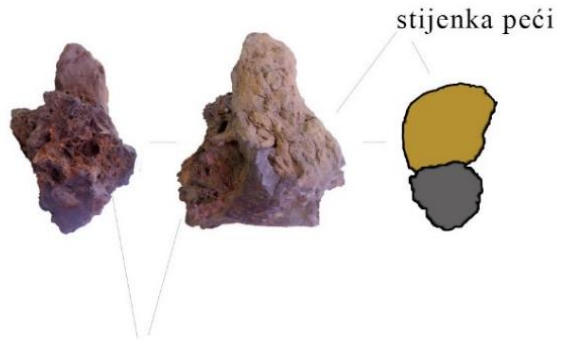
3.



4.



5.



razvedena  
zgura iz  
unutrašnjosti  
peći

6.



otisci nedogorenog ugljena

7.

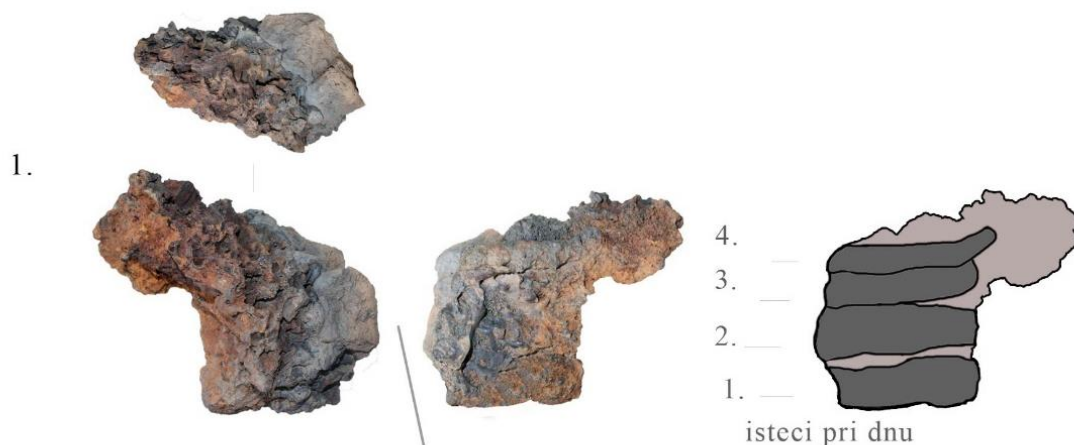


blago vitrificirana stijenska peći



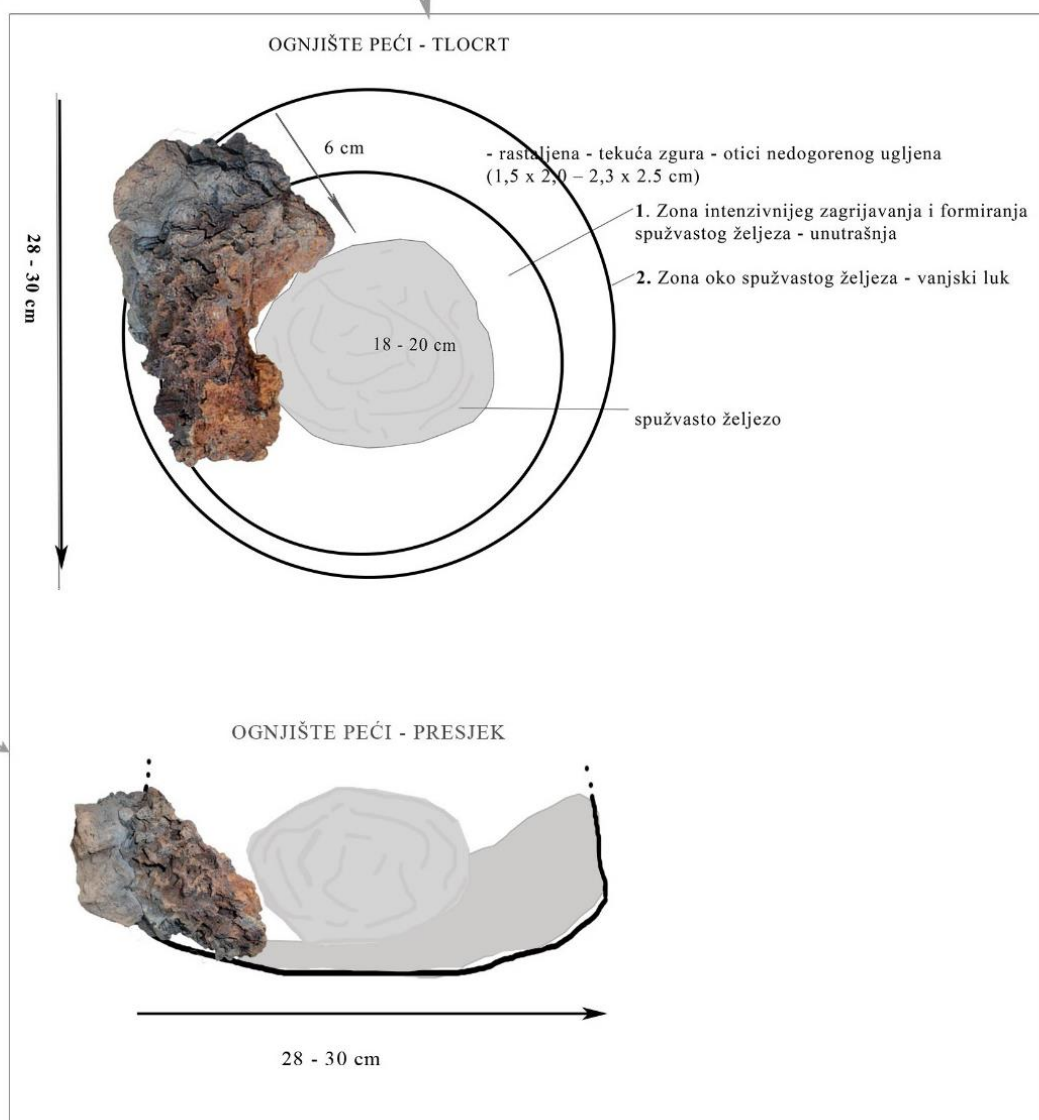
0 ■■■ 5 cm

# T.16.



0 ■■■ 5 cm

2.

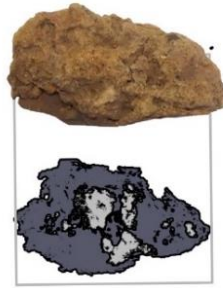


# T.17.

1.

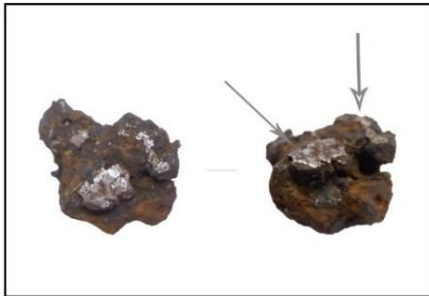


2.



Fe inkluzije  
zgura  
hrda

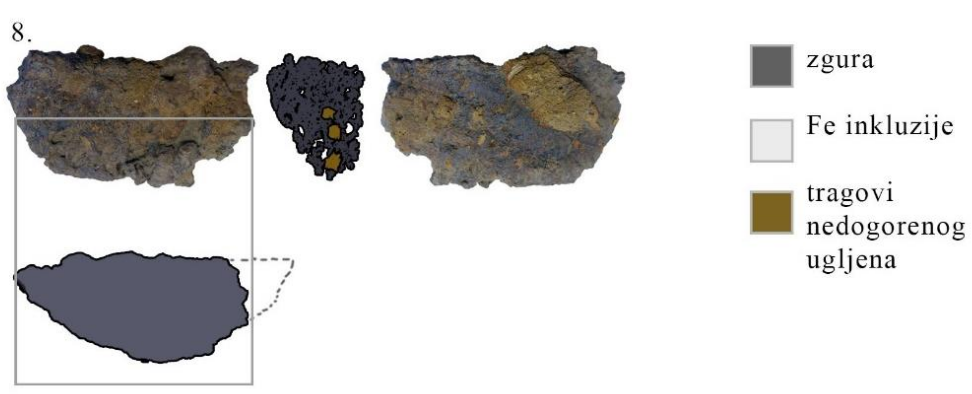
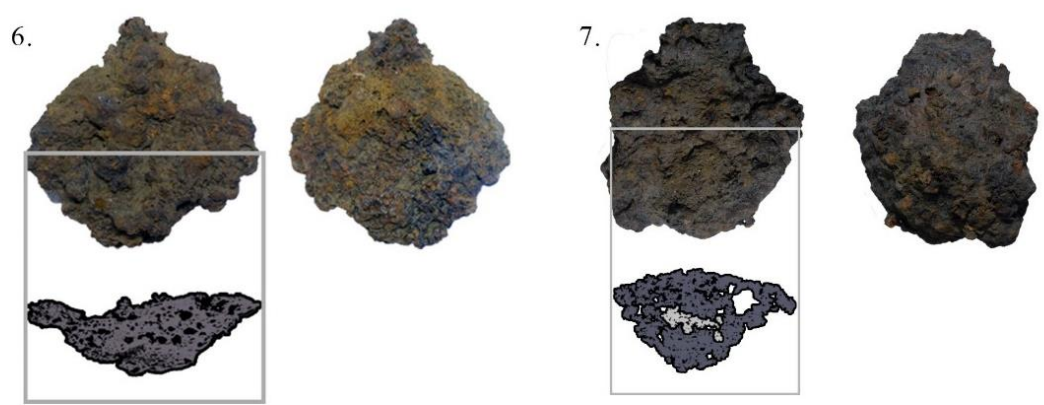
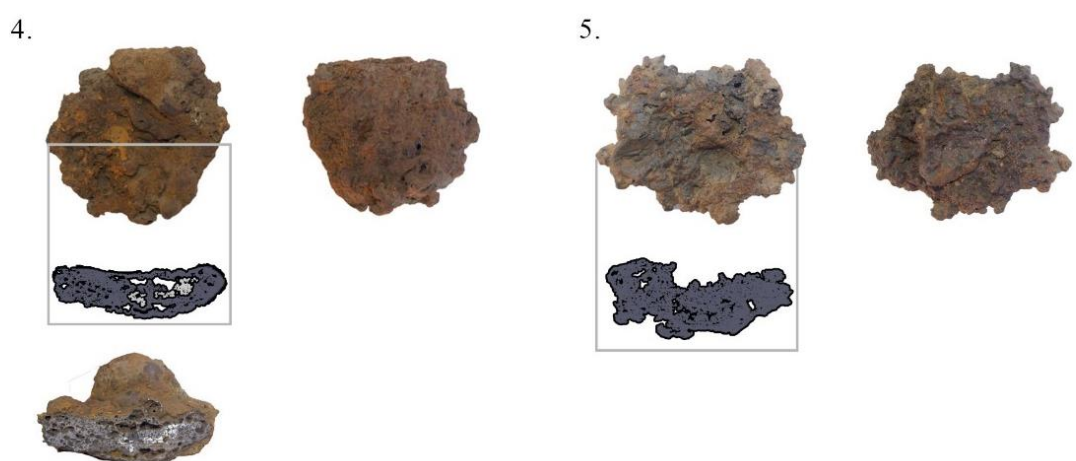
3.




4.

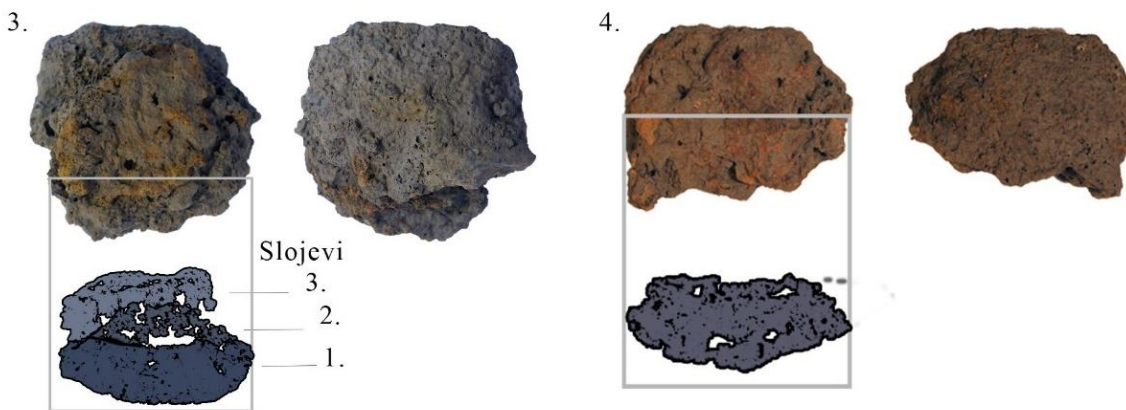
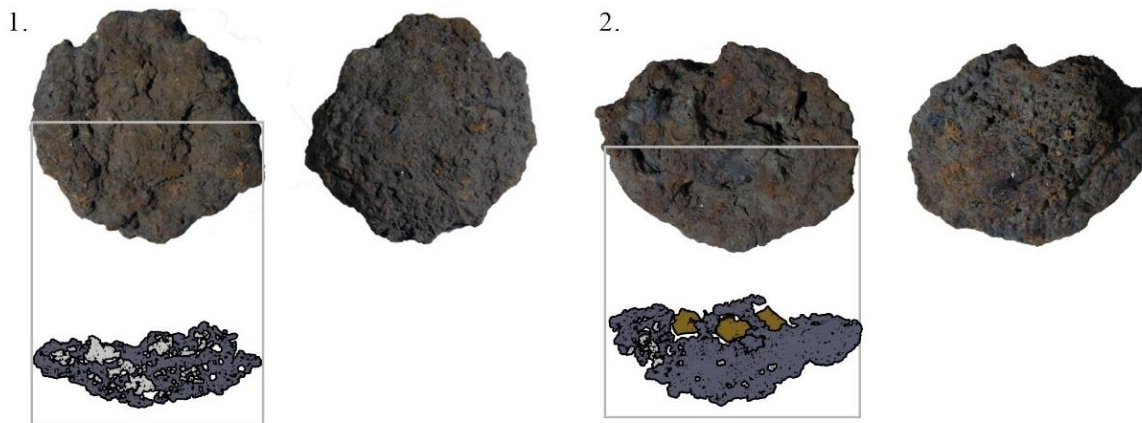



# T.18.



0  5 cm

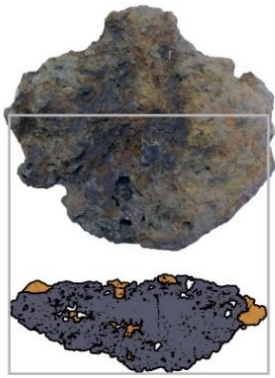
# T.19.



