

Možnosti geofizikalnih raziskav na najdiščih iz starejše železne dobe. Primer Poštele pri Mariboru

Possibilities for geophysical research on sites dated to the Early Iron Age. Case study of Poštela near Maribor (Slovenia)

© Branko Mušič

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo in Gearh, d. o. o., brankomusic1@yahoo.com

© Matija Črešnar

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo in Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Center za preventivno arheologijo, matija.cresnar@gmail.com

© Igor Medarić

Gearh, d. o. o., igormedo@gmail.com

Izvleček: V prispevku predstavljamo presek dosedanjih rezultatov arheoloških raziskav na območju širšega arheološkega kompleksa Poštela pri Mariboru, pri katerih dosledno upoštevamo tako rezultate preteklih terenskih raziskav kot analize lidarskih posnetkov, največjo težo pa imajo brez dvoma geofizikalne raziskave, ki jih kombiniramo s prilagojenim terenskim preverjanjem (vrtnanje z geološkimi svedri, testne sonde idr.).

Poštela lahko v našem okolju brez dvoma vidimo kot testni poligon za uveljavljanje sistematičnih in poglobljenih geofizikalnih raziskav na prazgodovinskih najdiščih, čemur botrujejo tako naravne danosti in pestrost arheoloških oblik kot nabor tukaj preizkušanih geofizikalnih metod, načini njihove analize in celostni pristop k arheološkim terenskim raziskavam prazgodovinskih krajin.

Ključne besede: geofizikalne raziskave, starejša železna doba, Poštela pri Mariboru, magnetna metoda, georadar, električna upornost, magnetna susceptibilnost, CMD Mini-Explorer

Uvod

S prispevkom želimo predstaviti, kakšne možnosti ponujajo geofizikalne raziskave za preučevanje najdišč iz starejše železne dobe oz. širše gledano prazgodovinskih obdobij. S tovrstnimi raziskavami se namreč odpirajo možnosti, da v razmeroma kratkem času in s sorazmerno nizkimi stroški nedestruktivno – glede na pridobljene podatke torej na vedno znova ponovljiv način – dokumentiramo sledove arheoloških ostankov ter jih preučujemo.

Izbira širšega arheološkega kompleksa Poštele je v tem primeru logična, saj gre za območje, kjer so se v zadnjih letih poudarjeno izvajale nedestruktivne raziskave, med njimi predvsem geofizikalne. Pri raziskovanju ne uporabljamo le standardnega nabora metod, temveč z inovativnimi prilagoditvami in uvajanjem novih postopkov preizkušamo meje sodobne arheološke geofizike v kompleksnih pogojih prazgodovinskih najdišč.

Abstract: The article presents the results of the recent archaeological investigations conducted in the broader area of the archaeological complex at Poštela near Maribor. The investigations took into account past field investigations and lidar scanning analyses, and mainly consisted of geophysical surveys combined with adapted ground-truthing procedures (shallow surface geological drilling, test pits and others).

Poštela is a site that boasts a specific natural setting and a variety of archaeological features, but also a site that has been the subject of a variety of geophysical investigations, different analyses of results and an integrated approach to archaeological field research in prehistoric landscapes. As such, Poštela can certainly be seen as a test polygon for systematic and in-depth geophysical investigations in Slovenia.

Keywords: geophysical survey, Early Iron Age, Poštela near Maribor, magnetic method, GPR, electric resistivity, magnetic susceptibility, CMD Mini-Explorer

Poštela in oris zgodovine raziskav

Poštela je brez dvoma eno najpomembnejših, pa tudi najbolj raziskanih in najbolj poznanih utrjenih višinskih naselbin iz časa starejše železne dobe pri nas (Teržan 1990, 59–78, 256–339; Strmčnik Gulič, Teržan 2004; Teržan et al. 2012; isti 2014; Črešnar, Mlekuž 2014; Mlekuž, Črešnar 2014). Leži na iztekajočem se jugovzhodnem pohorskem grebenu na nadmorski višini med 543 in 395 m, od koder dominira nad ravnico Dravsko-Ptujskega polja (slika 1). Lega naselbine je s strateškega stališča izjemna, saj vizualno obvladuje celotno okolico z obrobjem Slovenskih Goric vse do Ptuja in Halož, proti severu pa spodnji del Dravske doline s Kozjakom. Tudi z vidika dimenzij je razmeroma velika, saj se je razprostirala na pohorskem hrbtu v dolžini pribl. 350 m in širini pribl. 300 m. Obdana je z visokim nasipom, v notranjosti pa je razdeljena še s tremi prečnimi nasipi ter razčlenjena s številnimi terasami.

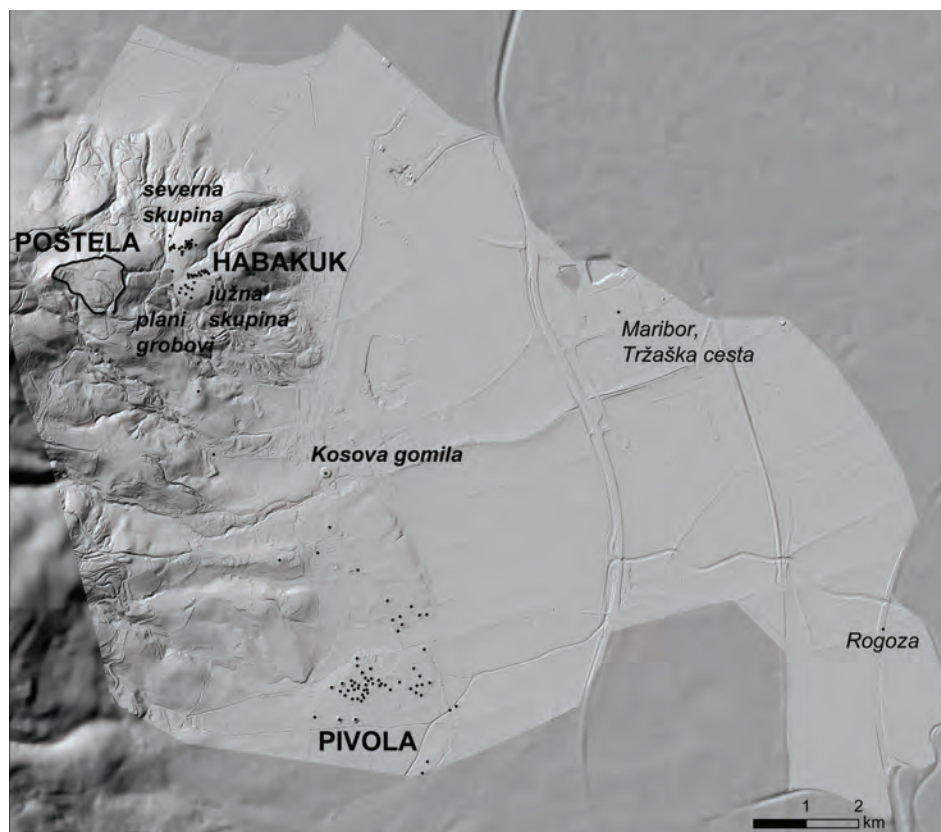
Naselbini pripisujemo tudi več grobišč. Prvo leži na terasi tik pod naselbino pri Habakuku, kjer so pokopavali

tako na planem grobišču kot v gomilah, razporejenih v dveh večjih skupinah, severni in južni. Posamezne gomile se nahajajo tudi na pobočjih proti jugovzhodu. Zadnja med njimi je velika Kosova gomila, ki leži v dolini, tik ob Razvanjskem potoku. Gomile se od tod razprostirajo še proti jugu vse do Pivole oz. Spodnjih Hoč, z največjo skupino na prostoru današnjega Botaničnega vrta Univerze v Mariboru (UM) in ob njem. Medtem ko so slednje odlično ohranjene, pa je večina drugih že zelo poškodovanih ali pa so v celoti uničene (slika 1).

Pošteli v starejši železni dobi pripisujemo vlogo večjega regionalnega središča, kot jih v istem času poznamo tudi v sosednjih pokrajinah. Glede na natančno proučevanje drobnih najdb, predvsem keramike, je bila v svojem celotnem obsegu zasnovana v poznem 9. stoletju pr. n. št., opuščena pa je bila v prvi polovici ali najkasneje sredi 6. stoletja pr. n. št., ko je najverjetneje doživela katastrofi-

čen konec, podobno kot mnoga druga naselja ob zahodnem robu Panonske nižine (Teržan 1990; ista 1998).

V kulturni krajini izstopajoči spomeniki, tako naselbina s svojimi impozantnimi nasipi kot gomile, so že zgodaj privabljali pozornost raziskovalcev, ki jim gre do neke mere tudi zasluga za današnje poznavanje tega arheološkega kompleksa. Poštelo je tako že leta 1837 omenjal mariborski profesor G. Mally v svojem opisu Pohorja, prvi topografski opis in skico pa je izdelal njegov sodobnik R. G. Puff. V drugi polovici 19. stoletja je omembe vredno delo gimnazijskega profesorja A. Müllnerja, na prelomu stoletij pa je profesor F. Ferk na naselbini in v nekaterih gomilah izvedel prva sondažna izkopavanja. Sledila so izkopavanja upokojenega nadporočnika P. Schlosserja leta 1910, že v naslednjih letih pa je k sodelovanju pritegnil tudi arheologa W. Schmida iz deželnega muzeja Joanneum iz Gradca. To pa pomeni, da je govora o raziskavah pod strokovnim



Slika 1. Utrjena višinska naselbina na Pošteli s pripadajočimi grobišči na lidarskem posnetku (priprava: D. Mlekuž).

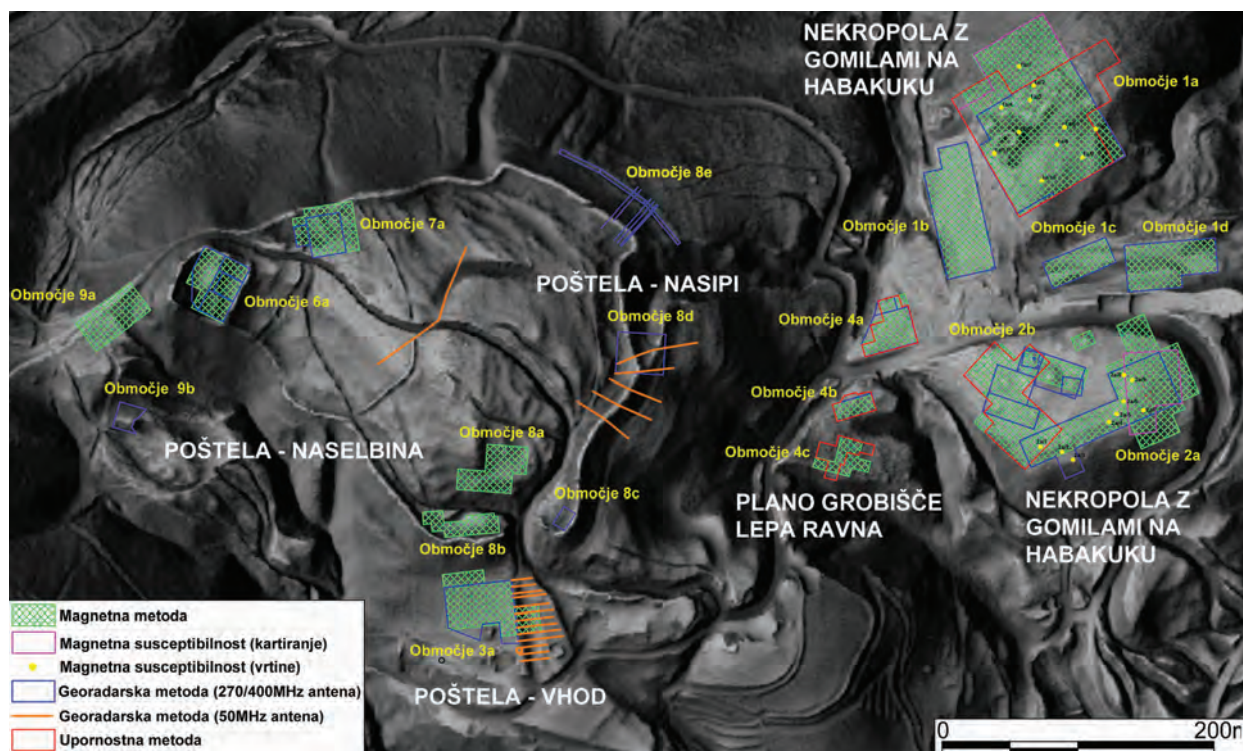
Figure 1. Poštela hillfort with associated burial grounds on the lidar scan (preparation: D. Mlekuž).

vodstvom, ki so se nato nadaljevale še v letih 1914 in 1917. Skupaj je bilo izkopanih okrog 100 sond, s katerimi so bili raziskani ne le notranost naselbine, temveč tudi nasip in terase zunaj naselja. Sonde so bile sicer manjših dimenzij, v kolikor pa so bili odkriti ostanki stavb, so bile povečane. Takratna dognanja so za razumevanje naselbine pomembna še dandanes (Schmid 1915). Schlosser in Schmid sta izkopavala tudi na gomilah, vendar so najdbe pretežno izgubljene. Izkopavanja precej skromnejšega obsega tako na naselbini kot na gomilah so sledila še v letih 1933 in 1934 (Teržan 1990, 13–20). Skorajda pol stoletja kasneje, leta 1980, je na nasipu naselbine izkopavala B. Teržan z Univerze v Ljubljani, s čimer je želela preveriti stratigrafsko sliko naselbine in bolje spoznati podatke starejših izkopavanj, leta 1981 pa je izvedla še izkopavanje gomile 4 v južni skupini gomil in testne sonde na planem grobišču na Habakuku. Leta 1989 je bila pod vodstvom M. Strmčnik Gulič raziskana gomila 14 na njivah pri Pivoli (Strmčnik Gulič, Teržan 2004), leta 1991 pa še gomila na pobočju nad Razvanjem.

Sodobne raziskave, v katere so bile prvič vključene tudi geofizikalne prospekcije, so pod vodstvom B. Teržan potekale v letu 2006 na gomili 13 na Pivoli, ki je bila nato tudi izkopana (Teržan et al. 2007; isti 2012; isti 2014). Ker je primerjava rezultatov geofizikalnih raziskav in izkopavanj pokazala veliko ujemanje, smo z meritvami preiskali še preostale gomile na njivah na Pivoli (Teržan et al. 2012). To je tudi začetek raziskav, ki so dobile dodaten zagon z lidarskim snemanjem in jih sedaj od leta 2011 zdržema izvajamo na širšem območju arheološkega kompleksa Poštela.

Izhodišča geofizikalnih raziskav

V prispevku želimo predstaviti nekatere okoliščine, ki usmerjajo raziskave in izbrane rezultate s poudarkom na problematiki, ki je skupna prazgodovinskim utrjenim višinskim naselbinam. Gre predvsem za obilico zanimivih, tudi presenetljivih in za arheologijo izpovednih rezultatov geofizikalnih raziskav, ki temeljijo na prepo-



Slika 2. Na lidarskem posnetku označene površine, ki so bile z različnimi geofizikalnimi metodami raziskane na Pošteli in na Habakuku v letih 2011–2013.

Figure 2. Lidar scan with marked areas investigated in 2011–2013 at Poštela and Habakuk using different geophysical methods.

znavanju lokalnih „nepravilnosti“ arheološkega izvora v Zemljinem magnetnem polju in/ali v umetno ustvarjenih fizikalnih poljih (npr. v električnem in elektromagnetnem polju) in so bile na več mestih tudi potrjene ter dopolnjene z odkritji izkopavanja.

Odkrivanje snovnih ostalin prazgodovinskih obdobj je kljub njihovi relativno majhni globini pod današnjim površjem (od nekaj dm do nekaj m), pogosto izven dometa tudi naj sodobnejših dosežkov arheološke geofizike. Tudi zaradi tega poleg že priznanih metodoloških in tehničnih rešitev poudarek namenjamo predvsem inovativnim raziskavam. Skupni imenovalac prizadevanj je iskanje odgovorov na številna vprašanja, ki se porajajo v zahtevnih naravnih in arheoloških kontekstih teh najdišč. Tako v prispevku ne predstavljamo celotnega spektra naših raziskav, temveč komentiramo le rezultate na izbranih lokacijah, ki ustrezajo območjem različnih dejavnosti v starejši železni dobi, z njimi pa želimo prikazati razpon in doseg sodobnih geofizikalnih raziskav na prazgodovinskih najdiščih.

Na izbor območij (slika 2) in določitev uporabe ustreznih metodoloških pristopov odločilno vplivajo rezultati dosedanjih arheoloških odkritij na Pošteli in Pivoli (Teržan 1990, 59–78, 256–339; Strmčnik Gulič, Teržan 2004) ter že opravljenih geofizikalnih raziskav (glej npr.: Teržan et al. 2012; isti 2014), ki ob tem usmerjajo arheološka izkopavanja. Prav tako upoštevamo tudi spoznanja o rabi prostora na podlagi analize lidarskih posnetkov ob poznavanju geomorfologije (Rižnar 2012; glej tudi Gams 2008, 187–254) in rezultatov analize soodvisnosti izbranih podatkovnih slojev v Geografskih informacijskih sistemih (GIS) (glej npr.: Mlekuž, Črešnar 2014; Črešnar, Mlekuž 2014).

Ob tem pa v procesu raziskav dosledno izvajamo pod-površinska arheološka preverjanja (vrtine, testne sonde, ali pa obsežnejša izkopavanja), ki so edina ustrezna preverba rezultatov geofizikalnih metod. Rezultat slednjih, tj. izmerjena vrednost na površini, namreč pomeni vsoto sprememb v izbrani merjeni fizikalni količini za določeno prostornino podpovršine. Odnose med izmerjenimi vrednostmi na površini in viri anomalij pod površino lahko pojasnimo samo z ustrezno dokumentiranimi izkopi. Tega se v okviru raziskav na Pošteli držimo povsod, kjer smo predhodno z geofizikalnimi metodami dobili rezultate, ki lahko predstavljajo arheološke ostanke, a jih po dosedanjih raziskavah še ne razumemo povsem. To

je za znanstveno relevanten rezultat v zahtevnih okoliščinah takšnih prazgodovinskih najdišč neizogibno, saj so anomalije v fizikalnih poljih zaradi praviloma majhnih prostornin arheoloških objektov zelo šibke. To velja tako za slabše ohranjene naselbinske oblike kakor tudi za grobove z žganimi pokopi z ali brez žare na planih grobiščih. Vse arheološke sonde so bile skrbno načrtovane in po obsegu predstavljajo izjemno majhen poseg, ki pa izredno pomembno prispeva k razumevanju rezultatov geofizikalnih raziskav in seveda arheoloških vsebin za arheološko relevantne razlage.

