

# Geofizička istraživanja arheoloških nalazišta s pretpostavljenom željezarskom djelatnošću na primjeru lokaliteta Bakovčice, Nađbarice i Ždala

---

**Mušič, Branko; Horn, Barbara; Matijević, Filip; Valent, Ivan; Sekelj Ivančan, Tajana**

*Source / Izvornik:* **Annales Instituti Archaeologici, 2020, XVI, 135 - 142**

**Journal article, Published version**

**Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:291:126340>

*Rights / Prava:* [Attribution 3.0 Unported/Imenovanje 3.0](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



INSTITUT ZA  
ARHEOLOGIJU

*Repository / Repozitorij:*

[RIARH - Repository of the Institute of archaeology](#)





Annales

Instituti

Archaeologici

**XVI - 2020**

*Godišnjak*

*Instituta za  
arheologiju*

## **Nakladnik/Publisher**

INSTITUT ZA ARHEOLOGIJU  
INSTITUTE OF ARCHAEOLOGY

## **Adresa uredništva/Editor's office address**

Institut za arheologiju/Institute of Archaeology  
HR-10000 Zagreb, Ulica Ljudevita Gaja 32  
Telefon/phone 385 (0) 1 6150250  
fax 385 (0) 1 6055806  
e-mail: iarh@iarh.hr  
http://www.iarh.hr

## **Glavni i odgovorni urednik/Editor in chief**

Marko Dizdar

## **Uredništvo/Editorial board**

Katarina Botić, Hrvoje Kalafatić, Ana Konestra, Siniša Krznar, Andreja Kudelić, Bartul Šiljeg, Asja Tonc, Marina Ugarković, Mario Gavranović (Austrija), Boštjan Laharnar, Alenka Tomaž (Slovenija), Vesna Bikić, Perica Špehar (Srbija), Miklós Takács (Mađarska)

## **Izdavački savjet/Editorial committee**

Jura Belaj, Marko Dizdar, Saša Kovačević, Goranka Lipovac Vrkljan, Daria Ložnjak Dizdar, Branka Migotti, Ivana Ožanić Roguljić, Ante Rendić Miočević, Tajana Sekelj Ivančan, Tihomila Težak Gregl, Tatjana Tkalčec, Željko Tomičić, Ante Uglešić, Snježana Vrdoljak

## **Lektura/Language editor**

Ivana Majer i Marko Dizdar (hrvatski jezik/Croatian)

## **Prijevod na engleski/English translation**

Marko Maras, Kristina Deskar i autori / Marko Maras, Kristina Deskar and authors

## **Korektura/Proofreaders**

Katarina Botić

## **Dizajn/Design**

REBER DESIGN

## **Računalni slog/Layout**

Hrvoje Jambrek

©Institute of archaeology, Zagreb 2020.

Annales Instituti Archaeologici uključeni su u indeks/  
Annales Instituti Archaeologici are included in the index:  
Clarivate Analytics services – Emerging Sources Citation Index  
SciVerse Scopus – Elsevier, Amsterdam

Ovaj rad licenciran je pod Creative Commons Attribution By 4.0 međunarodnom licencom /  
*This work is licenced under a Creative Commons Attribution By 4.0 International Licence*



## SADRŽAJ

### Arheološka istraživanja

- 8**            **Andrea Rimpf**  
**Anita Rapan Papeša**  
**Marko Dizdar**
- Rezultati zaštitnih istraživanja kasnoavarodobnoga groblja Šarengrad – Klopare 2019. godine
- 18**            **Marko Dizdar**
- Rezultati istraživanja u Lovasu (zapadni Srijem) 2019. godine – Kasnohalštatsko i ranolatensko groblje
- 31**            **Daria Ložnjak Dizdar**  
**Marko Dizdar**
- Prilog poznavanju topografije Sotina (*Cornacum*) u rimsko doba
- 39**            **Boris Kratofil**  
**Marko Dizdar**  
**Hrvoje Vulić**
- Zaštitno arheološko istraživanje rimskodobnoga tumula 1 u Starim Jankovcima 2017.–2019. godine
- 54**            **Katarina Botić**
- Kasnoneolitičko naselje Bršadin – Pašnjak pod selom, krono-stratigrafski prikaz tri sezone arheoloških istraživanja
- 71**            **Ivana Ožanić Roguljić**  
**Bartul Šiljeg**  
**Hrvoje Kalafatić**
- Prilog poznavanju topografije teritorija kolonije Elije Murse unutar dnevne zone kretanja (*cotidianus excursus*)
- 78**            **Dženi Los**
- Rezultati zaštitnih arheoloških istraživanja lokaliteta AN 6 Hermanov vinograd 1 na trasi južne obilaznice grada Osijeka
- 90**            **Dženi Los**
- Rezultati arheološkoga istraživanja lokaliteta AN 2 Beli Manastir – Popova Zemlja
- 103**          **Saša Kovačević**
- Nova Bukovica – Sjenjak 2019. godine

## CONTENTS

### Archaeological Excavations

- 8**            **Andrea Rimpf**  
**Anita Rapan Papeša**  
**Marko Dizdar**
- The results of the rescue excavations of the Late Avar Age cemetery of Šarengrad – Klopare in 2019*
- 18**            **Marko Dizdar**
- Research results in Lovas (Western Sirmia) in 2019 – The Late Hallstatt and the Early La Tène cemetery*
- 31**            **Daria Ložnjak Dizdar**  
**Marko Dizdar**
- A contribution to the understanding of the topography of Sotin (Cornacum) in Roman period*
- 39**            **Boris Kratofil**  
**Marko Dizdar**  
**Hrvoje Vulić**
- Rescue archaeological excavations of the Roman age tumulus 1 in Stari Jankovci in 2017–2019*
- 54**            **Katarina Botić**
- Late Neolithic settlement Bršadin – Pašnjak pod selom, chronostratigraphic sequence of three seasons of archaeological research*
- 71**            **Ivana Ožanić Roguljić**  
**Bartul Šiljeg**  
**Hrvoje Kalafatić**
- Contribution to the topography of the territory of the colony Aelia Mursa within the daily movement zone (cotidianus excursus)*
- 78**            **Dženi Los**
- Results of the rescue archaeological excavations of the site AN 6 Hermanov Vinograd 1 on the southern bypass route of the city of Osijek*
- 90**            **Dženi Los**
- Results of the archaeological excavations of the site AN 2 Beli Manastir – Popova Zemlja*
- 103**          **Saša Kovačević**
- Nova Bukovica – Sjenjak in 2019*

**108 Marko Dizdar**

Rezultati istraživanja groblja latenske kulture Zvonimirovo – Veliko polje u 2019. godini

**108 Marko Dizdar**

*Research results of the La Tène culture cemetery at Zvonimirovo – Veliko polje in 2019*

**114 Daria Ložnjak Dizdar  
Marko Dizdar  
Mario Gavranović  
Marija Mihaljević**

Dolina na Savi – istraživanje naselja 2019. godine i osvrt na korištenje krajolika uz Savu u kasnome bronzanom dobu

**114 Daria Ložnjak Dizdar  
Marko Dizdar  
Mario Gavranović  
Marija Mihaljević**

Dolina na Savi – Excavations of the settlement in 2019 and an overview of the use of landscape along the River Sava in the Late Bronze Age

**122 Juraj Belaj**

O arheološkim istraživanjima ivanovačke kapele na lokalitetu Pakrac – Stari grad 2019. godine

**122 Juraj Belaj**

*On the archaeological excavations of the chapel of the Knights Hospitaller at the site of Pakrac – Stari Grad in 2019*

**135 Branko Mušič  
Barbara Horn  
Filip Matijević  
Ivan Valent  
Tajana Sekelj Ivančan**

Geofizička istraživanja arheoloških nalazišta s pretpostavljenom željezarskom djelatnošću na primjeru lokaliteta Bakovčice, Nadbarice i Ždala

**135 Branko Mušič  
Barbara Horn  
Filip Matijević  
Ivan Valent  
Tajana Sekelj Ivančan**

*Geophysical research of archaeological sites with presumed iron-working activity on the example of the sites of Bakovčice, Nadbarice, and Ždala*

**143 Tena Karavidović**

Močvarna željezna ruda – eksperimentalno testiranje utjecaja prženja rude na postupak taljenja i krajnji proizvod

**143 Tena Karavidović**

*Bog iron ore – experimental testing of the impact of ore roasting on the melting process and the end product*

**153 Saša Kovačević**

Zaštitna arheološka istraživanja tumula 1 – Gomile u Jalžabetu u 2019. godine

**153 Saša Kovačević**

*Rescue archaeological excavations of tumulus 1 – Gomila in Jalžabet in 2019*

**159 Saša Kovačević**

IRON-AGE-DANUBE INTERREG DTP 2019. u Jalžabetu: Od istraživanja i očuvanja do prezentacije i održive uporabe arheoloških spomenika, lokaliteta i krajolika