0  5 cm

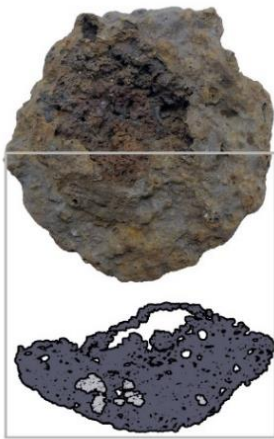
T.20.

1.

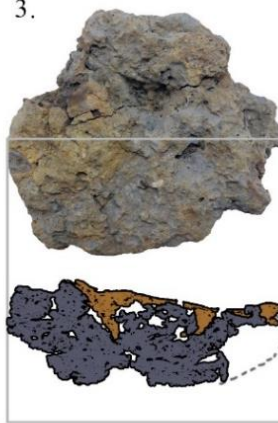


nedogoreni  
ugljen  
pri dnu

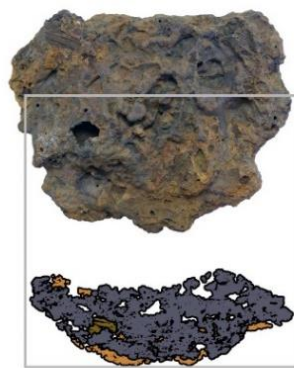
2.



3.



4.



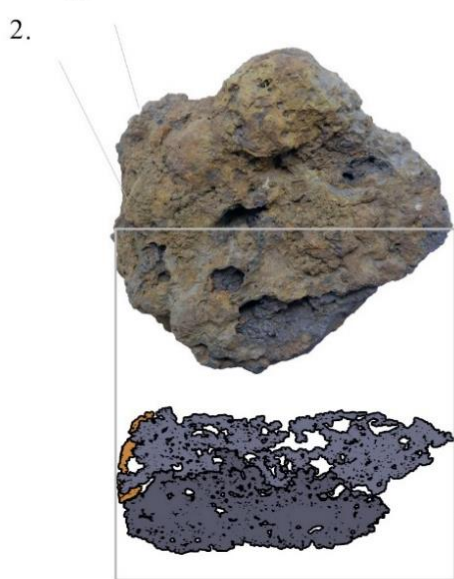
5.



0 ■ ■ ■ 5 cm

# T.21.

1. Slojevi



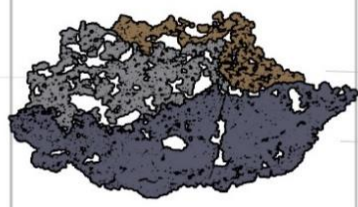
2.  
1.

2.



Slojevi

2.



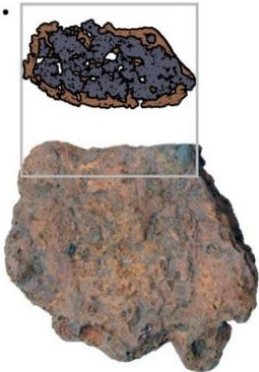
3.  
1.



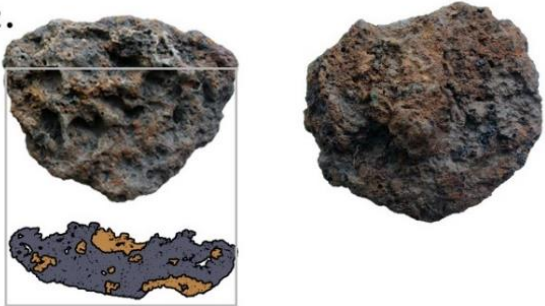


T.22.

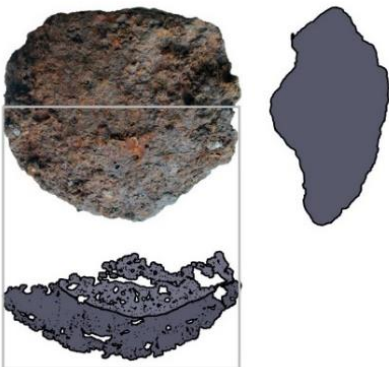
1.



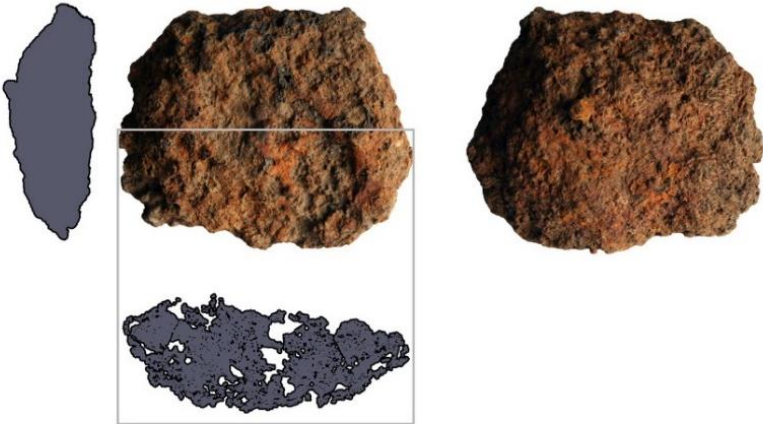
2.



3.



4.



0 ■ ■ ■ 5 cm

# T.23.

1.



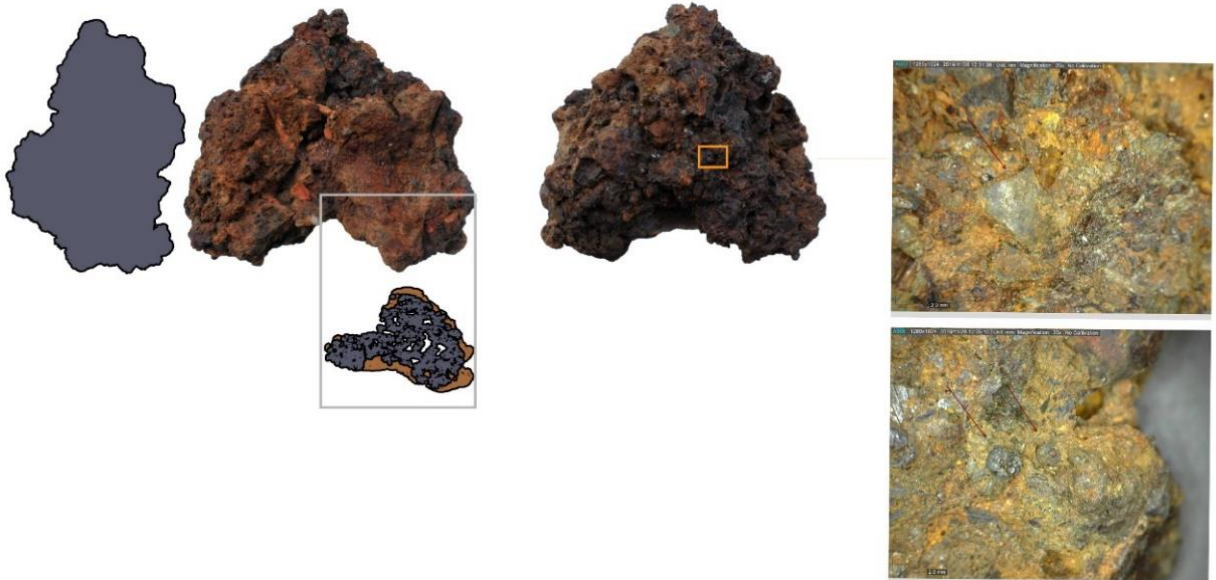
2.



3.



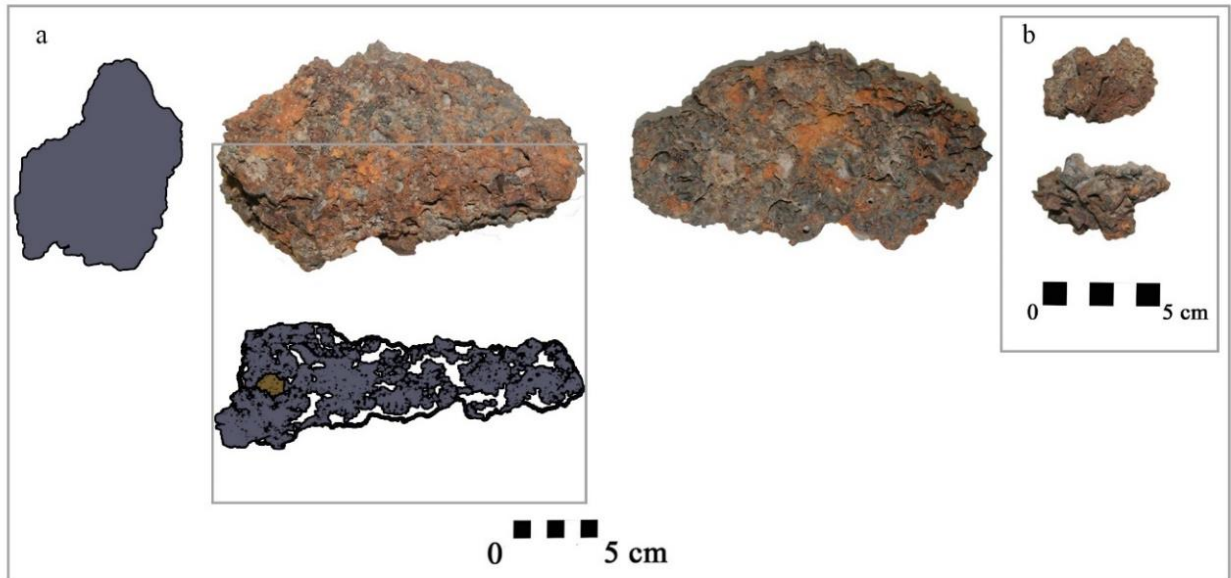
4.



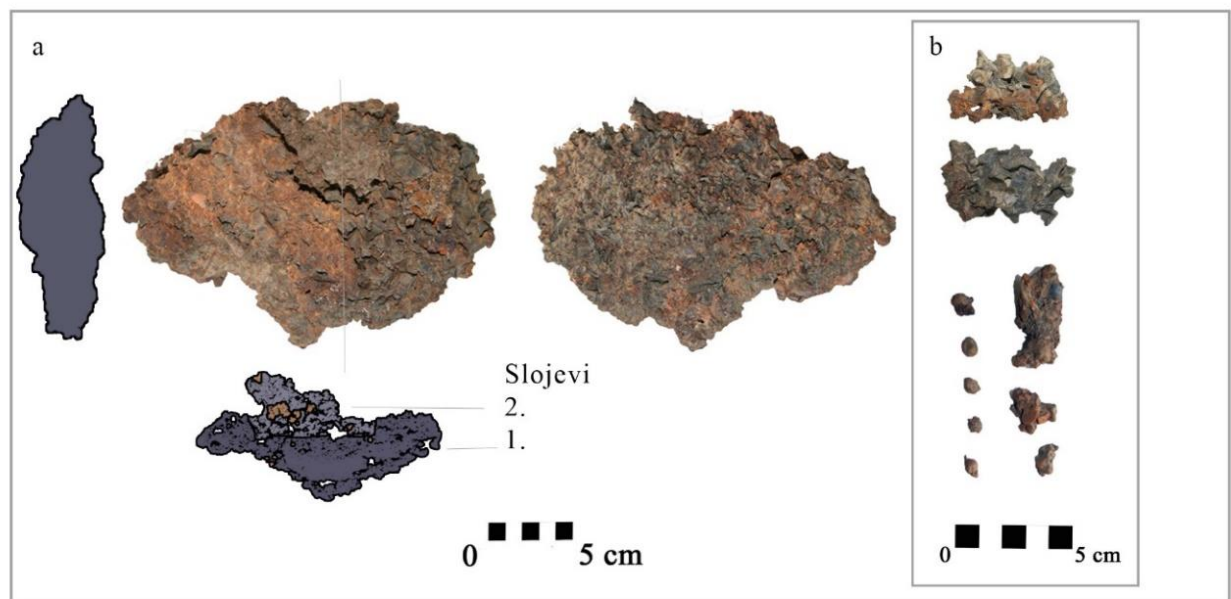
0 ■ ■ ■ 5 cm

# T.24.

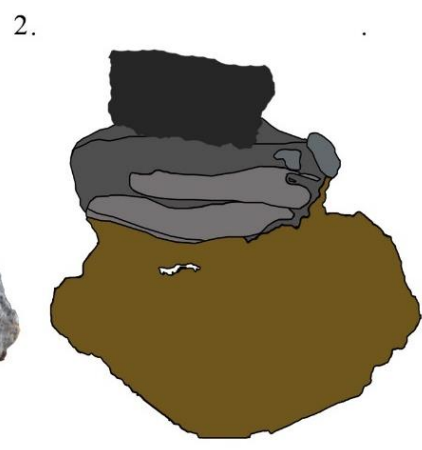
1.