Na vseh z geofizikalnimi metodami raziskanih območjih smo uporabili lidarsko topografijo za upoštevanje učinka oblikovanosti površja na rezultate meritev. Geofizika se ukvarja z raziskovanjem podpovršja, ki je opredeljeno kot polprostor. Površje predstavlja mejo med polprostoroma, njegova oblika pa nas zanima samo kot razmejitvena površina. Lidarski posnetki pri arheoloških prostorskih raziskavah služijo za prepoznavanje antropogenih in seveda tudi naravnih oblik. Pozitivna korelacija geofizikalnih anomalij s površinskimi oblikami je pogosto zavajajoča. Anomalije nad površinskimi oblikami namreč pogosto nastanejo zaradi oblik samih in ne odražajo njihove podpovršinske sestave. Da bi pojasnili medsebojni odnos površinskih oblik in njihove sestave, preslikamo anomalije v fizikalnih poljih na lidarsko površje (sliki 3–4). Včasih gre pri tem za zahtevne postopke, ki pa so običajno že integrirani v programsko opremo za reševanje geoloških problemov. Z upoštevanjem topografske korekcije je geofizikalna metoda učinkovitejša pri ugotavljanju vsebine in nastanka površinskih oblik. Topografska korekcija je različna za meritve različnih fizikalnih polj in je odvisna tudi od načina izvajanja meritev. Lidarski posnetki natančno razkrivajo izjemno pestrost površinskih oblik, s pomočjo katerih tudi ciljno usmerjamo geofizikalne raziskave.

Cilji geofizikalnih raziskav

Osnovni cilj geofizikalnih raziskav na Pošteli in nekropolah na Habakuku in Pivoli je predlagati najustreznejšo izbiro in/ali kombinacijo geofizikalnih metod za t. i. *multi-method approach*, strategijo optimalnega zajemanja podatkov in nabor naprednih postopkov obdelave za učinkovito reševanje raznolikih problemov pri prazgodovinskih študijah. Raziskovalne ambicije imajo ob povsem specifičnih, vezanih na poselitev arheološkega kom-

pleksa Poštele v starejši železni dobi, za cilj uveljavitev pomembnejših ugotovitev v prakso varovanja arheološke kulturne dediščine. Vprašanja, ki si jih zastavljamo v okviru projektov *Tradicija in inovativnost v prazgodovini*¹ in *ENTRANS*², se v marsičem dotikajo meja trenutnih spoznanj na področju arheološke geofizike na prazgodovinskih najdiščih, zato posegamo po inovativnih rešitvah za zanesljivejše prepoznavanje določenih arheoloških objektov in razumevanje rabe prostora v okviru teh najdišč.

Možnosti geofizikalnih raziskav v odvisnosti od naravnih danosti

Za geofizikalno raziskavo je pomemben podatek o relativno nizki magnetni susceptibilnosti amfibolitov in metamorfih kamnin, ki gradijo vzhodni del mariborskega Pohorja (Žnidarčič, Mioč 1988; Rižnar 2012), kjer se nahajajo prazgodovinska naselbina na Pošteli ter plano grobišče in skupini gomil na Habakuku. V podlagi območij, raziskanih z geofizikalnimi metodami (slika 2), se nahaja meljasta preperina paraamfibolita, različka amfibolita s trakasto teksturo, ki je nastal z metamorfozo sedimentnih kamnin, medtem ko se masivni različek kamnine pojavlja le na redkih izdankih. Meljasto peščena preperina, s katero je prekrit amfibolit, je produkt razmeroma hitrega (kemičnega) prepevanja amfibolita, ki razpada v glinene minerale in zrna kremenca (povzeto po: Rižnar 2012).

Magnetna susceptibilnost močno preperelega amfibolita pod meljasto preperino debeline od nekaj dm na severnem delu gomilne nekropole na Habakuku do 1 m in več na južnem delu je največ do $0,3 \times 10^{-3}$ SI (Kappameter KT-7). Na razmeroma strmih, a ravnih pobočjih, kot na primer pod severovzhodnim delom obzidja zgornjega dela najdišča, je tudi več kot 1 m meljaste preperine (Rižnar 2012). Iz opazovanja izdankov v grapah in cestnih usekih sklepamo, da je lahko debelina preperinske skorje amfibolita ponekod tudi do več metrov.

Redke izdanke relativno „sveže“ kamnine je mogoče najti samo v nekaterih globljih grapah. Najvišje vrednosti magnetne susceptibilnosti (Kappameter KT-7) meljaste preperine nad preperinsko skorjo amfibolitov so do $0,35 \times 10^{-3}$ SI. Vrednosti susceptibilnosti, višje od te, so najverjetneje posledica kontaminacije z magnetnimi drobcami

drugotnih mestih (deponije keramike, odpadnih produktov metalurgije ipd.) ali intenzivnejše rabe ognja na teh lokacijah (ognjišča, pogorele stavbe ipd.). Gre za analize vrednosti navidezne magnetne susceptibilnosti za ugotavljanje območij različnih namembnosti v arheološki preteklosti. Postopek je bil podrobneje razložen na primeru poznoantične naselbine na Ajdovščini pri Rodiku (Mušič 2000; Mušič et al. 2000, 132–146; Mušič, Slapšak 1998, 81–93).

Iz nabora vrednosti magnetne susceptibilnosti (Kappameter KT-7) smo sklepali, da je z magnetno metodo (Geometrics G-858) mogoče prepoznati tudi šibko magnetne ostanke kurišč, podobno pa tudi magnetne sledove drugih načinov intenzivne rabe ognja ter plasti oz. jame z večjo količino fragmentov keramike in morda tudi žare ali skupine žar na planih grobiščih. Manj zanesljiva je bila napoved glede prepoznavnosti kamnitih temeljev hiš in vseh drugih kamnitih konstrukcij. Za gradnjo teh so bili namreč najverjetneje uporabljeni kar lomljenci deloma preperelega amfibolita iz geološke podlage, saj je pridobivanje preprosto, trdnost kamnine pa je še vedno zadostna. Poleg odsotnosti večjih razlik v magnetni susceptibilnosti v primerjavi z meljasto preperino sta oteževalni okoliščini za učinkovito rabo tako magnetne kot georadarske metode, pa tudi geoelektričnega kartiranja, za zanesljivo prepoznavanje kamnitih struktur tudi majhna debelina preperine na trdni geološki podlagi in slabša ohranjenost arheoloških objektov. Te predpostavke so lahko mestoma tudi napačne, vendar je za načrtovanje arheološko izpovedne geofizikalne raziskave potrebno pripraviti načrt, ki upošteva posebnosti najdišča predvsem v smislu predvidevanja najverjetnejših vrst težav.

Uporabljene geofizikalne metode in načini izvajanja meritev

Magnetna metoda (Geometrics G-858, Geometrics G-856AX)

Pri geofizikalnih raziskavah prazgodovinskih najdišč se praviloma najbolje obnese magnetna metoda (glej npr.: Lindsay et al. 2010, 15–27). Ostale metode se običajno uporabljajo samo na izbranih površinah na podlagi predhodnih pozitivnih rezultatov magnetne metode, jasnejših lidarskih topografij in/ali zanesljivih arheoloških virov. Tako pridobivamo komplementarne podatke o konkretnih arheoloških objektih in/ali površinah različne namemb-

1 Vodja: akad. prof. dr. Biba Teržan, Univerza v Ljubljani.

2 *Encounters and Transformations in Iron Age Europe*, vodja prof. Ian Armit, Univerza v Bradfordu.

nosti v arheološki preteklosti. Pri magnetni prospekciji prazgodovinskih najdišč so se boljše izkazale meritve sprememb v gostoti magnetnega pretoka zemeljskega magnetnega polja na gradientni način (slika 20A–B). Uveljavile so se predvsem zato, ker gradientni način deluje kot filter nizkih frekvenc in zelo poudari šibke magnetne anomalije majhnih objektov na majhnih globinah ter odpravi dolgovalovne anomalije, ki so posledica geološkega ozadja. Pri tem dosega zavidljivo ločljivost 0,1 nT/m, ki ob ugodnem razmerju vrednosti magnetne susceptibilnosti v splošnem zadošča tudi za odkrivanje negativnih prazgodovinskih oblik, kot so jarki in večje jame oz. gruče jam. Pri raziskavah smo želeli z magnetno metodo v prvi vrsti preveriti prisotnost in ohranjenost nabelinskih ostalin na Pošteli (slika 20A–D), obstoj obodnih jarkov okoli gomil na Pivoli in Habakuku (slike 3, 13–14) ter, v kolikor bi uspeli z metodo prepoznati tudi plane žgane grobove, omejiti obseg planega grobišča na Habakuku (slika 17). Ob tem smo preučevali tudi druge vrste arheoloških ostalin s termoremanentno magnetizacijo, kot so na primer žganinske plasti, deponije oz. plasti z večjimi koncentracijami fragmentov keramike (slika 16A–C) idr.

Pri magnetni metodi smo v letu 2014 začeli tudi z uvažanjem meritev na način, kot se sicer pogosto uporablja v geološki geofiziki, v arheološki pa trenutno le izjemoma (glej npr.: Tabbagh 2003, 75–81; Petronille et al. 2010, 141–150; Oh et al. 2008, 227–238; Sheriff et al. 2010, 49–60). Meritve potekajo tako, da z baznim magnetometrom (v našem primeru z Geometrics G-856AX) spremljamo spremembe v Zemljinem magnetnem polju na izbrani točki, kjer v bližini ni virov močnejšega magnetnega polja. Niz tako izmerjenih vrednosti totalnega Zemljinega magnetnega polja nato odštejemo od vrednosti gostote magnetnega pretoka na obeh senzorjih magnetometra Geometrics G-858, izmerjenih vzdolž magnetnih profilov v istih časovnih intervalih. S tem odpravimo dnevne spremembe Zemljinega magnetnega polja, ki se odražajo na meritvah posameznih senzorjev. Na (pseudo) gradientnih prikazih, kjer se upošteva razlika izmerjenih vrednostih med spodnjim in zgornjim senzorjem, so te spremembe odpravljene, ker je razlika v vsaki točki vselej enaka ne glede na spremembe v Zemljinem magnetnem polju. Takšen način zajemanja podatkov omogoča vpogled v realnejše tlorisne oblike virov magnetnih anomalij na spodnjem senzorju (slika 20C–D), medtem ko magnetne anomalije na zgornjem senzorju omogoča-

jo hitro in zanesljivo prepoznavanje najmočnejših virov magnetnih anomalij ter pripomorejo k izdelavi natančnih magnetnih modelov arheoloških objektov in geoloških teles pod površino.

Magnetna susceptibilnost (Kappameter KT-7)

Navidezno magnetno susceptibilnost smo merili s terenskim instrumentom Kappameter KT-7 (GF Instruments), s katerim merimo vrednosti vrhnjega sloja zemljišča do globine približno 5 cm. Na ta način ugotavljamo spremenljivost magnetne susceptibilnosti, ki je posledica spremembe šibko magnetnih železovih mineralov v bolj magnetne oblike pri povišani temperaturi zaradi uporabe ognja. Drugi vir sprememb magnetne susceptibilnosti v vrhnjem sloju tal so lahko tudi plasti oz. deponije odlomkov keramike, prežganega stenskega ometa, odpadnih produktov metalurgije idr. Magnetna susceptibilnost je sicer fizikalna količina, ki je definirana kot količnik med izmerjeno intenziteto magnetizacije in inducirajočim magnetnim poljem. V tem primeru instrument to magnetno polje ustvarja sam. Meritve magnetne susceptibilnosti različnih snovi, ki jih iščemo pri magnetni prospekciji, so običajno pomemben vir podatkov o magnetnih lastnostih ciljnih objektov in medija, v katerem se nahajajo. Meritve magnetne susceptibilnosti na površju so se pri geofizikalni prospekciji v arheologiji uveljavile kot samostojna prospekcijska tehnika (glej npr.: Mušič 1999; Mušič et al. 2000, 132–146; Mušič Slapšak 1998, 81–93).

Razdalja med merilnimi točkami je bila na območju severnega gomilnega grobišča na Habakuku (slika 2: 1a) 10 m, na območju južnega gomilnega grobišča (slika 2: 2a) pa 2 m. Za različne razdalje med merilnimi točkami smo se odločili zaradi različnih ciljev. Na območju 1a smo želeli uporabiti meritve magnetne susceptibilnosti predvsem za boljše razumevanje geološkega „ozadja“ in s tem rezultatov magnetnih meritev na gradientni način (Geometrics G-858). Na območju 2a pa smo v gostejši mreži kartirali območje, kjer smo že na površini, torej v gozdnem humusu, zasledili prisotnost velike količine drobcov keramike in prežganih kosti. Pri prvih poizkusnih meritvah smo ob tem ugotovili pozitivno korelacijo med številom drobcov keramike na enoto površine in izmerjenimi vrednostmi susceptibilnosti (slika 16B).

V nadaljevanju so predstavljeni izsledki s treh območij, kjer razpolagamo z meritvami magnetne susceptibilnosti površja v mreži z osnovnimi statističnimi parametri (*sv* – srednja vrednost, *so* – standardni odklon, *min* – najnižja vrednost, *max* – najvišja vrednost).

- Območje na gomilni nekropoli brez površinskih znakov o arheoloških ostankih ob gomilah. (slika 2: 1a): *sv*: $0,22 \times 10^{-3}\text{SI}$; *so*: $0,13 \times 10^{-3}\text{SI}$; *min*: $0,05 \times 10^{-3}\text{SI}$ in *max*: $0,90 \times 10^{-3}\text{SI}$;

- Območje na gomilni nekropoli z drobci keramike in prežganih kosti na površini ter z izkopavanji odkrito plastjo keramike in prežganih kosti (slika 2: 2a): *sv*: $0,34 \times 10^{-3}\text{SI}$; *so*: $0,25 \times 10^{-3}\text{SI}$; *min*: $0,05 \times 10^{-3}\text{SI}$ in *max*: $3,41 \times 10^{-3}\text{SI}$;

- Območje s predpostavljeno metalurško dejavnostjo (slika 2: 6a): *sv*: $0,33 \times 10^{-3}\text{SI}$; *so*: $0,19 \times 10^{-3}\text{SI}$; *min*: $0,08 \times 10^{-3}\text{SI}$ in *max*: $1,50 \times 10^{-3}\text{SI}$.

Razlike v osnovni statistiki med temi območji različnih namembnosti v prazgodovini so očitne in najverjetneje tudi statistično značilne, vendar bomo to preverjali, ko bomo z meritvami zajeli večji vzorec različnih območij.

Poleg kartiranih vrednosti magnetne susceptibilnosti na današnji površini in na vzorcih iz plitvih pedoloških vrtn smo preverjali tudi vse kose kamnin v sestavi grobov na planem grobišču na Habakuku. Ugotovili smo, da je magnetna susceptibilnost večine kosov amfibolitov znatno višja od vrednosti iste, vendar močneje preperele kamnine na izdankih na najdišču. Glede na to, da gre v sestavi grobov za manj preperele kose amfibolitov se zdi verjetno, da izvirajo iz neke druge lokacije. Izdankov slabo preperele kamnine namreč na samem najdišču pri terenskih obhodih nismo zabeležili, obstaja pa možnost, da so nekdanji dosegljivi izdanki danes zakriti. Na planem grobišču so tudi dobro zaobljeni kosi drugih metamorfni kamnin, ki najverjetneje izvirajo iz korit bližnjih vodotokov.

Geoelektrična upornostna metoda (Geoscan RM15)

Geoelektrična upornostna metoda v splošnem velja za manj uspešno na prazgodovinskih najdiščih, vendar pa je v nekaterih okoliščinah z določenimi pristopi, npr. geoelektrično tomografijo na območjih višjih gomil,

tudi nepogrešljiva (glej npr.: Papadopoulos et al. 2009, 129–132; Elwaseif, Slater 2010, 1424–1436). Upornostno metodo smo na način kartiranja preizkusno uporabili na več gomilah na Pivoli in na Habakuku ter na planem grobišču na Habakuku. Odločitev je bila smiselna, ker so preizkusne meritve na gomilah na Pivoli dale vzpodbudne rezultate (slika 5).

Uporabili smo geoelektrično kartiranje, ki je v arheologiji najbolj uveljavljen način izvajanja upornostnih meritev. Beležili smo vrednosti navidezne upornosti do enake globine. Takšen način upornostnih raziskav pa se na prazgodovinskih gomilnih nekropolah obnese le na nizkih gomilah, kjer je plašč gomile le za približno 1 m dvignjen nad neposredno okolico. Poleg tehničnih podrobnosti izvajanja meritev na globinski doseg in ločljivost metode znatno vpliva tudi vlažnosti terena, ki pa je bila v času kartiranja na gomilni nekropoli na Pivoli optimalna. Arheološko pomembni izsledki geoelektričnega kartiranja so jasno prepoznavne visokoupornostne kamnite grobne kamre (slika 5) in ponekod tudi obodni pas relativno nižjih vrednosti upornosti ob vznožju gomil, ki sovпада z magnetnimi anomalijami jarkov okoli gomil (sliki 3, 5).