**159 Saša Kovačević**

*IRON-AGE-DANUBE INTERREG DTP 2019 in Jalžabet: From research and preservation to the presentation and sustainable use of archaeological monuments, sites, and landscapes*

**163 Luka Štefan  
Sebastijan Stingl  
Tomislav Čanković  
Jelena Maslač  
Sanja Sekulić  
Maja Mrvelj**

Topografija i reambulacija Žumberačkoga gorja

**163 Luka Štefan  
Sebastijan Stingl  
Tomislav Čanković  
Jelena Maslač  
Sanja Sekulić  
Maja Mrvelj**

*Topography and revision of the Žumberak range*

- |   |   |
|---|---|
| <p><b>180</b>     <b>Andreja Kudelić</b><br/><b>Nikolina Bencetić</b><br/><b>Snježana Vrdoljak</b></p>  | <p><b>180</b>     <b>Andreja Kudelić</b><br/><b>Nikolina Bencetić</b><br/><b>Snježana Vrdoljak</b></p>  |
| <p>Kasno brončano i rano željezno doba na gradini Crkvišće – Bukovlje</p>   | <p><i>Late Bronze and Early Iron Age at the hillfort of Crkvišće – Bukovlje</i></p>   |
| <p><b>201</b>     <b>Gaetano Benčić</b><br/><b>Ana Konestra</b><br/><b>Enrico Cirelli</b></p>   | <p><b>201</b>     <b>Gaetano Benčić</b><br/><b>Ana Konestra</b><br/><b>Enrico Cirelli</b></p>   |
| <p>Stari Tar/Tarovec (St. Blek, Tar) – pokušaj tipološke i funkcionalne interpretacije sakralnoga sklopa unutar srednjovjekovnoga naselja</p>   | <p><i>Stari Tar/Tarovec (St. Blek, Tar) – attempt at a typological and functional interpretation of the sacral complex within the medieval settlement</i></p>   |
| <p><b>219</b>     <b>+Tihomir Percan</b><br/><b>James C. M. Ahern</b><br/><b>Darko Komšo</b><br/><b>Siniša Radović</b><br/><b>Mario Novak</b><br/><b>Katarina Gerometta</b><br/><b>Lia Vidas</b><br/><b>Ivor Janković</b></p> | <p><b>219</b>     <b>+Tihomir Percan</b><br/><b>James C. M. Ahern</b><br/><b>Darko Komšo</b><br/><b>Siniša Radović</b><br/><b>Mario Novak</b><br/><b>Katarina Gerometta</b><br/><b>Lia Vidas</b><br/><b>Ivor Janković</b></p> |
| <p>Istraživanja u Ljubićevoj pećini kraj Marčane u sezoni 2020.</p>   | <p><i>Excavations in Ljubićevo Pećina near Marčana in the 2020 season</i></p>   |
| <p><b>229</b>     <b>Ana Konestra</b><br/><b>Fabian Welc</b><br/><b>Paula Androić Gračanin</b><br/><b>Kamil Rabięga</b><br/><b>Bartosz Nowacki</b><br/><b>Agnese Kukela</b></p>   | <p><b>229</b>     <b>Ana Konestra</b><br/><b>Fabian Welc</b><br/><b>Paula Androić Gračanin</b><br/><b>Kamil Rabięga</b><br/><b>Bartosz Nowacki</b><br/><b>Agnese Kukela</b></p>   |
| <p>Tipologija i organizacija otočnih naselja Raba kroz dijakronijski pristup – Prvi podaci multidisciplinarnih istraživanja</p>   | <p><i>Rab island settlement typology and organisation through a diachronic approach – First data from a multidisciplinary research</i></p>  |
| <p><b>245</b>     <b>Lujana Paraman</b><br/><b>Marina Ugarković</b><br/><b>Martin Steskal</b></p>   | <p><b>245</b>     <b>Lujana Paraman</b><br/><b>Marina Ugarković</b><br/><b>Martin Steskal</b></p>   |
| <p>Terenski pregled i dokumentiranje gradinskih nalazišta na širem trogirskom području u 2019. godini kao uvod u sustavno istraživanje Hiličkoga poluotoka</p>  | <p><i>Field survey and documenting of hillfort sites in the wider Trogir area in 2019 as an introduction to a systematic research of the Hyllean peninsula</i></p>  |
| <p><b>269</b>     <b>Maja Zeman</b><br/><b>Ana Marinković</b><br/><b>Ivana Ožanić Roguljić</b><br/><b>Marina Šiša Vivek</b><br/><b>Suzana Damiani</b></p>   | <p><b>269</b>     <b>Maja Zeman</b><br/><b>Ana Marinković</b><br/><b>Ivana Ožanić Roguljić</b><br/><b>Marina Šiša Vivek</b><br/><b>Suzana Damiani</b></p>   |
| <p>Preliminarna analiza rezultata aktivnosti istraživačko-edukacijskoga projekta Otkrivanje starih dubrovačkih katedrala (2018.–2020.)</p>  | <p><i>Preliminary analysis of activity results for the research and educational project Discovering the Old Dubrovnik Cathedrals (2018–2020)</i></p>  |

**Kratki izvještaji o istraživanjima**

283-301

**Short field reports**

283-301

**Ostala znanstvena djelatnost  
Instituta za arheologiju**

302-314

**Additional scientific activity of the  
Institute**

302-314



# Arheološka istraživanja

## Archaeological Excavations



1. Šaregrad – Klopare
2. Lovas – Ulica A. Starčevića
3. Sotin
4. Stari Jankovci – Jankovačka Dubrava
5. Bršadin – Pašnjak pod selom
6. Osijek
7. Osijek – Hermanov vinograd
8. Beli Manastir – Popova zemlja
9. Nova Bukovica – Sjenjak
10. Zvonimirovo – Veliko polje
11. Dolina – Babine Grede
12. Pakrac – Stari grad
13. Ždala – Telek
14. Virje – Sušine i Volarski breg
15. Bakovčice – Velike livade 1 i Nadbarice 1
16. Hlebine – Velike Hlebine i Dedanovice
17. Jalžabet – Gomila
18. Žumberačko gorje
19. Bukovlje – Crkvišće
20. Tar – Stancija Blek
21. Marčana – Ljubićeva pećina
22. Rab – Lopar
23. Trogir
24. Dubrovnik



# Geofizička istraživanja arheoloških nalazišta s pretpostavljenom željezarskom djelatnošću na primjeru lokaliteta Bakovčice, Nadbarice i Ždala

## Geophysical research of archaeological sites with presumed ironworking activity on the example of the sites of Bakovčice, Nadbarice, and Ždala

**BRANKO MUŠIČ**  
Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta  
Oddelek za arheologijo  
Zavetiška 5  
SI-1000 Ljubljana  
Gearh d.o.o.  
Radvanjska cesta 13  
SI-2000 Maribor  
brankomusic1@yahoo.com  
branko.music@ff.uni-lj.s

**BARBARA HORN**  
Gearh d.o.o.  
Radvanjska cesta 13  
SI-2000 Maribor  
barbarahorn01@gmail.com

**FILIP MATIJEVIĆ**  
Gearh d.o.o.  
Radvanjska cesta 13  
SI-2000 Maribor

**IVAN VALENT**  
Muzej grada Koprivnice  
Trg Leandera Brozovića 1  
HR-48000 Koprivnica  
ivalent@muzej-koprivnica.hr

**TAJANA SEKELJ IVANČAN**  
Institut za arheologiju  
Ulica Ljudevita Gaja 32  
HR-10000 Zagreb  
tsivancan@iarh.hr

Primljeno/Received: 20. 04. 2020.  
Prihvaćeno/Accepted: 21. 08. 2020.

*U okviru opsežnoga terenskog pregleda obavljenoga za potrebe projekta TransFER prikupljeni površinski nalazi ukazivali su kako su se na položajima Bakovčice – Velike livade 1, Nadbarice 1 i Ždala – Telek odvijale aktivnosti povezane s proizvodnjom željeza. Uz fragmente talioničke zgure nesumnjivo povezane s proizvodnjom željeza, među površinskim nalazima pronađeni su brojni ulomci keramike iz različitih povijesnih razdoblja. S ciljem jasnijega definiranja karaktera nalazišta odabranih na osnovi analiza površinskih nalaza, pristupilo se neinvazivnim, geofizičkim istraživanjima primjenom magnetske metode. U svim se slučajevima radi o površinama s intenzivnom poljoprivrednom obradom zemljišta, pa se mogla očekivati slabija očuvanost arheoloških ostataka i preme tome i slabije magnetske anomalije. To je bio dosta ozbiljan izazov za arheološki rječitiju obradu magnetograma, ali je na više mjesta potvrđeno postojanje ostataka željezarskih aktivnosti in situ ispod razine oranja, dok se ostaci željezarskih djelatnosti u velikoj mjeri nalaze u sloju oranice. Na osnovi svih karakterističnih magnetskih anomalija, uspjelo se odrediti približne granice područja aktivnosti za proizvodnju željeza. Ovo je geofizičko istraživanje značajno za teoretska razmatranja korelacija rezultata terenskoga pregleda i geofizičkih istraživanja za usavršavanje metodologije arheološke prospekcije kao i za određivanje mjera zaštite arheološke baštine, budući da potvrđuje već dobro poznatu činjenicu da arheološki ostaci na primarnome mjestu na poljoprivrednim površinama sa sve intenzivnijom obradom zemljišta s vremenom postepeno nestaju.*