2.



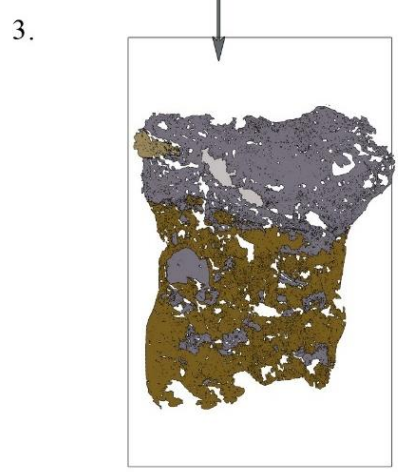
# T.25.



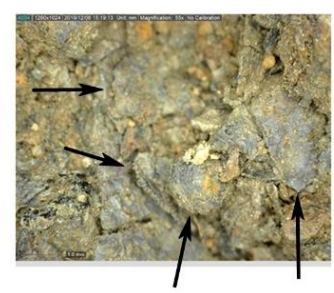
0 5 cm

### Slojevi:

- 1. kompaktna pogača
- 2. rastresit sloj:
  - ulomci porozne, amorfne zgure
  - - pojedinačni kompaktni tekući izdanci,
  - - sfere i magnetični Fe listići
- 3. kompaktni sloj zapečenog pijeska/gline
  - metalni prah (usitnjeni Fe listići (?))
  - sitni izdanci tekuće zgure



- Sloj
- 1. ■ zgura
  - Fe
  - porozno
  - 3. ■ zapečeni pijesak



T.26.

1.



2.



3.



4.



0 ■■■ 5 cm

T.27.

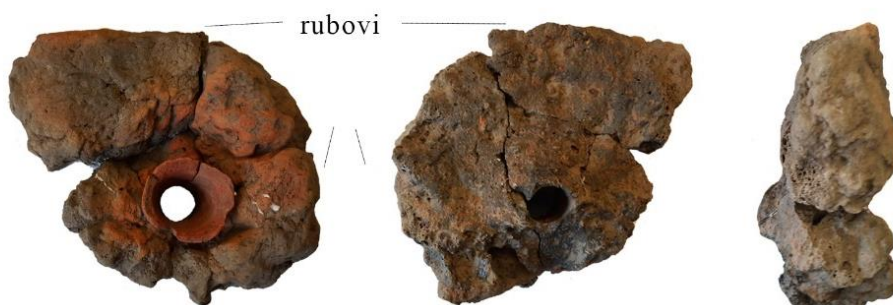
1.



2.



3.



4.



rub pod kutom 0 ■■■ 5 cm

5.



0 ■■■ 5 cm

T.28.

2.



3.



4.



5.



6.

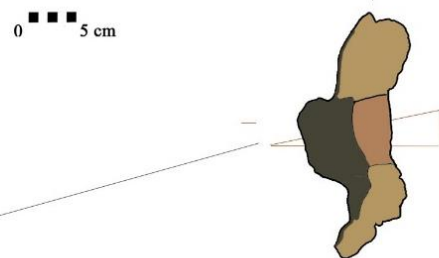
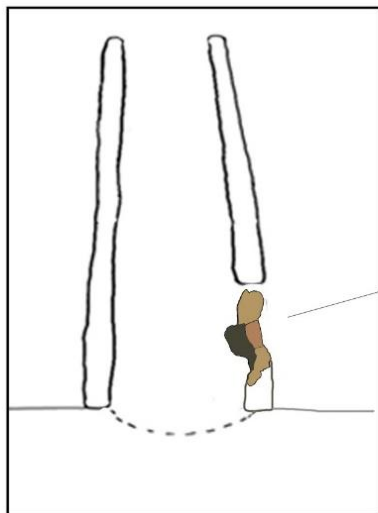
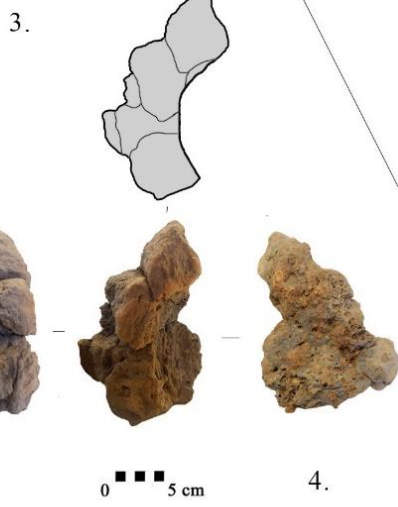
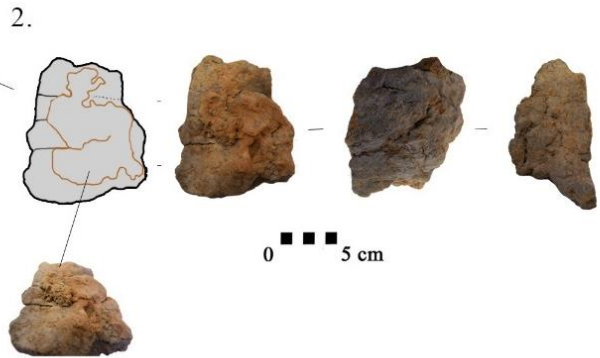
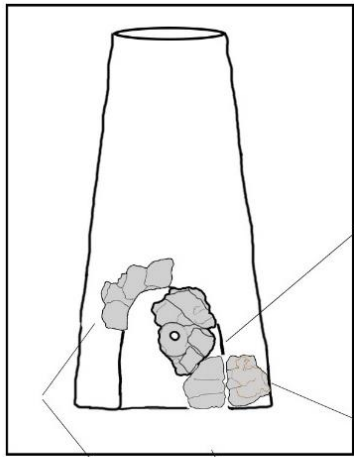


7.



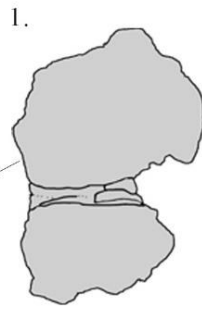
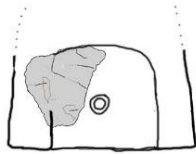
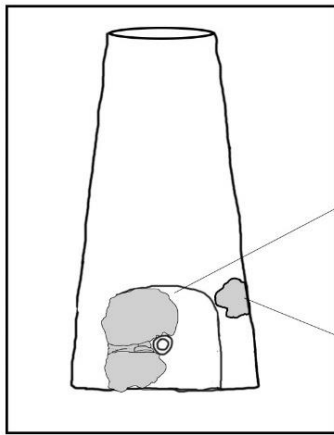
0 ■■■ 5 cm

T.29.





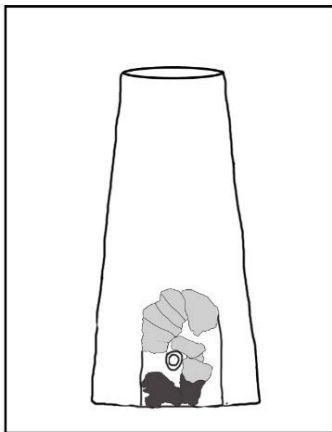
T.30.



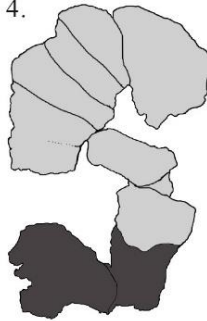
2.



3.



4.



5.



6.



7.



0 ■■■ 5 cm

## Popis tabli

**Tabla 1.** Virje–Sušine, Sonda 7. Talionička zgura. 1) rekonstruirana cjelovita zgura iz jednog taljenja - Peć I (SJ 327), Ulomci izljeva: 2) SJ 314/N 295/1/5, oznaka analiza - VS S7 T IZ 2, 3) SJ 314/N 295/8/86, oznaka analiza - VS S7 T IZ 4, 4) SJ 317/N 305/37, oznaka analiza - VS S7 T IZ 3.

**Tabla 2.** Virje–Sušine, Sonda 7. Talionička zgura. 1-4.- Ulomci izljeva s istekom i istek: 1) SJ 314/N/295/783, 2) SJ 314/N 295/10/96, 3) SJ 314/N 295/101, 4) SJ 345/ N 459/2, 5) SJ 348/N 471/7, 6) Grafički prikaz presjeka isteka iz Sonde 7

**Tabla 3.** Virje–Sušine, Sonda 7. Talionička zgura: 1-4. Zgura s dna peći: 1) SJ 348/N 471/16, 2) SJ 001-228/N 396/1, Zgura iz unutrašnjosti peći: 3) SJ 344/N 460/4, 4) SJ 344/N 460/2. 5-6. Virje Sušine, Sonda 5. Zgura s dna peći: 5) SJ 218/N 120/2/8, 6) SJ 214/N 95/1/13

**Tabla 4.** Virje–Sušine, Sonda 5. Talionička zgura – izljevi. 1) SJ 214/N 95/6/9, 2) SJ 214/N 95/10/8, 3) SJ 217/U 124/6, oznaka analiza - VS S5 T IZ 1, 4) SJ 215/ U 91/1

**Tabla 5.** Virje–Sušine, Sonda 5. 1) Zgura iz unutrašnjosti talioničke peći, s dna (SJ 214/N 95/2/15), 2) Rekonstrukcija položaja zgure u ognjištu peći i dimenzija ognjišta

**Tabla 6.** Virje–Sušine, Sonda 5. 1) Zgura iz unutrašnjosti talioničke peći, s dna (SJ 215/N 87/1/5), 2) Rekonstrukcija položaja zgure u ognjištu peći i dimenzija ognjišta.

**Tabla 7.** Virje–Sušine. Sonda 5. Isteci: 1) SJ 214/N 95/8, 2) SJ 215/N 87/2/2, 3) SJ 231/N 96/1 /4, 4) SJ 214/N 95/4/5, 5) SJ 231/N 96/5/4, 6) SJ 215/N 97/3, 7) SJ 214/N 95/8/10, 8) SJ/231/N/96/2 /7 9) SJ 231/N 96/7/5, 10) shematski prikaz tipova presjeka svih isteka pronađenih u S-5.

**Tabla 8.** Virje–Volarski breg, Sonda 1, Peć II (SJ 29/30): 1) a) foto tijekom istraživanja; b) arheološki zapis - tlocrt s ucrtanim položajem zgure (modificirano prema: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 53, fig.6), 2) zgura proizašla iz jednog taljenja pronađena *in situ*. Makroskopski vidljive razlike između zgure koja se zadržala unutar peći i ispuštene zgure (3D snimio: D. Tresić Pavičić; foto i obrada: T. Karavidović)

**Tabla 9.** Virje–Volarski breg, Sonda 1, Peć V (SJ 56/57): 1) a) foto tijekom istraživanja; b) arheološki zapis - tlocrt s ucrtanim položajem zgure (modificirano prema: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 53, fig. 5), 2) rekonstrukcija položaja zgure proizašla iz jednog taljenja

pronađena *in situ*. Makroskopski vidljive razlike između zgure koja se zadržala unutar peći i ispuštene zgure (3D snimio: D. Tresić Pavičić; foto i obrada: T. Karavidović)

**Tabla 10.** Virje–Volarski breg, Sonda 1, Peć I (SJ 08/09): 1) a) foto tijekom istraživanja; b) tlocrt (modificirano prema: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: 53, fig.4), 2) rekonstrukcija pravilne kružne tvorevine s dna ognjišta peći (3D snimio: D. Tresić Pavičić; foto i obrada: T. Karavidović).

**Tabla 11.** Virje–Volarski breg, Sonda 2a i 3. Talionička zgura: 1) istek i zgura s dna unutrašnjosti peći, SJ/135/N 153/1, 2) istek i zgura iz unutrašnjosti peći, SJ/201/U 74/5, 3)zgura s dna peći, SJ 001/288/U 56 /3, 4) zgura s dna peći, SJ 001/180/U 56/9, 5)ulomak zgure i komada spužvastog željeza, SJ 001/180/ U/56/3, 6) izljev, SJ 195/U 55, 7) shematski prikaz tipova presjeka svih isteka pronađenih u S-2a i 3.

