
ARHEO



Ljubljana, december 2016

Arheološka obvestila. Glasilo Slovenskega arheološkega društva, številka 33, leto 2016. Odgovorna oseba izdajatelja: *Bojan Djurić*, predsednik SAD. Uredništvo: *Matija Črešnar, Boštjan Laharnar, Tina Milavec, Marko Mele, Dimitrij Mlekuž, Gašper Rutar, Manca Vinazza*. Izdajateljski svet SAD: *Matija Črešnar, Januš Jerončič, Marjeta Šašel Kos, Tina Milavec, Predrag Novaković, Peter Turk, Milan Sagadin*. Znanstveni in strokovni prispevki v reviji so recenzirani. Recenzenti: *Matija Črešnar, Ksenija Geršak, Tamara Leskovar, Branko Mušič, Maja Ovsenik, Polona Ropret, Biba Teržan, Nina Zupančič*.

Naslov uredništva: Oddelek za arheologijo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani, p. p. 580, SI-1001 Ljubljana (01 241 1558). Grafična zasnova: *Ranko Novak*. Naslovnica: *rentgenska posnetka zoba (Iztok Štampfelj)*. Jezikovni pregled: *Nina Krajnc (slovenščina), Andreja Maver (angleščina)*. Stavek: *Nives Zupančič*. Tisk: *Tiskarna Present, d. o. o.* Naklada: 300 izvodov. Za vsebino prispevkov odgovarjajo avtorji. Imetniki moralnih in avtorskih pravic so posamezni avtorji.

Tisk so finančno podprli Center za preventivno arheologijo ZVKDS, Narodni muzej Slovenije in Oddelek za arheologijo FF UL.

-
- 5 Uvodnik
Matija Črešnar
- 7 Silosi – posebne keramične oblike. Prispevek k poznavanju gospodinjstev v starejši
železni dobi na Krasu
Silos – special ceramic forms. Contribution to the knowledge of the Early Iron Age households
in the Karst region
Manca Vinazza
- 25 Identifikacija izvora surovin za izdelavo kamenih orodij z rentgensko fluorescenčno
spektroskopijo (XRF)
Identifying the origin of the raw materials in lithic productions using X-ray fluorescence spectroscopy
(XRF)
Tina Berden, Matej Dolenc
- 39 Paleodontološka analiza skeletov iz bronastodobne gomile z Brezja pod Brinjevo goro
Palaeodontological analysis of the skeletal remains from the Bronze Age tumulus at Brezje below
Brinjeva gora
Iztok Štampelj
- 75 Uporaba FTIR spektroskopije za analizo kosti iz arheoloških okolij
Application of FTIR spectroscopy for analysing bones from archaeological contexts
Tamara Leskovar
- 95 Gabrovčev dan. Poklon arheologu, muzealcu, profesorju in akademiku
Matija Črešnar, Biba Teržan, Peter Turk
- 97 Vitrina meseca na Oddelku za arheologijo FF UL. Odsev zainteresiranosti študentov.
Manca Vinazza, Danijela Udovič
- 99 Predstavitev projektov PalaeoDiversiStyria in Iron-Age-Danube ter povabilo k
sodelovanju
Matija Črešnar, Marko Mele, Katharina Zanier, Anja Vintar, Sarah Kiszter, Anja Hellmuth Kramberger
- 103 Navodila avtorjem
Guidelines to the Contributors
-

Uvodnik

Spoštovani kolegice in kolegi,

pred vami je nova, 33. številka revije *Arheo. Glasilo Slovenskega arheološkega društva*.

Vsebina te številke je nekoliko manj zajetna, kot je bila v zadnjih letih. Razlogov je več in med njimi je brez dvoma tudi pomanjkanje finančnih sredstev. Po drugi strani je bilo uredništvu posredovanih manj kakovostnih prispevkov, žal pa tudi naša pobuda, da bi v Arheu ponovno objavljali krajše prispevke s svežimi idejami in prebliiski ter tako spodbujali dialog in razmislek o tem, kje kot stroka smo in kam se usmerjamo, še ni obrodila sadov.

A revija se s članki, ki predstavljajo njeno jedro, ne oddaljuje od svojega poslanstva. Prav vsi so doprinos za našo stroko, saj predstavljajo nova dognanja, kažejo na raznolikost našega dela in ponovno podčrtujejo njeno interdisciplinarno naravnost – ob tem uvajajo tudi novosti v slovenski strokovni terminologiji.

V prvem prispevku je predstavljena oblika keramične posode, ki je doslej med prazgodovinskim gradivom na Slovenskem nismo uspeli prepoznati, silos. Kot ugotavlja Manca Vinazza, gre za posode, ki se pojavljajo v širšem prostoru od severne Italije do Krasa in naj bi po tradicionalni interpretaciji služile pridelavi vina in/ali skladiščenju žit. Njena značilnost je žganje pri nizkih temperaturah in prav to je razlog, da se pogosto ohrani zelo fragmentarno, posledično pa je oblika cele posode še vedno nepoznana. Na podoben način so bile izdelane tudi t. i. glinene obloge in prenosne peči, zato je avtorica v prispevku predlagala tudi parametre za njihovo razločevanje.

Drugi prispevek je plod raziskave Tine Berden v sodelovanju z Matejem Dolencem in je nadgradnja magistrske naloge prve avtorice na Oddelku za arheologijo UL. Predstavljena je uporaba rentgenske fluorescenčne spektroskopije (XRF) pri identifikaciji izvora surovin za izdelavo kamenih orodij. S to metodo je bilo analiziranih večje število orodij, izkopanih na prazgodovinskih najdiščih Prekmurja, iz rezultatov pa izhaja, da je bila večina odbitkovnih orodij izdelana iz kamnin, najdenih na območju Panonske nižine, večina glajenih orodij pa je bila verjetno izdelana iz lokalno in regionalno dostopnih kamnin.

Fourierjeva transformacijska infrardeča (FTIR) spektroskopija omogoča hitre in natančne kemične analize majhnih vzorcev, ki se ob izvedbi ohranijo. Zaradi teh lastnosti se je začela vse pogostejše pojavljati kot del (osteo) arheoloških raziskav. Kot predstavlja Tamara Leskovar, ta metoda nudi vpogled v kemično sestavo vzorca in s tem lahko ponuja izhodišče za razumevanje stanja oz. ohranjenosti kosti ter procesov, ki so nanjo vplivali v preteklosti.

Osrednji del revije zaključujemo s prispevkom Iztoka Štamflja, ki nas seznaja z detajlno raziskavo čeljustnic in zob treh oseb, odkritih v srednjebronastodobni gomili na Brezju pod Brinjevo goro. Rezultati izredno široko zastavljene raziskave, ki vključuje soočanje različnih tehnik in metod, v veliki meri potrjujejo zaključke antropološke analize skeletov, ob tem pa osvetljujejo morfološke značilnosti zob, oralno zdravje in prehrano takratnega človeka.

Biba Teržan, Peter Turk in Matija Črešnar nato predstavljajo pobudo Slovenskega arheološkega društva, da bi z vsakoletnim Gabrovčevim dnevom ob počastitvi spomina na našega velikega predhodnika v naslednjih nekaj letih dopolnili naše znanje o halštatski kulturi na širšem jugovzhodnoalpskem prostoru. Ob tem pa je to tudi apel za sodelovanje čim večjega števila raziskovalcev iz Slovenije in obmejnih območij, ki je za dosego namena bistveno.

Manca Vinazza in Danijela Udovič sta skupaj s študenti Oddelka za arheologijo FF UL snovalki *Vitrine meseca*, ki je na ogled v oddelčni knjižnici. Zgledov zanj ni manjkalo, a ker je njeno ustvarjanje predvsem v domeni študentov, gre za nekoliko nekonvencionalne postavitve in nepričakovane asociacije. Vsekakor vse pohvale vreden projekt, v sklopu katerega bodo študentje v prihodnje pogosto potrebovali pomoč tudi koga od vas, dragi kolegi.

Sledi kratka predstavitev projektov PalaeoDiversiStyria in Iron-Age-Danube, ki sta pred kratkim začela s svojimi aktivnostmi. Njuna izhodišča in temelji so rezultati arheoloških strokovnih in znanstvenih raziskav, ob tem pa so njuni cilji, čeprav v veliki meri povsem različni, povezani z vključevanjem rezultatov arheoloških raziskav v razvoj trajnostnega turizma in oblikovanjem pozitivnega mnenja o arheološki dediščini. Tudi pri teh dveh projektih bi bilo v več segmentih dela zaželeno vaše sodelovanje.

Naj se za konec z očmi pristranskega opazovalca, saj drugače pač ne gre, ozremo po lastni stroki. Brez dvoma lahko opazimo, da v določenih segmentih našega dela nedvomno hodimo z rama ob rami z mnogo večjimi in finančno veliko bolj podprtimi strokovnimi sredinami ter smo tako na naše delo in njegove rezultate lahko ponosni. Tudi naša tehnična usposobljenost je na zavidljivo visokem nivoju. A smo, podobno kot je opaziti tudi v tujini, začeli pešati na nekaterih drugih področjih.