*Ključne riječi: Bakovčice – Velike livade 1, Nadbarice 1, Ždala – Telek, geofizička istraživanja, magnetometrija, magnetski susceptibilitet, srednji vijek*

*The surface finds collected in an extensive field review carried out for the needs of the TransFER project pointed to iron production activities in the locations of Bakovčice – Velike Livade 1, Nadbarice 1, and Ždala – Telek. The surface finds included fragments of smelting slag, undoubtedly associated with iron production, but also numerous potsherds from different historical periods. In order to define more clearly the character of the sites chosen after the analyses of surface finds, it was decided to undertake non-invasive geophysical research using the magnetic method. These are all areas with intensive agricultural activity, so it was expected that there would be poor preservation of archaeological remains and, therefore, weaker magnetic anomalies. This was a rather serious challenge for the archaeologically eloquent processing of magnetograms, but the existence of the remains of ironworks activities in situ below the plough zone was confirmed in several places, while the remains of ironworks activities are largely found in the arable layer. On the basis of all the characteristic magnetic anomalies, they managed to determine the approximate boundaries of the area of iron production activity. This geophysical survey is significant for the theoretical considerations of the correlation between the results of field surveys and geophysical research for improving the methodology of archaeological prospecting and for determining the measures for the protection of archaeological heritage, since it confirms the well-known fact that the archaeological remains on the primary location in agricultural areas with ever more intensive cultivation gradually disappear over time.*

*Key words: Bakovčice – Velike livade 1, Nadbarice 1, Ždala – Telek, geophysical research, magnetometry, magnetic susceptibility, Middle Ages*

## UVOD

Arheološki lokaliteti Velike livade kod Bakovčica, Nadbarice i Ždala (Koprivničko-križevačka županija) (sl. 1) bili su otkriveni prethodnim arheološkim terenskim pregledom u okviru redovnih aktivnosti znanstveno-istraživačkoga projekta TransFER (IP-06-2016-5047) *Proizvodnja željeza uz rijeku Dravu u antici i srednjem vijeku: stvaranje i transfer znanja, tehnologija i roba*, kojega financira Hrvatska zaklada za znanost (Valent et al. 2017).

Arheološko nalazište Bakovčice – Velike livade 1 poznato je još od 1990. godine kao kasnosrednjovjekovno naselje (Marković 1990: 135, br. 512; 1997: 146, br. 465). Tijekom reambulacije terena u prosincu 2016. godine, provedene za potrebe projekta TransFER, na položaju je po površini oranice evidentirana talionička zgura koja ovaj lokalitet povezuje s nekom željezarskom aktivnosti (Valent et al. 2017: 11).

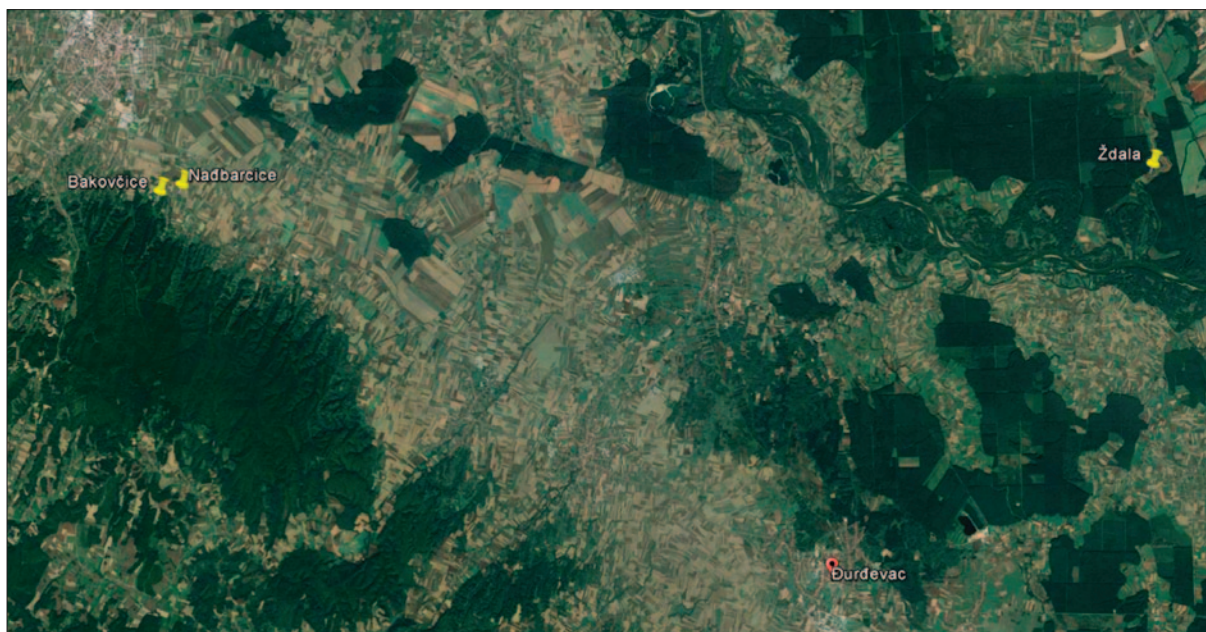
Lokalitet Nadbarice 1 nalazi se 300 m istočno od groblja u Bakovčicama, podno sjevernih obronaka Bilogore. Rasprostire se na većem prostoru koji je obilažen tijekom proljeća i jeseni 2017. godine kojom prigodom je prikupljena veća količina antičke keramike, nešto prapovijesne i srednjovjekovne keramike te komadi kovačke zgure. Komadi kovačke zgure prikupljeni su na jugoistočnome dijelu lokaliteta i na tome se mjestu, temeljem velike količine prikupljene zgure, pretpostavlja postojanje kovačke radionice (Valent 2018: 83; Valent et al. 2018: Tab. 1: 1./IV).

U Prekodravlju, već na granici s Mađarskom, nalazi se široki prostor imena Telek istočno od Ždala. Nizina uz sam potok Ždalicu obradiva je površina koja je na temelju podataka iz Arheološke Zbirke obitelji Zvijerac u kojoj se nalaze komadi talioničke zgure i ulomci sapnica (Ždala – Telek 2A/ŽT2A), tijekom proljeća 2017. godine rekognoscirana za potrebe projekta TransFER. Tom je prigodom čitav prostor podijeljen na sedam cjelina na kojima je bila veća koncentracija površinskih nalaza: velike količine talioničke zgure, sapnica i stijenki peći te ulomci keramike iz različitih povijesnih razdoblja. Na položajima 2, 3, 4 i 7 utvrđeni su tragovi talioničke djelatnosti. Svaki od tih položaja dodatno je razdijeljen i označen kako bi se mogla pratiti veća ili manja koncentracija površinskih

nalaza, pa je tako na položaju ŽT2A, primjerice, uz površinske nalaze kasnosrednjovjekovne keramike, pronađeno i devet ulomaka sapnica, a na ŽT2F tri sapnice. Položaj ŽT7 presječen je bivšim tokom potoka Ždalice, a veća koncentracija površinskih nalaza zabilježena je na položajima ŽT7A i 7B, gdje je talionička zgura pronađena koncentrirano na prostoru od otprilike 15 x 15 m. Uz komade zgure, prikupljeni su ulomci brončanodobne i kasnosrednjovjekovne keramike. Druga veća koncentracija površinskih nalaza bila je areal rasprostiranja talioničke zgure na položaju 7D koja je obuhvaćala prostor 10 x 16 m te nalaze brončanodobne i kasnosrednjovjekovne keramike. Nasuprot položaju 7D, iznad suprotne obale bivšega toka Ždalice, nalazi se položaj 7E na kojem je, uz talioničku zguru, pronađena kasnosrednjovjekovna keramika (Valent et al. 2017: 19–20).

Iako lokalitet Ždala – Telek obuhvaća veoma širok prostor, upravo je pomno bilježenje svih pozicija površinskih nalaza na ovome, ali i na drugim lokalitetima, omogućilo i lakši odabir površine za geofizička istraživanja. Naime, cilj je bio 1) utvrditi postoje li na nekima od ovih pozicija talioničke i/ili kovačke peći očuvane *in situ*; 2) na temelju rezultata geofizike provesti arheološka iskopavanja kako bi se odredila vremenska pripadnost arheoloških ostataka. Naime, na čitavome prostoru pronađeni su brončanodobna, antička, ranosrednjovjekovna i kasnosrednjovjekovna keramika, a odabrane su pozicije ŽT2 i ŽT7 s kasnosrednjovjekovnim površinskim keramičkim materijalom, s pretpostavkom da su i aktivnosti povezane s obradom željeza iz toga vremena, koji su do sada na ovome prostoru još uvijek nepoznanica. Tome se pridružuje i kasnosrednjovjekovne Velike livade 1 s pretpostavljenom talioničkom i Nadbarice 1 s pretpostavljenom kovačkom djelatnošću.