**Tabla 12.** Hlebine–Velike Hlebine. 1) tehnički crtež arheološkog zapisa, Peći I-IV (crtež: Kristina Turkalj, prilagođeno prema Sekelj Ivančan, Karavidović 2021: fig.24), 2) rekonstrukcija zgure pronašene *in situ* unutar ognjišta i kanalića Peći II, 3) kružna tvorevina pronađena pri dnu ognjišta peći I.

**Tabla 13.** Hlebine–Velike Hlebine. 1) rekonstrukcija zgure pronađene *in situ* u ognjištu i kanaliću za ispust zgure, Peć III.

**Tabla 14.** Hlebine–Velike Hlebine. Talionička zgura. 1-4 izljevi: 1) SJ 27/N 225/15, 2) SJ 109/N 265/13, 3) SJ 111/N 257/8, 4) SJ/99/N/189/1/4, ulomci porozne zgure i zgure zelenkaste boje presjeka: 5) SJ 36/N 46/1, 6) SJ/99/N 188/1/5

**Tabla 15.** Hlebine–Velike Hlebine. Talionička zgura. 1-5 isteci: 1) SJ 3/N 33/2, 2) SJ 45/N 66/6, 3)SJ 69/N 166/6, 4) SJ 83/N 76/3, 5) SJ 102/N 223/24, 6) SJ 113/N 270/7, 7) SJ 113/N 266/15

**Tabla 16.** Hlebine–Velike Hlebine. 1) talionička zgura s rubnog dijela dna peći s zalijepljenom stijenkom peći, SJ/113 N/266/ 14, 2) idejna rekonstrukcija položaja zgure unutar ognjišta peći i rekonstrukcija dimenzija ognjišta.

**Tabla 17.** Amorfni ulomci postredukcijske zgure s vidljivim česticama željeza u presjeku: 1) Virje–Volarski breg, Sonda 2a i 3 SJ 001/288/N 277 /3, 2) Virje–Sušine, Sonda 7, SJ 314/N 295/122, ulomak zgure s okujinom, vidljivi tragovi udarca čekićem (?), 3)Virje–Sušine, Sonda 7, SJ 314/N 295/38, ulomak spužvastog željeza: 4)Virje–Sušine, Sonda 7, SJ 343/PN 133/2

**Tabla 18.** Virje–Sušine, Sonda 7. Postredukcijska zgura- zgura s dna kovačke peći: 1) SJ 337/N 416 13, 2) SJ 337/N 416/ 12, 3) SJ 317/N 354/ 14, 4) SJ 317/N 354/ 30, 5) SJ 327/N 407/2, 6) SJ 348/N 471/ 11, 7) SJ 317/N 305/39, 8) SJ 346/N 453/3

**Tabla 19.** Virje–Sušine, Sonda 7. Postredukcijska zgura- zgura s dna kovačke peći: 1) SJ/314/N/296/5, 2) SJ 317/N 305/8, 3) SJ 317 N/305/52, 4) SJ 314/N 295/59, 5) SJ 314/N 296/117, 6) SJ 315/U 69

**Tabla 20.** Virje–Sušine, Sonda 5. Postredukcijska zgura- zgura s dna kovačke peći: 1) SJ/217/N/107/3, 2) SJ/214/N/95/1/4, 3) SJ/214/N/95/1/2, 4) SJ/214/N/95/5/1, 5) SJ/214/N/95/4/1

**Tabla 21.** Virje–Sušine, Sonda 5. Postredukcijska zgura- zgura s dna kovačke peći: 1) SJ 214/N 95/2/1, 2) SJ 231/N 96/11/1

**Tabla 22.** Virje–Volarski breg, Sonda 2a. Postredukcijska zgura- zgura s dna kovačke peći: 1) SJ 173/U 51/1, 3) SJ 116/N 260/1. Virje-Volarski breg, Sonda 2b. Postredukcijska zgura- zgura s dna kovačke peći: 2) SJ 107/N 114/1, 4) SJ 131a/N 151

**Tabla 23.** Hlebine–Velike Hlebine. Postredukcijska zgura- zgura s dna kovačke peći: 1) SJ 5a/N/128/1, 2) SJ 007/N/87/1, 3) SJ 5a/N/128/8, 4) SJ 5a/N/128/3.

**Tabla 24.** Hlebine–Dedanovice. Postredukcijska zgura- zgura s dna kovačke peći i tipična zgura iz zapune ognjišta peći i jama do njega: 1) Peć 1: SJ 31b/U/63/5,3a,3b, 2) Peć 2: SJ 33a/N/27/2

**Tabla 25.** Virje–Sušine, Sonda 7. 1) zgura iz zapune jamske peći Peć 3: SJ 296, 2) shematski prikaz uslojavanja konglomerata zgure vidljiv na rubnim dijelovima, 3) shematski prikaz recentnog presjeka konglomerata zgure, 4) makrofotografija sfera i Fe listića (okujine) izdvojenih iz slojeva zgure.

**Tabla 26.** Sapnice i dijelovi stijenke peći. (1-2) Virje–Sušine, Sonda 5: 1) SJ 231/267/PN 44, 2) SJ 231/PN 54, (3-4) Hlebine–Velike Hlebine: 3) H/VH/SJ 102/N 222/4, 4) HVH/ SJ 109/N 257.

**Tabla 27.** Sapnice i dijelovi stijenke peći. 1) Hlebine–Dedanovice, SJ 33/PN 5, 2) Virje–Sušine, Sonda 5, SJ 215/PN 61, 3-4 )Hlebine–Velike Hlebine: 3) SJ 102/222/4, 4) SJ 102/N 222/6, 4)Virje Sušine, Sonda 7, SJ 345/PN 149

**Tabla 28.** Sapnice i stijenke peći. 1) Virje–Sušine, Sonda 7, SJ 314/PN 136, (2-3) Virje Volarski breg, Sonda 2a: 2) PN 11, 3) sj 131a/N 154, (4-6) Virje–Volarski breg, Sonda 1: 4) površinski nalaz, rbr.3, 5) površinski nalaz, rbr.2, 6) rbr. 4

**Tabla 29.** Virje–Sušine, Sonda 5. Idejna rekonstrukcija talioničke peći i položaja dijelova stijenki: 1) SJ 231/N 96/5/1, 2) SJ 231/N 96/9/9, 3) SJ 236/N 106/11, 4) SJ 231/PN 54

**Tabla 30.** Hlebine–Velike Hlebine. Idejna rekonstrukcija talioničke peći i položaja dijelova stijenki: 1) SJ 113/N 270/10, 2) SJ 113/N 266/12, 3) SJ 113/N 266/15, Virje–Sušine, Sonda 7. Idejna rekonstrukcija talioničke peći i položaja dijelova stijenki: 4) SJ 348/N 305/44, (5-7) Hlebine–Dedanovice. Stijenke kovačkih peći: 5) SJ 31A/N 42, 6) SJ 33B/N 23, 7) SJ 33B/N 23

## 9 Popis literature

Alečković, M. 1996a, Noviji arheološki nalazi iz Hlebinskog dijela Podravine. Podravski zbornik 22: 279–286.

Alečković, M. 1996b, Noviji arheološki nalazi u Hlebinama i užoj okolici. Hlebine u srcu, Hlebinski almanah 2, 2: 13–18.

Bachman, H.G. 2016, *The identification of slags from archaeological sites*, University College London Institute of Archaeology Publications, Occasional Publication No.6, Routledge, London.

Banning A., 2008, Bog Iron Ores and their Potential Role in Arsenic Dynamics: An Overview and a ‘Paleo Example’, *Engineering in Life Sciences*, Vol. 8, 641–649, <https://doi.org/10.1002/elsc.200800014>

Basler, Đ. 1999, Rudnici i metalurški pogoni rimskog doba u Bosni i Hercegovini (s osobitim osvrtom na pogone u dolini rijeke Japre), u: *Radovi sa simpozijuma Rudarstvo i metalurgija Bosne i Hercegovine od prahistorije do početka XX vijeka*, 8.–11. XI 1973., Ibrahimpašić F. (ed.), Muzej grada Zenice, Zenica, 89–118.

Bayley, J., Crossley, D., Ponting, M. 2008, *Metals and Metalworking: A research framework for archaeometallurgy*, HMS Occasional Publication No. 6, London: The Historical Metallurgy Society Ltd.

Blakelock, E., Martínón-Torres, M., Veldhuijzen, H.A., Young, T. 2009, Slag inclusions in iron objects and the quest for provenance: an experiment and a case study, *Journal of Archaeological Science*, Vol. 36, 1745–1757.

Bielenin, K. 1977, Einige Bemerkungen über das altertümliche Eisenhüttenwesen im Burgenland. Kazimierz Bielenin. *Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland*, Vol. 59, 49–62.

Bojanovski, I. 1988, *Bosna i Hercegovina u antičko doba*, Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Centar za balkanološka ispitivanja, Knjiga 6, Sarajevo.

Botić, K. 2021, Absolute dating of the Virje and Hlebine sites, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The Transfer project*, Sekelj Ivančan, T. and Karavidović, T. (eds), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 92–100.

Botić, K., Culibeg, M. 2021, Anthracological Analysis of Samples from Four Sites with Smelting Activity Around Virje and Hlebine in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The Transfer project*, Sekelj Ivančan, T. and Karavidović, T. (eds), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 194–211. [DOI: 10.32028/9781803271026-9](https://doi.org/10.32028/9781803271026-9)

Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., de Menocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I. and Bonani, G. 1997. A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates. *Science* 278, 1257–1266. [DOI: 10.1126/science.278.5341.1257](https://doi.org/10.1126/science.278.5341.1257)

Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M.N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I. and Bonani, G. 2001, Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene. *Science* 294(5549), 2130–2136. DOI: 10.1126/science.1065680

Brenko, T., Borojević Šošćarić, S., Ružičić, S. and Sekelj Ivančan T. 2020, Evidence for the formation of bog iron ore in soils of the Podravina region, NE Croatia: Geochemical and mineralogical study. *Quaternary International*, Vol. 536, 13–29. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.11.033>

Brenko, T., Borojević Šošćarić, S., Karavidović, T., Ružičić, S. and Sekelj Ivančan, T. 2021, Geochemical and mineralogical correlations between the bog iron ores and roasted iron ores of the Podravina region, Croatia. *Catena*, Vol. 204, 105353., <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105353>

Brenko, T., Karavidović, T., Borojević Šošćarić, S., Ružičić, S. and Sekelj Ivančan, T. 2022, The contribution of geochemical and mineralogical characterization of iron slags in provenance studies in the Podravina region, NE Croatia, *Geologica Croatica*, Vol. 71, No.1., 165–176. <https://doi.org/10.4154/gc.2022.11>

Brkić, Ž., Briški, M. 2018, Hydrogeology of the western part of the Drava Basin in Croatia, *Journal of Maps*, Vol. 14/2, 173–177. <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1445043>

Bugar, A. 2012, Arheometrijske analize i njihova primjena u arheološkoj interpretaciji na primjeru lokaliteta Okuje. *Varia. Hrvatski arheološki godišnjak* 8-2011: 741–747.

Bugar, A., Mašić, B. 2013, U službi arheologije, exhibition catalogue. Zagreb: Muzej grada Zagreba.

Bugar, A. 2021, Evidence of Iron Metallurgy at the Okuje Site – from Findings to Presentation in the Exhibition and More, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The Transfer project*, Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. (eds), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 263–267. <http://doi.org/10.32028/9781803271026-15>

Butorac, A., Kisić, I., Butorac, J. i Barčić, J. 2000, Međusobni odnosi obrade i gnojidbe tla u uzgoju šećerne repe na lessive pseudogleju donje Podravine. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, Vol. 65/3, 143–151.

Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., Kaplan, J.O., Herzig, F., Heussner, K.-U., Wanner, H., Luterbacher, J. and Esper, J. 2011, 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility. *Science* 331 (Feb), 578–582. DOI: [10.1126/science.1197175](https://doi.org/10.1126/science.1197175)

Charlton, M.F., Crew, P., Rehren, T., Shennan, S. J. 2010, Explaining the evolution of ironmaking recipes – An example from northwest Wales. *Journal of Anthropological Archaeology*, Vol. 29/3, 352–367. <https://doi.org/10.1016/j.jaa.2010.05.001>

Charlton, M.F., Blakelock, E., Martinon-Torres, M., Young, T. 2012, Investigating the production provenance of iron artifacts with multivariate methods, *Journal of Archaeological Science*, Vol. 39, 2280–2293.

Cech, B. 2014, The production of ferrum Noricum at Hüttenberg, Austria – the results of archaeological excavations carried out from 2003 to 2010 at the site Semlach/Eisner. U: Cech, B.; Rehren, T. ur. *Monographies instrumentum: Early Iron in Europe*, Montanac: Editions monique mergoil, str. 11-20.

Cleere, H. 1972, The classification of early iron smelting furnaces, *Antiquaries Journal* 52/2, 8-23.

Cleere, H.F. 1981, *The Iron Industry Of Roman Britain*, Doctoral thesis, University College London, University of London.