Georadarska metoda (GSSI SIR3000; antene 50, 200, 270 in 400 MHz)

Za prvo georadarsko raziskavo ene od nizkih gomil na Pivoli, ki smo jo izvedli v letu 2006, smo uporabili 200 MHz anteno (glej: Teržan et al. 2012). Za to anteno nizke ločljivosti se praviloma odločamo pri testnih meritvah na najdiščih, kjer je veliko neznan, kot so npr. ohranjenost arheoloških ostalin, njihova globina, sestava zemljišča in vlažnost. Omogoča nekoliko večji globinski doseg kot antene višjih frekvenc ob sorazmerno slabši ločljivosti, vendar je na račun slabše ločljivosti manjši tudi učinek raznih „šumov“. Če so arheološke ostaline dobro ohranjene, jih bomo zanesljivo prepoznali. V nadaljevanju raziskav smo se zaradi boljše ločljivosti odločili za anteno s frekvenco 400 MHz.

Zgornja in spodnja meja objekta, kot je npr. kamnita grobna kamra, bosta na radargramu vidni le, kadar debelina kamninskih ostankov presega četrtno valovne dolžine EM valovanja. V danih okoliščinah lahko teoretično z georadarsko metodo zanesljivo odkrijemo ostaline grobne kamre debeline pribl. 15 cm in več. Vidnost grobne

kamre je odvisna od deleža EM valovanja, ki se odbije na meji med dvema različnima materialoma (npr. zemljeni plašč gomile/kamnita grobna kamra). To je odvisno od kontrasta v dielektričnosti med materialom plašča gomile in kamninskimi ostanki ter od debeline kamninskih ostankov grobne kamre. Glede na rezultate meritev s 400 MHz anteno je bila ta izbira v danih okoliščinah optimalna, saj smo prepoznali tako dobro ohranjene grobne kamre (sliki 4A, 6) kakor tudi ostanke grobnih kamer, ki so bile pri kmetijskem obdelovanju površin že skoraj popolnoma uničene (sliki 4B, 8). Za pridobitev uporabnih rezultatov je pri georadarski metodi zelo pomembno, da neželen učinek virov anomalij na današnjem površju temeljito odstranimo. Ti šumi so še posebej izraziti na kmetijskih površinah, kjer se nahajajo tudi gomile na Pivoli. Šumi so ponekod jasni in lahko berljivi, drugje pa manj izraziti in težje prepoznavni.

Radarske valove, ki se odbijejo od arheoloških ostalin (signal), se prikaže na način, ki omogoča prepoznavanje njihovih tlorisnih oblik. Najbolj razširjen način prikazovanja rezultatov georadarske metode so t. i. časovni rezi (*time slices*), torej časovni prerezi vrste vzporednih in praviloma enako oddaljenih radarskih profilov. Rezultat časovnih rezov je diagram enakih amplitud odbojev v istem časovnem območju povratnih valov. V arheološki praksi to pomeni niz „tlorisov“ na poljubnih globinah (slika 7). Na ta način lahko dokaj natančno ocenimo tlorisno obliko arheoloških objektov na določenem globinskem intervalu, globino, na kateri se ti objekti pojavijo, in višino, do katere so ohranjeni.

Na primeru gomil na Pivoli se je kot zelo uporaben za prikazovanje razlik v ohranjenosti kamnitih grobnih kamer izkazal način prikazovanja močnejših georadarskih odbojev v 3D okolju. V nekaterih primerih namreč prepoznamo grobne kamre le še po razpršenem kamninskem materialu v plašču gomile (slika 8).

Nizkofrekvenčna elektromagnetna metoda (CMD Mini-Explorer)

Instrument CMD Mini-Explorer je v prvi vrsti namenjen okoljskim/geološkim prospekcijam za odkrivanje podzemne infrastrukture in posebnosti geološke sestave, vendar odpira tudi širok spekter možnosti za odkrivanje sledov dejavnosti na arheoloških najdiščih, ki se odražajo v razlikah v električni prevodnosti in/ali magnetni

susceptibilnosti (glej: Bonsall et al. 2013, 219–231). Dobrodošla posebnost tega instrumenta je istočasno odčitavanje električne prevodnosti in fizikalne količine, ki je sorodna magnetni susceptibilnosti (*in-phase*) na treh globinskih intervalih (CMD – *multidepth electromagnetic conductivity meters*) do največje globine pribl. 1,5 m, kar po do sedaj zbranih podatkih zadošča večini naših potreb na Pošteli.

Nizkofrekvenčne EM metode se za odkrivanje arheoloških ostalin uporablja že vsaj 15 let (Benech, Marmet 1999, 31–45; Maillol et al. 2004, 213–226; Mušič, Horvat 2007), vendar se metoda ne uvršča med t. i. rutinske postopke arheološke geofizike. Pri drugih izvedbah podobnih instrumentov (npr. Geonics EM38) smo namreč omejeni na meritve na enem globinskem intervalu oz. največ na dveh, pri dveh zaporednih meritvah na isti točki. Slabost teh instrumentov v praksi je npr. tudi „drsenje odčitkov“ (*drift*), kar zahteva ponovno kalibracijo instrumenta ob prehodu na naslednjo merilno površino. Tudi ob skrbni kalibraciji prihaja do problemov pri izenačevanju ozadja med sosednjimi površinami, kar v splošnem povzroča večje težave pri obdelavi meritev na večjih površinah. Do zamikov v višini ozadja pogosto prihaja tudi pri meritvah relativno majhnih površin. To je pri novi izvedbi instrumenta odpravljeno, s čimer sta terensko delo in obdelava podatkov močno poenostavljena, rezultati pa so jasnejši, ker vsebujejo zelo malo motenj oz. šuma, ki je posledica načina zajemanja podatkov. Pri izvajanju meritev v terensko zahtevnejših okoliščinah, kot je gozd, je pomembna prednost instrumenta tudi ta, da ne potrebuje fizičnega stika s podlago. Vse našete izboljšave obetajo široko uporabo v arheologiji že v bližnji prihodnosti, čemur se pridružujemo tudi s predstavljenimi raziskavami na Pošteli (slika 16C).

Nekatera območja, kjer smo kartirali navidezno magnetno susceptibilnost z instrumentom Kappameter KT-7, kot je na primer že predstavljeno območje s plastjo keramike in žganih kosti ob južnem gomilnem grobišču na Habakuku (slika 16B), smo tako ponovno raziskali še z nizkofrekvenčnim elektromagnetnim instrumentom CMD Mini-Explorer. Iz analiziranih rezultatov meritev je območje višje magnetne susceptibilnosti, predhodno kartirane že s Kappametrom KT-7 (slika 16B), precej bolj kontrastno (slika 16C). Poleg tega, že prej znanega območja, smo s tem instrumentom nedaleč stran prepoznali še eno, po vrednostih meritev podobno, območje, ki pa ga še nismo

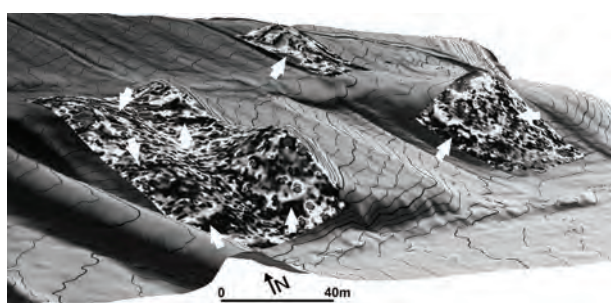
preverili z izkopavanji. Pri kartiranju susceptibilnosti na površini (Kappameter KT-7) je anomalno območje po obsegu večje, ker na ta način zaznamo spremembe v vrhnjem sloju tal, ki so posledica majhnih količin drobcov keramike in torej tudi posledica postdepozicijskih proce-

sov v površinski plasti, medtem ko z instrumentom CMD Mini-Explorer ugotavljamo območja s sorazmerno večjo prostornino materiala z višjo magnetno susceptibilnostjo oz. plast s keramiko in žganimi kostmi, ki se nahaja približno na globini od 10 do 25 cm.

Območja raziskav in doprinos geofizikalnih raziskav

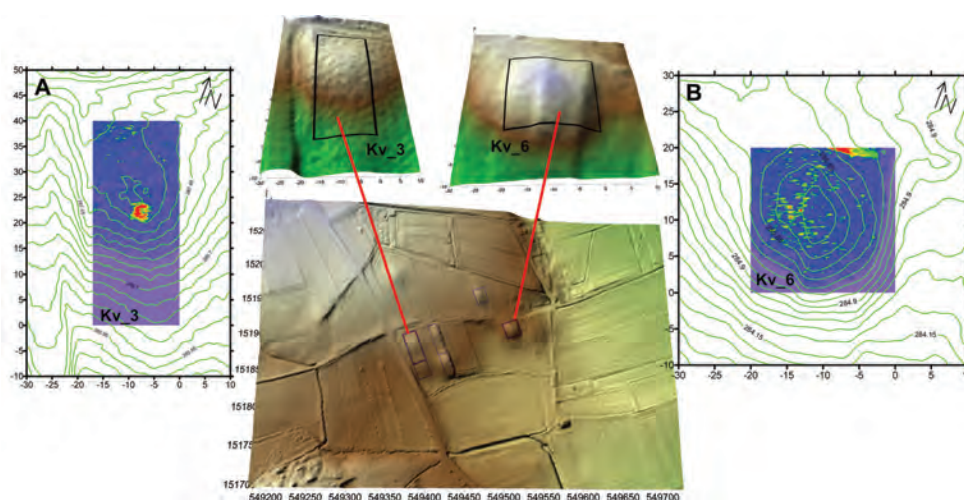
Gomile na njivskih površinah pri Pivoli

Pri načrtovanju geofizikalnih raziskav na gomilah je zelo pomembna njihova višina. Tudi v primeru, kadar je sestava dveh gomil povsem enaka, vendar se pomembno razlikujeta v velikosti, to zahteva drugačne postopke v smislu ustreznega nabora geofizikalnih metod, načina terenskega zajemanja podatkov in obdelave podatkov, njihovega prikazovanja ter razlage rezultatov. Prav zato so bili v okviru predstavljene študije vzpostavljeni postopki za raziskave gomil tudi ob upoštevanju njihove velikosti. V skladu z zahtevami arheološke geofizike smo gomile glede na njihovo velikost razdelili v tri skupine: nizke (do višine 1 m), srednje visoke (1–3 m) in visoke (višje od 3 m).



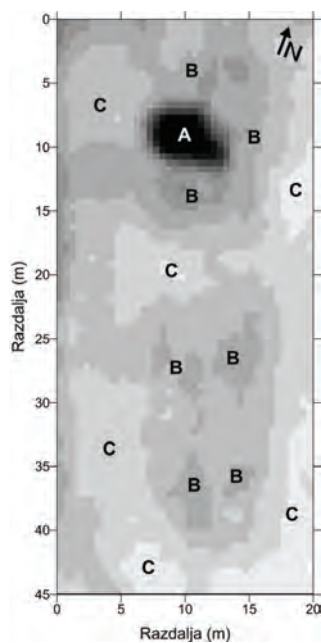
Slika 3. Pivola. Na podlagi rezultatov magnetne metode se razmeroma jasno prepoznajo obodni jarki nizkih gomil. Magnetnega učinka grobnih kamer zaenkrat še nismo uspeli razbrati.

Figure 3. Pivola. Results of magnetic method show relatively clear circular ditches around low barrows, whereas the magnetic effects of grave chambers are not evident.



Slika 4. Pivola. Topografska korekcija rezultatov georadarske metode z 400 MHz anteno (A in B). Vidni sta ekscentričnost grobnih kamer in očitna razlika v ohranjenosti. Kamra gomile 13 (A–Kv_3) je še zelo dobro ohranjena, medtem ko je kamra gomile 17 (B–Kv_6) že skoraj povsem uničena.

Figure 4. Pivola. Topographic correction of GPR method results obtained by a 400 MHz antenna (A and B). The figure shows an excentric position of grave chambers and a distinct difference in preservation level. The chamber of Barrow 13 (A–Kv_3) is well preserved, while that of Barrow 17 (B–Kv_6) is almost completely destroyed.

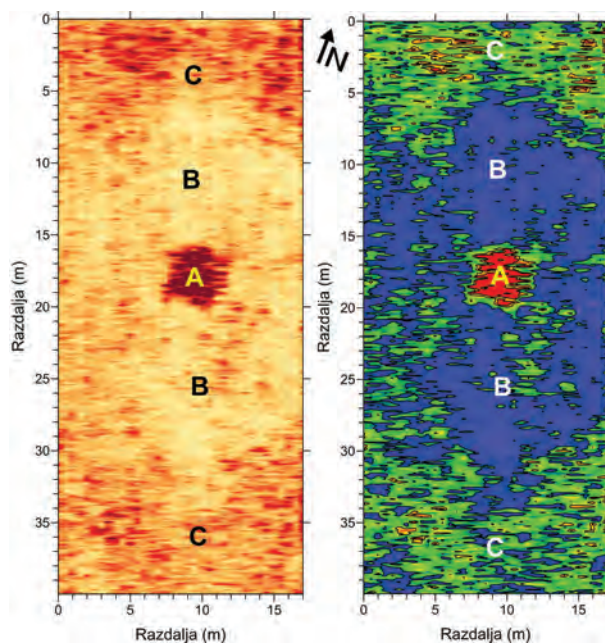


Slika 5. Pivola. Rezultati geoelektričnega kartiranja na območju gomil na Pivoli. Najvišje vrednosti upornosti so bile izmerjene na mestu grobne kamre v gomili 13 (A). Jasno se ločijo tudi plašči gomil (B) in deli obodnih jarkov (C).

Figure 5. Pivola. Resistivity mapping results in the area of the barrows at Pivola. The highest resistivity values were measured on the spot of the grave chamber in Barrow 13 (A). The earthen barrow mantles (B) and parts of ring ditches (C) are also clearly distinguishable.

Proučevanju gomil z geofizikalno metodo smo posvetili razmeroma veliko pozornosti, končnega odgovora za vse različne primere pa še nimamo. Nekateri rezultati so jasni in s tem povsem razumljivi tudi z arheološkega stališča, drugi ostajajo zaenkrat še nezadovoljivo pojasnjeni, saj njihova sestava še ni povsem preučena.

Geofizikalne raziskave se najpogosteje uporabljajo za odkrivanje ostankov gomilnih pokopov na obdelovalnih površinah, kjer so gomile v veliki meri že uničene in predstavljajo le neznatne topografske anomalije. V primerih, kadar so gomile skoraj izravnane z okolico, se način izvajanja in razlage rezultatov namreč ne razlikuje od običajnih postopkov. To pomeni, da z magnetno metodo premerimo površino nekropole in prepoznamo gomile na podlagi krožnih magnetnih anomalij oz. jarkov, ki jih obdajajo (slika 3). Samo z magnetno metodo o notranji



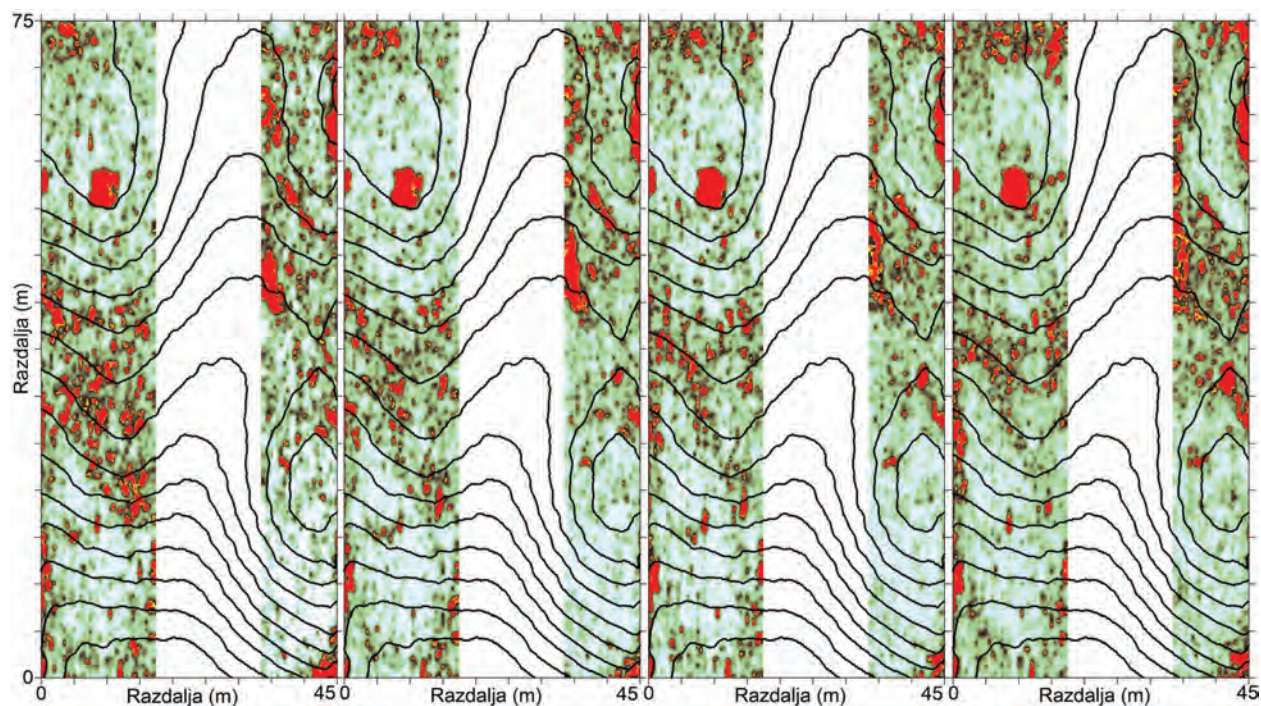
Slika 6. Pivola. Na podlagi rezultatov georadarske metode s 400 MHz anteno na območju gomile 13 jasno prepoznamo odboje kvadratnega tlorisa na območju kamnite grobne kamre (A), območje pojemanja georadarskega signala na sorazmerno vlažnejšem plašču gomile (B) in spremenljivo ozadje na kmetijski površini (C).