Arheološki ciljevi geofizčkih istraživanja na lokalitetima Bakovčice – Velike livade 1, Nadbarice 1 i Ždala – Telek primjenom magnetske metode bili su prepoznavanje ostataka srednjovjekovnih željezarskih aktivnosti (talioničke radionice, deponije otpadnih produkata metalurgije u vidu lomljene zgure/troske, spaljena glina od stijenki peći u različitim formama, lijep i sl.). Svi su ovi lokaliteti sa znakovima željezarskih djelatnosti otkriveni prethodnim arheološkim teren-



Sl. 1. Položaji lokaliteta Bakovčice – Velike livade 1, Nadbarice 1 i Ždala – Telek istraženi magnetskom metodom (Geometrics G-858, gradientan način) na aerofotografiji Državne geodetske uprave RH (izradio: B. Mušič)

Fig. 1. Location map of Bakovčice – Velike livade 1, Nadbarice 1 and Ždala – Telek sites surveyed by magnetic method (Geometrics G-858, gradient mode) on aerial photography of the State Geodetic Administration of the Republic of Croatia (made by: B. Mušič)

skim pregledom u okviru redovnih aktivnosti projekta TransFER (Valent et al. 2017). Na svim su spomenutim položajima istraženima magnetskom metodom bile prethodno otkrivene povišene koncentracije ostataka željezarskih djelatnosti (sl. 1). Za geofizička istraživanja određena je ukupna površina veličine 10.000 m<sup>2</sup> na sva tri lokaliteta.<sup>1</sup>

## GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA

Na osnovi površinskih nalaza ostataka željezarskih djelatnosti na lokalitetima Bakovčice – Velike livade 1, Nadbarice 1 i Ždala – Telek (sl. 1) odabrana je magnetska metoda na gradientan način (Geometrics G-858) kao najrelevantnija geofizička metoda, kako su to pokazala prethodna geofizička istraživanja na lokalitetima s arheološki dokazanom željezarskom djelatnošću Sušine kod Virja (Sekelj Ivančan, Mušič 2014), Hlebine – Velike Hlebine, Hlebine – Dedanovice<sup>2</sup> i na lokalitetu Kalinovac – Hrastova greda 1 (Mušič et al. 2019), i to u smislu teoretskih razmatranja korelacije rezultata terenskoga pregleda i rezultata magnetske metode.

Ostaci peći, zgure i drugih ostataka željezarstva u najvećoj su mjeri arheološki materijali s termoremanentnim tipom magnetizacije. Ovaj je tip magnetizacije

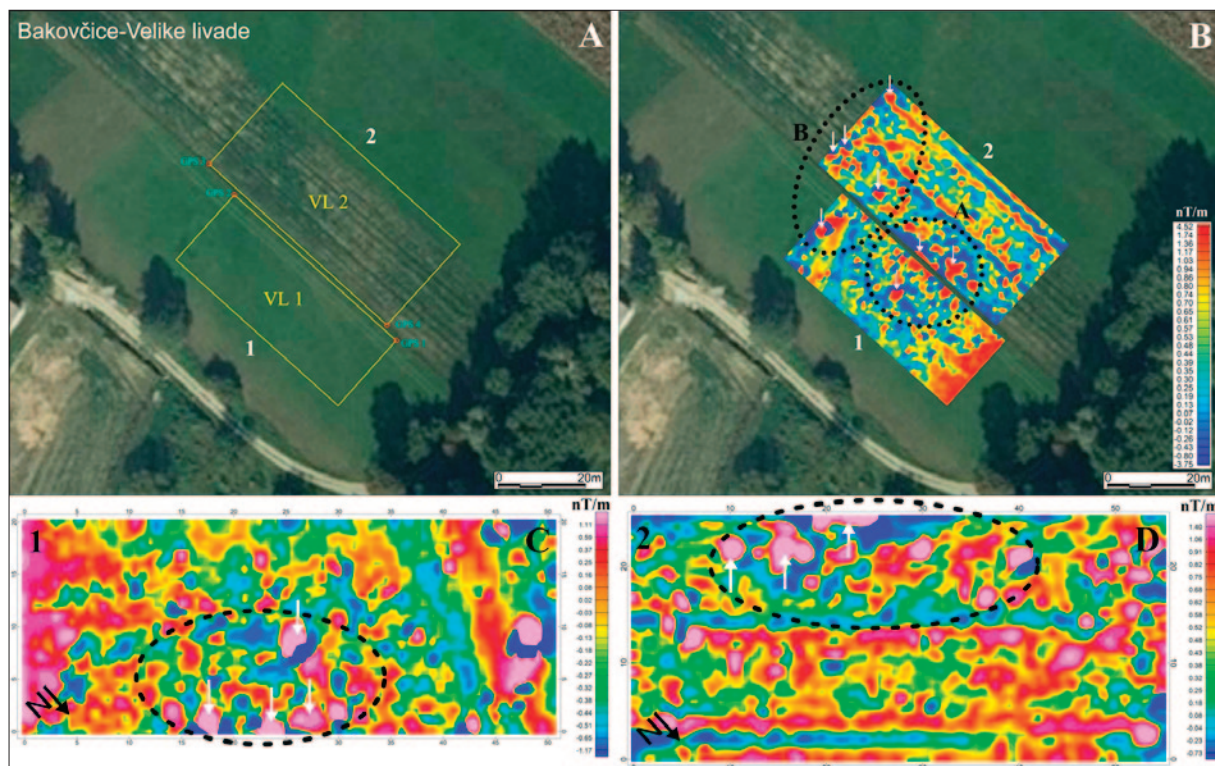
svojstvo arheoloških ostataka koji su pretrpjeli promjene prilikom upotrebe visokih temperatura u pećima za taljenje rude željeza ili za konačnu obradu za izradu željeznih predmeta u kovačkim radionicama (Mušič, Orenko 1998; Abrahamsen et al. 2003; Powel et al. 2002). U takvim su arheološkim kontekstima to najčešće sve vrste zapečene gline, kao što su npr. obrušene stijenske peći, lijep, komadi željeza i sl. Isto važi i za veći dio otpadaka koji se pojavljuju kod talioničkih i kovačkih radionica (ostaci peći, lomljena zgura i sl.). Glavna karakteristika termoremanentnoga tipa magnetizacije, bitna za planiranje geofizičkih istraživanja, jest često jako magnetsko polje različitih toplinski prerađenih materijala u okviru željezarskih radionica. To važi za relativno dobro sačuvane ostatke s visokom magnetskom susceptibilnošću koji se još uvijek nalaze u *in situ* poziciji. Ako su ostaci slabije očuvani, i magnetske su anomalije dosta slabije. Na jačinu magnetskih anomalija, uz stupanj očuvanosti, bitno utječe i dubina na kojoj se ostaci danas nalaze. Prema dosadašnjim saznanjima radi se uglavnom o jednoslojnim lokalitetima s ostacima željezarstva, pa se očekuju unutar svakoga takvog kompleksa ostaci na približno istoj razini. Zbog toga same razlike u dubini ostataka ne utječu puno na jačinu magnetskih anomalija, pa se prema tome može, na osnovi razlika u jačini magnetskih anomalija, napraviti procjena stupnja očuvanosti izvornih objekata tih anomalija.

Najkontrasniji, i tome u datim arheološkim kontekstima sa slabije sačuvanim arheološkim ostacima na poljoprivrednim površinama, su prikazi magnetskih anomalija na (pseudo)gradientan način. Magnetska mjerenja u ovoj konfiguraciji općenito pojačavaju slabe magnetske anomalije inducirane i termoremanentne magnetizacije na plitkim dubinama na račun dugovalnih magnetskih anomalija uzrokovanih promjenama magnetskog susceptibiliteta u prirodnome sastavu tla (Črešnar et al. 2020). Zbog sitnih komada suvremenoga željeza na poljoprivrednim površinama, magnetska mjerenja potrebno je provesti s udaljenošću donjega senzora magnetometra približno 30 cm iznad površine. Kako se ovaj magnetometar sastoji

1 Geofizička istraživanja provedena su u dvije terenske etape u lipnju i listopadu 2019. godine pod vodstvom Instituta za arheologiju u kojem se izvodi projekt TransFER, te nadzorom nadležnoga Konzervatorskoga odjela u Bjelovaru. Voditeljica istraživanja bila je dr. sc. Tajana Sekelj Ivančan iz Instituta za arheologiju, a geofizička mjerenja odvijala su se pod vodstvom doc. dr. sc. Branka Mušiča iz tvrtke Gearh d.o.o., Maribor i Odsjeka za arheologiju Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Ljubljani. U istraživanjima su kao suradnice sudjelovale i mag. Eline Nas i Breda Zorec, univ. dipl. arheol.