Coustures, M.P., Béziat, D., Tollon, F. 2003, The use of trace element analysis of entrapped slag inclusions to establish ore – bar iron links: examples from two Gallo-roman iron-making sites in France (Les Martyrs, Montagne Noire, and Les Ferrys, Loiret). *Archaeometry*, 45, 599–613.



Crew, P. 1991a, Experimental iron smelting and bloom smithing, linked to archaeological evidence from two sites in north Wales, in: *Archaeologie Experimentale: Tome 1 - Le feu; métal et céramique* Editions Errance, Paris, 160–164.

Crew, P. 1991b, The experimental production of prehistoric bar iron, *Historical Metallurgy*, Vol.25/1, 21–36.

Crew, P., Salter, C.J. 1991, Comparative Data from Iron Smelting and Smithing Experiments. In: From Bloom to Knife. International Symposium of the Comité pour la sidérurgie ancienne de l'UISPP, Kielce – Ameliowka 18–22 September 1989, *Materialy Archeologiczne* 26, 15–22.

Crew, P., Charlton M.F. 2007, The anatomy of a furnace... and some of its ramifications, in: *Metals and Mines: Studies in Archaeometallurgy*, La Niece, S., Hook D., Craddock, P. (eds.), Archetype Publications/British Museum, London, 219–225.

Crew, P., Charlton, M.F., Dillmann, P., Fluzin, P., Salter, C., Truffaut, E. 2011, Cast iron from a bloomery furnace. in: *The Archaeometallurgy of Iron – Recent Developments in Archaeological and Scientific Research*, Hošek, J., Cleere, H., Mihok, L. (eds.), Prague, 237–262.

Crew, P. 2000, The influence of clay and charcoal ash on bloomery slags. In: Tizzoni, C.C., Tizzoni, M. (Eds.), *Iron in the Alps: Deposits, Mines and Metallurgy from Antiquity to the XVI Century*, Bienno, 38–48.

Crew, P. 2007, CaO enhancement in slags: the influence of fluxing or fuel ash? in: *Early Ironworking in Europe II, archaeology, technology and experiment*, Crew P., Crew S. (eds), Abstracts of the Second International Conference, 17-21st September 2007, Plas Tan y Bwlch Occasional Paper No. 4, Maentwrog, 50–52.

Czajlik, Z., Árvai, M., Mészáros, J., Nagy, B., Rupnik, L., Pásztor, L. 2021, Cropmarks in Aerial Archaeology: New Lessons from an Old Story, *Cropmarks in Aerial Archaeology: New Lessons from an Old Story, Remote Sensing*, 13, 1126. <https://doi.org/10.3390/rs13061126>

Čimin, R. 2011, *Zaštitna arheologija višeslojnih nalazišta Virje – Volarski breg (2008-2010) / Delovi Grede (1982.)*, Koprivnica: Muzej Grada Koprivnice.

Čučković, L., Ožanić, M., Abramović, M. 2009, *Topusko: monografija*, Biblioteka Posebna izdanja, Knjiga 24, Sisak.

Čučković, L. 2004, *Kolapijani, Ratnici na razmeđu istoka i zapada. Starije željezno doba u kontinentalnoj Hrvatskoj*, Katalog izložbe, D. Balen Letunić (ed.), Arheološki muzej u Zagrebu, Zagreb 2004, 173–209.

De Geyter, G., Vandenberghe, R.E., Verdonck, L., Stoops, G. 1985, Mineralogy of holocene bog-iron ore in northern Belgium. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, Vol. 153, 1–17.

Desaulty, A-M., Dillmann, P., L'Héritiera, M., Mariet, C., Gratuze, B., Joron, J-L., Fluzin, P. 2009, Does it come from the Pays de Bray? Examination of an origin hypothesis for the ferrous reinforcements used in French medieval churches using major and trace element analyses. *Journal of Archaeological Science*, 36, 2445–2462.

Desai, M. 2018, An Overview of Iron Provenance and Its Possible Extension to Crucible Steel Archaeometallurgy. *Heritage: Journal of Multidisciplinary Studies in Archaeology*, 6, 926–944.

Dotterweich, M. 2008, The history of soil erosion and fluvial deposits in small catchments of central Europe: Deciphering the long-term interaction between humans and the environment – A review. *Geomorphology* 101, 192–208. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.023>

Durman, A. 1992, O geostrateškom položaju Siscije, *Opuscula archaeologica*, Vol. 16, 117–131.

Durman, A. 2002, Iron resources and production for the Roman frontier in Pannonia, *Historical Metallurgy*, Vol. 36, No. 1, 24–32.

Eliyahu-Behar, A., Shilstein, S., Raban-Gerstel, N., Goren, Y., Gilboa, A., Sharon, I., Weiner, S. 2008, An integrated approach to reconstructing primary activities from pit deposits: iron smithing and other activities at Tel Dor under Neo-Assyrian domination, *Journal of Archaeological Science*, Vol. 35, 2895–2908.

ENVI – Atlas okoliša Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja, Zavod za zaštitu okoliša i prirode (<http://envi.azo.hr/>), 16.09.2021.

Eschenlohr, L., Seernels, V. 1991, *Les Bas Fourneaux Merovingiens De Boecourt, Les Boulies (Ju/Suisse)*, Cahier de archeologie jurassienne 3, Office du Patrimoine Historique Societe Jurassienne d'Emulation, Porrentruy.

Espelund, A. 2013, *The evidence and the secrets of ancient bloomery ironmaking in Norway*, Arketype Forlag, Trondheim.

Evans, R., Jones, R. J. A. 1977, Crop marks and soils at two archaeological sites in Britain. *Journal of Archaeological Science*, 4(1), 63–76. [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(77\)90112-1](https://doi.org/10.1016/0305-4403(77)90112-1)

Feletar, D. 1989, *Podravina: općine Đurđevac, Koprivnica i Ludbreg u prošlosti i sadašnjosti. Knjiga I: Povijesno-geografski pregled od paleolita do 1945. godine*, Muzej grada Koprivnice, Koprivnica.

Feletar, D., Feletar, P. 2008, Prirodna osnova kao čimbenik naseljenosti gornje hrvatske Podravine, *Podravina*, 7 (13), 167–212.

Fluzin, P., Ploquin, A., Serneels, V. 2000, Archéométrie des déchets de production sidérurgique : moyens et méthodes d'identification des différents éléments de la chaîne opératoire directe. *Gallia - Archéologie de la France antique*, CNRS Éditions, 2000, *Mines et métallurgies en Gaule*, Vol. 57, 101–121.

Gallina, J. Z. 2002, Avar kori kohótelep Kaposvár-Fészerlakon. *Somogyi Múzeumok Közleményei*, Vol. 15, 75–85.

Gallina, J.Z. 2011, Avar kori vaskohászati és települési centrum Zamárdiban. Somogyvári. In: Klápšte, J., Sommer, P. (eds.), *A Barbaricum ösvényein. Archeologia Cumanica I*, Kecskemét: Bács-Kiskun Megyei Önkormányzat Katona József Múzeuma, 179–198.

Gallina, Z., Hornok, P., Somogyi, K. 2007a, Előzetes jelentés a Zamárdi, Zamárdit elkerülő 65101. sz. út 89., 58/a.58/b., 56. lelőhelyeinek feltárásáról. *Somogyi Múzeumok Közleményei*, Vol. 17/A, 153–168.

Gallina, Z., Hornok, P., Somogyi, K. 2007b, Vorbericht über die archäologische Untersuchung eines awarischen Eisenverhüttungszentrums in der Gemeinde Zamárdi (Komitat Somogy Ungarn). In: *Ruralia VI. Arts and Crafts in Medieval Rural Environment*, Turnhout: Brepols, 71–81.

Gojda, M., Hejzman, M. 2012, Cropmarks in main field crops enable the identification of a wide spectrum of buried features on archaeological sites in Central Europe, *Journal of Archaeological Science* 39 (2012) 1655—1664. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.01.023>

Graupner, A. 1982, *Raseneisenstein in Niedersachsen. Entstehung, Vorkommen, Zusammensetzung und Verwendung*, Forschungen zur niedersächsischen Landeskunde 118. Kommissionsverlag Göttinger Tageblatt GmbH & Co. KG., Göttingen.

Gruškovnjak, L. 2017, Arheološki površinski pregled - osnovni koncepti in problemi/ Archaeological surface survey - basic concepts and problems, *Arheo*, Vol. 34., 23–77.

Gömöri J. 1980, Frühmittelalterliche Eisenschmelzöfen von Tarjánpuszta und Nemeskér. *ActaArchHung* 32(1980) 317-343

Gömöri J. 1999, Nemeskér type iron smelting workshops from the time of the Onogur colonization of Pannonia. Excavations in Zamárdi. / Nemeskéri típusú vasolvasztó műhelyek Pannonia onogur kolonizációjának időszakából. A zamárdi kohótelep. In: Traditions and Innovations in the Early Medieval Iron Production. Hagymányok és újítások a korai középkori vaskohászatban, 1997. (ed. Gömöri János) Sopron-Somogyfajsz 1999, 149-159.

Gömöri, J. 2000a, Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannoniában: Magyarország iparrégészeti lelőhelykatasztere I. Vasművesség /The archaeometallurgical sites in Pannonia from the Avar and early Árpád period: Register of industrial sites in Hungary 1. Ironworking. Sopron: Soproni Múzeum.

Gömöri J. 2000b, Az avar kori és X-XI. századi vaskohászat régészeti emlékei Somogy megyében/ The archaeometallurgical sites of county Somogy in the Avar and early 1 Árpád-period, *Somogy Megyei Múzeumok Közleményei*, Vol. 14, str. 163–218.

Gömöri J., Török B. 2002, Technical Examination of the Early Medieval Ferrous Metallurgical Finds from Hungarian Sites. *Archeometry* 98. *Proceedings of the 31st Symposium Budapest, April 26 - May 3 1998*, Volume II, BAR International Series 1043 (II) 2002, 375–381.

Gömöri J. 2018, Technológia-kontinuitási kérdések a somogyi vasvidék „izzó” vasbucái fényében/ Questions of technological continuity in the light of the glowing iron blooms found on sites in county Somogy, in: *Két Világ Határán. Természet- és társadalomtudományi tanulmányok a 70 éves Költő László tiszteletére*, Varga M., Szentpéteri J. (eds.), Kaposvár: A Kaposvári Rippl-Rónai Múzeum Közleményei 6, 77–87.

HE 2022, Hrvatska Enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža.

Halamić, J., Miko, S. (eds.) 2009, *Geokemijski atlas Republike Hrvatske*, Hrvatski geološki institut, Zagreb.

- Head, M.J. 2019, Formal subdivision of the Quaternary System/Period: Present status and future directions, *Quaternary International*, Vol. 500, 32–51. DOI: 10.1016/j.quaint.2019.05.018.
- Hejcman, M., Smrž, Z. 2010, Cropmarks in stands of cereals, legumes and winter rape indicate sub-soil archaeological features in the agricultural landscape of Central Europe. , 138(3-4), 348–354. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.06.004>
- Hejcman, M., Soucková, K., Gojda, M. 2013, Prehistoric settlement activities changed soil pH, nutrient availability, and growth of contemporary crops in Central Europe. *Plant Soil* 369, 131–140. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1559-y>
- Husnjak, S. 2014, *Sistematika tala Hrvatske*, Hrvatska Sveučilišna Naklada, Zagreb.
- Ion, R. M., Radovici, C., Fierascu, R.C., Fierascu, I. 2015, Thermal and mineralogical investigations of iron archaeological materials, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 121, 1247–1253.
- Inkret, A. 2013, *Rimskodobno željezarstvo – organizacija in pomen proizvodnje*, Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Odelek za arheologijo, Ljubljana.
- Jelić, S. 2010, *Učinek troske na rast i fiziološke procese kukuruza (Zea mays L.)*, Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno – matematički fakultet, Biološki odsjek, neobjavljeni diplomski rad, <https://repozitorij.pmf.unizg.hr/>, pristupljeno 25.03.2022.
- Joosten, I., Jansen, J., Kars, H. 1998, Geochemistry and the past: estimation of the output of a Germanic iron production site in the Netherlands. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 62, 129–137.
- Joosten, C. 2004, *Technology of Early Historical Iron Production in the Netherlands*, Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies, Vol. 2, Institute for Geo- and Bioarchaeology, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Jouttijärvi A., 2009, The shadow in the smithy, *Materials and manufacturing processes*, Vol. 24/9, 975 – 980.
- Jouttijärvi A., 2015, Scales and spheres, *Historical Metallurgy*, Vol. 48, 41—46.
- Jurković, I. 1993, Mineralne sirovine sisačkog područja, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, Vol. 5, No.1, 39–58.

Jurković, I., Durn, G. 1988, Lead Deposits in the Zrin District of Trgovska Gora in Croatia, *Geološki vjesnik*, Vol. 41, 317–339.

Kaczorek, D., Sommer, M. 2003, Micromorphology, chemistry and mineralogy of bog iron ores from Poland. *Catena*, Vol. 54/3, 393–402. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00176-4](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00176-4)

Kaczorek, D., Zagorski, Z., 2007, Micromorphological characteristics of the bsm horizon in soils with bog iron ore. *Polish Journal of Soil Science*, Vol. 40., 81–87.

Kaczorek, D., Sommer, M., Andruschkewitsch, I., Oktaba, L., Czerwinski, Z., Stahr, K.