Figure 6. Pivola. On the GPR method results obtained by a 400 MHz antenna in the area of Barrow 13 clearly show echoes of a rectangular plan on the spot of the grave chamber (A), GPR signal attenuation caused by a relatively high moisture content in the barrow mantle (B) and variable background response on cultivated land (C).

zgradbi gomil praviloma ne dobimo povsem zanesljivih informacij (glej npr.: Ioane et al. 2009, 161–165).³

Veliko detajlnejši vpogled v sestavo nizkih gomil praviloma dobimo z georadarsko metodo in geoelektričnim kartiranjem (slike 4–8). Kljub temu, da se načini zajemanja podatkov tudi za magnetno, georadarsko in upornostno metodo ne razlikujejo od običajnih postopkov, pa smo dopolnili načine obdelave izmerjenih vrednosti in prikazovanja rezultatov. Pri obdelavi geofizikalnih podatkov je kljub nizkim višinskim razlikam potrebno upoštevati topografsko korekcijo. Samo na ta način lahko določimo

³ Kot izjemo, ki izhaja iz lastnih izkušenj z nekropole s kurgani na najdišču Stepnoye v zahodni Sibiriji, lahko navedemo le gomilne pokope v puhlici (Mušič et al. 2011).



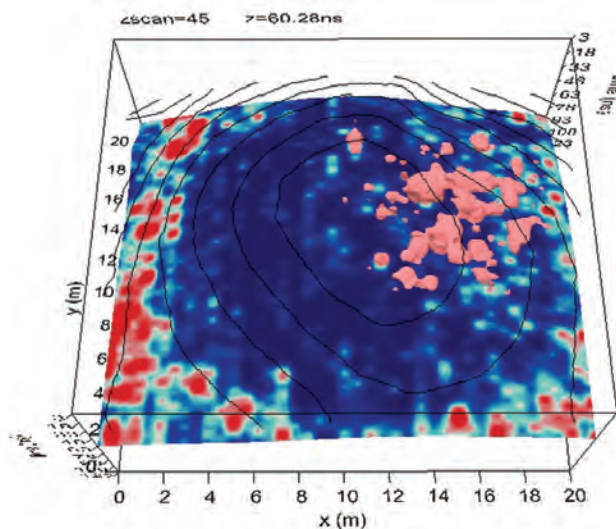
Slika 7. Pivola. Časovni rezi georadarskih odbojev na štirih nizkih gomilah z izohipsami iz lidarskih posnetkov. Prepoznamo ostanke kamnitih grobnih kamer, območja pojemanja georadarskega signala na sorazmerno vlažnejših plaščih gomil in spremenljivo ozadje na kmetijski površini med gomilami.

Figure 7. Pivola. Time slices of GPR echoes in the area of four low barrows with contour lines extracted from the lidar scan. The figure shows stone-built grave chambers, areas of GPR signal attenuation caused by a relatively high moisture content in the barrow mantle and variable background response on cultivated land.

pravilen položaj geofizikalnih anomalij v odnosu na obliko gomile (slike 4, 8). Poleg tega, da z uvajanjem georadarske in upornostne metode pri raziskavah nizkih gomil pridobimo dobre podatke o sestavi gomil, pa jih lahko uporabimo tudi za ocenjevanje ohranjenosti oz. uničenja kamnitih grobnih kamer. S tem lahko izdvojimo površine največje ogroženosti gomil zaradi globokega oranja (slike 4–8).

Slika 8. Pivola. Primer 3D prikaza georadarskih signalov na gomili, kjer je grobna kamera z intenzivnim oranjem že uničena, vendar je razpršen kamninski material grobne kamre še prisoten v plašču gomile.

Figure 8. Pivola. Example of a 3D representation of GPR signals at the barrow, the grave chamber of which was destroyed through intensive ploughing and only survives as stones dispersed in the barrow mantle.

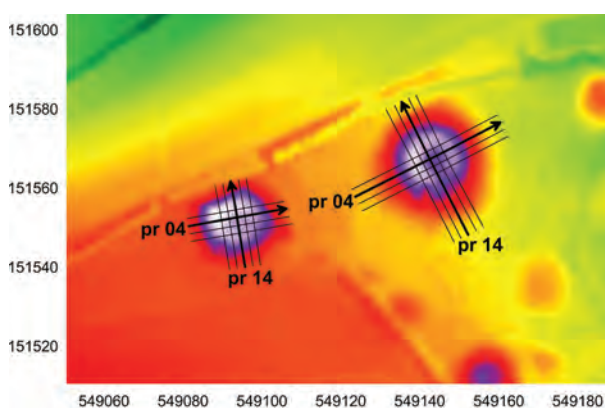


Prav zaradi preverjanja rezultatov geofizikalnih analiz smo z geofizikalno metodo in arheološkimi izkopavanji prednostno raziskali gomilo 13 na Pivoli, eno izmed tistih, ki se nahajajo kmetijskih površinah (sliki 4A, 6). Kot že omenjeno, takšne gomile prepoznamo s pomočjo rezultatov magnetne metode zaradi magnetnega učinka zasutja obodnih jarkov gomile (slika 3). Ker gre za negativno obliko, se ta v večini primerov ohrani tudi takrat, ko je nasutje gomile že popolnoma izravnano z okolico. Magnetna metoda je s tem učinkovita za zamejevanje gomilnih nekropol, ugotavljanje števila gomil, v nekaterih primerih tudi njihovega časovnega sosledja ipd.

Magnetna metoda v danih okoliščinah na obdelovalnih površinah pri Pivoli ne zadošča za podrobnejšo analizo zgradbe gomil. Razlog za to je veliko število drobnih železnih predmetov na današnji površini ob pogosto zelo majhni prostornini ohranjenih kamnitih grobnih konstrukcij in šibkem kontrastu v magnetni susceptibilnosti med grobnimi kamrami in neposredno okolico iz peščeno-meljastih sedimentov. Zaradi tega smo za prepoznavanje grobnih kamer poleg magnetne metode uporabili še geoelektrično kartiranje in georadarsko metodo.

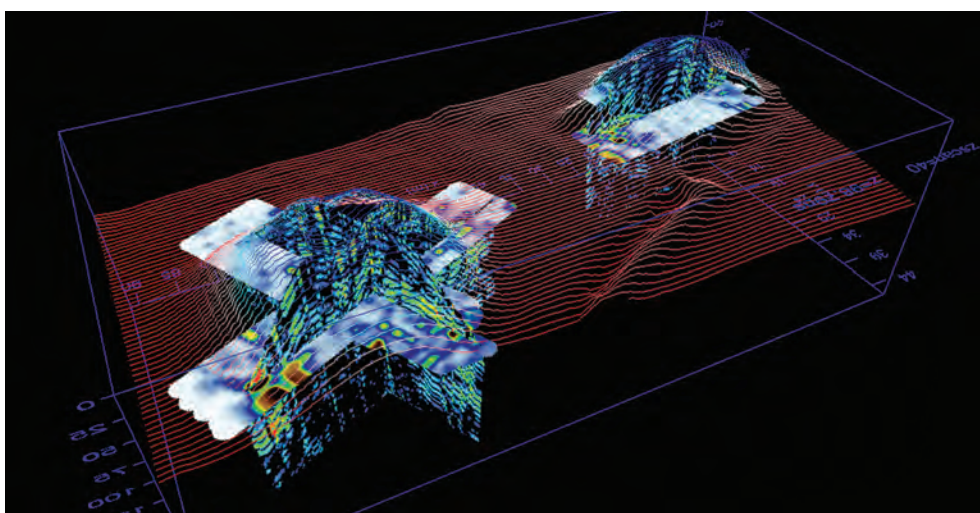
S pomočjo upornostnih rezultatov prepoznavamo dobro ohranjene kamnite grobne kamre, jasno pa se ločijo tudi

plašči gomil in obodni jarki (slika 5). Šele z uvajanjem georadarske metode pa smo dobili vpogled v zgradbo gomil z grobnimi kamrami in v njihovo ohranjenost. Na nizkih, skoraj izravnanih gomilah na Pivoli lahko za optimalen rezultat uporabimo georadarsko anteno frekvence



Slika 9. Pivola. Lidarski posnetek dveh visokih gomil v Botaničnem vrtu na Pivoli s položaji georadarskih profilov, posnetimi s 50 MHz anteno.

Figure 9. Pivola. Lidar scan of two high barrows in the Botanical garden at Pivola with positions of GPR profiles recorded using a 50 MHz antenna.



Slika 10. Pivola. Rezultati georadarske metode z RTA sistemom (50 MHz antena) na dveh visokih gomilah v Botaničnem vrtu. Izraziti georadarski odboji v notranjosti gomil najverjetneje predstavljajo odziv kamnitih grobnih kamer.

Figure 10. Pivola. Results of GPR method using the RTA system (50 MHz antenna) of two high barrows in the Botanical garden. Distinct GPR echoes inside the mound most probably represent the response of the stone-built burial chambers.

400 MHz. Kot se je izkazalo na vseh raziskanih gomilah, ta ob zadostnem globinskem dosegu zagotavlja tudi dobro ločljivost, majhna topografska anomalija nizkih gomil pa praktično ne vpliva na rezultate.

Zaključimo lahko, da je ohranjenost kamnitih grobnih kamer različna. Pri nekaterih gomilah so tako še zelo dobro ohranjene (slike 4A, 6–7), pri drugih so bile po parcelnih mejah presekanе in je ohranjena le še približno polovica gomile ter kamnite konstrukcije, pri najbolj uničenih gomilah pa lahko zasledimo le še razpršen kamninski material (sliki 4B, 8). Ob primerjavi rezultatov georadarske metode in oblikovanosti površja smo ugotovili, da se grobne kamre ne nahajajo vedno prav v sredini gomile (sliki 4, 8). Morda so bile gomile zasnovane z grobno kamro natančno v sredini gomile, vendar so bile kasneje preoblikovane z intenzivno sodobno kmetijsko rabo površin.

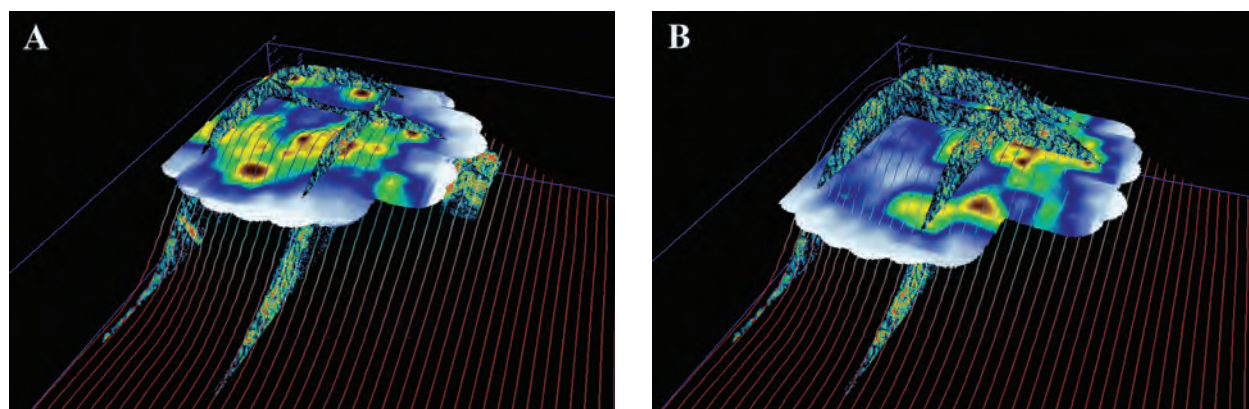
Gomile v Botaničnem vrtu UM na Pivoli

V sklopu Botaničnega vrta UM na Pivoli in njegovi neposredni okolici se nahaja največja in najbolj ohranjena skupina gomil, ki pripadajo naselbini na Pošteli. Tukaj prevladujejo visoke in srednje visoke gomile zahtevajo prilagojene načine izvajanja geofizikalnih meritev in vrednotenja rezultatov, zato gre tudi s tega stališča za

izjemno območje, kjer lahko preizkušamo učinkovitost različnih pristopov.

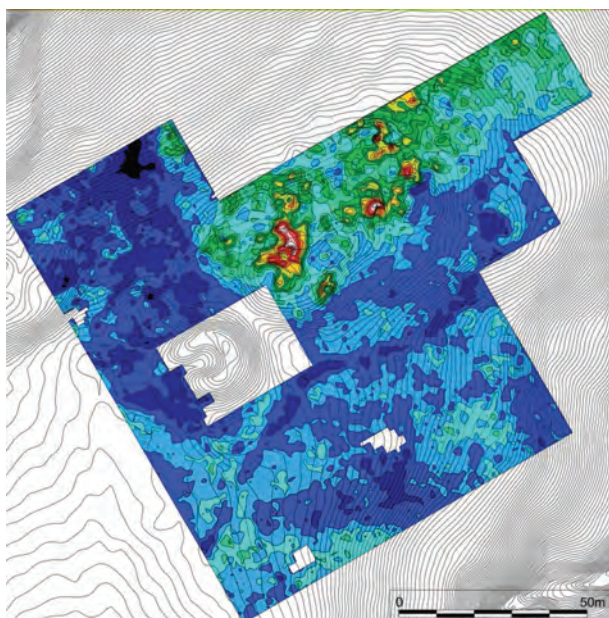
V nadaljevanju predstavljamo nabor podatkov, ki so bili pridobljeni v okviru testnih georadarskih meritev s 50 in 270 MHz antenama. Nizkofrekvenčna georadarska metoda z RTA sistemom (50 MHz antena) je bila na Pivoli verjetno sploh prvič uporabljena za tovrstne arheološke raziskave. Njena prednost je, da zagotavlja velik globinski doseg, ki je lahko pri optimalnih pogojih vlažnosti tudi več 10 m, pri tem pa je pomanjkljivost metode predvsem slabša ločljivost, saj gre za merilni sistem, ki je bil narejen izključno za geološke raziskave. Ker je izvedba antene nezaščiten, predstavljajo tudi zračni odboji od drevja pomemben vir šuma, ki ga je v določeni meri moč odstraniti, težko pa se mu je popolnoma izogniti.

Za preizkusne meritve s 50 MHz RTA georadarskim sistemom smo si izbrali dve visoki gomili v Botaničnem vrtu. Obe smo raziskali z več vzporednimi in med seboj pravokotnimi profili (slika 9). Čeprav meritve niso povsem nedvoumne, smo kljub slabi ločljivosti v osrednjem delu gomil dobili izrazite radarske odboje, ki bi lahko predstavljali odziv večjih kamnitih grobnic (slika 10).



Slika 11. Pivola. Rezultati georadarske metode z 270 MHz anteno na visoki gomili v Botaničnem vrtu. Izraziti odboji v notranjosti gomil najverjetneje predstavljajo odziv kamnitih grobnih kamer.

Figure 11. Pivola. Results of GPR method using a 270 MHz antenna on a high barrow in the Botanical garden. Distinct GPR echoes inside the barrows most probably represent the response of stone-built burial chambers.



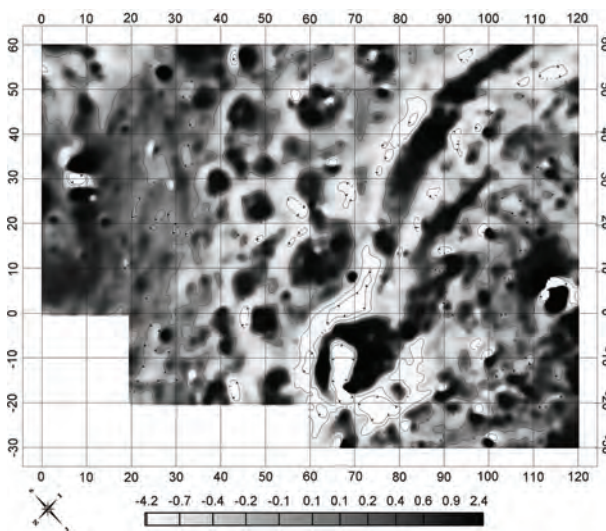
Slika 12. Habakuk. Z geoelektričnim kartiranjem so bile najvišje vrednosti upornosti izmerjene na območju gomil. Predpostavljamo, da je to učinek relativno plitve geološke podlage in kamnitih grobnih kamer v gomilah.

Figure 12. Habakuk. Resistivity mapping revealed highest values in the area of the barrows. We presume this to be the effect of relatively shallow geologic basement and stone-built burial chambers.

Po meritvah s 50 MHz anteno smo se odločili na obeh gomilah meritve ponoviti še z 270 MHz anteno, ki ima ob globinskem dosegu 4–5 m boljšo ločljivost. Izraziti georadarski odboji se pojavljajo po vsej globini gomile in tudi na različnih območjih, amplitude odbojev pa se povezujejo v približno pravilne tlorisne oblike, ki bi jih lahko prisodili učinku večjih kamnitih grobnih konstrukcij (slika 11).

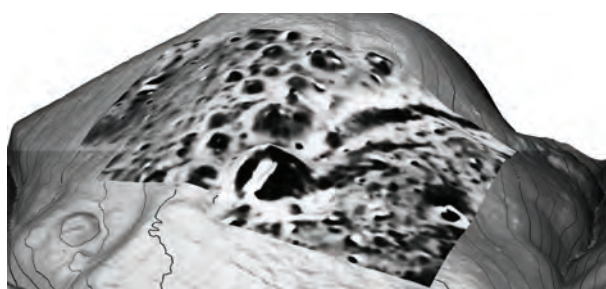
Gomilno grobišče na Habakuku

Kot že omenjeno, je na Habakuku obsežna železnodobna nekropola s planim grobiščem (slika 2: območje 4a–4c) in dvema skupinama gomil, ki se razprostirata na dveh blago spuščajočih se in z globeljo ločenih grebenih, severno (slika 2: območje 1a) in južno (slika 2: območje 2b). Večina gomil na tej nekropoli je srednje visokih (1–3 m), nekaj je nižjih, le ena, gomila 28, na kateri potekajo tudi revizijska izkopavanja, pa sodi med visoke gomile



Slika 13. Habakuk. Na podlagi rezultatov gradientnih magnetnih meritev na gomilni nekropoli se po uporabi podaljševanja magnetnih anomalij navzgor (*upward continuation*) jasno prepoznajo obodni jarki gomil in številne druge magnetne anomalije.