Ali smo ob vsej naglici, ki pogosto narekuje potek terenskih del, in ozki, malodane manufaktorni specializaciji posameznikov v ekipah, ki je na terenih skorajda postala pravilo, ter prekomerni natančnosti ob zajemanju nepreglednih količin podatkov, še zavezani vsebini, ki jo odkrivamo? Ali je v naših mislih še človek, ki je za seboj pustil sledove, ki jih mi odkrivamo, ali pa so natančno tridimenzionalno umeščeni SE-ji, VZ-ji in PN-ji postali smoter sami po sebi. Včasih se zdi, da ne vemo več, kje je razumska meja, in ne opazimo, da je včasih preveč, enostavno preveč!

Spet drugje naj bi, tako vsaj pride tu in tam na uho, arheologija trpela zaradi naših želja po na trgu pridobljenih raziskavah. T. i. »dumping« postaja karcinom, ki načenja našo stroko. Odstraniti ga, preden se razseje in postane »modus operandi«, bi moralo biti v našem skupnem interesu. Nekatere evropske prakse kažejo, da je takšne anomalije moč izkoreniniti, spet drugi so na tej preizkušnji padli. Kje se vidimo čez nekaj let mi?

Zadnja vroča tema, ki ponovno ni le naš slovenski fenomen, je manko objav, ki prihajajo iz prevladujočega segmenta terenskih raziskav, tj. zaščitnih raziskav. Če odmislimo publikacije *AAS*, ki so nas in nas še bodo razveseljevale z novostmi in so za nekatera arheološka obdobja pomenile preporod, je celostnih publikacij najdišč zelo malo. Če pa umanjajo tudi krajše notice, ki na srečo pogosto najdejo svoje mesto bodisi v publikacijah *Arheologija v letu ...* in/ali *Varstvo spomenikov*, so podatki izjemno težko dostopni. Že res, da v tiskanih publikacijah ne moremo objavljati vseh »lukenj«, a morda je le prišel pravi čas, da bi revija *Varstvo spomenikov* obrnila nov (digitalni) list in dobila sestrsko spletno različico, ki bi se lahko ves čas dopolnjevala in bi se tako lahko bolj ažurno odzivala na hitrost sveta, del katerega smo. Odločitev brez dvoma ne gre sprejemati hitro in za to bi bilo potrebno zagotoviti tudi človeške in finančne vire, a razmislek v to smer morda ne bi bil napačen.

Zapisane besede so brez dvoma osebno mnenje in predstavljajo subjektivno videnje, a ...

Matija Črešnar

Silos – posebne keramične oblike. Prispevek k poznavanju gospodinjstev v starejši železni dobi na Krasu

Silos – special ceramic forms. Contribution to the knowledge of the Early Iron Age households in the Karst region

© Manca Vinazza

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo, manca.vinazza@gmail.com

Izvleček: V prispevku obravnavamo silose – posebne keramične oblike, ki so bili najdeni na več gradiščih iz starejše železne dobe na Krasu. Gre za obliko posode, ki se pojavlja na širšem prostoru od severne Italije do Krasa in se zaradi žganja pri nizkih temperaturah ohrani zelo fragmentarno. Prav zato je njena celotna oblika še vedno nepoznana. Tovrstne posode naj bi služile pridelavi vina in/ali skladiščenju žit. Na podoben način so bile izdelane tudi glinene obloge in predvsem prenosne peči, zato v prispevku predlagamo tudi parametre za določanje tovrstnih keramičnih oblik.

Gljučne besede: Kras, prazgodovina, bronasta doba, starejša železna doba, shranjevanje, silosi, Tabor pri Vrabčah, Štanjel

Abstract: The contribution deals with silos or special ceramic forms unearthed at several Early Iron Age hillforts in the Karst region, Slovenia. Similar containers are known from a wider area covering northern Italy and reaching to the Karst in Slovenia. Because of the low firing temperature, they survive in highly fragmented conditions and we have been unable to offer a complete reconstruction of their form. They were probably used in wine production and/or cereal storage. A manner of manufacture similar to that of the silos has also been observed on terracotta plaques and portable kilns, which leads us to propose common parameters in determining such ceramic objects.

Keywords: Karst region, prehistory, Bronze Age, Early Iron Age, storage, silos, Tabor near Vrabče, Štanjel

Uvod

V članku obravnavamo obliko posode, ki je bila najdena na več starejšeželeznodobnih najdiščih v zahodni Sloveniji in je bila doslej kot takšna neprepoznana. Gre za t. i. silose, ki so izdelani iz nežgane gline oz. so žgani pri nizki temperaturi, pri čemer odstopajo od običajnih keramičnih oblik, kot so lonci, sklede, pokrovi itd. Takšni predmeti se zato večinoma zelo slabo ohranijo in jih praviloma najdemo izredno fragmentirane. Ob stiku z vodo hitro razpadajo, kar zahteva drugačen pristop pri pranju oz. čiščenju v okviru obdelave najdb. Zato glede na naše izkušnje predlagamo zgolj suh način čiščenja (suho ščetkanje)¹. Prav fragmentarnost in naknadna nerazpoznavnost večkrat botrujeta temu, da so ti predmeti med arheološkimi izkopavanji spregledani oz. površno in/ali napačno interpretirani kot odlomki ožgane gline ali peči.

Na podoben način so izdelani tudi nekateri drugi keramični predmeti, žgani na nizki/nizji temperaturi, ki so jim pripisane različne namembnosti (uteži, svitki, glinene obloge ...). Zato izhodiščni problem predstavlja že samo poimenovanje in uvrstitev osnovne oblikovne skupine² ter nadaljnje določanje podskupin. Po klasifikaciji Milene Horvat so tovrstni predmeti razvrščeni v tri različne oblikovne

skupine (od skupno petih), in sicer posebne keramične oblike (tretja skupina), tehnična keramika (četrt skupina) in gradbena keramika (peta skupina) (prim. Horvat 1999, 88–89, 179–183). Pri tej klasifikaciji izhodišče predstavlja osnovna oblika, medtem ko je pri italijanski izhodišče način izdelave. Prav to je po našem mnenju eden od razlogov za številne različne opredelitve posameznih predmetov.

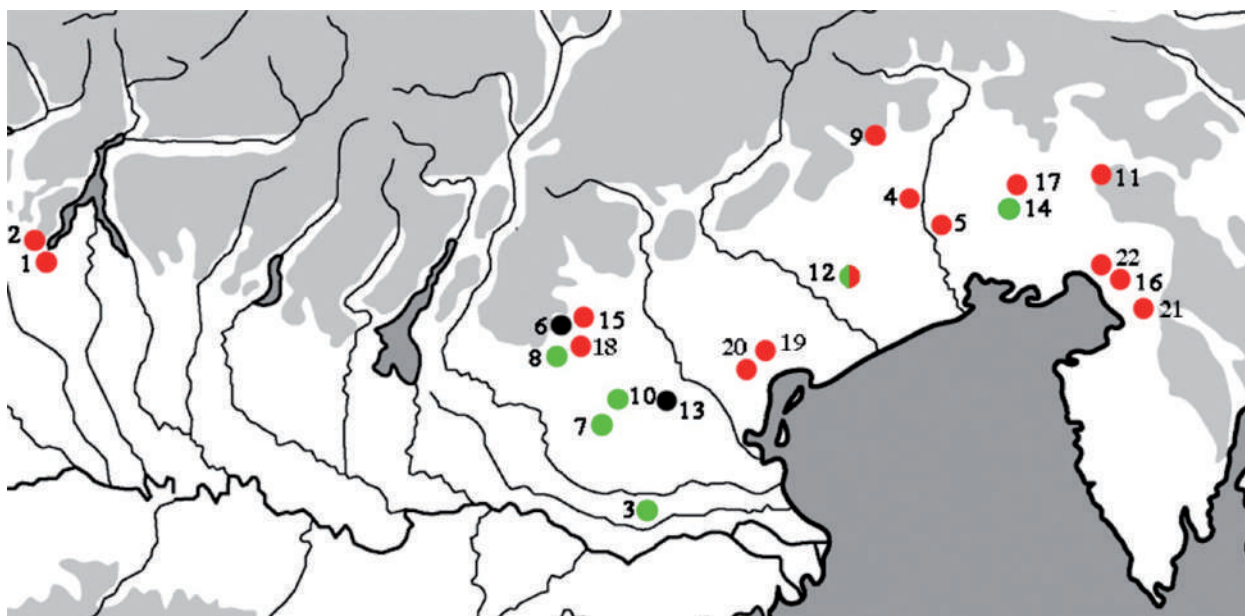
Ker nizka stopnja ohranjenosti predstavlja eno izmed glavnih težav pri določanju namembnosti predmetov, žganih na nizki/nizji temperaturi, je pri obravnavi gradiva s posameznih najdišč nujno obravnavati tudi predmete, katerih namembnosti (še) ne poznamo. Šele s širšo sliko in morebitnimi bodočimi znanji bomo sposobni boljše prepoznati/določiti/ovrednotiti tovrstne predmete in z njimi povezane aktivnosti.