2004, A comparative micromorphological and chemical study of „Rasseneisenstein “(bog iron ore) and „Ortstein“. *Geoderma*, Vol. 121, 83–94.

Kane, R. 2011, CHAPTER IV, in: *The Industrial Resources of Ireland*, Cambridge Library Collection - Technology, Cambridge: Cambridge University Press, 118-167.

doi:10.1017/CBO9780511795381.007 (<https://celt.ucc.ie/published/E840001-001/text004.html> , pristupljeno 05.02.2022 )

Karavidović T. 2020a, Rekonstrukcija postupaka prženja željezne rude: eksperimentalni pristup, in: *Aktuelna interdisciplinarna istraživanja tehnologije u arheologiji Jugoistočne Europe*, Vitezović, S., Antonović D., Šarić K. (eds.), Zbornik radova prvog skupa sekcije za arheometriju, arheotehnologiju i eksperimentalnu arheologiju Srpskog arheološkog društva, Srpsko arheološko društvo, Beograd, 130—137.

Karavidović T. 2020b, Močvarna željezna ruda – eksperimentalno testiranje utjecaja prženja rude na postupak taljenja i krajnji proizvod/Bog iron ore – experimental testing of the impact of ore roasting on the smelting process and the end product. *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XVI/1: 143–152.

Karavidović, T. 2021a, Makroskopska analiza otpada vezanog uz proizvodnju željeza s arheološkog nalazišta Kalinovac – Hrastova Greda (Sonda 1 – 3), neobjavljeno izvješće, Institut za arheologiju, Zagreb.

([http://transfer.iarh.hr/images/Kalinovac\\_hg\\_izvje%C5%A1%C4%87e\\_web.pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Kalinovac_hg_izvje%C5%A1%C4%87e_web.pdf)) pristupljeno 10.11.2021.)

Karavidović T. 2021b, Methodological framework for experiments related to bloomery iron production procedures: ore preparation and smelting, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The Transfer project*, Sekelj Ivančan, T.,

Karavidović, T. (eds), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 233–247. <https://doi.org/10.32028/9781803271026-12>

Kelterborn, P. (1987) Principles of Experimental Research in Archaeology, *Bulletin of Experimental Archaeology*, Vol. 8, str. 11–12.

Kercsmár, Zs.; Thiele, Á. 2015, A belső-somogyi gypvasércek genetikája és geokémiai jellemzői, földtani és archeometallurgiai megközelítés alapján / Genetic types and geochemistry of bog iron ore deposits from Inner Somogy, from a geological and archaeometallurgical perspective, *Földtani Közlöny*, 142(1), 53–71.

Kevey, B. 2019., Floodplain forests, in: *The Drava River, Environmental problems and solutions*, Springer Geography, D. Lóczy (ed.), Springer International Publishing, 2019, 299–336.

Kiss, T., Andrási, G. 2019, Evolution of The Drava Floodplain in Hungary in the last 100 years, in: *The Drava River: Environmental problems and solutions*, Lóczy, D.(ed.), Cham, Springer Geography, 157–176.

Kolar Dimitrijević, M. 1991, Rudarstvo i talioničarstvo, u: *Dvor na Uni. Od prijeslavenskog doba do naših dana*, Joka M. (ed.), Zbornik naučnih i publicističkih radova, Knjiga 1, Dvor na Uni, 28–41. ([https://issuu.com/dvornauni/docs/dvor\\_na\\_uni1](https://issuu.com/dvornauni/docs/dvor_na_uni1), pristupljeno: 10.01.2021.).

Koščević, R. 1995, Finds and metalwork production, in: *Siscia: Pannonia Superior*, Koščević R., Makjanić R. (eds.), BAR International Series 621, Oxford.

Koščević, R. 1997, Metalna produkcija antičke Siscije / Die Herstellung von Metallgegenständen im antiken Siscia, *Prilozi Instituta za arheologiju u Zagrebu*, Vol. 11–12, 41–63.

Kranjčev, R. 1980, Šumska vegetacija Podravine i Bilo-gore, *Podravski zbornik*, Vol. 6, 231–247.

Kruhek, M. 1999, *Posjedi i gradovi obitelji Zrinskih i Frankopana*, Katalog izložbe, Hrvatski povijesni muzej, Zagreb.

Kudelić, A., Sirovica, F., Miloglav, I. 2015, Prikaz rezultata prve faze sustavnog terenskog pregleda gornje Podravine, *Annales Instituti Archaeologici*, XI, 104–108.

Kudelić, A., Sirovica, F., Miloglav, I., Tresić Pavičić, D. 2017, Terenski pregled gornje Podravine – analiza učestalosti i distribucije srednjovjekovnog površinskog materijala, in:

Sekelj Ivančan, T., Tkalčec, T., Krznar, S., Belaj, J. (eds) *Medieval Settlements in the Light of the Archaeological Sources*, Zbornik Instituta za arheologiju 6, Institut za arheologiju, Zagreb, 473–481.

Landuydt, C.J. 1990, Micromorphology of iron minerals from bog ores of the Belgian Campine area. *Developments in Soil Science*, Vol. 19, 289–294. DOI: [10.1016/S0166-2481\(08\)70340-4](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70340-4)

Laszowski, E. 1942, Povijesni pregled rudarstva i rudarskih ustanova u Hrvatskoj – Slavoniji – Međimurju od najstarijih vremena do 1859., *Rudarstvo u Hrvatskoj*, Svezak I, Nakladni odjel Hrvatske državne tiskare, Zagreb.

Laszowski, E. 1944, Rudarenje na području bivše I i II. Banske pukovnije i u okolini Samobora, *Rudarstvo u Hrvatskoj*, Svezak II, Nakladni odjel Hrvatske državne tiskare, Zagreb.

Lubick, N. 2011, Did rain bring down the Roman Empire? *Global Change* 77 (July), 8–11.

Manasse, A., Mellini, M. 2002, Chemical and textural characterization of medieval slags from the Massa Marittima smelting sites (Tuscany, Italy), *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 3, 187–198. DOI: [10.1016/S1296-2074\(02\)01176-7](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01176-7)

Ložnjak Dizdar, D., Dizdar, M. 2021, Prehistoric settlement at Virje Volarski bre/Sušine, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The Transfer project*, Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. (eds), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 123–145.

Marković, Z. 1979, Vučedolsko naselje Rudina (Rezultati iskopavanja 1978), *Podravski zbornik*, Vol. 89., Koprivnica 1979, 120–138.

Marković, S. 2002, *Hrvatske mineralne sirovine*, Institut za geološka istraživanja, Zavod za geologiju, Zagreb.

McCormick, M., Büntgen, U., Cane, M.A., Cook, E.R., Harper, K., Huybers, P., Litt, T., Manning, S.W., Mayewski, P.A., More, A.F.M., Nicolussi, K. and Tegel, W. 2012, Climate Change during and after the Roman Empire: Reconstructing the Past from Scientific and Historical Evidence. *Journal of Interdisciplinary History* XLIII (2), 169–220.

Mehofer, M. 2010, Archäologische und technologische Untersuchungen zur Eisenverhüttung und Verarbeitung in der awarischen Siedlung von Zillingtal/Burgenland. In: Herold, H. (ed.),



*Die awarische Siedlung von Zillingtal*. Monographien des RGZM 80/2, Mainz: Römisch-Germanisches Zentralmuseum, 207–234.

Milot, J., Poitrasson, F., Baron, S., Coustures, M.P. 2016, Iron isotopes as a potential tool for ancient iron metals tracing, *Journal of Archaeological Science*, Vol. 76, 9-20, DOI: 10.1016/j.jas.2016.10.003.

Morton, G. R., Wingrove, J. 1969, Constitution of bloomery slags, part 1: Roman, *Journal of the Iron and Steel Institute*, Vol. 207, 1556–1564.

Murad, E., Schwertmann, U. 1993, Temporal stability of a fine-grained magnetite, *Clays and Clay Minerals*, Vol. 41, 111–113.

Mušič B., Medarič I., Mori, M., Nas, E. 2013, Izvješće o geofizičkim istraživanjima na arheološkom lokalitetu Virje – Volarski breg/Sušine, Hrvatska, Maribor 16. 06. 2013., neobjavljeno izvješće, arhiv Instituta za arheologiju u Zagrebu.

Mušič B., Medarič I., Mori, M., Matijević, F. 2014, Izvješće o geofizičkim istraživanjima na arheološkom lokalitetu Sušine kod Virja, Hrvatska, Maribor 16. 06. 2014., neobjavljeno izvješće, arhiv Instituta za arheologiju u Zagrebu.

Mušič, B., Medarič, I., Matijević, F. 2017, Izvješće o geofizičkim istraživanjima na arheološkom lokalitetu: Hlebine-Velike Hlebine i Dedanovice. Maribor 10. 11. 2017., neobjavljeno izvješće, arhiv Instituta za arheologiju u Zagrebu.

Mušič, B., Medarić, I., Sekelj Ivančan, T. 2019, Geofizička istraživanja srednjovjekovnoga lokaliteta Kalinovac – Hrastova greda 1, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XV No. 1, 117–122.

Mušič, B., Medarić, I. 2019, Izvješće o geofizičkim istraživanjima na arheološkom lokalitetu: Kalinovac – Hrastova greda, neobjavljeno izvješće (pristupljeno 01.02.2021, [http://transfer.iarh.hr/images/IZVJESCE\\_GEARH%20doo\\_Kalinovac-Hrastova%20gredaw.pdf](http://transfer.iarh.hr/images/IZVJESCE_GEARH%20doo_Kalinovac-Hrastova%20gredaw.pdf))

Mušič, B., Horn, B. 2021, Results of Geophysical Investigations Related to the Excavated Remains of the Late Antique and Early Mediaeval Iron Production Sites in the Podravina Region, Croatia, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The Transfer project*, Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. (eds), Archaeopress

Publishing Ltd., Oxford, Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 18–42.  
<http://doi.org/10.32028/9781803271026-3>

Navasaitis, J., Selskienė, A., Žaldarys, G. 2010, The Study of Trace Elements in Bloomery Iron. *Materials Science*, 16(2), 113–118.

Nemet, I., Rončević, S., Bugar, A., Zubin Ferri, T., Pitarević, L. 2018, Classification analysis of archaeological findings from early-iron production (Turopolje region, NW Croatia) based on multi-analytical profiling, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, Vol. 33, 2053–2061, <https://doi.org/10.1039/C8JA00202A>

Pašalić, E. 1954, O antičkom rudarstvu u Bosni i Hercegovini, *Glasnik Zemaljskog muzeja u Sarajevu*, Svezak IX, 47–75.

Petrić, H., Obadić, I. 2007, O poplavama rijeke Drave u varaždinskoj i kopriivničkoj Podravini od 17. do 19. stoljeća, *Podravina, Časopis za multidisciplinarna istraživanja*, Vol. 6(12), 136–147.

Petrić H. 2012, *Pogranična društva i okoliš: Varaždinski generalat I Križevačka županija u 17.stoljeću*, Meridijani i Društvo za Hrvatsku Ekonomsku povijest i Historiju, Zagreb.

Petrić, H. 2013, Poplave i pogranična naselja od 17. do 19. stoljeća – primjer rijeke Drave/Floods and border settlements from the 17th to the 19th century - an example of the Drava River. in: Jurković, I. (ed.), *Bertošin zbornik: zbornik u čast Miroslava Bertoše*, Knjiga 2, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli – Državni arhiv u Pazinu, Pula – Pazin, 413–429.

Petrić, H., Tamás, E. A., Lóczy, D. 2019, Flood history and river regulation, in: *The Drava River: Enviromental problems and solutions*, Lóczy, D.(ed.), Cham, Springer Geography, 105–124.

Pleiner, R. 2000, *Iron in archaeology: The European Bloomery Smelters*, Prag: Archeologický ústav AVČR.

Pleiner, R. 2006, *Iron in Archaeology: Early European Blacksmiths*. Prag: Archeologický ústav AV ČR.

Pollard, M., Batt, C., Stern, B., Young, S. 2006, *Analytical Chemistry in Archaeology*. Cambridge Manuals In Archaeology, Cambridge: Cambridge University Press.  
[doi:10.1017/CBO9780511607431](http://doi.org/10.1017/CBO9780511607431)

Portillo, H., Zuluaga, M.C., Ortega, L.A., Alonso-Olazabal, A., Murelaga, X., Martinez-Salcedo, A. 2018, XRD, SEM/EDX and micro-Raman spectroscopy for mineralogical and chemical characterization of iron slags from the Roman archaeological site of Forua (Biscay, North Spain), *Microchemical Journal*, Vol. 138, 246–254.

Puttkammer, T., 2012, *Auf den Spuren der Germanen. Begleitband zur Wanderausstellung*. Museum der Westlausitz, Kamenz.

Ramanaidou, E., Wells, M.A. 2014, Sedimentary hosted iron ores. in: *Treatise on Geochemistry*, 2<sup>nd</sup> edition, Holland, H. D., Turekian, K.K. (eds.), Elsevier, Oxford, 313–355. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01115-3>

Rehren, Th., Charlton, M., Chirikure, S., Humphris, J., Ige, A., Veldhuijzen, H.A., 2007. Decisions set in slag: the human factor in African iron smelting. In: La Niece, S., Hook, D., Craddock, P. (eds.), *Metals and Mines: Studies in Archaeometallurgy*. Archetype, London, 211–218.