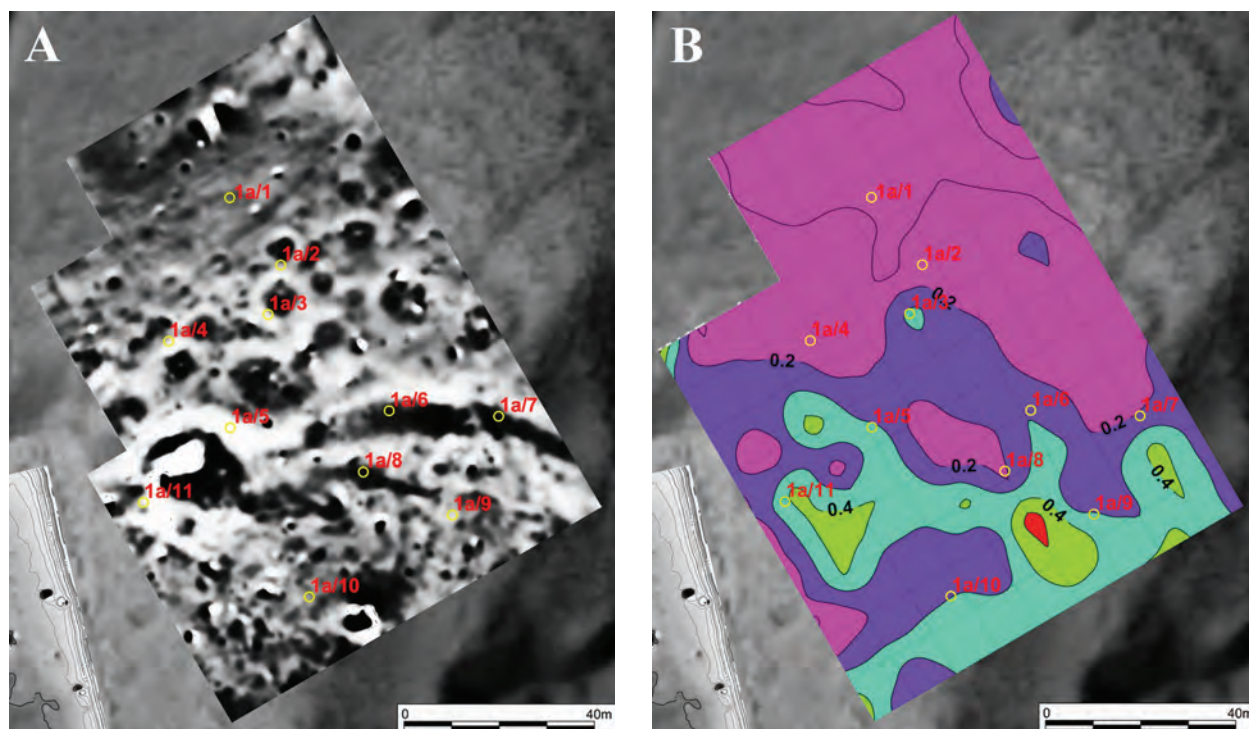
Figure 13. Habakuk. After applying the upward continuation algorithm, the magnetic gradient measurements in the area of the barrow cemetery clearly show ring ditches around the barrows and numerous other magnetic anomalies.



Slika 14. Habakuk. Prikaz magnetograma severne skupine gomil na lidarskem digitalnem modelu reliefa.

Figure 14. Habakuk. Magnetic map of the northern group of barrows on the digital elevation model extracted from a lidar scan.

(3–5 m). Severna skupina gomil (slika 2: območje 1a) se nahaja na manjšem hrbtu, ki se na severni strani prevesi v bolj strmo pobočje in je za nekaj metrov dvignjen nad južnim, ravnim prostorom. Na lidarskih posnetkih je pri vseh gomilah mogoče opaziti obodne jarke, skoraj vse pa



Slika 15. Habakuk. Magnetogram na območju 1a z označenimi točkami plitvih vrtin za pridobivanje podatkov o magnetni susceptibilnosti na mestih, kjer smo predhodno ugotovili močne magnetne anomalije (A) in rezultati kartiranja magnetne susceptibilnosti vrhnjega sloja tal v pravilni mreži 10×10 m (B).

Figure 15. Habakuk. Magnetic map of Area 1a with marked locations of shallow drillings for obtaining data on magnetic susceptibility. These locations were selected on the basis of previously ascertained strong magnetic anomalies (A) and the results of topsoil magnetic susceptibility mapping in a regular 10×10 m grid (B).

imajo ob tem polegale vrhove oz. centralne vdolbine, ki so lahko posledica posedlih grobnih kamer in/ali preteklih roparskih izkopov.

Na podlagi rezultatov geoelektrične upornostne metode (slika 12) je moč razbrati, da so bile najvišje vrednosti upornosti izmerjene na topografsko dvignjenem delu terena, na katerem se nahaja večja skupina gomil (glej tudi sliki 13–14). To razlagamo z visokoupornostno geološko podlago, ki se na višjem delu terena z gomilami nahaja bližje površini. Na podlagi tega se zdi verjetno, da so bile gomile zgrajene na relativno ravni, topografsko izpostavljeni, trdni geološki podlagi z bistveno tanjšim slojem tal nad amfibolitno geološko podlago. Na tem nekoliko dvignjenem delu terena z gomilami pa poleg splošno povišanega upornostnega ozadja jasno prepoznamo tudi manjša območja izrazito visoke upornosti. Primerjava z

izohipsami, pridobljenimi iz lidarskega posnetka, kaže, da se ta območja nahajajo na gomilah ter na nekaterih vmesnih prostorih med gomilami (slika 12). Lahko so torej posledica kamnitih grobnih kamer, pa tudi drugih objektov ali geoloških okoliščin.

Na drugih delih območja 1a so bile izmerjene bistveno nižje vrednosti upornosti (slika 12), kar govori v prid večji debelini tal nad čvrsto geološko podlago. To so testne sonde tudi potrdile. Južno od skupine gomil je na nižjem, ravnem terenu poleg sicer v splošnem bolj kaotičnih sprememb upornosti tudi nekaj površin nekoliko višjih vrednosti od ozadja, kar je lahko arheološko zanimivo zaradi morebitnih sledov dejavnosti, ki so se odvijale v neposredni bližini gomil. Pas nižjih vrednosti upornosti, ki poteka vzdolž gomil, je učinek sorazmerno višje vlažnosti ob sodobni poti.

V splošnem se magnetne slike gomil na severnem delu nekropole razlikujejo od tistih na južnem delu. Razlog za to bi lahko bile litološke razlike v geološki podlagi in posledično tudi v sestavi tal, kar bi se odražalo na razlikah v magnetni susceptibilnosti plaščev gomil. Statistično značilnih razlik v magnetni susceptibilnosti z meritvami na površini in v plitvih vrtnah med tema območjema nekropole zaenkrat nismo ugotovili.

Z rezultati magnetne metode smo pomembno dopolnili predhodno opisane rezultate upornostne metode, in sicer tako v kontekstu arheoloških vsebin kot tudi glede podatkov o spremembah v geološki podlagi. Za plašče gomil so značilni relativno višji gradienti magnetnega polja od naravnega okolja, medtem ko so na območju obodnih jarkov okoli gomil izrazito negativni. Zaradi tega magnetnega kontrasta so gomile na magnetogramih jasno prepoznavne (sliki 13, 14). Na vseh gomilah so jasno vidne tudi centralne vdrtine kot točke negativnih gradientov (bele pike), medtem pa na magnetogramih ni mogoče prepoznati posebnosti glede sestave gomil (grobne kamre ipd.). Na območjih več gomil so nekoliko presenetljive le približno kvadratne tlorisne oblike, ki ne ustrezajo zunanjim oblikam gomil, vendar morda odražajo sestavo gomile oz. prisotnost večjih kamnitih grobnih kamer.

Na južnem robu severne skupine gomil je jasno prepoznavna nekoliko polkrožno zavita magnetna anomalija (sliki 13, 14). Gre za magnetno kontrastni pas širine do 5 m, ki poteka od največje gomile proti jugovzhodu. Glede na položaj bi lahko šlo za arheološki ali naravni izvor, v testni sondi na izbranem mestu vzdolž tega magnetnega pasu do globine 1 m pa nismo odkrili niti jasnih sledov človeških dejavnosti niti trdne geološke podlage. Zaenkrat se zdi verjetneje, da je to magnetni učinek geološke podlage, na kateri so bile postavljene gomile, a kljub temu dopuščamo tudi možnost arheološkega izvora. Smer te anomalije namreč odstopa od oblikovanosti površja ter se razlikuje tudi od rezultatov upornostne in georadarske metode. Nekoliko južneje, skoraj vzporedno s tem pasom magnetnih anomalij, pa poteka še ena, nekoliko ožja linearna anomalija, ki prav tako še ni zadovoljivo pojasnjena.

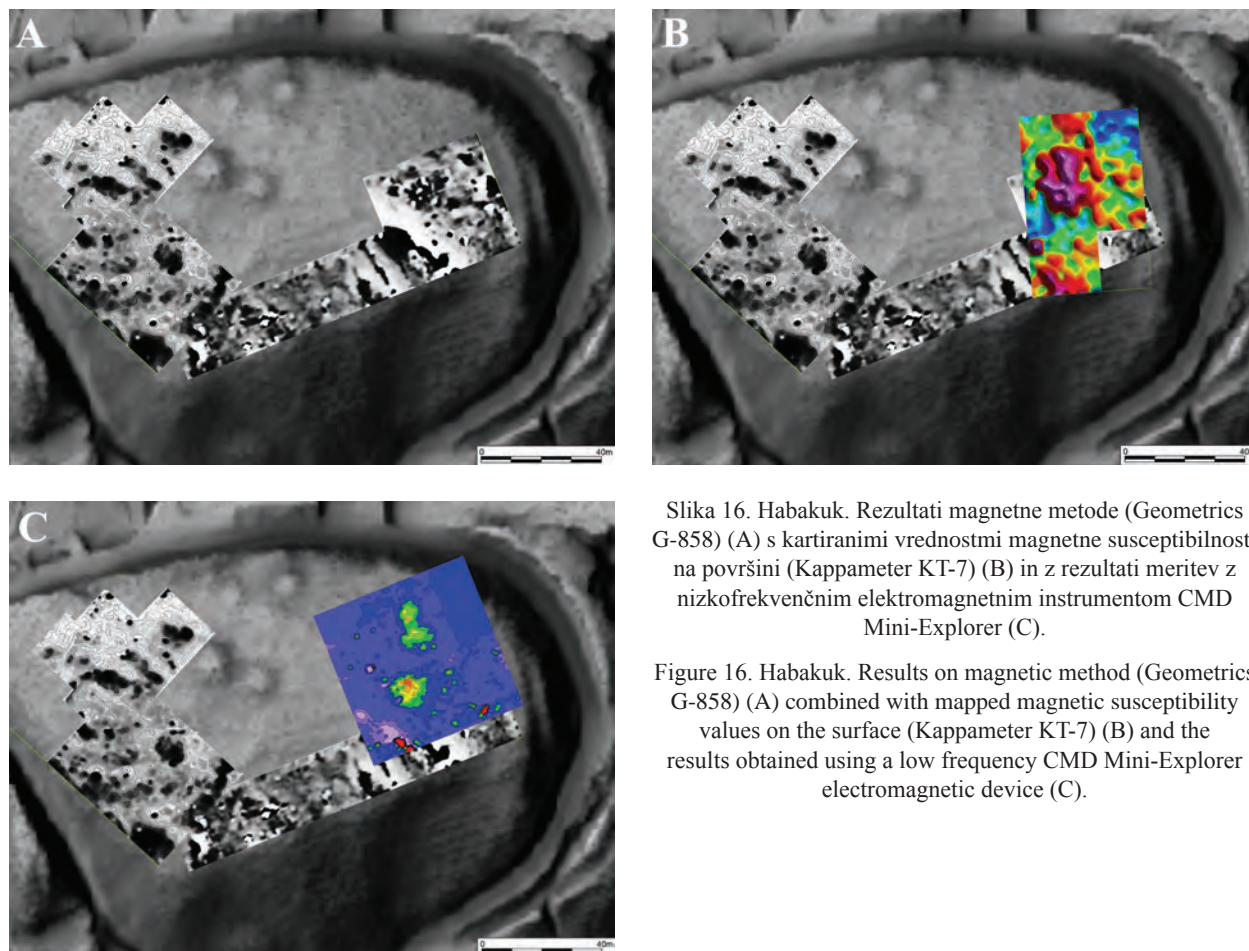
Za razliko od skrajnega severnega dela območja 1a, kjer smo ugotovili magnetno zelo enotno „umirjeno“ okolje, je skrajni južni del raziskane površine – južno od prej

omenjene ozke linearne anomalije – precej spremenljiv. Razlog je moč iskati v spremembi sestave geološke podlage in/ali arheoloških dejavnosti v neposredni bližini gomil, nenazadnje pa tudi v namembnosti teh površin v polpreteklem obdobju, vendar se zdi slednje glede na okoliščine manj verjetno.

Na celotni površini območja 1a smo izvedli tudi meritve magnetne susceptibilnosti vrhnjega sloja tal do globine le pribl. 5 cm (Kappameter KT-5) v mreži 10×10 m (slika 15B). Rezultati so glede na območja različne magnetne podobe zelo primerljivi z rezultatom magnetne metode (slika 15A). Presenetljivo je, da se v takšnih okoliščinah geološka sestava zelo jasno odraža na susceptibilnosti vrhnjega horizonta tal. Ločimo severno polovico razi-skane površine, ki je po vrednostih magnetne susceptibilnosti zelo enotna, in bolj raznoliko južno polovico. Meja med obema poteka natančno v smeri povitega pasu razmeroma močnejših magnetnih anomalij, ki smo jih zaenkrat razlagati kot učinek stopnice v geološki podlagi. Na podlagi rezultatov magnetne susceptibilnosti ni mogoče zanesljivo opredeliti anomalnih območij, ki bi jim lahko nedvoumno pripisali arheološki izvor. Edini pokazatelj, da lahko gre za sledove antropogenih dejavnosti v preteklosti, je spremenljivost vrednosti susceptibilnosti na celotnem južnem delu raziskane površine v odnosu do umirjenega ozadja na severnem delu. Na mestih razmeroma močnejših magnetnih anomalij smo nadalje iz plitvih vrtn jemali vzorce za meritve magnetne susceptibilnosti, s katerimi želimo natančneje pojasniti izvor teh magnetnih anomalij (slika 15A).

Območja ob gomilah na Habakuku

V preteklosti so bile gomile, kot izpostavljeni spomeniki v kulturni krajini, pogosto cilj arheoloških izkopavanj, kar pa ne velja za območja ob gomilah, med njimi in med skupinami gomil. Ta vidik gomilnih grobišč je brez dvoma nezadostno raziskan. Obstajajo predpostavke o obredih, povezanih s pokopi, kjer se zdi verjetna tudi uporaba ognja, vendar so neposredni podatki o tem redki. V tem smislu smo podrobno raziskali območje ob južni skupini gomil na Habakuku (slika 2: območji 2a in 2b). Na tem mestu se gomile nahajajo na ravnem platoju, kjer je z gomilami zasedenega približno polovica prostora, druga polovica pa je brez površinskih arheoloških znakov.



Slika 16. Habakuk. Rezultati magnetne metode (Geometrics G-858) (A) s kartiranimi vrednostmi magnetne susceptibilnosti na površini (Kappameter KT-7) (B) in z rezultati meritev z nizkofrekvenčnim elektromagnetnim instrumentom CMD Mini-Explorer (C).

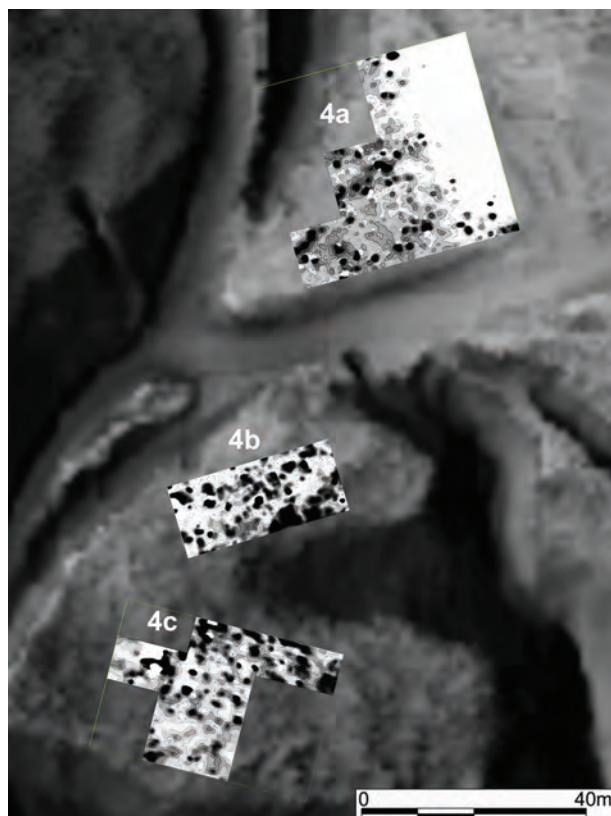
Figure 16. Habakuk. Results on magnetic method (Geometrics G-858) (A) combined with mapped magnetic susceptibility values on the surface (Kappameter KT-7) (B) and the results obtained using a low frequency CMD Mini-Explorer electromagnetic device (C).

Pri načrtovanju geofizikalnih raziskav smo izhajali iz predpostavke, da so lahko v sklopu grobišča tudi plati grobovi in/ali sledovi intenzivne rabe ognja (npr. ustrina). Rezultat žganja je močan termoremanentni tip magnetizacije, ki se ohrani v tleh tudi v daljših časovnih obdobjih. Ta predpostavka je narekovala prednostno rabo magnetne metode.