2 Provedena geofizička istraživanja lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine i Hlebine – Dedanovice još nisu objavljena, ali su prezentirana na nekoliko znanstvenih skupova: MetArh 5th conference, Zagreb (<http://transfer.iarh.hr/images/METARH2017b.pdf>) i Arheologija v letu 2017, dediščina za javnost, Ljubljana ([http://transfer.iarh.hr/images/SAD\\_7-3-2018\\_TRANSFER\\_1.pdf](http://transfer.iarh.hr/images/SAD_7-3-2018_TRANSFER_1.pdf))





Sl. 2. Bakovčice – Velike livade 1. A: područja istražena magnetskom metodom, B: rezultati magnetometrije s magnetometrom Geometrics G-858 na gradientan način. Crne isprekidane linije označavaju površine s magnetskim anomalijama visoke frekvencije koje pripisujemo kontaminaciji željezarskom zgurom i drugim *in situ* ostacima željezarstva. Bijele strelice označavaju pojedinačne relativno jače magnetske anomalije koje su najvjerojatnije posljedica termoremanentnoga karaktera ostataka od spaljene gline *in situ* (peći). Najveći je dio tih anomalija u središnjem dijelu istražene površine. C: magnetogram gradienta magnetskoga polja za područje 1. D: magnetogram gradienta magnetskog polja za područje 2 (izradiio: B. Mušič)

Fig. 2. Bakovčice – Velike livade 1. A: Area surveyed by magnetic method, B: results on magnetic survey by Geometrics G-858 magnetometer in gradient mode. Black dashed lines indicate surfaces with high frequency magnetic anomalies that are attributed to contamination by slag fragments and other *in situ* residues of iron production activities. White arrows indicate individual relatively stronger magnetic anomalies, which are most likely due to the thermo-remnant character of the remains made of burned clay *in situ*. The largest part of these anomalies is in the central part of the surveyed area. C: magnetic gradient map for area 1. D: magnetic gradient map for area 2 (made by: B. Mušič)

od dva odvojena senzora, omogućava promatranje očitavanja magnetskoga polja odvojeno na gornjem i donjem senzoru. Analiza podataka pojedinačnih senzora predstavlja rafiniraniji pristup specifičnim arheološkim kontekstima kao što su nalazišta proizvodnje željeza (Tabagh 2003). U nekim su situacijama rezultati mjerenja na pojedinačnim sensorima jasniji jer sadrže manje anomalija visokih frekvencija, što je inherentno svojstvo mjerenja na gradientan način (v. Črešnar et al. 2020). Kod svih smo ovdje prikazanih istraživanja koristili spomenuti način prikazivanja rezultata za usporedbu s rezultatima gradientnoga načina na primjeru lokaliteta Nađbarice 1 (sl. 3).

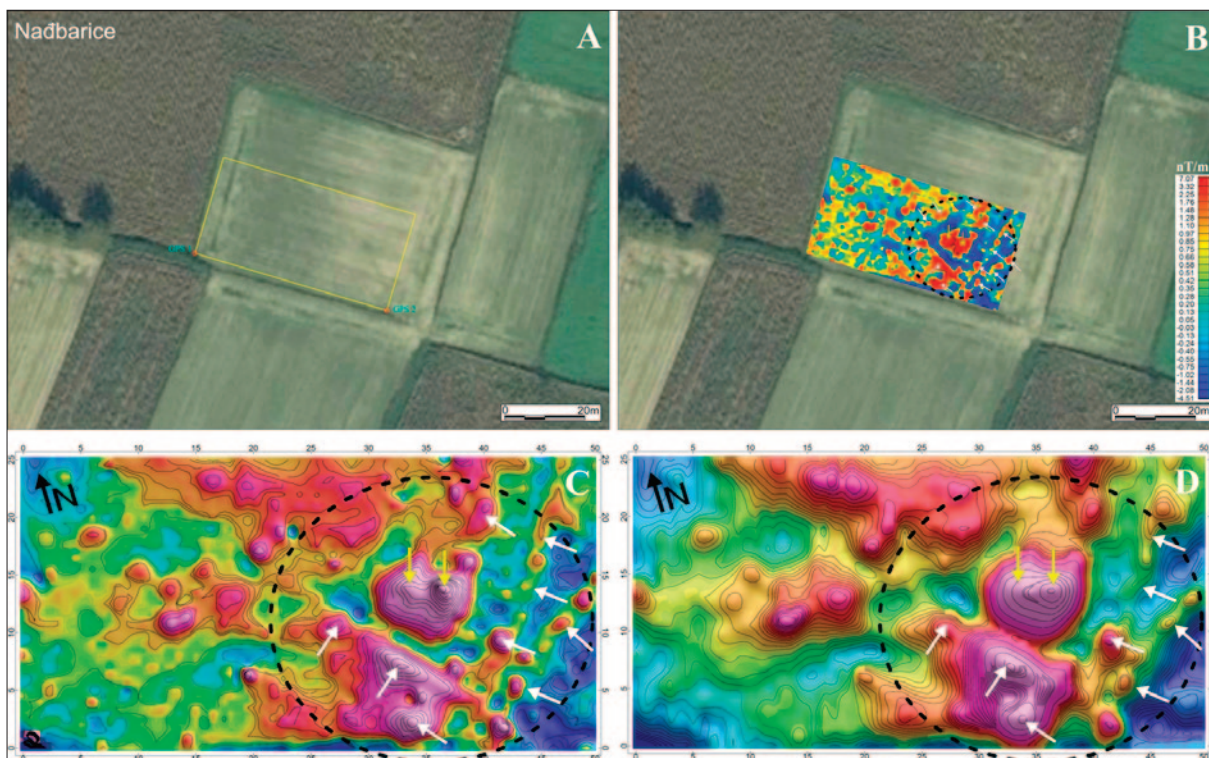
Uz samu jačinu magnetskih anomalija, drugo bitno svojstvo objekata s termoremanentnim tipom magnetizacije je jasna bipolarnost magnetskih anomalija u smjeru sličnom kao što je usmjerenje današnjega Zemaljskog magnetskog polja. Potrebno je naglasiti da to važi samo za arheološke objekte *in situ*, dok se usmjerenje magnetskoga polja fragmenata s termoremanentnim tipom magnetizacije na sekundarnim mjestima u pravilu bitno razlikuje od toga smjera. To je dosta čest slučaj na poljoprivrednim površinama gdje su oranjem arheološki ostaci već dosta uništeni i disperzirani u sloju oranice. I u takvim se situacijama na magnetskim kartama često jasno prepoznaju područja nekadašnjih željezarskih i drugih radionica, gdje su se za proizvodnju koristile visoke temperature, s tom razlikom da su jasne bipolarne magnetske anomalije na mjestima ostataka peći i sličnih objekata s termoremanentnom magnetizacijom *in situ* puno rjeđe, jer su u velikoj mjeri uništene oranjem. To je svakako okolnost koju je potrebno najozbiljnije

uvažavati kod analize rezultata geofizičkih istraživanja na svim lokalitetima. Iz toga je razloga potrebno obratiti pozornost i na puno slabije magnetske anomalije od očekivanih na osnovi rezultata na drugim lokalitetima s odsustvom intenzivne obrade zemljišta. Jedan je od bitnih kriterija za prepoznavanje arheoloških konteksta u takvim sredinama i promijenjivost frekvencije magnetskih anomalija unutar svake istražene površine. Na dijelovima s ostacima željezarstva očekuje se viša frekvencija ionako slabih anomalija. I jasna bipolarnost magnetskih anomalija je zbog slabije sačuvanosti ostataka puno rjeđa, pa je potrebno uvažavati sve naznake u tome smjeru.

Na osnovi rezultata magnetske metode na svim lokalitetima istraženima u 2019. godini možemo pretpostaviti da su ostaci željezarskih djelatnosti u većoj mjeri disperzirani u sloju oranice. To rezultira heterogenim izgledom magnetograma s velikim brojem magnetskih bipola različitih usmjerenja, iako se na svim tim lokalitetima mogu prepoznati i naznake bipolarnosti anomalija približno u smjeru sjever – jug. To može ukazivati na ostatke peći koje se još uvijek barem djelomično nalaze na primarnome mjestu. U datim okolnostima potrebno je voditi brigu o svim takvim naznakama. Takve su bile relativno jasne bipolarne magnetske anomalije prepoznate na lokalitetima Bakovčice – Velike livade 1, Nađbarice 1, Ždala – Telek 2A i Ždala – Telek 7D-7E.