Zaradi naštetih razlogov in zaradi številnih tipoloških neskladij pri obravnavanju tovrstnih predmetov vse predmete iz tretje, četrte in pete oblikovne skupine, ki so žgani na nizki/nizji temperaturi, imenujemo kot običajne keramične oblike z opisno nadpomenko *keramika, žgana pri nižji temperaturi*. Obsežne objave gradiva z najdišč iz bronaste in železne dobe v zadnjih letih so predvsem po zaslugi projekta izgradnje avtocest v Sloveniji (SAAS) bistveno dopolnile seznam že obstoječih keramičnih oblik z novimi keramičnimi oblikami, ki nam omogočajo prepoznavanje aktivnosti znotraj gospodinjstev³.

¹ Ščetine naj ne bodo iz kovinskega ali drugega zelo grobega materiala.

² V italijanski terminologiji se za izdelke iz ožgane gline uporablja nadpomenka *concotto*, kar v arheološkem izrazoslovju pomeni izdelek ali del izdelka iz gline ali zemlje, ki je bil sekundarno ali po nesreči žgan oz. ki zahteva le osnovno žganje. Sem sodijo omet, tlak, peči, svitki, ognjiščne koze in t. i. silosi (ustno G. Tasca).

³ Npr. lončarski pripomočki (kalup, peč), tkalski pripomočki (vretence, utež, motek, svitek), ognjiščni pripomoček (ognjiščna koza,



Slika 1. Karta razprostranjenosti silosov (zelena – pozna bronasta in starejša železna doba, črna – starejša železna doba, rdeča – 6.–zač. 4. stol. pr. n. št.).

Figure 1. Distribution map of silos (green – Late Bronze and Early Iron Ages, black – Early Iron Age, red – 6th to early 4th century BC).

Seznam najdišč (k sliki 1):

1. Brecciago (Lago di Como). Odlomek silosa (Merlo, Frigerio 1986, 57), najden znotraj naselbine iz 5. stol. pr. n. št. (De Marinis 1986, 30).
2. Camerano (Lago di Como). Odlomek silosa (Merlo, Frigerio 1986, 58), najden znotraj naselbine iz 5. stol. pr. n. št. (De Marinis 1986, 30).
3. Frattesina (Rovigo). Deset fragmentov. Premier silosa na 64 cm, debelina stene 5 cm (Bellintani 1992, 251, T. 9, 10). Sodijo v 3. fazo naselbine, in sicer v čas 10. in 9. stol. pr. n. št. (Bellintani 1992, 265). Najden je bil odlomek, ki predstavlja tip 89 po Leonardiju (1979, 172, T. 1: 89), ter dva okrašena odlomka iz zgodnje starejše železne dobe (Malnati 2001, fig. 2; slika 10: 3).
4. Gradisca di Spilimbergo (Pordenone). Šestindvajset fragmentov silosov znotraj naselbine iz 5. stol. pr. n. št. (Tasca 2007b, 331–332, T. II: 9–14, III: 15–27).

5. Gradiscutta di Varmo (Videm), lok. Braida San Gottardo (Tasca 2007a, T. 38: 123–124; 39: 125; 40: 126; 52: 159; 62: 186; 71: 220; 73: 228; 93: 293; 116: 375–378; 117: 379; 118: 380–381; 119: 382–383). Št. 375–383 sodijo v čas 6. in 5. stol. pr. n. št., medtem ko št. 123–126 niso datirani (Tasca 2007a, 38).
6. Lovara (Vicenza). Najdeni vsaj trije fragmenti iz zgodnje starejše železne dobe (Moffa 2002, fig. 1: 4–6).
7. Montagnana, lok. *Borgo S. Zeno*. Sedemnajst fragmentov (Tasca 1998, 323–325, št. 1–17; slika 10: 4) znotraj naselbine iz 11.–8. stol. pr. n. št. (Bianchin Citton 1998, 249).
8. Montebello Vicentino (Vicenza). Najdeni odlomki iz pozne bronaste dobe (Fogolari *et al.* 1987, fig. 90: 16) ter odlomki znotraj hiše iz železne dobe (4. in 3. stol. pr. n. št.) (Leonardi *et al.* 2011, 283–284, fig. 30: 107, 109, 115–118, 120).
9. Montereale Valcellina (Pordenone). Štirje odlomki silosov znotraj hiše „Casa dei dolii“ iz 5. stoletja pr. n. št. (Tasca 1996b, 438, fig. 17: 61–64).

prenosno ognjišče, svitek), pripomočki za pridelavo soli (briketi), metalurški pripomočki (talilnik, talilni lonec, kalup, šoba, zatič, deli peči, prenosna peč), astronomski pripomočki (lunarni idol, utež).

10. Monte Lozzo (Padova). Odlomek iz pozne bronaste dobe (Bianchin Citton 1984, 623).

11. Most na Soči. En odlomek neobjavljen; sicer več odlomkov iz hiše 1 (faza 2) (Svoljšak, Dular 2016, T. 7: 1, 3, 4, 6).

12. Oderzo (Treviso). En odlomek na lokaciji Via Savonarola, area SO.PR.I.T., znotraj konteksta s konca 6. in začetka 4. stol. pr. n. št. (Tasca 1996a, 120, fig. 11: 95; Tasca 1992, 157, fig. 6). Na lokaciji Piazza San Pio najdeni odlomki v odpadni jami iz pozne bronaste in starejše železne dobe (Salerno, Tomaello 2004, 38, fig. 1: 1, 2).

13. Padova, lokacija Ex Storione, Canton del Gallo. Najdeni trije odlomki iz 8. stol. pr. n. št. (Leonardi 1976, 105, T. 17: 99–101; slika 10: 1–2). Na lokaciji Via dei Tadi 10–12 najdena dva odlomka s konca 5. in začetka 4. stol. pr. n. št. (Gambacurta, Tomaello 2006–2007, 89, T. 2: 6–7).

14. Pozzuolo (Videm), lokacija Cjastiei. V sondi 4, struktura 1, najdeni odlomki iz pozne bronaste in zgodnje starejše železne dobe (Adam *et al.* 1982, 52, 54, fig. 7;

Càssola Guida, Vitri 1988, 251, 253, fig. 13; velikost 19 × 20 cm).

15. Santorso (Vicenza). Odlomek iz 5.–3. stol. pr. n. št. (Gamba *et al.* 1982, 33, fig. 3d).

16. Štanjel.

17. Udine: cerkev San Francesco – piazza Venerio – via Mercato Vecchio. Najden odlomek silosa z apliciranim rebrom z motivom križa v krogu. Sodi v razvito železno dobo (Vitri *et al.* 1991, 110, fig. 9: 9; slika 10: 5).

18. Trissino (Benečija). Najdeni odlomki silosov v hiši s konca 5. in 4. stol. pr. n. št. (Pirazzini 1995, 136–149, fig. 12: 31).

19. Capannone del Iatte (Altino). Odlomki silosov s konca 5. in 4. stol. pr. n. št. (Grosso 2005, 52, T. VIII: 14).

20. Concordia Sagittaria, lok. Area del Teatro – Quartiere Nord-Ovest. Odlomek iz starejše železne dobe (Salerno 1996, 220, fig. 33: 82).

21. Tabor pri Vrabčah.

22. Debela Griža (Vinazza 2012, sl. 10: 57).

Gospodinjstvo razumemo kot sožitje med strukturo in delovanjem družbenih skupin in posameznikov (Hendon 2004, 272). Arheologom, ki preučujemo materialno kulturo, torej tisto, kar izkopljemo, pa nato izziv predstavlja razlaga različnih aktivnosti posameznega gospodinjstva (Sweitz 2005, 90–91). Ključen pri prepoznavanju aktivnosti znotraj gospodinjstev je reprezentativen vzorec, kar pa primera iz Štanjela in Vrabč po našem mnenju nista zaradi dejstva, da je šlo za izkopavanja manjšega obsega.

Silos⁴

Giovanni Leonardi je leta 1976 kot prvi opredelil silose in uporabil ta termin za odlomke z najdišča Ex storione v Padovi (Leonardi 1976, 105, 117–118, št. 99–102, T. 17). Opisal jih je kot it. *grande contenitore*, kar pomeni velika posoda. V osnovi silos predstavlja veliko ovalno posodo s premerom ustja nad 50 cm (Tasca 1998, 322). Izdelana je iz svaljkov in žgana pri nizkih temperaturah. Silosi so

lahko okrašeni z apliciranimi rebri, ki so po večini gladka, redko razčlenjena z odtisi prstov ali orodja, včasih pa jih krasi tudi vrezan okras. Rebra večkrat tvorijo različne motive (meander, koncentrični krogi, križ ...), redko srečamo tudi modeliran okras, kot so antropomorfne figure. Silos v celoti še ni bil najden, zato je osnovna oblika le delno poznana. Največkrat so ohranjeni deli ostenij oz. svaljki, iz katerih so bili izdelani. Še redkeje se ohrani jo ustja in dna posod z izjemo dveh odlomkov z najdišč Concordia Sagittaria (Salerno 1996, fig. 33: 82) in Gradiscutta presso Varmo (Tasca 2007a, 107, T. 62: 186) v Videmski pokrajini.