Pozitivne rezultate meritev magnetnega gradienta smo nato preverjali z meritvami magnetne susceptibilnosti na površini v mreži 2×2 m, pri čemer se močni gradienti magnetnega polja nahajajo približno v središču tega območja (slik 16B). V nekaterih primerih nam kartirane vrednosti magnetne susceptibilnosti pomagajo razumeti rezultate magnetne metode, pri čemer ločimo naravne vire magnetnih anomalij od antropogenih. Toda v danih okoliščinah ni mogoče nedvoumno prepoznati sledov

preteklih človeških dejavnosti samo na osnovi oblik in jakosti magnetnih anomalij. Tlorisne oblike so namreč lahko zelo nepravilne, jakost pa je lahko bistveno pod pričakovanimi vrednostmi. Smo pa s kartiranjem magnetne susceptibilnosti na večji površini jasno zamejili območje visokih vrednosti, za katerega smo predpostavljali, da gre za ostanke antropogenega izvora. Najdbe pri arheološkem sondiranju so to predpostavko potrdile, saj smo prib. 10 cm pod površjem odkrili plast debeline pribl. 15 cm, ki vsebuje veliko količino odlomkov keramike, pomešane z drobcami prežganih živalskih kosti. Iz tlorisnega prikaza rezultatov kartiranja magnetne susceptibilnosti sklepamo, da gre za območje nepravilnega tlorisa in velikosti pribl. 10×20 m (slika 16B).

Na podlagi rezultatov magnetne metode smo prepoznali tudi kontrastne linearne oblike, za katere se je pri ar-



Slika 17. Habakuku. Rezultati magnetne metode na območju planega žarnega grobišča. Prevladujejo točkovne magnetne anomalije, ki so lahko posledica termoremanentne magnetizacije keramičnih žar v grobovih in/ali manjših železnih predmetov v grobovih ali na sedanji površini.

Figure 17. Habakuku. Results on magnetic method in the area of the flat cremation cemetery. The prevailing anomalies are the point-like magnetic ones which may have been caused by thermoremanent magnetization of ceramic urns in graves and/or small iron objects in the graves or on the present-day surface.

heoloških testnih sondiranja izkazalo, da gre za učinek vključkov kvarcita v amfibolitu. Magnetni kontrast je posledica razlike med amfibolitom (pribl. $0,25 \times 10^{-3}\text{SI}$) in kvarцитom (do $0,02 \times 10^{-3}\text{SI}$). Amfiboliti so sicer šibko magnetni, vendar je susceptibilnost kvarcitov skoraj enaka nič in je magnetni kontrast zadosten, da je jasno viden pri rezultatih magnetne metode. V neposredni bližini kvarcitnih žil proti vzhodu se na magnetogramih kaže pas zelo močnih magnetnih anomalij (slika 16A). Arheološke testne sonde in plitve vrtine do globine pribl.

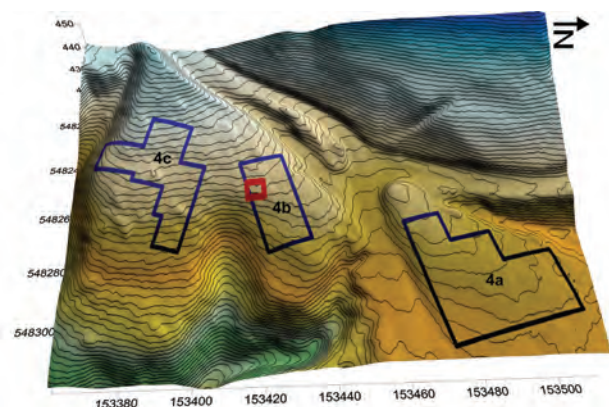
80 cm na tem mestu niso dale podatkov v podporo arheološkemu izvoru teh anomalij. Glede na izsledke analize jakosti in oblike magnetnih anomalij predpostavljamo, da gre za močan magnetni vir, ki se nahaja na nekoliko večji globini v geološki podlagi in/ali na meji med trdno geološko podlago in meljasto preperino.

Z nizkofrekvenčno elektromagnetno metodo (EM) (CMD Mini-Explorer) z globinskim dosegom pribl. 1,5 m smo na tem mestu dobili podobne rezultate kot z magnetno metodo (slika 16C). Geološki viri ne poročajo o orudnjah z železovimi minerali na tem delu Pohorja, vendar te možnosti na podlagi podatkov magnetne metode in EM meritev ne moremo izključiti.

Plano grobišče na Habakuku

Plano grobišče z žganimi pokopi se razprostira na skrajnem zahodnem robu terase Habakuku, tik pod pobočji Poštele, in je bilo doslej poznano le po dveh izkopavanjih, ki sta skupaj razkrili 15 grobov (Pahič 1974; Teržan 1990, 307–316). Glede na rezultate geofizikalnih raziskav na območjih planih grobišč z žarami in podobnimi keramičnimi posodami v kamnitih skrinjah drugje (glej npr.: Arisoy et al. 2007, 1473–1484) ter naših izkušenj na najdiščih z različnimi arheološkimi ostanki s termoremanentnim tipom magnetizacije (Mušič 2006, 439–451; isti 2008, 53–67; Mele, Mušič 2007, 341–356; Medarić et al. 2011 35–72; Hanks et al. 2013, 393–416; Martens et al. 2012, 84–93; Dirix et al. 2013, 2961–2970) je bila izbira magnetne metode na začetku raziskav planega grobišča v letu 2012 nedvomno logična odločitev in kot se je izkazalo tudi pravilna. Rezultate magnetne metode smo nato dopolnili še z georadarskimi in upornostnimi raziskavami, čeprav nismo pričakovali enako arheološko izpovednih rezultatov, prej spoznanja o naravnem okolju v podporo interpretaciji magnetne metode.

Osnovni cilj geofizikalnih raziskav je bil preveriti, če je mogoče v neposredni bližini območja z odkritimi žarnimi grobovi (Pahič 1974; Teržan 1990, 307–316) takšne grobove najti tudi z magnetno metodo. Ta predpostavka izhaja iz dejstva, da so keramične žare nosilci termoremanentne magnetizacije, ki je praviloma močnejša od inducirane tipa magnetizacije in s tem vsaj teoretično lahko prepoznavna na magnetogramih. V praksi je prepoznavanje grobov z žarami precej zahtevnejši problem, a so poznane že nekatere tehnične rešitve za njihovo prepoznavanje (glej

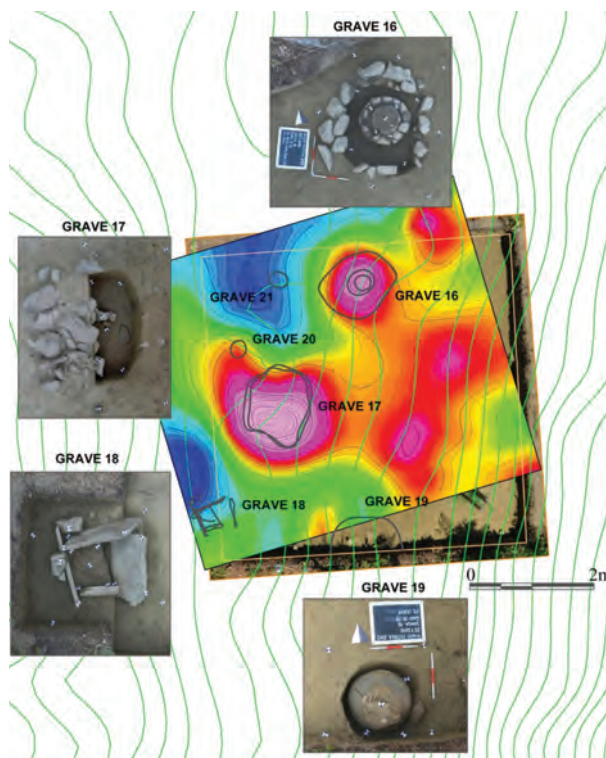


Slika 18. Habakuk. Širši prostor planega žarnega grobišča na lidarskem modelu reliefa z označenimi območji, raziskanimi z magnetno metodo, in testno sondno, izkopano v letu 2013.

Figure 18. Habakuk. Wider area of the flat cremation cemetery on the lidar digital relief model with marked areas surveyed using the magnetic method and a test pit from 2013.

npr.: Buyuksarac et al. 2006, 910–920; Buyuksarac et al. 2008, 267–283; Mile et al. 2010, 89–101). Prostornina žare je sicer lahko razmeroma velika, vendar k jakosti magnetne anomalije nad žaro prispeva samo relativno tanka keramična stena žare, kar pa predstavlja majhno prostornino v odnosu do prostornine celotne žare. Magnetni gradienti nad keramičnimi žarami ne presegajo 5 nT/m, pogosto pa so samo 2–3 nT/m. Neravna površina s številnimi drobnimi železnimi predmeti, poleg geološke podlage blizu površine, izdatno prispeva k spremembam v ozadju meritev. Ob upoštevanju teh dejavnikov lahko zaključimo, da gre za robne pogoje, v katerih ne moremo napovedati zanesljivega prepoznavanja grobov z žarami. Glede na to, da so takšni arheološki cilji ena od osrednjih tem projekta, smo z geofizikalno metodo podrobno raziskali tri površine (slika 2: območja 4a–4c).

Ob pregledu rezultatov magnetne metode so najizrazitejše majhne točkovne magnetne anomalije (slika 17). Takšen videz magnetograma je bil sicer pričakovan, vendar je tudi to za napovedovanje splošne učinkovitosti magnetne metode za odkrivanje grobov preuranjeno. Nekatere od relativno močnejših točkovnih anomalij bi bilo tudi zaradi feromagnetne magnetizacije moč razumeti kot drobne železne predmete. Tudi zato bi bilo v prihodnosti pomembno ločiti magnetni učinek drobnih železnih predmetov na današnji površini od morebitnih železnih



Slika 19. Habakuk. Rezultati magnetne metode na območju izkopnega polja na planem grobišču po podaljševanju magnetnih anomalij navzgor (*upward continuation*).

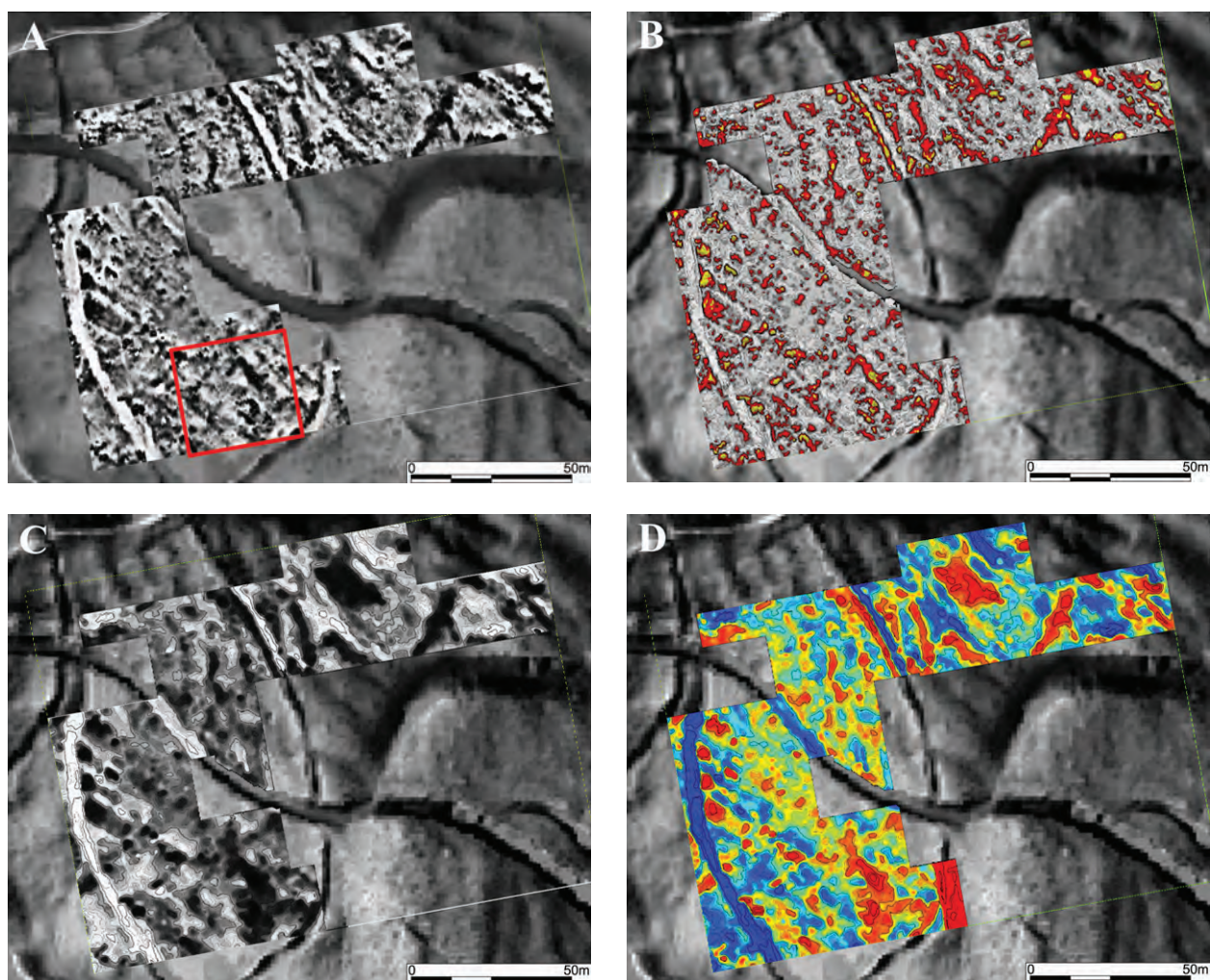
Figure 19. Habakuk. Results on magnetic method in the area of the test pit dug in the flat cremation cemetery, after applying the upward continuation algorithm.

predmetov na večji globini, ki bi lahko bili pridatki v grobovih.

K jakosti magnetne anomalije nad žaro lahko znatno prispeva tudi vsebina žare. To velja še posebej v primerih, kadar se v žari nahajajo še manjše keramične posode. Magnetna podoba žare pa se povsem spremeni, kadar je v grobu pridelek iz železa, saj se v takšnem primeru vidi samo magnetni učinek železa. V teh primerih je na magnetogramih zelo težko, če ne že povsem nemogoče, železne predmete, ki so pridatki v grobovih, ločiti od sodobnejših kosov železa. Sicer pa je magnetna susceptibilnost polnila žare običajno podobna naravnemu okolju v neposredni okolici žare in zato na učinek dodatno povišane magnetizacije zaradi polnila ne moremo računati. Magnetne anomalije nad takšnimi žarami so praviloma

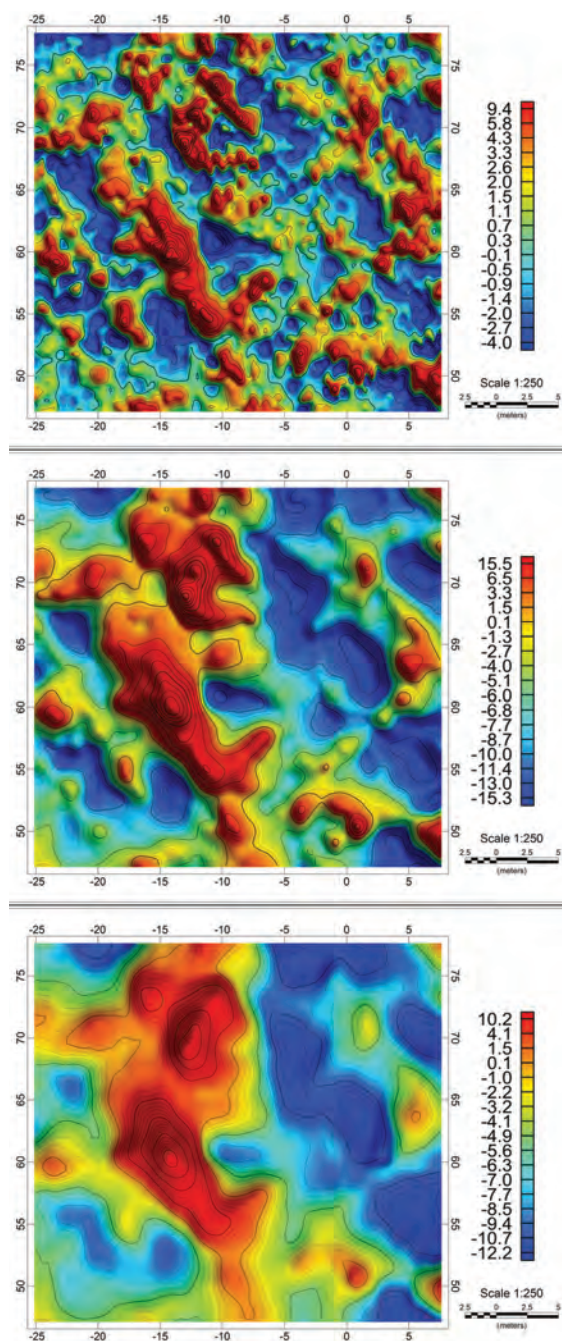
zelo šibke, zato je prepoznavanje grobov z žarami odvisno tudi od vseh drugih šibkih virov magnetnih anomalij v okolici žare. Magnetne anomalije, povzročene z naravnimi viri, namreč zlahka dosežejo vrednosti, kot jih pričakujemo na mestih, kjer se nahajajo grobovi z žarami. Pri prepoznavanju večine grobov je poleg nezanesljivega kriterija, jakosti magnetnih anomalij, ključnega pomena

njihova oblika. Nad posamičnimi grobovi z žarami brez magnetnejšega polnila ima magnetna anomalija obliko nizke hiperbole povsem krožnega tlorisra. Pri skupinah grobov z žarami, kjer so te blizu ena drugi, se tlorisna podoba seveda spremeni, vendar ostaja splošni vtis blage magnetne anomalije enak.



Slika 20. Poštela. Rezultati magnetne prospekcije na gradientni način z magnetometrom Geometrics G-858 na naselbini (A, B) in meritev totalnega magnetnega polja z istim magnetometrom samo na spodnjem senzorju z upoštevanjem časovnih sprememb Zemljinega magnetnega polja na baznem magnetromu Geometrics G-856AX (C, D). Posebej je označeno detajlno analizirano območje (A) (glej: slika 21).