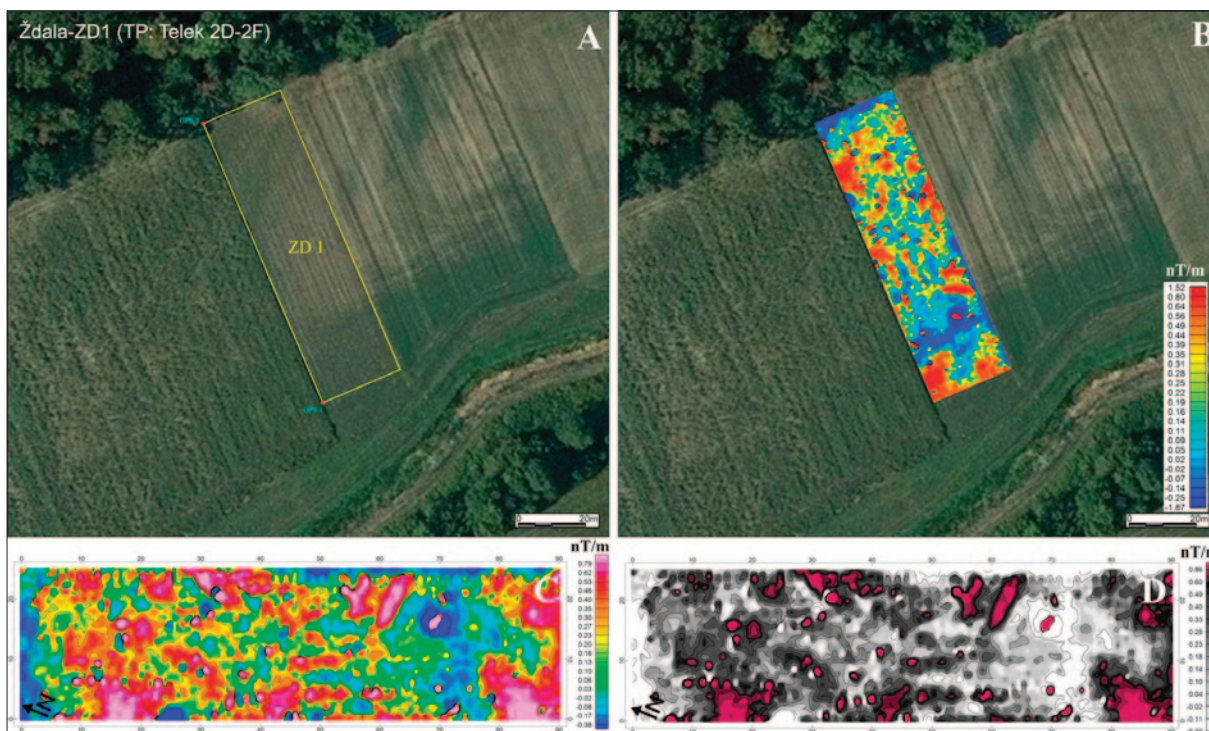
pozitivni su magnetski gradienti dobro sačuvanih ostataka talioničkih peći, ovisno od veličine, konstrukcijskoga tipa, magnetskoga susceptibiliteta materijala u sastavu peći i dubine na kojoj se nalaze, od 30 nT/m (Mušič, Orengo 1998), a često iznad 100 nT/m (Abrahamsen et al. 2003).





Sl. 3. Nadbarice 1. A: področje istraženo magnetskom metodom, B: rezultati magnetometrije s magnetometrom Geometrics G-858 na gradientan način. Crna isprekidana kružnica označava površinu s jakim magnetskim anomalijama koje ukazuju na ostatke manjega objekta u čijem središnjem dijelu su dva područja jakih magnetskih anomalija (žute strelice) koje upućuju da se ovdje nalaze dvije peći. Pretpostavljamo kako se radi o izgorjeloj radionici (željezarska ili keramičarska). Bijele strelice označavaju usmjerene relativno jače magnetske anomalije koje su najvjerojatnije posljedica termoremanentnoga karaktera zemljišta na mjestu izgorjele radionice. C: magnetogram donjega senzora magnetometra. D: magnetogram gornjega senzora magnetometra (izradio: B. Mušič)

Fig. 3. Nadbarice 1. A: Magnetic method investigated area B: Geometrics G-858 magnetometry results in a gradient manner. A black dashed circle indicates a surface with strong magnetic anomalies indicating the remnants of a smaller object in which the central part is two areas of strong magnetic anomalies (yellow arrows). Most likely these are two furnaces. We assume that it is a burned-out workshop (iron or ceramic). White arrows indicate directional relatively stronger magnetic anomalies, which are most likely due to the thermoremanent character of the soil at the location of burned-out workshop. C: magnetogram of the lower magnetometer sensor. D: magnetogram of the upper magnetometer sensor (made by: B. Mušič)



Sl. 4. Ždala – Telek 2D-2F. A: področje istraženo magnetskom metodom, B: rezultati magnetometrije s magnetometrom Geometrics G-858 na gradientan način. Na cijeloj su istraženoj površini magnetske anomalije visoke frekvencije, iako su u većoj mjeri dosta slabe. Ne prepoznaju se nikakva magnetske anomalije koje bi ukazivale na arheološke ostatke *in situ*. Pretpostavljamo kako se radi o magnetskom učinku fragmenata ostataka željezarstva u gornjem dijelu oranice. C i D: magnetogrami gradienta magnetskoga polja s drukčijim rasponom prikazanih vrijednosti (izradio: B. Mušič)

Fig. 4. Ždala – Telek 2D-2F. A: Area surveyed by magnetic method, B: results on magnetic survey by Geometrics G-858 magnetometer in gradient mode. There are high frequency magnetic anomalies throughout the investigated area, although to a large extent they are quite weak. No magnetic anomalies would be recognized to indicate archeological remains *in situ*. We assume that it is the magnetic effect of fragments of iron production activities in the upper part of the plough zone. C and D: magnetic gradient maps with a different range of displayed values (made by: B. Mušič)





Prema dosadašnjim iskustvima u okviru geofizičkih rezultata na projektu TransFER, za arheološki istražene ostatke peći karakteristične su pozitivne vrijednosti magnetskog gradienta iznad 10 nT/m (Mušič et al. 2013). U ovome smo slučaju za prikaze arheološki relevantnih magnetskih anomalija koristili raspone vrijednosti:  $-3,75/+4,52$  nT/m (Bakovčice – Velike livade 1, sl. 2),  $-4,51/+7,07$  nT/m (Nađbarice 1, sl. 3),  $-1,87/+1,52$  nT/m (Ždala – Telek 2D-2F, sl. 4),  $-3,02/+1,15$  nT/m (Ždala – Telek 2A, sl. 5),  $-5,01/+4,79$  nT/m (Ždala – Telek 7D-7E, sl. 6). Iako se u svim slučajevima radi o jako slabim magnetskim anomalijama u usporedbi s nekim drugim željezarskim kompleksima, na skoro svim istraženim površinama (jedina je iznimka lokacija Ždala – Telek 2D-2F) prepoznate su dosta jasne indikacije o postojanju nekih arheoloških ostataka. Na lokaciji Ždala – Telek 2D-2F su, naime, na cijeloj istraženj površini magnetske anomalije visoke frekvencije, ali se ne prepoznaju nikakva magnetske anomalije bipolarnoga karaktera koje bi ukazivale na arheološke ostatke *in situ*. Pretpostavljamo da se radi o magnetskom učinku fragmenata ostataka željezarstva u gornjem dijelu oranice.

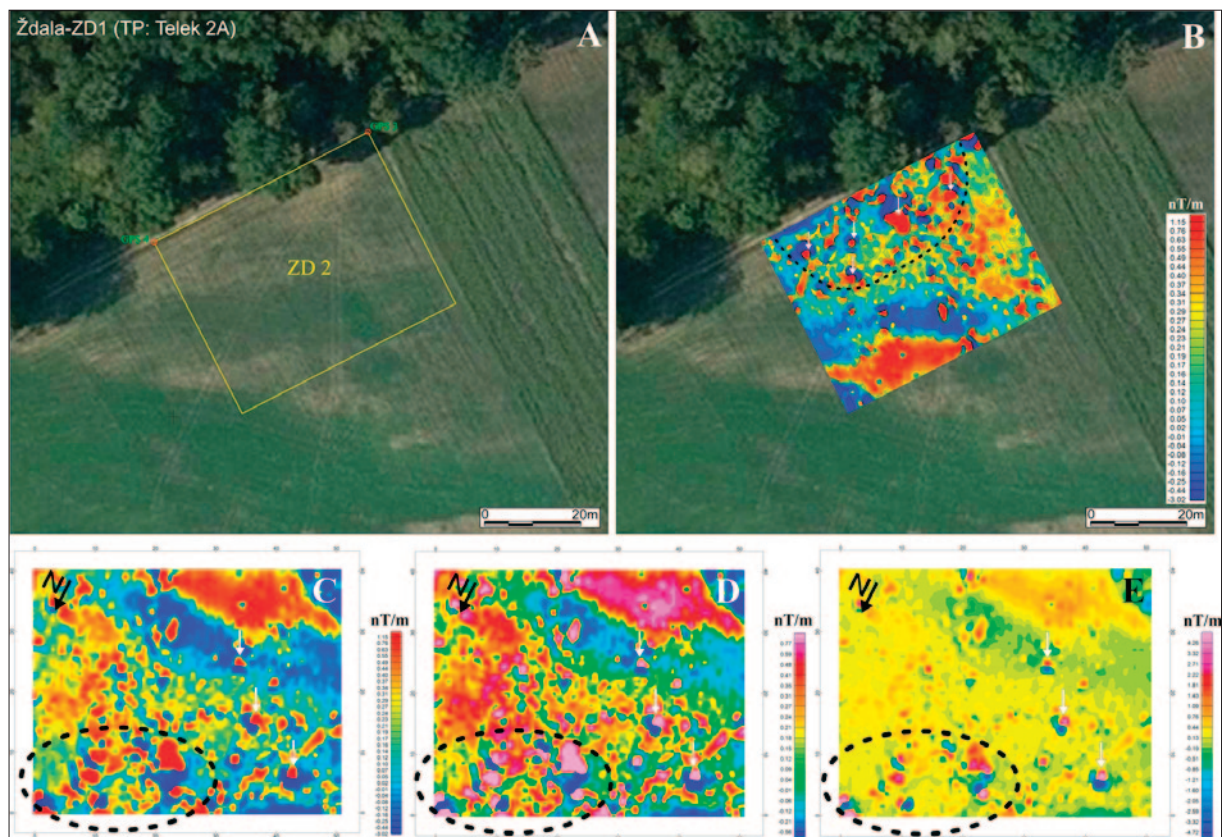
Jako je bitna spoznaja da se mogu na osnovi magnetskih svojstava takva područja željezarskih aktivnosti, premda s loše očuvanim ostacima, ipak prepoznati, što će u nastavku poslužiti kao jedna od podloga za planiranje daljnjih istraživanja s arheološkim iskopavanjima. Bitno je da su mjerenja sprovedena s magnetometrima dobre lučljivosti u gustoj mreži paralelnih profila, kao što je bilo provedeno u ovim istraživanjima. Mjerenja su bila prove-