Še bolj kot oblika je vprašljiva njihova namembnost. V literaturi prevladujeta dve mnenji, in sicer da so služili fermentaciji vina in/ali piva (Leonardi 1976, 105) ter shranjevanju poljskih pridelkov (Càssola Guida, Vitri 1988, 251). Razlog za različni mnenji je v odsotnosti naravoslovnih analiz, kot je plinska kromatografija⁵, ki na

4 Termin *silos* povzemamo po že uveljavljeni italijanski terminologiji (*vasi silos*). Glede na domnevno funkcijo (glej v nadaljevanju) se nam zdi izraz povsem primeren in v skladu z rabo v slovenskem jeziku. Slovar slovenskega knjižnega jezika pravi: *silos* -a m (i) naprava v obliki stolpa za hranjenje, skladiščenje snovi v razsutem stanju: zgraditi silos; silosi in hladilnice / žitni silos; silos za cement, premog // agr. stolp, jama za konzerviranje zelene krme: spraviti krmo v silos; vrenje krme v silosih (SSKJ).

5 V keramiki, ki je deloma absorbirala tekočino, lahko prepoznamo t. i. markerje, ki nam omogočajo sledenje določenim sestavinam. Pri vinu gre za vinsko kislino (Koh, Betancourt 2010, 16–17). Na tak način je bila namreč dokazana proizvodnja vina v bakreni dobi v Armeniji (lok. Areni – 1 cave) (Barnard *et al.* 2011, 7) in na Kreti v Ierapetri (lok. Isthmus) (Koh, Betancourt 2010, 19–20). Pri analizi vsebine vrča iz Tutankamone grobnice so uspeli določiti, da je šlo za rdeče vino (Guasch-Janè *et al.* 2004, 1677). Da je pridelala-

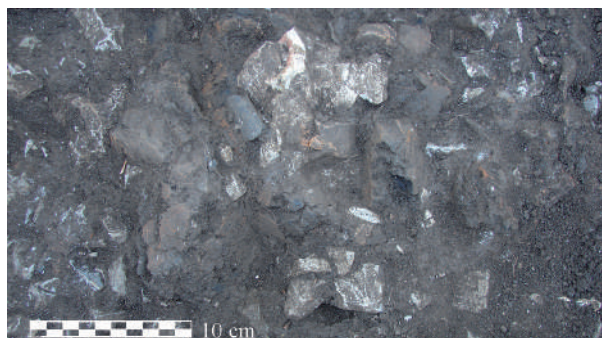
podlagi t. i. markerjev omogoča sledenje določenim sestavinam in posledično sklepanje o namembnosti posod.

Silose poznamo v naselbinah od Lombardije, Benečije, Furlanije (Tasca 1998, 322) do Posočja in Krasa (slika 1)⁶. Najbolj zahodno točko predstavljata najdišči Brecciago in Camerano ob Comskem jezeru (Merlo, Frigerio 1986, 57–61), najbolj vzhodno pa Tabor pri Vrabčah (Josipovič, Vinazza 2014). Pogostejši so v Benečiji, kjer so bili najdeni na najdiščih Frattesina (Leonardi 1979, 172, T. 1: 89; Bellintani 1992, 249, T. 9, 10), Montagnana (Tasca 1998, 323–325, št. 1–17), Montebello Vicentino (Fogolari *et al.* 1987, fig. 90: 16), Lovara (Moffa 2002, fig. 1: 4–6), Monte Lozzo (Bianchin Cifton 1984, 623), Padova (Leonardi 1976, 105, T. 17: 99–101), Oderzo (Tasca 1992, 157, fig. 6; Tasca 1996a, 120, fig. 11: 95; Salerno, Tomaello 2004, 38, fig. 1: 1, 2) in Santorso (Gamba *et al.* 1982, 30–31, fig. 3d). Časovno so opredeljeni v pozno bronasto dobo in/ali začetek starejše železne dobe, le odlomki iz Santorsa sodijo v razvito železno dobo. V Furlaniji jih poznamo z najdišč Montereale Valcellina (Tasca 1996b, 438, fig. 17: 61–65), Gradisca di Spilimbergo (Tasca 2007b, 331–332), Gradiscutta presso Varmo (Tasca 2007a, T. 40: 126; 52: 159; 62: 186; 71: 220; 73: 228; 93: 293; 116: 375–378; 117: 379; 118: 380–381; 119: 382–383), Pozzuolo (Adam *et al.* 1982, 52; Càssola Guida, Vitri 1988, 251, fig. 13) in Videm (Vitri *et al.* 1991, 110, fig. 9: 9). Slednji primeri kažejo nekoliko drugačno časovno pojavnost, saj so vsi z izjemo najdišča Pozzuolo, ki sodi na prehod iz pozne bronaste v starejšo železno dobo, opredeljeni v razvito železno dobo. V Sloveniji je bil poleg primerov iz Vrabč in Štanjela najden odlomek silosa tudi na Debeli Griži pri Volčjem gradu, vendar brez konteksta (Vinazza 2012, sl. 10: 57).

Leta 2011 so na Taboru pri Vrabčah, ki ga je prvi odkril že Carlo Marchesetti (Marchesetti 1903, 54, T. V, fig. 7), potekala zaščitna izkopavanja na območju obzidja in dela notranjosti gradišča, ki na osnovi analize keramičnega gradiva in radiokarbonskih datacij sodita v starejšo železno dobo (8.–7. stol. pr. n. št.) (Josipovič, Vinazza 2014).

va piva potekala na območju severne Italije (*canton Ticino*), kaže makroskopska analiza usedline iz posode iz groba 11 z najdišča Pombia/Quara, v kateri so našli zrno hmelja (Castelletti *et al.* 2001, 109). Grob sodi v 6. stol. pr. n. št. (De Maio *et al.* 2001, 67). V Italiji prav čas železne dobe predstavlja prelomnico, ko pride do udomačene vinske trte (prim. najdišče Montale (*terramare*) (Mercuri *et al.* 2006; Maselli Scotti, Rotoli 2007, 801–802)).

6 Kartirani so vsi odlomki, ki so v literaturi opredeljeni kot silosi.



Slika 2. *In situ* najdeni odlomki silosa.

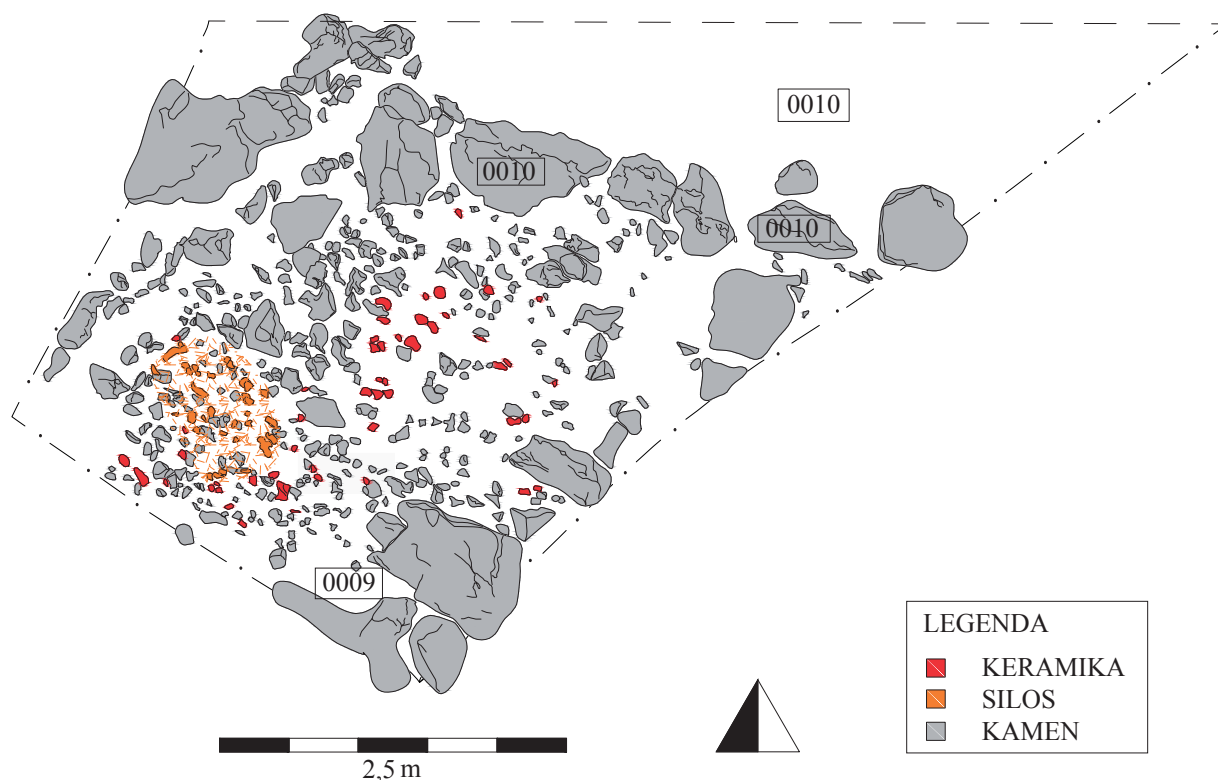
Figure 2. Fragments of a silo *in situ*.