Figure 20. Poštela. Results on magnetic prospection in gradient mode using the Geometrics G-858 magnetometer at the settlement (A, B) and measurements of the total magnetic field using the same magnetometer on the bottom sensor considering the diurnal variations in the Earth's magnetic field obtained from the Geometrics G-856AX base magnetometer (C, D). The marked area (A) was analysed in detail (see: Figure 21).



Slika 21. Poštela. Primerjava rezultatov magnetnega gradienta (zgoraj) in meritev totalnega magnetnega polja samo na spodnjem (v sredini) oz. zgornjem senzorju (spodaj) (glej: slika 20).

Figure 21. Poštela. Comparison of magnetic gradient measurements (top) and total magnetic field measurements on the bottom (middle) and top sensors (bottom) (see: Figure 20).

Na območju 4b smo na podlagi rezultatov magnetne metode določili območje za testna izkopavanja (sliki 2, 18). To je bilo nato pomembno za iskanje najustrežnejšega nabora obdelav izmerjenih vrednosti nad grobovi in ključnega pomena za verodostojne rezultate.

Kot ustrezni način obdelave se je izkazalo na primer „podaljševanje magnetnih anomalij navzgor“ (*upward continuation*). Jasno se vidi pozitivna korelacija med magnetnimi anomalijami in grobovi 16 in 17. Nekoliko slabša je korelacija pri grobovih 18 in 19, čeprav je še vedno vidna (slika 19). Dve približno krožni magnetni anomaliji v jugozahodnem delu sonde pa sta posledica učinka geološke podlage.

Poštela, utrjena naselbina

Na naselbini smo najprej z magnetno in ponekod tudi georadarsko metodo premerili več manjših površin, kjer so bile v preteklosti že izkopane manjše sonde. Želeli smo preveriti ujemanje z rezultati geofizikalnih raziskav. Prav tako smo se usmerili tudi na območja, kjer smo na lidar-skih posnetkih jasno prepoznali terasiranje, izravnave in druge oblike preurejanja prostora (slika 2).

Ker se majhne raziskane površine niso izkazale kot dovolj informativne za arheološko izpovedne interpretacije prisotnosti, ohranjenosti in morda tudi usmerjenosti naselbinskih oblik, smo v nadaljevanju z magnetnimi meritvami zajeli precej obsežno površino, s katero smo vsa manjša območja, raziskana pred tem, povezali v enotno sliko in s tem bistveno pripomogli k arheološki berljivosti rezultatov (slika 20). Obenem smo v tem primeru tudi prvič na Pošteli uporabili meritev z upoštevanjem korekcij dnevnih nihanj Zemljinega magnetnega polja, zabeleženih na baznem magnetometru. Na ta način smo učinkovitost magnetnih raziskav na naselbini lahko analizirali s pomočjo prikazov gradientnih meritev ter ločenih meritev totalnega magnetnega polja na spodnjem oz. zgornjem senzorju (slike 20C–D, 21). Pomen takšne analize rezultatov magnetne metode ilustriramo na izseku magnetograma z izrazitejšimi linearnimi anomalijami, ki najverjetneje predstavljajo odziv ostankov arheoloških objektov (sliki 20–21).

Z gradientnimi meritvami dobimo praviloma bolj kontrastne magnetograme, na katerih se jasneje prepoznava-jo splošne usmeritve in tlorisne oblike hiš ipd., nekatere šibkejšje magnetne oblike, ki so tudi pomembne za arhe-

ološko razlago, pa so pogosto zakrite z izrazitejšimi anomalijami v njihovi neposredni bližini. Na spodnjem senzorju so tlorisne oblike magnetnih virov realnejše, jasno pa se prepoznavajo tudi šibkejši viri magnetnih anomalij. Na zgornjem senzorju zanesljivo prepoznamo predvsem najmočnejše vire magnetnih anomalij, kar močno prispeva k prepoznavanju ostalin z močno termoremanentno magnetizacijo (slika 21).

Zaključki

Dosedanji rezultati arheoloških raziskav na območju širšega arheološkega kompleksa Poštele pri Mariboru, pri katerih dosledno upoštevamo tako rezultate preteklih terenskih raziskav kot analize lidarskih posnetkov, so vsekakor več kot samo vzpodbudni. Največja zasluga gre brez dvoma skrbno načrtovanim in vodenim geofizikalnim raziskavam (slika 1–2), ki jih kombiniramo s prilagojenim terenskim preverjanjem (vrtanje z geološkimi svetri, testne sonde idr.).

Rezultati niso povsod enostavno berljivi, česar pa tudi ni bilo moč pričakovali. Maloštevilni so zaključki, ki bi jih lahko označili kot končni domet sodobne arheološke geofizike. V večini primerov gre za presek dosedanjega dela in razmišljanj, ki se ob tem porajajo. Tako poskušamo vsakokrat najprej razumeti, kaj nam podatki geofizikalnih raziskav, najpogosteje pridobljeni z več neodvisnimi metodami, na posamezni lokaciji odstirajo. Od tega je nato odvisno, kako bomo rezultate preliminarno razlagali ter kako, s katero metodo in na kateri mikro-lokaciji bomo v skladu s tem načrtovali nadaljnje neinvazivne, šibko invazivne ali invazivne raziskave, saj lahko šele te pripeljejo do prepričljive razlage posameznega območja.

Pri geofizikalnih raziskavah v veliki meri sploščenih gomil na njivskih površinah na Pivoli so rezultati jasni (slika 4–8). Ti poleg sestave plašča gomil razkrivajo tudi stopnjo ohranjenosti oz. uničenja grobnih kamer, ki je posledica dolgoletne kmetijske rabe tega prostora. Pri tem smo upoštevali analize rezultatov georadarske in magnetne metode ter geoelektričnega kartiranja.

Po drugi strani pa so srednje visoke in visoke gomile na grobiščih na Pivoli in na Habakuku pod Poštelo za arheološko geofiziko nekoliko zahtevnejši problem in končne rešitve za njihovo celostno razumevanje še nimamo. Preliminarni rezultati georadarske metode, tudi s 50 MHz anteno, so vzpodbudni (slika 9–10), vendar si

mного jasnejše ugotovitve obetamo od geoelektrične in seizmične tomografije, ki ju v prihodnosti vključujemo v naše analize.

Za raziskave okolice gomil smo postopke nekoliko prilagodili in vanjo vključili kombinacijo meritev susceptibilnosti neposredno na površini do globin nekaj cm in meritev z večjim globinskim dosegom (do pribl. 1,5 m). Izbira se je izkazala za pravilno, kar potrjujejo rezultati na območjih gomilnih grobišč na Habakuku. S površinskimi analizami smo na prostoru vzhodno od južnega gomilnega grobišča na Habakuku zabeležili visoke vrednosti susceptibilnosti na površini, ki so posledica površinske razširjenosti merljivo magnetnih drobcev keramike v površinski plasti (slika 16B), v drugem primeru pa so visoke vrednosti posledica debelejših plasti na globini med pribl. 10 in 25 cm, ki je vsebovala veliko količino odlomkov keramike (slika 16C). Gre za prepoznavanje iste arheološke strukture oz. njenih ostankov, do katerega pa smo prišli po dveh različnih poteh.

Veliko pozornosti smo načrtno posvetili tudi raziskavam planega grobišča na Habakuku. Tovrstne nekropole, za katere so značilni žgani pokopi z ali brez žare s pestrimi različicami grobnih konstrukcij, so v arheološki geofiziki namreč še brez ustrezne razlage tehničnih prijemov, ki bi omogočali dovolj zanesljivo prepoznavanje. Zaradi tega smo si za nalogo zadali tudi iskanje rešitev, s katerimi bi lahko zanesljivo odkrivali tovrstne grobove. Kot relativno uspešen postopek za prepoznavanje grobov so se izkazale transformacije sicer zelo šibkih magnetnih anomalij nad grobovi. To je bilo mogoče s primerjavo učinkov izbranih postopkov obdelave s položajem in sestavo grobov, odkritih pri izkopavanjih testnih sond, natančno umeščenih na podlagi preliminarnih analiz geofizikalnih meritev (slika 17–19). Ob tem je potrebno poudariti tudi potencial georadarja za raziskave planih grobišč, pri čemer so izpovedni predvsem pri grobovih, katerih konstrukcije vključujejo kamnite elemente. Na to kaže podoba tlorisnih georadarskih prikazov, kjer je razvidna množica točkovnih odbojev, ki jih na drugih raziskanih površinah nismo zasledili. To tezo podpira pozitivna korelacija rezultatov georadarskih meritev in izkopa arheološke testne sonde, vendar je vzorec premajhen, da bi dovoljeval posplošitev na območje cele plane nekropole.

Osrednji del naselbine na Pošteli smo raziskali z magnetno metodo ob upoštevanju korekcij dnevnih sprememb v Zemljinem magnetnem polju z meritvami na baznem

magnetometru. Analiza gradienta (slika 20A–B) ob upoštevanju magnetnih anomalij na spodnjem in zgornjem senzorju (slike 20C–D, 21) kaže na prisotnost naselbinskih oblik, kjer pa bo za zanesljivejšo interpretacijo ponovno vpeljano preverjanje s (šibko) invazivnimi arheološkimi metodami. Tako georadarska metoda kot tudi geoelektrično kartiranje sta zagotovila pomembne komplementarne podatke magnetni metodi, v nekaterih podrobnostih pa smo dobili tudi povsem enake rezultate. To velja predvsem za mesta, kjer smo na podlagi rezultatov magnetne metode pričakovali ostanke hiš. S kartiranjem magnetne susceptibilnosti na naselbini je bila do sedaj pokrita premajhna površina, da bi potrdili zanesljivejšo rezultate glede možnosti za prepoznavanje območij različne namembnosti v arheološki preteklosti. Kljub temu pa prvi podatki kažejo izjemen potencial predvsem za odkrivanje območij, kontaminiranih z odpadnimi produkti metalurgije in/ali lončarstva, ter za morebitno prepoznavanje območij z delavnicami.

Meritve smo izvajali tudi na obrambnem nasipu, katerega sestava je bila že večkrat raziskana z arheološkimi testnimi izkopi. Obe vrsti rezultatov je moč vzporejati, saj smo tudi mi ugotovili, da gre v večji meri za povsem zemljene nasipe, ki pa so po svoji sestavi precej heterogeni. To sklepamo na podlagi zabeleženih georadarskih odbojev, izmerjenih z antenami višjih frekvenc (270 in 400 MHz). Ob tem pa so meritve z antenami nizkih frekvenc (50 MHz) pokazale, da je nasip postavljen na trdni geološki podlagi, iz česar lahko sklenemo, da je njegov potek pogojen z naravnimi danostmi oz. je posledica oblikovanosti geološke podlage.

Načrti za nadaljevanje raziskav v prvi vrsti temeljijo na naših dosedanjih izkušnjah, predvidevajo pa tudi nekatere nove pristope, ki jih pri nas do sedaj še nismo uporabili pri arheoloških študijah. Vsekakor bomo nadaljevali z magnetnimi meritvami z upoštevanjem dnevnih sprememb v jakosti Zemljinega magnetnega polja na baznem senzorju, kar omogoča podrobnejši vpogled v obliko tudi šibkejših magnetnih anomalij, ki so pogosto ključnega pomena na prazgodovinskih najdiščih. Predvsem si od tega načina vrednotenja rezultatov magnetne metode obetamo verodostojnejšo interpretacijo naselbinskih oblik na Pošteli, ki pa jih bomo, podobno kot do sedaj, kombinirali še z georadarsko metodo in geoelektričnim kartiranjem. Kljub temu, da so rezultati teh dveh metod v danih okoliščinah arheološko manj izpovedni, pa so v kombinaciji z

rezultati magnetne metode nepogrešljivi. Z georadarsko metodo namreč dobimo natančne globine arheoloških ostalin, kar je pomembna informacija za ustvarjanje 2D in 3D sintetičnih magnetnih modelov izbranih objektov. Dosedanje meritve magnetne susceptibilnosti na površini, v plitvih vrtinah in na vseh izkopanih površinah razširjamo tudi na meritve kamninskih ostankov, od česar pričakujemo dragocene informacije tudi glede izvornega območja kamnin.

Meritve z nizkofrekvenčnim instrumentom CMD Mini-Explorer so na nekaj vzorčnih površinah že potrdile izredne možnosti, zato bomo s temi raziskavami vsekakor nadaljevali tudi v prihodnje. Prednostno bomo ta instrument uporabljali za preverjanje magnetnih anomalij na območjih, kjer pričakujemo metalurške dejavnosti, na območjih ob gomilnih nekropolah, kjer smo že do sedaj dobili izredno pomembne podatke o tamkajšnjih dejavnostih, in za pridobivanje komplementarnih podatkov dosedanjim rezultatom geofizikalnih metod o namembnosti površin na naselbini.

V bližnji prihodnosti nameravamo nabor metod razširiti tudi z vključevanjem geoelektrične in seizmične tomografije, ki jih želimo uporabljati predvsem za pridobivanje dodatnih informacij o sestavi visokih gomil, nasipov, geološke podlage ipd.

Širok nabor podatkov, ki jih vključujemo v naše raziskave in s katerimi iščemo nove poti, kako na neinvaziven način priti do čim bolj prepričljivih arheoloških razlag, je brez dvoma še mogoče dopolniti. Nov, pomemben sloj podatkov bo zagotovo geokemično kartiranje s pXRF, ki ga bomo uvajali selektivno in le na območjih, ki bi jih kot potencialna opredeljevale druge metode.

A dodajanje novih in novih slojev podatkov samo po sebi še ne prinese zelenega rezultata, torej boljšega poznavanja življenja v preteklosti. Prav zato rezultate svojega dela pogosto pretresamo, ocenjujemo njihovo izpovednost ter izdajamo postopke, ki so na določenih območjih najbolj uporabni.

Širši arheološki kompleks Poštela lahko v našem okolju brez dvoma vidimo kot testni poligon za uveljavljanje sistematičnih in poglobljenih geofizikalnih raziskav na prazgodovinskih najdiščih, čemur botrujejo tako naravne danosti kot pestrost arheoloških oblik. Uporabnost doslej pridobljenih znanj se je pokazala, ko smo raziskave uspe-

šno prenesli na druga podobna arheološka najdišča, kot so Novine nad Šentiljem in Plački vrh v Slovenskih goricah, ki ju raziskujemo v sklopu projekta BorderArch Steiermark, ter Kaptol pri Slavonski Požegi na Hrvaškem, ki je eno izmed ključnih raziskovalnih območij projekta ENTRANS.

Zahvala

Geofizikalne metode, predstavljene v našem prispevku, so del obsežnejšega raziskovalnega projekta, v katerem uporabljamo širši nabor arheoloških raziskav, s katerimi že nekaj let proučujemo predvsem arheološki kompleks Poštela. Raziskovalne ideje in cilji niso enaki, kot smo jih imeli pred leti, saj so se spreminjali tako s pridobljenimi rezultati in izkušnjami kot z novimi sodelavci, ki se vključujejo v projekt in pri njem sodelujejo. Največja zahvala gre brez dvoma vodji projekta *Tradicija in inovativnost v prazgodovini*, s katerim se je začel nov val raziskav na Pošteli, akad. prof. dr. Bibi Teržan z Univerze v Ljubljani. Zahvala gre tudi vodji ZVKDS CPA, Barbari Nadbath, ki je prepoznala razvojno naravnost projekta tudi v smislu varovanja kulturne dediščine in prav zato so ves čas pri njegovi izvedbi tvorno sodelovali tudi zaposleni na ZVKDS CPA. Podobno velja tudi za pristojna konservatorja na ZVKDS OE Maribor, Mihelo Kajzer Cafnik in Andreja Magdiča. V letu 2014 je financiranje raziskav na Pošteli delno prešlo pod okrilje evropskega projekta ENTRANS, ki ga vodi prof. Ian Armit z Univerze v Bradfordu, za kar gre zahvala tudi njemu.

Med raziskovalci, ki so prav tako prispevali k raziskavam, naj najprej omenimo dr. Dimitrija Mlekuža, ki je zaslužen za obdelavo lidarskih posnetkov in GIS analize, dr. Igorja Rižnarja in dr. Aleksandra Horvata, ki sta se posvečala geološki in morfološki sliki poselitvenega prostora v okolici Poštele, ter prof. Andreja Gosarja z Naravoslovnotehniške fakultete UL, ki nam je v raziskovalne namene zaupal georadarski sistem RTA s 50 MHz anteno.

Magnetne meritve z instrumentom Geometrics G-858 in bazno postajo Geometrics G856AX je vodil Igor Medarić, georadarske meritve (GSSI SIR3000, 400 in 270 MHz anteni) in geoelektrično kartiranje (Geoscan RM15, *Twin probes*) pa Matjaž Mori ob sodelovanju Eline Nas. Marijana Zajc je vodila meritve z georadarskim sistemom RTA (MalaRamac, 50MHz antena), David Medica pa je

v MatLab sprogramiral program Octave za topografsko korekcijo georadarskih odbojev za 50 MHz anteno in izdelal nekatere izboljšave odstranjevanja šumov na obdelovalnih površinah za georadarsko metodo. Petra Basar je v letu 2014 začela z meritvami z nizkofrekvenčnim EM instrumentom CMD Mini-Explorer in v članku predstavljeni rezultati temeljijo na njenih meritvah. Meritve magnetne susceptibilnosti z instrumentom Kappameter KT-7 in dokumentacijo arheoloških izkopavanj je vodila Manca Vinazza skupaj z Miho Miheličem in Tino Nanut. Vsem njim in tudi študentom Oddelka za arheologijo FF UL, ki so v sklopu naših raziskav opravili študentske prakse, ter volonterjem se za ključni prispevek najlepše zahvaljujemo.

Ne nazadnje gre zahvala tudi našim partnerjem v Botaničnem vrtu Univerze v Mariboru, s katerimi skupaj snujemo vzpostavitev arheološkega parka, saj vrt obsega tudi velik del gomilnega grobišča na Pivoli. Vsako leto nam ponudijo svoje prostore, v katerih lahko prebivajo naši študentje in v katerih lahko izvajamo primarno obdelavo arheoloških najdb. Poleg tega nam pri delu tudi ničkolikokrat priskočijo na pomoč pri različnih drugih opravilih. Vsem torej še enkrat najlepša hvala.