dena magnetometrom Geometrics G-858 u paralelnim i 0,75 m udaljenim profilima.

Magnetometrijom smo, prema postavljenim ciljevima projekta TransFER, prvenstveno željeli prepoznati magnetske anomalije koje su karakteristične za termo-remanentni tip magnetizacije ostataka objekata koje možemo vezati uz željezarske aktivnosti. Ciljani objekti magnetometrije bile su tako talioničke peći *in situ*, kao i fragmenti peći na sekundarnim mjestima, ulomci zgure, zapečeni lijep, deponije raznih otpadnih produkata metalurgije i sl.

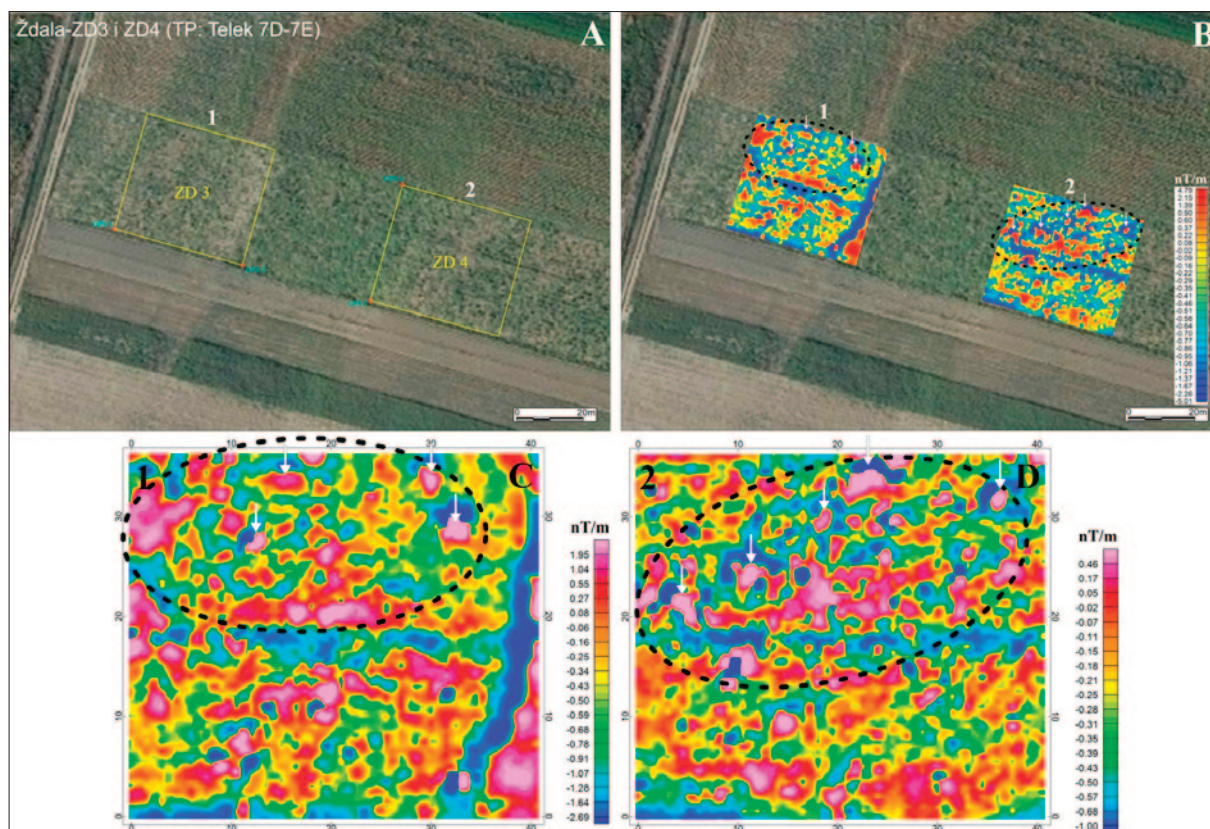
Rezultati magnetske metode za istražene su površine prikazani različitim, za svaku lokaciju prilagođenim načinima obrade izmjerenih vrijednosti, a rezultati su prikazani magnetogramima s najrelevantnijim rasponima vrijednosti magnetskih gradienata za vizualizaciju potencijalnih arheoloških ostataka. Kako se radi o više lokacija gdje su bili isti arheološki ciljevi, rezultati su ilustrirani na sličan način, ali su za svaki od primjera uvažavana i posebna svojstva izmjerenih vrijednosti magnetskoga gradienata (sl. 2–6).

Na svim istraženim područjima prepoznate su naznake o postojanju arheoloških ostataka željezarstva. Relativno jače magnetske anomalije na nekim mjestima, s dosta jasnom bipolarnošću, ukazuju na objekte s termo-remanentnom magnetizacijom spaljene gline *in situ* (peći?). Kao što je uobičajeno na željezarskim kompleksima, izdvajaju se površine magnetskih anomalija visokih frekvencija što pripisujemo fragmentima zgure u gornjem sloju oranica. I te su informacije korisne za određivanje



Sl. 5. Ždala – Telek 2A. A: područje istraženo magnetskom metodom, B: rezultati magnetometrije s magnetometrom Geometrics G-858 na gradientan način. Crna isprekidana linija označava površinu s magnetskim anomalijama visoke frekvencije koje pripisujemo kontaminaciji željezarskom zgurom i drugim mogućim *in situ* ostacima željezarstva. Bijele strelice označavaju pojedinačne relativno jače magnetske anomalije koje su najvjerojatnije posljedica termo-remanentnoga karaktera ostataka od spaljene gline *in situ* (peći). Najveći je dio tih anomalija u sjevernom dijelu istražene površine uz rub šume. C, D i E: magnetogrami gradienata magnetskoga polja s različitim rasponima prikazanih vrijednosti (izradio: B. Mušič)

Fig. 5. Ždala – Telek 2A. A: Area surveyed by magnetic method, B: results on magnetic survey by Geometrics G-858 magnetometer in gradient mode. The black dashed line indicates the area with high frequency magnetic anomalies that are attributed to contamination by slag fragments and possibly other *in situ* residues of iron production activities. White arrows indicate individual relatively stronger magnetic anomalies, which are most likely due to the thermo-remanent character of the residues from the burned clay *in situ*. The largest part of these anomalies is the northern part of the investigated area along the forest edge. C, D and E: magnetic gradient maps with a different range of displayed values (made by: B. Mušič)



Sl. 6. Ždala – Telek 7D-7E. A: područja istražena magnetskom metodom, B: rezultati magnetometrije s magnetometrom Geometrics G-858 na gradientan način. Crne isprekidane linije označavaju površine s magnetskim anomalijama visoke frekvencije koje pripisujemo kontaminaciji željezarskom zgurum i drugim *in situ* ostacima željezarstva. Bijele strelice označavaju pojedinačne relativno jače magnetske anomalije koje su najvjerojatnije posljedica termoremanentnoga karaktera ostataka od spaljene gline *in situ* (peći?). Više arheološki relevantnih magnetskih anomalija je na području 2. C: magnetogram gradienta magnetskoga polja za područje 1. D: magnetogram gradienta magnetskoga polja za područje 2. (izradio: B. Mušič)

Fig. 6. Ždala – Telek 7D-7E. A: Area surveyed by magnetic method, B: results on magnetic survey by Geometrics G-858 magnetometer in gradient mode. Black dashed lines indicate surfaces with high frequency magnetic anomalies that are attributed to contamination by slag fragments and other *in situ* residues of iron production activities. White arrows indicate individual relatively stronger magnetic anomalies, which are most likely due to the thermo-remanent character of the remains made of burned clay *in situ*. Much more archaeologically relevant magnetic anomalies area at the area 2. C: magnetic gradient map for area 1, D: magnetic gradient map for area 2 (made by: B. Mušič)

radiusa područja kontaminiranoga materijalom iz željezarskih radionica, iako se na nekim mjestima možda radi isključivo o materijalu na sekundarnome položaju.