Na notranji strani obzidja smo našli veliko odlomkov keramike, žgane pri nizkih temperaturah (SE 9; slika 2–3), s skupno težo kar 29,9 kg. Vsi odlomki so bili neokrašeni in na vseh (slika 4: 1–3) je bil prepoznan prostoročni način izdelave s svaljki. Menimo, da gre za odlomke *in situ* ohranjenega silosa. Na podlagi večjih odlomkov ohranjenih ostenij je bil izračunan približni premer silosa, ki znaša med 44 in 46 cm (slika 4: 3), vendar dopuščamo možnost večjega premera, saj so bili odlomki komaj ukrivljeni. Delov posod, kot je npr. rob ustja ali dno, nismo našli oz. se kot takšni niso ohranili.

Leta 2010 je bil znotraj gradu na gradišču v Štanjelu izkopen delno ohranjen starejšejzeleznodobni kletni prostor, grajen iz treh suhozidnih kamnitih zidov (Fabec, Vinazza 2014, 591). Del objekta je v začetku 80-ih let 20. stoletja izkopal že Zorko Harej (Harej 1984, 286–287). Tik za južnim zidom (SE 42), zunaj kletnega prostora, je bilo najdenih veliko odlomkov keramike, žgane pri nizkih temperaturah (SE 28), ki predstavljajo dele silosa. Za razliko od odlomkov iz Tabora so v Štanjelu bistveno bolj ohranjeni deli posode. Na podlagi analize keramike in rezultatov radiokarbonskega datiranja sklepamo, da je bil prostor v uporabi med 6. in 5. stol. pr. n. št., v začetku 4. stol. pr. n. št. pa je pogorel (Fabec, Vinazza 2014, 596).

Med odlomki iz Štanjela je ohranjen odlomek silosa z ravno odrezanim robom ustja in razširitvijo na zunanji strani (slika 4: 4). Premer roba ustja znaša 76 cm. Tik pod robom se nahaja aplicirano gladko rebro, na delu katerega so vrezi (slika 4: 5), ki predstavljajo venetski napis⁷,

7 Kot venetskega sta ga opredelila tako dr. Franco Crevatin (*Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Studi Umanistici*) kot



Slika 3. *In situ* najdeni odlomki silosa (po Josipovič, Vinazza 2014).

Figure 3. Fragments of a silo *in situ* (after Josipovič, Vinazza 2014).

ki je bil vrezan pred žganjem. Drugi odlomek ostenja (slika 4: 6) je okrašen z apliciranim vodoravno in navpično potekajočim gladkim rebrom (Vinazza 2011, 82, 87). Skupna teža odlomkov iz Štanjela je znašala 7,4 kg⁸. Odlomki dokazujejo način izdelave s svaljki.

Odlomki silosov iz Tabora in Štanjela predstavljajo odlomke posode, ki je bila prostoročno izdelana iz grobozrnate glinene mase. Masi so bili pridani kalcijev karbonat ter organske sestavine (slika 5), v njej pa so bili prisotni tudi železovi oksidi, ki so naravna sestavina gline kot surovine. Velikost pridanih vključkov kalcijevega karbonata velikokrat presega 2 cm.

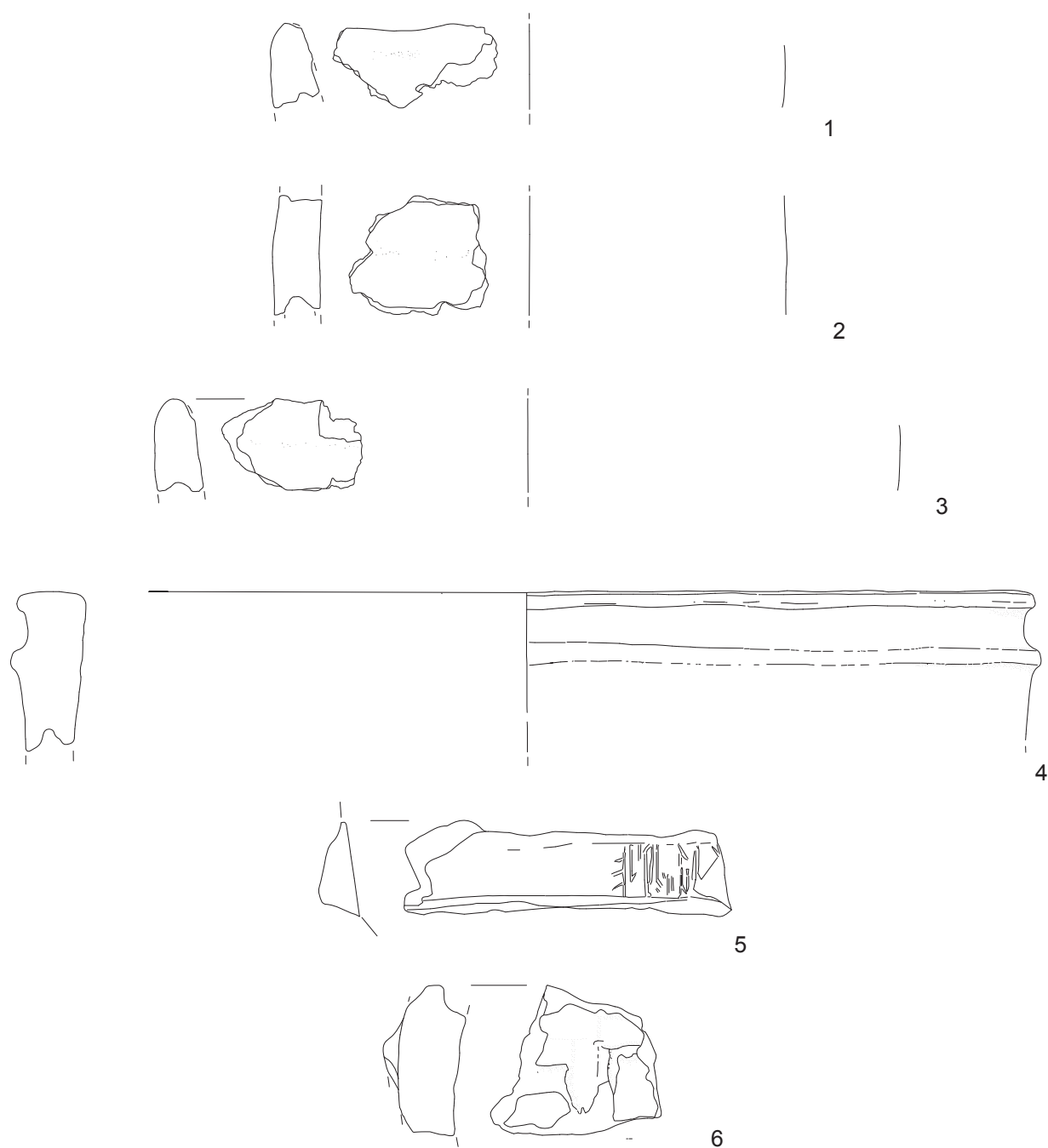
Odlomki silosov iz Tabora in Štanjela so izdelani iz svaljkov (prim. Horvat 1999, 18, sl. 2; it. *colombino*; slika 6),

kar dokazujejo odlomki ostenij. Na preseku odlomka iz Tabora (slika 4: 1, 4) je na spodnjem delu ohranjena „izjeda“ v obliki narobe obrnjene črke „U“, medtem ko imata druga dva odlomka (slika 4: 2, 6) ohranjene sledi odlomljenega zgornjega dela svaljka. Oblikovanja s svaljki dokazujejo tudi površinske sledi, kot so pomanjkljiva dodelava površine in odtisi prstov (slika 7), zlasti na mestih, kjer so se svaljki stikali. Višina svaljkov je med 4 in 6 cm (prim. tudi Tasca *et al.* 2003, 268–271) in so višji kot pri drugih keramičnih posodah. Običajno je višina svaljka dvakrat večja od debeline stene.

Površina izdelkov je groba, zravnana je le glina med zrni (delci), zato je na otip neravna, ostra. Trdota je 7 do 8 po Mohsu, žganje pa nepopolno oksidacijsko. Barva površine variira od svetlo rdeče do rjave oz. svetlo rjave, včasih so na zunanji površini vidne rjave lise.