De Rijk, P., Joosten, I. 2014, Heeten revisited – Germanic iron production in the Netherlands (150-350 AD), in: *Early Iron in Europe, Monographies Instrumentum*, Vol. 50, B. Cech, T. Rehren (eds.), Editions Monique mergoïl montagnac, Montagnac, 65–80.

Roberts, B.W.; Thornton, C.P. 2014, *Archaeometallurgy in Global Perspective*. New York: Springer.

Rose, T., Télouk, P., Klein, S., Marschall, H.R. 2019, Questioning Fe isotopes as a provenance tool: Insights from bog iron ores and alternative applications in archeometry, *Journal of Archaeological Science*, Vol. 101, 52–62. DOI: 10.1016/j.jas.2018.11.005.

Rzepa, G., Bajda, T., Gawęł, A., Debiec, K., Drewniak, L. 2016, Mineral transformations and textural evolution during roasting of bog iron ores, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 123, 615–630. DOI: 10.1016/B978-0-08-095975-7.01115-3.

Sauder, L., Williams, S. 2002, A practical treatise on the smelting and smithing of bloomery iron. *Historical Metallurgy*, 36, 122–131.

Schwab, R., Heger, D., Höppner, B., Pernicka, E. 2006, The provenance of iron artefacts from Manching: a multi-technique approach, *Archaeometry*, 48, 433–452.

Serneels, V., Crew, P. 1997, Ore–slag relationships from experimentally smelted bog–iron ore, in: *Early Ironworking in Europe, archaeology and experiment*, Crew P., Crew S.(eds.), Abstracts of the International Conference, Plas Tan y Bwlch Occasional Paper No. 3, 78–82.

Serneels V., Perret S. 2003, Quantification of smithing activities based on the investigation of slag and other material remains, in: *Archaeometallurgy in Europe Vol. 1, Milan, Associazione Italiana di Metallurgia*, 469–478.

Sekelj Ivančan, T. 2007. Novi površinski nalazi s lokaliteta Virje – Volarski breg. *Obavijesti Hrvatskog arheološkog društva XXXIX*, 3, 73–79.

Sekelj Ivančan, T. 2009, Arheološka istraživanja ranosrednjovjekovne radionice za preradu željezne rudače na lokalitetu Virje-Volarski breg, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. V, 65–70.

Sekelj Ivančan, T. 2010a, Podravina u ranom srednjem vijeku, Rezultati arheoloških istraživanja ranosrednjovjekovnih nalazišta u Torčecu. *Monographiae Instituti archaeologici*, Vol. 2. Zagreb: Institut za arheologiju.

Sekelj Ivančan, T. 2010b, Talionička djelatnost u okolici Molva u ranom srednjem vijeku, U: Kolar, M., Petrić, H. (eds.), *Molve – ljudi, selo i okoliš u dugom trajanju (1658–2008.)*, *Zbornik radova sa znanstvenog skupa u povodu 350-te obljetnice osnivanja današnjeg sela Molve*, Knjiga 2, Molve: Bibliotheca Scientiae Molvensis, 34–35.

Sekelj Ivančan, T. 2011, Rezultati istraživanja nalazišta Virje – Volarski breg u 2010. godini, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. VII, 50–53.

Sekelj Ivančan, T. 2013, Nastavak arheoloških istraživanja na položajima Volarski breg i Sušine kraj Virja u 2012. godini, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. IX, 48–54.

Sekelj Ivančan, T. 2014a, Četvrta sezona arheoloških istraživanja nalazišta Virje – Volarski breg/Sušine, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. X, 99–103.

Sekelj Ivančan, T. 2014b, Pregled dosadašnjih arheoloških istraživanja na lokalitetu Virje – Volarski breg/Sušine, *Podravski zbornik*, Vol. 40, 158–166.

Sekelj Ivančan, T. 2015, Arheološki ostaci triju naselja na Sušinama u Virju. *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XI, 50–53.

Sekelj Ivančan, T. 2016, Predindustrijska obrada željeza: pokazatelji talioničke djelatnosti na primjeru arheoloških nalazišta u Podravini, *Podravina*, Časopis za multidisciplinarna istraživanja, Vol. XV(29), 118–125.

Sekelj Ivančan, T. 2017a, Ranosrednjovjekovno naselje na Volarskom bregu u Virju. in: *Zbornik Instituta za arheologiju, Srednjovjekovna naselja u svjetlu arheoloških izvora / Mediaeval Settlements in the Light of Archaeological Sources* 6. Sekelj Ivančan T., Tkalčec T., Krznar S. and Belaj J. (eds.). Institut za arheologiju, Zagreb: 111–131.

Sekelj Ivančan, T. 2017b, Ranosrednjovjekovni objekt na Sušinama u Virju. *Cris, Časopis Povijesnog društva Križevci* XIX, 1: 115–128.

Sekelj Ivančan, T. 2018, Nastavak istraživanja talioničke radionice i naselja na lokalitetu Hlebine–Velike Hlebine. *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XIV, 65–71.

Sekelj Ivančan, T. 2019, Arheološka istraživanja lokaliteta Hlebine – Dedanovice. *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XV, 129–135.

Sekelj Ivančan, T., Zvijerac, I. 1997, Nekoliko srednjovjekovnih položaja u okolici Torčeca – Koprivničko-križevačka županija. *Obavijesti Hrvatskog arheološkog društva*, XXIX/ 2, 65–69.

Sekelj Ivančan, T., Tkalčec, T., Šiljeg, B. 2003, Rezultati analize ranosrednjovjekovnih nalaza i nalazišta u okolici Torčeca. *Prilozi Instituta za arheologiju*, 20, 113–130.

Sekelj Ivančan, T., Marković, T. 2017, The primary processing of iron in the Drava river basin during the Late Antiquity and the Early Middle Ages - the source of raw materials, U: Vitezović, S., Antonović, D. (eds). *Archaeotechnology studies: Raw material exploitation from prehistory to the Middle Ages*, Beograd: Srpsko arheološko društvo, 143–160.

Sekelj Ivančan, T., Valent, I. 2017, Ostaci talioničke radionice na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XIII, 73–76.

Sekelj Ivančan, T. 2018, Nastavak istraživanja talioničke radionice i naselja na lokalitetu Hlebine–Velike Hlebine, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XIV, 65–71.

Sekelj Ivančan, T.; Tkalčec, T. 2018. Settlement Continuity at Sušine Site near Virje (North Croatia) throughout the Middle Ages, *Konštatínove listy*, Vol. 11 (2), 35–60

Sekelj Ivančan, T. 2019. Arheološka istraživanja lokaliteta Hlebine – Dedanovice, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XV (1), 129–135.

Sekelj Ivančan, T. 2020, Izvješće o arheološkom iskopavanju lokaliteta Kalinovac - Hrastova greda 1, neobjavljeni rukopis, arhiva Instituta za arheologiju, Zagreb.

Sekelj Ivančan, T. 2021, The Archaeological remains of settlement at sites with smelting workshop features in the Podravina region, , in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The Transfer project*, Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. (eds), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 146–194. <http://doi.org/10.32028/9781803271026-8>

Sekelj Ivančan, T., Botić, K., Culiberg, M. 2019, Biljni pokrov Đurđevačkih pijesaka i okolice – arheološka perspektiva: studija slučaja Virje-Volarski breg, in: *Đurđevački pijesci: geneza, stanje i perspektive*, Tomić F. (ed.), Zagreb-Križevci 2019, 47–69.

Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. 2021, Archaeological record of Iron Metallurgy along the Drava River, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The Transfer project*, Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. (eds), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 43–91. <http://doi.org/10.32028/9781803271026-4>

Sekelj Ivančan, T., Valent, I. 2021. Similarities and differences between 7th and 8th-century pottery on the example of the archaeological sites in the vicinity of Hlebine. in: *Avars and Slavs: Two sides of a belt strap end: Avars on the north and the south of the Khaganate*. Rapan Papeša A., Dugonjić A. (eds.). Vinkovci 2021: (in press).

Senn, M., Gfeller, U., Guénette–Beck, B., Lienemann, P., Ulrich, A. 2010, Tools to qualify experiments with bloomery furnaces. *Archaeometry*, Vol. 52/1, 131–145. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2009.00461.x>

Sokač-Štimac, D. 2000, *Rimski nalazi u Imrijevcima*, Požeški pučki kalendar, Požega 2000, 48–49.

Sokač-Štimac, D. 2014, *Arheološka istraživanja rimske lijevaonice željeza u Imrijevcima*, Simpozij: Josip Kunkera i prošlost čaglinskog kraja, Požega, 28. studenoga 2014, Knjiga sažetaka, G. Đurđević, V. Tadić (eds.), Povijesno društvo Požega, Požega 2014, 20–21.

Sperl, G., Reimann, C., Nöbauer, O. 1980, *Über die Typologie urzeitlicher, frühgeschichtlicher und mittelalterlicher Eisenhüttenschlacken*, Et Al, Studien zur Industrie-Archäologie. Wien: Österreichische Akademie der Wissenschaften.

Stanton, M.R., Yager, D.B., Fey, D.L., Wright, W.G. 2007, Formation and Geochemical significance of Iron Bog Deposits. in: *Integrated Investigations of Environmental Effects of Historical Mining in the Animas River Watershed*, Church, S.E., von Guerard, P., Finger, S.E. (eds), San Juan County, Colorado, 693–710.

Sitschick, H., Ludwig, F., Wetzel, E., Luckert, J., Höding, T., 2005, Raseneisenerz – auch in Brandenburg ein mineralischer Rohstoff mit bedeutender wirtschaftlicher Vergangenheit. *Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge*, Vol. 12, 119–128.

Slukan – Altić M. 2002, Hidroregulacije Drave i njezini utjecaji na transformaciju prirodnog i kulturnog pejzaža Podravine, *Podravina*, Vol. I/2, Koprivnica, 128–152.

Slukan – Altić M. 2003, Podravsko srednjovjekovlje u zrcalu kartografskih izvora, *Podravina*, Vol. 2. Br. 4., Koprivnica 2003., 121–132.

Stoops, G. 1983, SEM and light microscopic observations of minerals in bog-ores of the Belgian Campine. *Geoderma*, Vol. 30/1, 179–186.

Sperling, D. 2003, *Rohstoffgewinnung und Altbergbau im Förderraum Calau*. Beiträge zur Geschichte des Bergbaus in der Niederlausitz, Vol. 3., Förderverein Kulturlandschaft Niederlausitz.

Šebetić, B. 2000, O rudarskom poduzetništvu u Banovini / On mining entrepreneurship in Banovina region (Croatia), *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, Vol. 12, No.1, 99–124.

Šoštarić, R., Vilović, T. 2021, Plant Macro-Remains and Traces of Leaves from Virje and Hlebine, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The Transfer project*, Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. (eds), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 212–226.

<http://doi.org/10.32028/9781803271026-10>

Škegro, A. 1999, *Gospodarstvo Rimske provincije Dalmacije*. Zagreb: Hrvatski studiji, Sveučilište u Zagrebu.

Thelemann, M., Bebermeier, W., Hoelzmann, P., Lehnhardt, E. 2017, Bog iron ore as a resource for prehistoric iron production in Central Europe – A case study of the Widawa catchment area

in eastern Silesia, Poland, *Catena*, Vol. 149, 474–490.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.04.002>

Thiele, Á. 2010, Smelting experiments in the early medieval fajszi-type bloomery and the metallurgy of iron bloom, *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering* 54/2, 99–104.

Thiele, A., Török, B., Költő, L. 2013, The role of phosphorus in the archaeometallurgy of iron: Sem-eds analysis on slag samples from avar and árpád-age bloomery workshops of Somogy county. *Archeometriai Műhely*, Vol 10., 13–22.

Thiele, Á. 2014, A Foszfor Szerepe A Vas Archeometallurgiájában, doktorska disertacija, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Pattantyús-Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola Alkalmazott Anyagtudomány alprogram, Budimpešta. ([http://www.bucavasgyuro.net/data/publikaciok/Thiele\\_PhD\\_dolgozat.pdf](http://www.bucavasgyuro.net/data/publikaciok/Thiele_PhD_dolgozat.pdf), pristupljeno 01.2021.)

Thiele, Á., Török, B. 2011, Vastermelés, Vaskihozatal És A Kohósított Gyepvasércék Minimálisan Szükséges Vastartalma Az Avar És Árpád-Kori Vasbucakohászatban, *Archeometriai Műhely*, Vol. 4., 345–350.

Thiele, Á., Kercksmár, Zs. 2014, A belső-somogyi gyepvasérc telepek archeometallurgiai jelentősége és genetikája /Genetic types and archaeometallurgical role of bog iron ore deposits in Inner Somogy, *Bányászati és Kohászati Lapok – Bányászat*, Vol. 145/1, 53-72.

Tučan, F. 1941, *Mineraloško-petrografsko istraživanje Trgovske gore*, Ljetopis Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Svezak 53, 150–158. (<https://dizbi.hazu.hr/>, accessed: 21.01.2021)

Török, B., Thiele, Á. 2013, Smelting bog iron ores under laboratorial conditions – the role of phosphorus in the archaeometallurgy of iron in Somogy county, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 47, 12–34.