## ZAKLJUČAK

Na osnovi rezultata magnetske metode na svim lokalitetima istraženim u 2019. godini možemo pretpostaviti kako su ostaci željezarskih djelatnosti u većoj mjeri disperzirani u sloju oranice. To je posljedica intenzivne poljoprivredne obrade zemljišta, pa je očuvanost arheoloških ostataka željezarstva uglavnom slaba, adekvatno slabije su i magnetske anomalije.

To među ostalim rezultira heterogenim izgledom magnetograma s velikim brojem magnetskih bipola različitih usmjerenja, iako se mogu na svim lokalitetima prepoznati i naznake bipolarnosti anomalija približno u smjeru sjever – jug. Jasna je bipolarnost magnetskih anomalija zbog slabije očuvanosti ostataka puno rjeđa nego u sredinama s odsustvom intenzivne obrade zemljišta. Zbog te činjenice potrebno je uvažavati sve naznake u tome smjeru, jer mogu ukazivati na ostatke peći koje se još uvijek, barem djelomično, nalaze na primarnome mjestu. Takve su bile relativno jasne bipolarne magnetske anomalije prepoznate na lokalitetima Bakovčice – Velike livade 1 (sl. 2), Nadbarice 1 (sl. 3), Ždala – Telek 2A (sl. 5) i Ždala – Telek 7D-7E (sl. 6).

Uz relativno jasnu bipolarnost, izdvajali smo pojedinačne relativno jače magnetske anomalije relativno većih tlocrtnih površina koje su najvjerojatnije posljedica termoremanentnoga karaktera ostataka od spaljene gline i time moguće indikacije za ostatke željezarstva *in situ*. Radi li se u tim slučajevima doista o pećima *in situ*, moći će se ustanoviti tek ciljanim arheološkim iskopavanjima koja su u planu.

Kao jedan od bitnih kriterija za prepoznavanje mjesta željezarskih djelatnosti u poljoprivrednim sredinama podrazumijevamo i promjenjivost frekvencije magnetskih anomalija unutar svake istražene površine. Na mjestima s ostacima željezarstva pojavljuju se točkaste magnetske anomalije visoke frekvencije što se pripisuje prisustvu brojnih fragmenata željezarske zgre u oranici. Na osnovi te spoznaje, uspjeli smo odrediti približne granice područja aktivnosti za proizvodnju željeza na svim istraženim površinama. I te su informacije korisne za određivanje radiusa područja kontaminiranoga materijalom iz željezarskih radionica, iako se možda radi isključivo o materijalu na sekundarnome položaju.

Bitna spoznaja ovih istraživanja jest da se na osnovi magnetskih svojstava mogu, premda loše očuvanim ostacima, ipak prepoznati područja željezarskih aktivnosti što će u nastavku poslužiti kao jedna od podloga za planiranje daljnjih istraživanja s arheološkim iskopavanjima.



## INTERNETSKI IZVORI / WEB SOURCES

Geoportal, Državna geodetska uprava – <https://geoportal.dgu.hr/>  
Projekt TransFER, Institut za arheologiju, Zagreb – <http://transfer.iarh.hr>

## LITERATURA / BIBLIOGRAPHY

- Abrahamsen, N., Holm, J., Koppelt, U., De Lanson, P., Smekalova, T., Voss, O. 2003, Archaeomagnetic Investigations of Iron Age Slags in Denmark, *Archaeological Prospection*, Vol. 10(2), 91–100. <https://doi.org/10.1002/arp.200>
- Črešnar, M., Mušič, B., Horn, B., Vinazza, M., Leskovar, T., Harris, S. E., Batt, C. M., Dolinar, N. 2020, Interdisciplinary research of the Early Iron Age iron production centre Cvinger near Dolenjske toplice (Slovenia), *Arheološki vestnik*, Vol. 71, 529–554.
- Marković, Z. 1990, Bakovčice – Velike livade, in: *Registar arheoloških nalaza i nalazišta sjeverozapadne Hrvatske*, Šimek M. (ed.), Muzejsko društvo sjeverozapadne Hrvatske, Sekcija arheologa i preparatora, Varaždin, 135, br. 512.
- Marković, Z. 1997, Bakovčice – Velike livade, in: *Registar arheoloških nalaza i nalazišta sjeverozapadne Hrvatske*, Šimek M. (ed.), Muzejsko društvo sjeverozapadne Hrvatske, Sekcija arheologa i preparatora, Bjelovar, 146, br. 465.
- Mušič, B., Orenko, L. 1998, Magnetometrične raziskave železnodobnega talilnega kompleksa na Cvingerju pri Meniški vasi, *Arheološki vestnik*, Vol. 49, 157–186.
- Mušič, B., Medarič, I., Mori, M., Nas, E. 2013, *Izvišće o geofizičkim istraživanjima na arheološkom lokalitetu Virje – Volarski breg/Sušine*, Neobjavljeno izvišće, Gearh d.o.o., Maribor.
- Mušič, B., Medarič, I., Valent, I., Sekelj Ivančan, T. 2019, Geofizička istraživanja srednjovjekovnoga lokaliteta Kalinovac – Hrastova greda 1, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XV, 117–122.
- Sekelj Ivančan, T., Mušič, B. 2014, Geofizička i arheološka istraživanja na nalazištu Virje – talionička radionica iz vremena kasne antike i ranog srednjeg vijeka, *Starohrvatska prosvjeta*, Vol. 41, 177–184.
- Powell, A. J., McDonnell, J. G., Batt, C. M., Vernon, R. M. 2002, An assessment of the magnetic response of an iron-smelting site, *Archaeometry*, Vol. 44(4), 651–665. <https://doi.org/10.1111/1475-4754.t01-1-00091>
- Tabbagh, J. 2003, Total field magnetic prospection: are vertical gradiometer measurements preferable to single sensor survey?, *Archaeological Prospection*, Vol. 10(2), 75–81. <https://doi.org/10.1002/arp.193>
- Telford, W. S., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- 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. 2018, Rekognosciranje Muzeja grada Koprivnice u 2017. godini, *Podravski zbornik*, Vol. 44, 77–98.
- Valent, I., Krznar, S., Tkalčec, T., Sekelj Ivančan, T. 2018, Terenski pregled koprivničke i đurđevačke Podravine, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XIV, 142–147.

## SUMMARY

*Based on the results of the magnetic method at all the sites surveyed in 2019, we can assume that most of the remains of iron production activities are dispersed in the plough zone. This is a consequence of intensive land cultivation, so the preservation of archaeological remains of iron production activities is generally poor, and magnetic anomalies are appropriately weaker. This circumstance, among other things, generates a heterogeneous appearance of magnetograms with a large number of magnetic bipoles of different orientations, although some anomalies with bipolarity in an approximate north-south direction can be recognized in all of these locations. The clear bipolarity of magnetic anomalies is due to the lower preservation level of remains, much less frequent than in the environments with the absence of intensive tillage.*

*Because of this, all indications in this direction should be observed, as they may indicate the remains of furnaces which are still in the primary position, at least partially. Such relatively clear bipolar magnetic anomalies were recognized at the sites of Bakovčica – Velike Livade 1 (Fig. 2), Nadbarice 1 (Fig. 3), Ždala – Telek 2A (Fig. 5), and Ždala – Telek 7D-7E (Fig. 6).*

*Besides the relatively clear bipolarity, we isolated relatively stronger individual magnetic anomalies of relatively larger dimensions in the ground plane, which are most likely due to the more magnetic character of the burned clay remains and thus possibly indicate in situ ironworks. It will be possible to determine if these are indeed in situ remains of furnaces only by the targeted archaeological excavations that are planned.*

*One of the important criteria for identifying the location of ironworks in agricultural environments is the variability of the frequency of magnetic anomalies within each surveyed area. High-frequency point-like magnetic anomalies occur at sites with iron production remains, which is attributed to the presence of numerous fragments of slag in the plough zone. Based on this knowledge, we were able to determine the approximate boundaries of the area of iron production activity for all the surveyed areas. This information is also useful for determining the radius of the area contaminated with the material from the ironworks, although it may be solely the material in the secondary position in the plough zone.*

*An important achievement of these studies is that, despite poorly preserved remains, areas of iron production activity can still be identified from their magnetic properties, which will later serve as a basis for planning further research with archaeological excavations.*