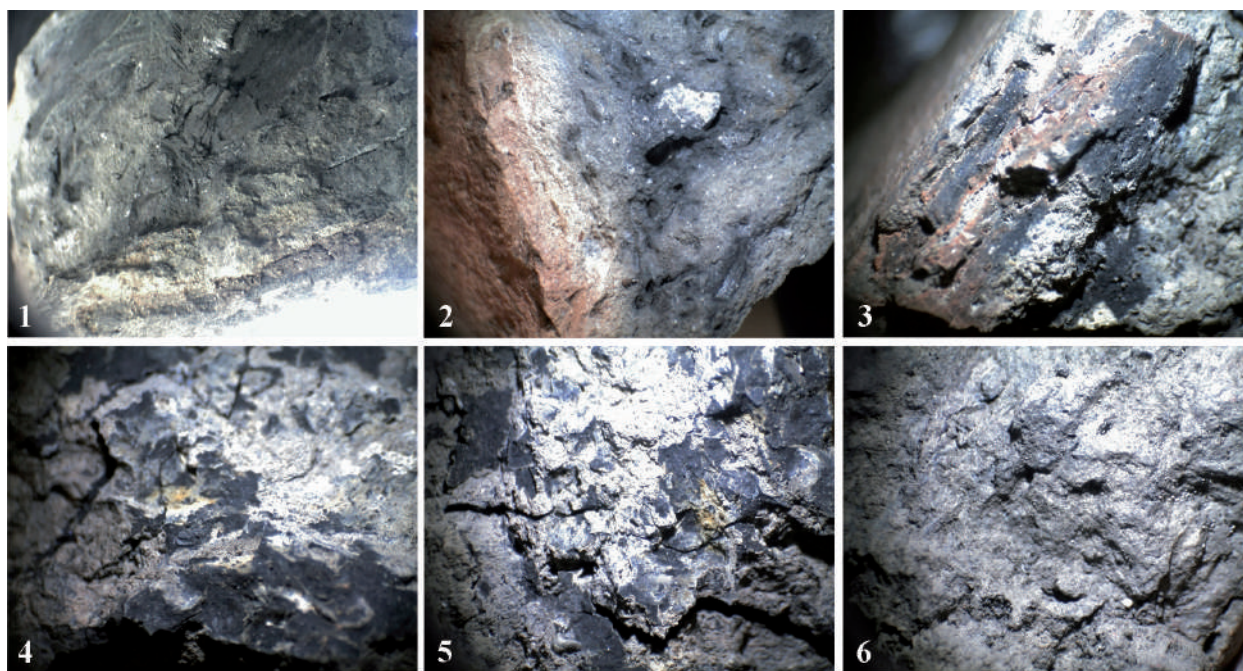
tudi dr. Luka Repanšek (Oddelek za primerjalno in splošno jezikoslovje, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani), za kar se jima najlepše zahvaljujem.

8 Domnevamo, da niso bili najdeni vsi deli silosa, saj se izkopavanja v smeri proti jugu, zunaj kletnega prostora, niso nadaljevala.



Slika 4. Silosi iz Tabora pri Vrabčah (1–3) in Štanjela (4–6). M. 1–4, 6 = 1 : 5, 5 = 1 : 2 (po Josipovič, Vinazza 2015, T. 14: 207–209; Vinazza 2011, T. 12: 128–130).

Figure 4. Silos from Tabor near Vrabče (1–3) and Štanjel (4–6). Scale 1–4, 6 = 1 : 5, 5 = 1 : 2 (after Josipovič, Vinazza 2015, Pl. 14: 207–209; Vinazza 2011, Pl. 12: 128–130).



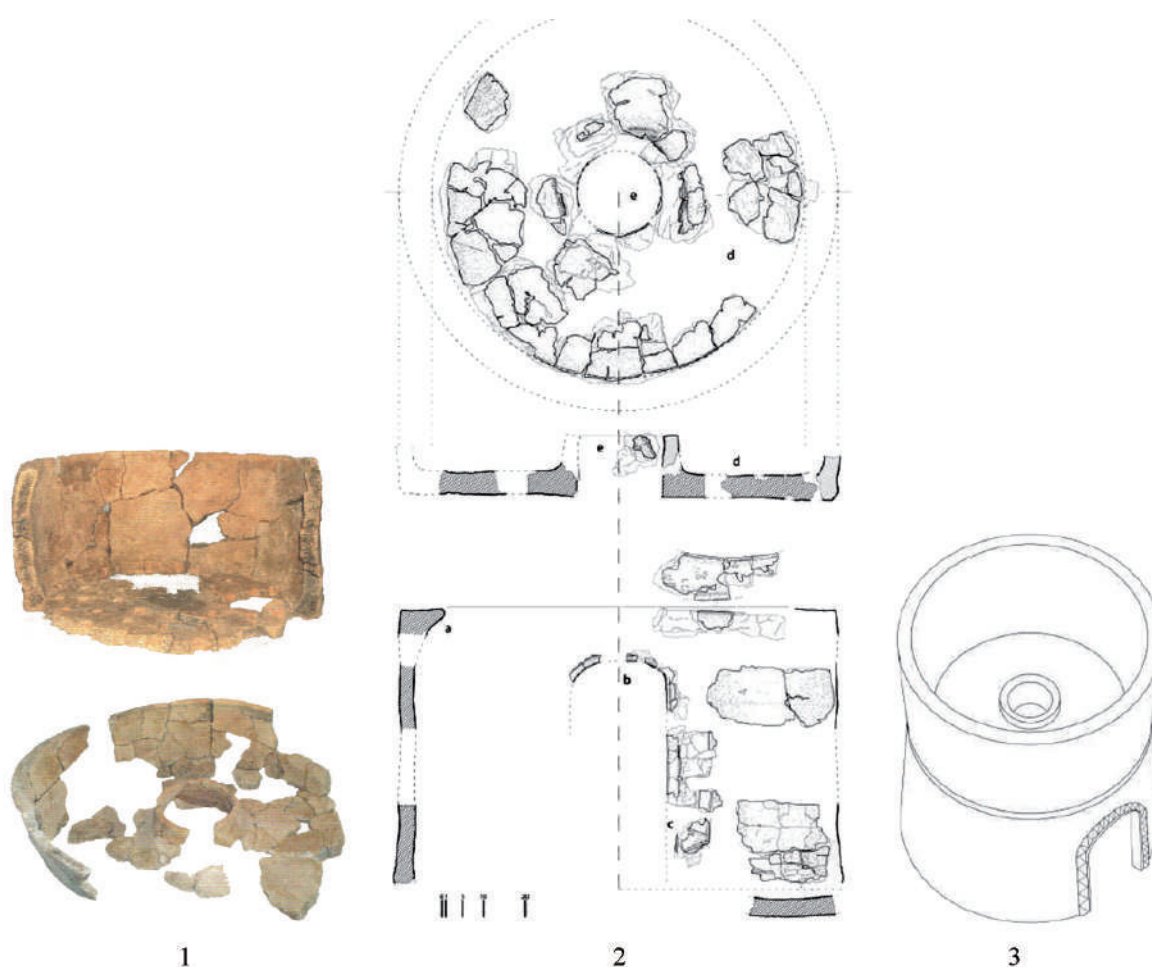
Slika 5. Organski vključki in kalcijev karbonat na 10-kratni povečavi silosov. 1–2 Štanjel, 3–6 Tabor pri Vrabčah.
 Figure 5. Organic inclusions and calcium carbonate in silo sherds, 10× magnification. 1–2 Štanjel, 3–6 Tabor near Vrabče.



Slika 6. Značilen stik dveh svaljkov.
 Figure 6. Characteristic contact of two clay coils.



Slika 7. Zgornji (zgoraj) in spodnji (spodaj) del nekdanjega svaljka.
 Figure 7. Upper (top) and lower (bottom) part of a clay coil.



Slika 8. Prenosna peč z najdišča San Giorgio di Valpollicella (1) (po Gamba *et al.* 2013, 11.2.2.1–11.2.2.2), prenosna peč z najdišča Oderzo (2) in njena rekonstrukcija (3) (po Groppo 2014, Fig. 3).

Figure 8. Portable kiln from San Giorgio di Valpollicella (1) (after Gamba *et al.* 2013, 11.2.2.1–11.2.2.2), portable kiln from Oderzo (2) and its reconstruction (3) (after Groppo 2014, Fig. 3).

Prenosne peči

Silosi so zaradi načina izdelave pogosto zamenjani s prenosnimi pečmi (in ne pečkami) ter okrašenimi stenskiimi glinenimi oblogami⁹, tj. oblikami, ki se prav tako

⁹ V literaturi srečamo tudi poimenovanje (okrašen) stenski (glinen/ilovnat) omet, okrasne plošče, glinaste plošče, nazadnje glinene obloge (prim. Svoljšak, Dular 2016). Gre za gradbene elemente, s katerimi so bile notranje stene hiš obložene s tankimi stenskimi opekami (oblogami), čez njih je bil položen omet (prim. Lazar 2006, 33). V literaturi se za te obloge večkrat uporablja termin stenski omet, vendar to ni v skladu z definicijo, saj omet nastane kot posledica ometavanja in je zelo tanek. Obloge so med drugim bistveno

pojavljajo predvsem v starejšeeželeznodobnih kontekstih severne Italije in zahodne Slovenije.