Török, B., Kovács, Á., Gallina. 2015, Iron metallurgy of the Pannonian Avars of the 7th - 9th century based on excavations and material examinations, in: *Archaeometallurgy in Europe III, Proceedings of the 3rd International Conference Deutsches Bergbau-Museum Bochum, June 29 – July 1, 2011*, Hauptmann, A., Modarressi-Tehrani, D. (eds.), Bochum, 229–237.

Török, B., Kovács, A., Barkóczy, P., Költő, L., Fehér, A., Szőke, B.M. 2017, A complex comparative study of early medieval split blooms from Pannonia, *International conference:*



*Iron in Archaeology, Bloomery Smelters and Blacksmiths in Europe and Beyond*, Prague 2017, 30.05-01.06.2017., poster prezentacija.

Tylecote, R.F, Austin, J.N., Wraight, A.E. 1971, The mechanism of the bloomery process in shaft furnace. *Journal of the Iron and Steel Institute*, Vol. 209, 342–363.

Tylecote R.F, Clough R.E 1983, Recent bog iron ore analyses and the smelting of pyrite nodules, *Offa*, Vol. 40, 115–118.

Valent, I. 2017. Izvješće o provedenim rekognosciranjima i reambulaciji arheoloških lokaliteta s metalurškim značajkama na prostoru Podravine, accessed: 30. 01. 2020. ([http://transfer.iarh.hr/images/Valent%20Ivan\\_Izvije%C5%A1%C4%87e\\_1-426.pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Valent%20Ivan_Izvije%C5%A1%C4%87e_1-426.pdf)).

Valent, I. 2018, Rekognosciranja Muzeja grada Koprivnice u 2017. godini. *Podravski zbornik*, Vol. 44, 77–98.

Valent, I. 2021, Traces of iron smelting on the Koprivnički Ivanec - Log / Parag I site, *Tajne željeza - od sirovine do željeznog predmeta / Secrets of iron - from raw material to an iron object*, 7. Međunarodna znanstvena konferencija srednjovjekovne arheologije, Zagreb, 11 – 13.09. 2021, poster. [http://transfer.iarh.hr/images/Poster%201\\_Valent.pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Poster%201_Valent.pdf), pristupljeno 02.02.2022.

Valent, I., Zvijerac, I., Sekelj Ivančan, T. 2017, Topografija arheoloških lokaliteta s talioničkom djelatnošću na prostoru Podravine. *Podravina, Časopis za multidisciplinarna istraživanja*, Vol. 16/32, 5–25.

Valent, I, Krznar, S., Tkalčec, T., Sekelj Ivančan, T. 2018, Terenski pregled koprivničke i đurđevačke Podravine, , *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XIV, No. 1, 142–147.

Valent, I. 2018, Izvješće o studijskom putovanju i sudjelovanju na radionici eksperimentalnog taljenja željezne rude, Stará huť u Adamov, Republika Češka; 23. – 25. svibanj 2018, arhiva Instituta za arheologiju u Zagrebu, (<http://transfer.iarh.hr/images/IZVJE%C5%A0%C4%86E%20-%20%C4%8Ce%C5%A1ka%202018..pdf>, pristupljeno 20.04.2022)

Valent, I., Krznar, S., Tkalčec, T. 2019, Novi arheološki lokaliteti s metalurškom djelatnošću na prostoru Podravine, *Podravina: Časopis za multidisciplinarna istraživanja*, Vol. XVIII (35), 5–25.

Valent, I., Tkalčec, T. Krznar, S. 2021, Methodological approach to detecting archaeological sites with metallurgical activities on the territory of the River Drava Basin and the possibilities of analysing the collected information, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The Transfer project*, Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. (eds), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 1–17. DOI: [10.32028/9781803271026-2](https://doi.org/10.32028/9781803271026-2)

Vasiljević, R., Fabijanec, S.F. 2016, L'exploitation et le commerce des métaux en Croatie & Slavonie médiévales – Esquisse d'une recherche / Exploitation and Trade with Metals in Croatia During Medevials, *Ekonomika i ekohistorija*, Vol. 12(1), 65–100.

Verhoeven, G. J., 2011. Near-Infrared Aerial Crop Mark Archaeology: From its Historical Use to Current Digital Implementations. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 19(1), 132–160. <https://doi.org/10.1007/s10816-011-9104-5>

Veldhuijzen, H.A., Rehren, T. 2007, Slags and the city: early iron production at Tell Hammeh, Jordan, and Tel Beth-Shemesh, Israel. In: La Niece, S., Hook, D., Craddock, P. (eds.), *Metals and Mines: Studies in Archaeometallurgy*. Archetype Publications, London, 189–201.

Vukadinović, V., Vukadinović, V. 2011, *Ishrana bilja - III. izmijenjeno i dopunjeno izdanje*, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Poljoprivredni Fakultet u Osijeku, Osijek.

Vukelić, J., Rauš, Đ. 1998, *Šumarska fitocenologija i šumske zajednice u Hrvatskoj*, Anić, I., Baričević, D. (eds.), Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.

Wang, L., Liu, H. 2006, An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 20/2, 193–213. <https://doi.org/10.1080/13658810500433453>

Werońska, A. 2009, Wpływ warunków środowiskowych na powstawanie holocenijskich rud żelaza, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, Vol. 25/2, 2009, 23–36.

Zwahr, H., Granitzki, K., Schomburg, J., Zander, H.-J. 2000, Quartäres Raseneisenerz in Mecklenburg-Vorpommern - Genese Stoffbestand, Vorkommen und Nutzung. *Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge* 7, 83–91.

#### **Online izvori:**

HE, Hrvatska enciklopedija, online izdanje, <https://enciklopedija.hr/>

GHE, Hrvatske Vode, Geoportal Hrvatske Vode : <https://preglednik.voda.hr/>

[www.mapire.com](http://www.mapire.com)

[www.geoportal.dgu](http://www.geoportal.dgu)

<http://pedologija.com.hr>

## Životopis autorice

Tena Karavidović rođena je u Osijeku. Završila je jednopredmetni studij arheologije na Odsjeku za arheologiju Filozofskog fakulteta u Zagrebu, 2014. godine. Poslijediplomski studij Arheologije na istom odsjeku upisala je 2018. godine. U Institutu za arheologiju zaposlena u svojstvu znanstvenog novaka/doktoranda pri istraživačkom projektu Hrvatske zaklade za znanost, „*Proizvodnja željeza uz rijeku Dravu u antici i srednjem vijeku: stvaranje i transfer znanja, tehnologija i roba – TransFER*“ (IP – 2016 – 06 – 5047), voditeljice dr.sc. Tajane Sekelj Ivančan.

Samostalno i u koautorstvu je objavila znanstvene i stručne radove u polju arheologije i geologije, autorica je poglavlja u znanstveno–stručnim knjigama te katalogima izložbi, jedna od urednica završne publikacije znanstvenog projekta TransFER, a sudjelovala je i na nizu međunarodnih i domaćih znanstvenih i stručnih skupova.

U tijeku preddiplomskog studija i nakon završetka aktivno sudjeluje u sustavnim i zaštitnim arheološkim istraživanjima, iskopavanjima te terenskim pregledima, pod vodstvom Odsjeka za arheologiju Filozofskog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu i Zadru, Arheološkog Muzeja u Osijeku i Zagrebu, Instituta za arheologiju te Kaducej d.o.o.

Osmislila je i sudjelovala u nizu diseminacijskih aktivnosti, izvedbi elemenata stalnih postava muzeja (Muzej Vučedolske kulture, Arheološki Muzej u Osijeku) i izložbi od kojih izdvaja *Tajne željeza i Život na vodi – Brončano doba Turopolja* čija je koautorica. Članica je Centra za eksperimentalnu arheologiju te CIPA Heritage Documentation udruženja pri ICOMOS–u (ICOMOS / ISPRS Committee for Documentation of Cultural Heritage).

Njezin znanstveni interes uključuje arheometalurgiju, arheologiju krajolika te razdoblje kasne antike i ranog srednjeg vijeka.

### Popis radova

---

#### Uredništvo:

- Sekelj Ivančan, T. i Karavidović, T. (ur.), *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The TransFER Project*, Arheopress: Oxford, 2021.
- Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T., Tkalčec, T., Krznar, S., Belaj, J. 2021, *Secrets of iron: from raw material to an iron object, Proceedings of the 7th International Conference on Mediaeval archaeology*, Serta Instituti Archaeologici, Institut za arheologiju: Zagreb.

## Katalog izložbe

- Sekelj Ivančan, T., Valent, I., Karavidović, T., Čimin, R. 2020, Tajne željeza, Katalog izložbe Galerija Koprivnica, 19. 6. – 19. 7. 2020., Muzej grada Koprivnice, R. Čimin (ur.), Koprivnica 2020.
- Kudelić, A., Karavidović, T., Ceković, M. 2019, Život na vodi – Brončano doba Turopolja, Muzej Turopolja, Velika Gorica 2019.

## Znanstveni radovi u časopisima/poglavlja u knjigama

- Brenko, T., Karavidović, T., Borojević Šoštarić, S., Sekelj Ivančan, T. 2022, Geochemical and mineralogical characterization of iron slags towards their provenance studies in the Podravina region, NE Croatia, *Geologica Croatica*, Vol. 75, No.1., 165–176
- Karavidović, T., Drnić, I. 2022, Traces of iron production in the area of Donje Pokuplje in the 1st millenium BC, *Secrets of iron: from raw material to an iron object, Proceedings of the 7th International Conference on Mediaeval archaeology*, Serta Instituti Archaeologici, Institut za arheologiju: Zagreb (u tisku)
- Nemet, I., Karavidović, T. 2022, Multi–method analysis of archaeometallurgical iron slags, *Secrets of iron: from raw material to an iron object, Proceedings of the 7th International Conference on Mediaeval archaeology*, Serta Instituti Archaeologici, Institut za arheologiju: Zagreb (u tisku)
- Brenko, T., Borojević Šoštarić, S., Karavidović, T., Ružičić, S., Sekelj Ivančan, T. 2021, Geochemical and mineralogical correlations between the bog iron ores and roasted iron ores of the Podravina region, Croatia. *Catena* 204, 105353, 13
- Karavidović, T. 2021, Tekstilno ruktvorstvo/Textile handicrafts, *Vučedol – Zapisano Na Kućnom Broju 12 /Vučedol – Written On The House Number 12*, Hutinec, M., Roksandić Vukadin, D. (eds), Muzej Vučedolske kulture, Vukovar, 72–84.
- Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. 2021, Archaeological Record of Iron Metallurgy Along the Drava River, u: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The TransFER Project*, Sekelj Ivančan T. i Karavidović T. (ur.), Arheopress: Oxford, 2021, 43–91.
- Karavidović, T. 2021, Methodological framework for experiments related to bloomery iron production procedures: ore preparation and smelting, u: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The TransFER Project*, Sekelj Ivančan T. i Karavidović T. (ur.), Arheopress: Oxford, 2021, 233–247.

- Karavidović, T. 2021, The Spatial Database of the TransFER project, u: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia – The TransFER Project*, Sekelj Ivančan T. i Karavidović T. (ur.), Arheopress: Oxford, 2021, 248 – 251.
- Karavidović, T. 2020, Močvarna željezna ruda – eksperimentalno testiranje utjecaja prženja rude na postupak taljenja i krajnji proizvod, *Annales Instituti archaeologici*, Vol. XVI, No. 1, 143–152.
- Karavidović, T. 2020, Proizvodnja željeza/ The production of iron, u: *Segestica i Siscia – naselje s početka povijesti / Segestica and Siscia – a settlement from the beginning of history*, Drnić I. (ur.), Arheološki Muzej u Zagrebu, Zagreb, 129–134.
- Karavidović, T. 2020, Rekonstrukcija postupka prženja rude: eksperimentalni pristup, in: *Aktuelna interdisciplinarna istraživanja tehnologije u arheologiji Jugoistočne Europe*, Vitezović S., Antonović D., Šarić K. (eds.), Zbornik radova prvog skupa sekcije za arheometriju, arheotehnologiju i eksperimentalnu arheologiju Srpskog arheološkog društva, 28. veljače 2020., Srpsko arheološko društvo, Beograd, 130–137.
- Kušan Špalj, D., Perok, N., Karavidović, T. 2019, Construction and Building Technology in Sanctuary of Roman Settlement Aquae Iasae with the Review of Conservation Works on the Site. U: Aguilar, R., Torrealva, D., Moreira, S., Pando, M. & Ramos, L. (ur.) *Structural Analysis of Historical Constructions: an interdisciplinary approach*. New York, Springer International Publishing, 96–104.
- Karavidović T., Sekelj Ivančan T. 2018, Understanding archaeological record: Reconstructing a Warp – weighted loom, *Exarc Journal*, Vol. 2/2018, on–line izdanje.
- Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T., 2016, Tkalački stan iz Virja, *Prilozi Instituta za arheologiju u Zagrebu*, Vol. 33, Zagreb 2016, 171–235.
- Karavanić, S. Kudelić, A. Karavidović, T. 2015, Rezultati arheološkog iskopavanja lokaliteta Kalnik – Igrišće 2014. godine, *Annales Instituti archaeologici*, Vol. XI, 59–62.