Possibilities for geophysical investigation on Early Iron Age sites. Case study Poštela near Maribor (Slovenia)

(Summary)

The results of the archaeological investigations conducted in the broader area of the archaeological complex at Poštela near Maribor are more than promising. Our recent work took into account the findings of past field investigations and lidar scanning analyses, and mainly consisted of carefully planned and executed geophysical surveys (figures 1–2) combined with adapted ground-truthing procedures (shallow surface geological drillings, test pits and others).

Several locations were surveyed and, as could be expected, not all of the obtained results are readily understandable. Few of our observations may be deemed as representing the limits of what modern archaeological geophysics can reveal, but they nevertheless add to the body of knowledge on the site accumulated thus far. A number of geophysical methods were employed independently and the results interpreted with respect to the existing knowledge. Albeit preliminary in nature, these interpretations also importantly influence the planning of further non-invasive, low-invasive or invasive research, i.e. the choice of which method(s) will be used on which micro-location(s).

For instance, the results of the geophysical analysis of the barrows on cultivated land flattened by intensive agricultural activities are expected to be quite clear (figures 4–8); besides the composition of the mantle, they also reveal the level of preservation or destruction of the stone burial chambers. In our case, these data were acquired by analyzing the results of the GPR, magnetic and resistivity method. The high barrows at Pivola and Habakuk below Poštela, however, represent more complex situations and the best approach for their complete understanding is not yet available. Preliminary GPR results, also with a 50 MHz antenna, are encouraging (figures 9–10), but a much clearer picture is expected from resistivity and seismic tomography, planned as part of our future research.

Our strategy in investigating the immediate surroundings of the barrows was slightly adapted. We used a combination of susceptibility measurements taken directly from the surface to the depth of a few centimetres and those of a broader depth range (up to approx. 1.5m). This choice turned out to be the right one and was confirmed by the results obtained in the area of the burial grounds on the plateau of Habakuk. The surface survey in the area east of the southern group of barrows registered high susceptibility readings, which were a consequence of the measur-

able level of magnetization generated by the distribution of pottery fragments in the topsoil (figure 16B). The second type of measurements registered high susceptibility values as a consequence of a compact layer with a large quantity of pottery fragments at depths between approx. 10 and 25cm (figure 16C). In this way, we identified the same archaeological features in two different ways.

On Habakuk, we also investigated the flat cremation cemetery. Archaeological geophysics do not yet dispose of the proper technical solutions for effectively identifying graves in this kind of cemeteries, consisting of cremation graves with or without urns and with a broad variety of grave architecture. Our goal was therefore to explore the possible technical solutions for an effective identification of such graves. A relatively successful procedure was the transformation of the otherwise very weak magnetic anomalies above graves. This was achieved by comparing the effects of select procedures with the position and composition of graves unearthed in the test pits that were carefully located with respect to the preliminary analyses of the geophysical survey (figures 17–19). Here it is important to stress the potential of GPR for investigating flat cremation cemeteries, particularly for the graves that include stone elements in their architecture: the georadar measurements revealed certain evidences for such constructions, which could be further on correlated with the graves excavated in the test pit. However, the number of such correlations is as yet too small for a generalized statement as to the whole burial grounds.

The central part of the settlement at Poštela was surveyed using the magnetic method with consideration of the diurnal variations of the Earth's magnetic field by taking measurements on base magnetometer. Considering the magnetic anomalies on the bottom and top sensors (figures 20C–D, 21), the analysis of the gradient (figure 20A–B) shows the presence of settlement features, which will have to be verified with the use of (low-)invasive archaeological methods. Both the GPR method and resistivity mapping brought important data complementing those obtained by using the magnetic method, with the results even identical in certain details. This is most evident for locations where the results of magnetic measurements suggested remains of houses.

The settlement area covered by magnetic susceptibility mapping is too limited to enable reliable observations of the possibilities for identifying areas of different activi-

ties. These initial results nevertheless show exceptional potential, mainly in revealing areas contaminated with metallurgical and/or potters' refuse and hence identification of workshops.

Geophysical measurements were also taken at the rampart of the hillfort, which had been trial trenched on several occasions. The geophysical and the trial trenching results proved to be comparable; the former confirmed that the rampart is composed of earth quite heterogeneous in its composition. This is inferred from the georadar echoes registered with antennas of higher frequencies (270 and 400 MHz). Apart from this, measurements with antennas of a lower frequency (50 MHz) revealed that the rampart stands on a solid geologic basement, which suggests that the course of the rampart is dictated by the terrain, i.e. the morphology of the geological basement.

The plans for our future research are dictated or limited by our current experience, though we intend to incorporate new methods, some of them new to archaeological investigations in Slovenia. We will certainly continue to use the magnetic method that takes into account the diurnal variations of the Earth's magnetic field measured with a base magnetometer. This enables a detailed analysis of even the weak magnetic anomalies and thus represents a key factor in interpreting prehistoric sites. With this approach, we strive to gain a deeper insight into the settlement features of the Poštela hillfort, in combination with GPR measurements and resistivity mapping. For Poštela, the latter two are less revealing on their own, but prove very effective when considered in combination. The GPR method provides the accurate depths of archaeological remains, which is important information for creating synthetic 2D and 3D magnetic models of select structures. We also plan to broaden the use of magnetic susceptibility measurements; besides on ground surfaces, in shallow bore holes and on all the excavated surfaces and structures in test pits, we intend to measure the excavated stone remains, which can also provide information on the provenance of stone.

Measurements with the low frequency CMD Mini-Explorer instrument have been proven as effective in certain areas and its use will therefore continue. The instrument will primarily be used to verify magnetic anomalies in areas of presumed metallurgical activities, in the immediate surroundings of barrow cemeteries where important information as to the activities taking place there has al-

ready been gained, but also to obtain data complementary to the past geophysical observations as to the use of individual areas within the settlement.

The already wide range of data included in our research is also important in the search for new non- or low-invasive methods with the aid of which to offer correct archaeological interpretations. One such method is resistivity and seismic tomography, the efficiency of which will be tested for obtaining additional information on the composition of the high barrows, ramparts, geologic basement and so forth. Another important set of data will also be obtained with the use of the geochemical mapping with pXRF, which will be used selectively and only in areas revealed as potentially revealing by other methods.

Adding ever new sets of data, however, does not bring the desired result on its own. The data needs to be frequently re-examined so as to arrive at determining the procedures most suitable for a certain area or feature.

The wider area of the archaeological complex at Poštela, with its specific natural setting and a great variety of archaeological features, can certainly be considered as a test prehistoric site for a systematic and in-depth geophysical research. The wide applicability of the knowledge gained there so far became apparent when we successfully transferred our research strategy onto similar archaeological sites, for instance Novine above Šentilj and Plački vrh, both in Slovenske gorice, which are in the stage of investigation within the *BorderArch Steiermark* project, but also Kaptol near Požega in Croatia, which is one of the key research areas in the *ENTRANS* project.

Literatura / References

- ARISOY, M. O., O. KOCAK, A. BUYUKSARAC, F. BILIM 2007, Images of buried graves in Bayat, Afyon (Turkey) from high-resolution magnetic data and their comparison with preliminary excavations. – *Journal of archaeological science* 34, 1473–1484.
- BENECH, C., E. MARMET 1999, Optimum Depth of Investigation and Conductivity Response Rejection of the Different Electromagnetic Devices Measuring Apparent Magnetic Susceptibility. – *Archaeological Prospection* 6, 31–45.
- BONSALL, J., R. FRY, C. GAFFNEY, I. ARMIT, A. BECK, V. GAFFNEY 2013, Assessment of the CMD Mini-Explorer, a New Low-frequency Multi-coil Electromagnetic Device, for Archaeological Investigations. – *Archaeological Prospection* 20, 219–231.
- BUYUKSARAC, A., F. BILIM, A. ATES, O. BEKTAS 2006, Investigation of magnetic surveying data of buried grave jars in Harmanoren Necropolis (Turkey) using linear transformations and analytic signal. – *Journal of archaeological science* 33, 910–920.
- BUYUKSARAC, A., M. O. ARISOY, O. BEKTAS, O. KOCAK, T. CAY 2008, Determination of grave locations in Dedemezari Necropolis (Western Turkey) using Magnetic field derivatives. – *Archaeological Prospection* 15, 267–283.
- ČREŠNAR, M., D. MLEKUŽ 2014, Identities of the Early Iron Age in North-eastern Slovenia. – V/In: N. P. Cătălin, S. Stoddart (ur./eds.), *Fingerprinting the Iron Age. Approaches to Identity in the European Iron Age. Integrating South-Eastern Europe into the Debate*, Oxford, 18–32.
- DIRIX, K., P. MUCHEZ, P. DEGRYSE, E. KAPTIJN, B. MUŠIČ, E. VASSILIEVA, J. POBLOME 2013, Multi-element soil prospection aiding geophysical and archaeological survey on an archaeological site in suburban Sagalassos (SW-Turkey). – *Journal of archaeological science* 40 (7), 2961–2970.
- ELWASEIF, M., L. SLATER 2010, Quantifying tomb geometries in resistivity images using watershed algorithms. – *Journal of archaeological science* 37, 1424–1436.
- GAMS, I. 2008, Geomorphology of the Pohorje mountains. – *Acta geographica Slovenica* 48 (2), 187–254.
- HANKS, B. K., I. CHECHUSHKOV, R. K. DUNAN, D. PUTMAN, B. MUŠIČ, I. MEDARIČ, M. MORI 2013, Novejšie rezul'tat'i i perspektiv'i issledovaniy mikrorajona drevnego rasselenija ust'e i doliny reki Nižnij Toguzak. – V/In: N. Vinogradov, A. V. Elimahov (ur./eds.), *Drevnee ust'e: ukreplennoe poselenie bronzovogo veka v Južnom Zaural'e: kollektivnaja monografija*, Čeljabinsk, 393–416.
- IOANE, D., S. ANGHEL, A. DUDU 2009, Magnetic Prospection of a Tumulus in the Ancient Histria Necropolis. – *Geo-Eco-Marina* 15, 161–165.
- LINDSAY, I., A. SMITH, R. BADALYAN 2010, Magnetic Survey in the Investigation of Sociopolitical Change at a Late Bronze Age Fortress Settlement in Northwestern Armenia. – *Archaeological Prospection* 17, 15–27.
- MAILLOL, J. M., D. L. CIOBOTARU, I. MORAVETZ 2004, Electrical and Magnetic Response of Archaeological Features at the Early Neolithic Site of Movilalui Deciov, Western Romania. – *Archaeological Prospection* 11, 213–226.
- MARTENS, F., B. MUŠIČ, J. POBLOME, M. WAELKENS 2012, The integrated urban survey at Sagalassos. – V/In: F. Vermeulen (ur./ed.), *Urban landscape survey in Italy and the Mediterranean*, Oxford, 84–93.
- MEDARIČ, I., B. MUŠIČ, K. VYNCKE 2011, Vrednotenje rezultatov magnetne metode z uporabo 2D magnetnega modeliranja na primeru arheološkega najdišča Düzen Tepe v Turčiji / Application of 2D magnetic modelling in evaluating the results of the magnetic method, case study at the archaeological site at Düzen Tepe, Turkey. – *Arheo* 28, 35–72.
- MELE, M., B. MUŠIČ 2007, Naselbinske strukture iz starejše železne dobe na Hajndlu pri Ormožu - arheološka izkopavanja in geofizikalne raziskave. – V/In: M. Blečić, M. Črešnar, B. Hänsel, A. Hellmuth, E. Kaiser, C. Metzner Nebelsick (ur./eds.), *Scripta praehistorica in honorem Biba Teržan* – Situla 44, Ljubljana, 341–356.
- MILE, C. M., R. HANSEN, G. N. TSOKAS, C. B. PAZACHOS, P. I. TSOURLOS 2010, Complex Attributes of the Magnetic Signal for Multiple Sources: Appli-

- cation to Signals from Buried Ditches. – *Archaeological Prospection* 17, 89–101.
- MLEKUŽ, D., M. ČREŠNAR 2014, Landscape and identity politics of the Poštela hillfort / Pokrajina in politika identitet utrjene naselbine na Pošteli. – V/In: S. Tecco Hvala (ur./ed.), *Studia praehistorica in honorem Janez Dular* – Opera Instituti archaeologici Sloveniae 30, Ljubljana, 197–211.
- MUŠIČ, B. 1999, Geophysical prospecting in Slovenia: an overview with some observations related to the natural environment. – *Arheološki vestnik* 50, 349–405.
- MUŠIČ, B. 2000, *Raziskave arheoloških najdišč z metodami geoelektrične upornosti in geomagnetizma*. Doktorska disertacija. Oddelek za arheologijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani (neobjavljeno).
- MUŠIČ, B. 2006, Primjena geofizikalnih istraživanja u arheologiji. – *Hrvatski arheološki godišnjak* 3, 439–451.
- MUŠIČ, B. 2008, Nastavki za kvantitativno analizo rezultatov arheološke geofizike na primeru Sagalassosa. – *Arheo* 25, 53–67.
- MUŠIČ, B., J. HORVAT 2007, Nauportus - an Early Roman trading post at Dolge njive in Vrhnika: the results of geophysical prospecting using a variety of independent methods. – *Arheološki vestnik* 58, 219–283.
- MUŠIČ, B., I. MEDARIĆ, M. MORI 2011, *Report on archaeogeophysical survey at archaeological sites of Ustye and Steponoye, Siberia, 2011*. Neobjavljeno poročilo.
- MUŠIČ, B., B. SLAPŠAK, 1998, GIS on site-analysis: Rodik, Slovenia. – V/In: J. Peterson, B. Slapšak, Z. Stančič (ur./eds.), *COST action G2: paysages antiques et structures rurales: proceeding of a workshop Ljubljana, 27 April 1996. The use of Geographic Information Systems in the study of ancient landscapes and features related to ancient land use*, Norwick, 81–93.
- MUŠIČ, B., B. SLAPŠAK, V. PERKO 2000, On-site distributions and geophysics: the site of Rodik-Ajdovščina. – V/In: H. Patterson, R. Francovich, G. Barker (ur./eds.), *Extracting meaning from ploughsoil assemblages*. – *The archaeology of Mediterranean landscapes* 5, Oxford, 132–146.
- OH, J., T. ABDALLATIF, M. SUH 2008, Magnetic and seismic investigations of historic Features in the Suchon Area, Kongju, Korea. – *Archaeological prospection* 15, 227–238.
- PAHIČ, S. 1974, Poštelsko grobišče. – *Časopis za zgodovino in narodopisje n.s.* 10, 4–72.
- PAPADOPOULOS, N. G., M-J. YI, J-H. KIM, G. N. TSOKAS, P. TSOURLOS, A. SARRIS 2009, Tumuli exploration using surface 3D Electrical Resistivity Tomography. – *Archeo Sciences* 33, 129–132.
- PETRONILLE, M., J. THIESSON, F-X. SIMON, O. BUCHSENSCHUTZ 2010, Magnetic Signal Prospecting using Multiparameter Measurements: the Case Study of the Gallic Site of Levroux. – *Archaeological Prospection* 17, 141–150.
- RIŽNAR, I. 2012, *Poročilo o analizi morfologije arheološkega najdišča Poštela*. Neobjavljeno poročilo.
- SHERIFF, S. D., D. MACDONALD, D. DICK 2010, Decorrugation, edge detection, and modelling of total field magnetic observations from a historic town site, Yellowstone national park, Usa. – *Archaeological Prospection* 17, 49–60.
- SCHMID, W. 1915, *Die Ringwälle des Bacherngebietes*. Mitteilungen der Prähistorischen Kommission der Kais. Akademie der Wissenschaften II/3, Wien, 229–305.
- STRMČNIK GULIČ, M., B. TERŽAN 2004, O gomili halštatskega veljaka iz Pivole pod Poštelo. – *Časopis za zgodovino in narodopisje n.s.* 40, 217–238.
- TABBAGH, J. 2003, Total field magnetic prospecting. Are vertical gradiometer measurements preferable to single sensor survey? – *Archaeological Prospection* 10, 75–81.
- TERŽAN, B. 1998, Auswirkungen des skythisch geprägten Kulturkreises auf die hallstattzeitlichen Kulturgruppen Pannoniens und Ostalpenraumes. – V/In: B. Hänsel, J. Machnik (ur./eds.), *Das Karpatenbecken und osteuropäische Steppe. Nomadenbewegungen und Kulturaustausch in den vorchristlichen Metallzeiten (4000–500 v. Chr.)*. – *Südosteuropa-Schriften / Prähistorische Archaeologie in Südosteuropa* 12, München – Rahden, 511–560.

TERŽAN, B. 1990, *Starejša železna doba na Slovenskem Štajerskem / The Early Iron Age in Slovenian Styria*. Katalogi in monografije 25, Ljubljana.

TERŽAN, B., M. ČREŠNAR, B. MUŠIČ 2007, Pivola – gomilno grobišče. – *Varstvo spomenikov. Poročila* 43, 159–160.

TERŽAN, B., M. ČREŠNAR, B. MUŠIČ 2012, Pogledi v preteklost: Poštela – „staro mesto“ na obronkih Pohorja in njegova okolica: o arheoloških raziskavah. – *Dialogi* 48 (1/2), 17–58.

TERŽAN, B., M. ČREŠNAR, B. MUŠIČ 2014, Early Iron Age barrows under consideration of complementary archaeological research. Case study od Poštela near Maribor (Podravje, Slovenija). – V/In: C. Gutjahr, G. Tiefen- graber (ur./eds.), *Beiträge zur Hallstattzeit am Rande der Südostalpen, Akten des 2. Wildoner Fachgespräches vom 10. bis 11. Juni 2010 in Wildon / Steiermark (Österreich)*. Internationale Archäologie – Arbeitsgemeinschaft, Symposium, Tagung, Kongress 17 (Hengist-Studien 3), Rahden/Westf (v tisku/in print).

ŽNIDARČIČ, M., P. MIOĆ 1988, *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Maribor in Leibnitz*. Beograd.