Dvodelna prenosna peč je tista, ki je najlažje zamenljiva s silosi, saj se ujemajo njune debeline sten, način lomljenja na mestih nekdanjih svaljkov in način izdelave. Je valjaste oblike, dno pa ima po celotni površini številne odprtine premera 2 cm (rešetka). Drugi del peči predstavlja pokrov, tudi valjaste oblike, v sredini pa ima večjo

debelejšo (nad 2 cm) in imajo večkrat ohranjene predrtine, ki so služile pritrdjevanju na steno (prim. Svoljšak, Dular 2016, T. 5: 1–2; 6: 8; 19: 1; 49: 1; 77: 16, 18, 21; 85: 10; 87: 1,3).

odprtino za dim (Gamba *et al.* 2013, 11.2.2.1–11.2.2.2, 391–392). Takšna peč je bila najdena v jami na lokaciji Via Dalmazia v Oderzu (Treviso, Benečija, Italija), znotraj sicer že znane naselbine (Ruta Serafini, Balista 1999). Po zaslugi visoke stopnje ohranjenosti je bila možna njena rekonstrukcija (Groppo 2014, fig. 3; slika 8 – desno). Vendar ne gre za osamljen primer. Na najdišču Pozzuolo so v odpadni jami iz 6. in 5. stol. pr. n. št. našli ostanek prenosne peči z ohranjeno luknjo za dim (Tasca 2014), na podlagi najdb trikotnih podpornikov pa lahko domnevamo, da gre za takšno peč tudi v primerih iz Vidma, lokacija San Francesco, in Padove, lokacija San Lorenzo (Tasca 2014; Bonato *et al.* 2010, 25). Domnevamo, da tudi odlomek silosa iz Frattesine (prim. Bellintani 1992, T. 9: 1) predstavlja zgornji del prenosne peči z odprtino za kamin. Najbolje ohranjena prenosna peč je z najdišča San Giorgio di Valpollicella (Benečija) (slika 8 – levo). Njen premer znaša 60,5 cm, v višino meri 30 cm. Višina zgornjega dela (pokrova) znaša 20 cm, premer 60,5 cm, debelina ostenij pa je 3,3 cm. Najdena je bila znotraj pravokotnega bivalnega objekta iz 5. in 4. stol. pr. n. št. (Gamba *et al.* 2013, 11.2.2.1–11.2.2.2, 391–392).

Stenske glinene obloge

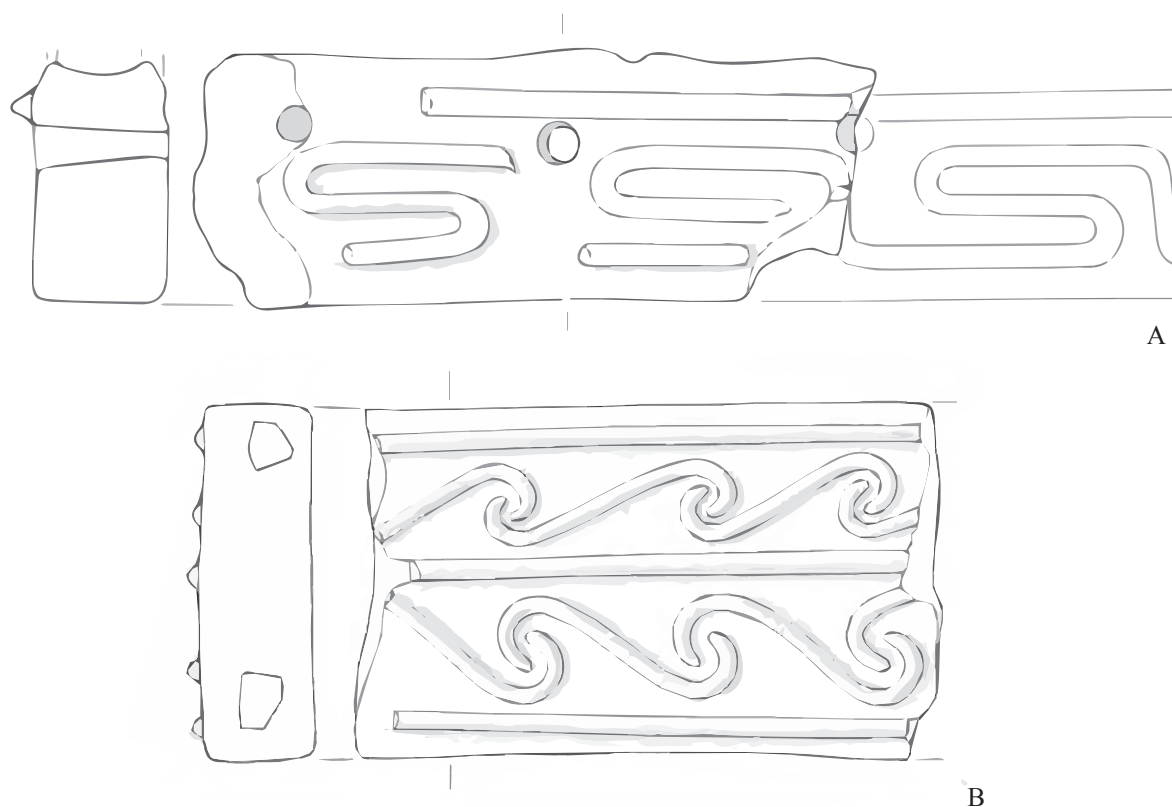
Drugo obliko predstavljajo okrašene stenske glinene obloge, ki se pojavljajo dlje časa na širšem prostoru. Poznamo jih že v mlajši kameni dobi iz hiše na najdišču Rocca di Rivoli v Italiji (Barfield 1966) s primerjavami na Balkanskem polotoku (Barfield, Wardle 2005, 82) ter iz bronaste dobe iz domnevne hiše ob glavnem zidu na Monkodonji (Hänsel *et al.* 2015, 139, sl. 90. 2). V zgodnjo ali srednjo bronasto dobo sodi tudi primer s spiralnim motivom okrašene glinene obloge (opredeljena kot hišni lep) iz jame na najdišču Platt na Spodnjem Avstrijskem (Kultus 2014, 224, Abb. 21). Vsi ti zgodnejši primeri na nam bližjem območju so posamezne oz. izjemne najdbe. Porast okrašenih glinenih oblog je opazen v pozni bronasti dobi, kar sklepamo na osnovi najdišča Nyergesújfalu (županija Komárom na Madžarskem) iz starejše faze kulture žarnih grobišč (Smolnik 1996, 96, Abb. 15: 2). Drugi odlomki z najdišč Burgstallkogel (Smolnik 1996, 96, Abb. 15: 3), Nyergesújfalu (Patek 1968, 133, T. CXI: 7) in Isera – La Torretta (Pedrotti 2000, fig. 41; Barfield, Wardle 2005, 82) sodijo ali v bronasto ali železno dobo. Na prehod v starejšo železno dobo (stopnja Ha B3–C1) sodi odlomek iz Ormoža (Lamut 1988–1989, 240, T. 19: 1), domnevno pa tudi odlomek iz jame 274 (Dular, Toma-

nič Jevremov 2010, T. 120: D8). Med boljše ohranjenimi je okrašena glinena obloga z najdišča Montereale Valcellina¹⁰, ki izhaja iz znamenite „Casa dei dolii“ in je v višino ohranjena kar 25,6 cm, njena značilnost pa je konkavna oblika. Najdena je bila skupaj s keramiko s konca 5. in 4. stoletja pr. n. št. (Gamba *et al.* 2013, 401–402). V čas med 5. in 3. stoletjem sodi tudi glinena obloga z najdišča Coazze (Gazzo Veronese), ki je bila sprva opredeljena kot ognjiščna koza (prim. Salzani 1976, 169–170). Najbolje ohranjeni primeri pa prihajajo iz starejšeželeznodobnega naselja na Mostu na Soči, kjer so v zasutju lončarske peči med drugim našli 22 fragmentov takšnih oblog (prim. Svoljšak 2014, 293, sl. 8–9). Najdene pa so bile tudi ob predelni steni nad tlemi v ruševinah hiš 1, 11, 15, 15A, 23, 29 (Svoljšak, Dular 2016, 51, 95, 174, T. 7: 1, 3–4, 6; 39: 1–3, 5; 47: 1; 78: 5; 93: 4). Obloge so bistveno debelejšje (nad 2 cm) kot ostenja silosov in imajo večkrat ohranjene predrtine, ki so služile pritrdjevanju na steno (prim. Svoljšak, Dular 2016, T. 5: 1–2; 6: 8; 19: 1; 49: 1; 77: 16, 18, 21; 85: 10; 87: 1, 3), bile pa so navpične ali vodoravne (slika 9). Drugje v Sloveniji jih poznamo še s prekmurskega najdišča Kotare-Baza (Kerman 2011, 109, G631) in Sermina v slovenski Istri (Sakara Sučević 2008, 51, Tav. 2: 21).

Glinene obloge se torej pojavljajo v istem času kot silosi in prenosne peči, vendar prav številni primeri z najdišča Most na Soči omogočajo boljše razumevanje te oblike. Imajo namreč dve osnovni značilnosti, in sicer predrtino, ki je vodoravna ali navpična in je služila pritrdjevanju na steno, ter način lomljenja, saj so prelomi praviloma oglati.

Za vse tri obravnavane keramične oblike, silos, prenosne peči in glinene obloge, smo določili parametre za določanje osnovnih oblik (tab. 1), ki jih lahko upoštevamo le v primeru, da so se v arheološkem kontekstu dovolj dobro ohranili. Pri tem se nam upravičeno pojavlja pomislek o pravilni opredelitvi vseh do sedaj objavljenih in kot takšnih opredeljenih silosov, predvsem zato, ker raziskovalci praviloma objavljajo le največje, najlepše (okrašene) in najbolj razpoznavne odlomke ter povečini brez natančnih najdiščnih podatkov. Prav zato menimo, da je prikazana karta razprostranjenosti silosov nekoliko popačena (slika 7).

¹⁰ V objavi iz leta 1996 je opredeljena kot silos (prim. Tasca 1996b, 438).



Slika 9. Stenska glinena obloga z navpičnim (A) in vodoravnim (B) načinom pritrdjevanja (po Svoljšak, Dular 2016, T. 5: 1; 87: 1).

Figure 9. Terracotta plaques with holes for either vertical (A) or horizontal (B) attachment to the wall (after Svoljšak, Dular 2016, Pls. 5: 1; 87: 1).

Silos	ustje (edini zaključni del), ovalna oblika posode, premer nad 50 (večinoma nad 70) cm, na prelomih odlomkov vidne sledi oblikovanja s svaljki, večja količina fragmentov na manjšem prostoru, okras (vtisi, aplicirana rebra, modeliranje)
Prenosna peč	deli rešetke, odprtina za dim, ovalna oblika stene, trikotni podporniki, na prelomih odlomkov vidne sledi oblikovanja s svaljki, večja količina odlomkov na manjšem prostoru
Stenska glinena obloga	ravna in/ali blago ukrivljena glinena plošča, predrtina (vodoravna ali navpična) za namestitev, distančnik za namestitev obloge na steno, številni zaključni (vogalni) deli*, praviloma pravokotne/kvadratne oblike, na prelomih odlomkov ni vidnih sledi oblikovanja s svaljki

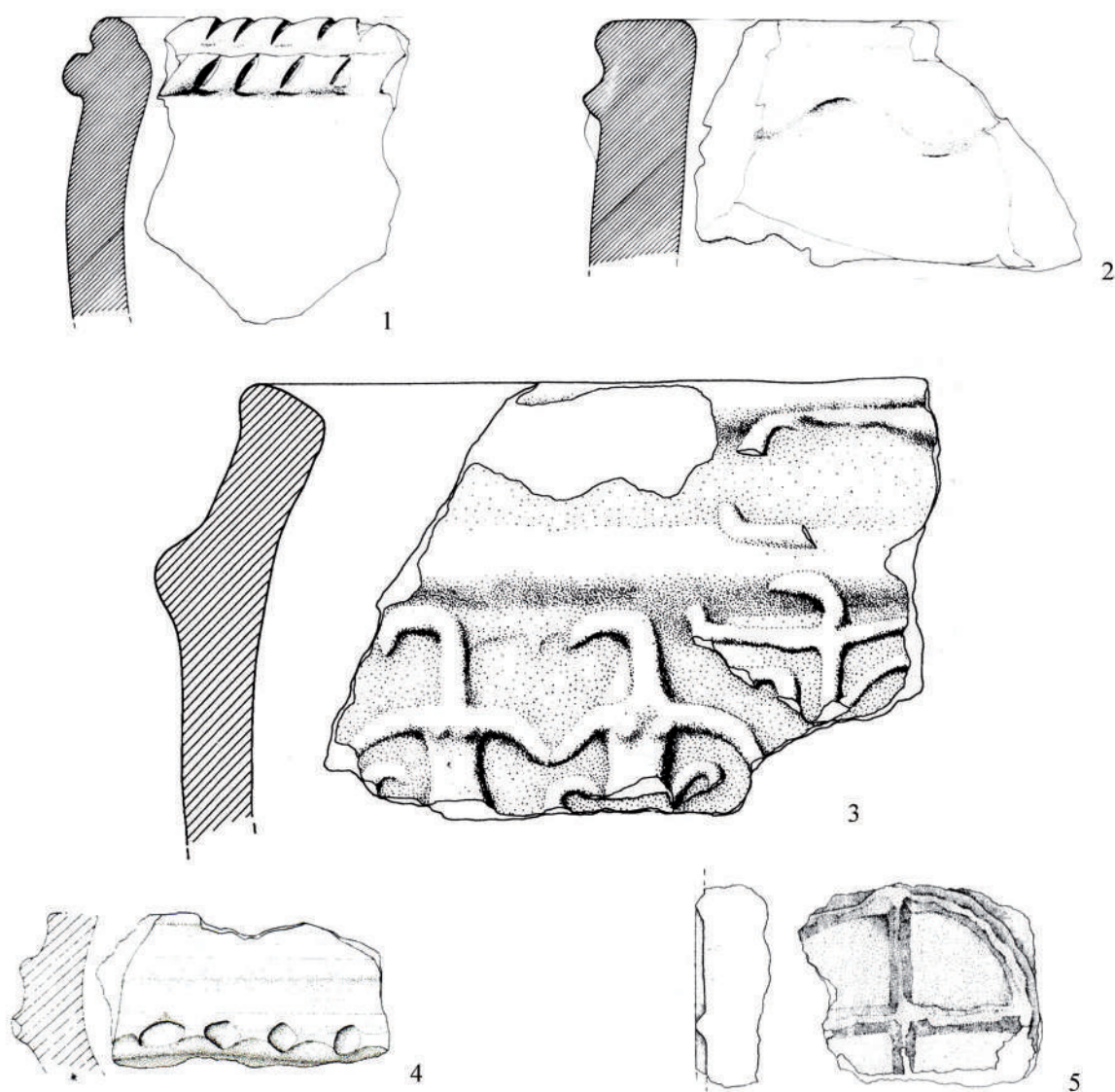
Tabela 1. Posamezni elementi, značilni za določanje posameznih oblik, predstavljajo osnovne parametre za določanje posameznih oblik, obravnavanih v tekstu.

Table 1. Characteristic features as the basic parameters for determining the different ceramic objects discussed in the contribution.

* Glineno oblogo lahko zlahka zamenjamo tudi za ognjiščno kozo (prim. Salzani 1976).

Na osnovi danes poznanih primerov silosov lahko podamo njihove osnovne tipološke značilnosti. Več avtorjev je to že poskušalo, vendar le na primerih znotraj posameznih najdišč (npr. Gambacurta, Tomaello 2006–2007). Kljub temu da je ta oblika v italijanski arheologiji poznana že okrog 40 let, ne poznamo preglednega članka na to temo.

Glede na vse ohranjene odlomke ostenij silosov ni dvoma, da gre za posode ovalne oblike s premerom nad 50 cm. Osnovno obliko ustja predstavlja ravno odrezan rob, ki je na zunanji strani razširjen, na notranji (slika 10: 1, 3; tip 1a) poševno odrezan (slika 9: 3) ali ni preoblikovan (slika 10: 2; tip 1b). Pri opredeljevanju ustja moramo biti previdni, da ga ne zamenjamo s tistimi deli silosov,



Slika 10. Ustja in okrašena ostenja silosov. 1–2 Padova, 3 Frattesina, 4 Montagnana, 5 Udine*. Ni v merilu.

Figure 10. Rim forms and decoration on silos. 1–2 Padova, 3 Frattesina, 4 Montagnana, 5 Udine. Not to scale.

* Glej *Seznam najdišč* (str. 8–9).

pri katerih gre za nekdanje svaljke (prim. slika 4: 1, 3). Bistveno bolj raznovrstni so okras, kot je vtiskovanje (tip 1) prstov ali orodja (slika 10: 4). Najbolj pogosta so aplicirana rebra (tip 2), ki so lahko vodoravna, navpična in/ali krožna (slika 10: 5). Naslednji okras je modeliranje (tip 3), pri katerem gre za različne motive, kot so svastika, spirala, trikotniki, križ, antropomorfne in zoomorfne figure (slika 10: 6). Izkazalo se je, da se različni tipi ustij in okrasa pojavljajo tako v bronasti kot tudi železni dobi na širšem prostoru.

Zaključek

V pozni bronasti in starejši železni dobi so bili silosi v uporabi na širšem prostoru od Komskega jezera (*Lago di Como*) v Italiji do Krasa v Sloveniji. Zaradi načina izdelave in slabe ohranjenosti predlagamo parametre za njihovo lažjo opredelitev in opozarjamo na možnost zamenjave predvsem s prenosnimi pečmi, medtem pa so glinene obloge, v kolikor so dovolj dobro ohranjene, bistveno manj zamenljive s silosi.

Kot je domneval že Leonardi (1976, 105), so silosi služili proizvodnji vina vsaj ob koncu starejše železne dobe, kar domnevamo tudi na podlagi najdb iz Štanjela. Kot posreden dokaz namreč razumemo odkritje več zoglelenih pešk udomačene vinske trte (*Vitis vinifera* cf. *vinifera*), najdene znotraj kletnega prostora stavbe (Fabec *et al.* 2014). Da je imel štanjelski silos poseben pomen, morda kaže tudi venetski napis, ki glede na časovno opredelitev silosov (6.–5. stol. pr. n. št.) sodi v skupino najstarejših napisov v Sloveniji (prim. Lejeune 1974, 13; Istenič 1985, 313). To pa še ne pomeni, da niso bili uporabni za shranjevanje živil (žit). Namembnosti silosa iz Vrabč zaenkrat še ne moremo ugotoviti, saj se je ohranil v drugačnem okolju kot ta iz Štanjela, kajti v Štanjelu je požar botroval ohranitvi arheobotaničnih ostankov. Dokončno razlago bomo morda lahko podali šele po pridobitvi rezultatov plinske kromatografije¹¹.

Silosi v vsej svoji razdrobljenosti razkrivajo nov element znotraj posameznih gospodinjstev v pozni bronasti in starejši železni dobi na širšem prostoru *Caput Adriae* in predstavljajo eno od značilnih oblik tega časa.

¹¹ Analizirana sta bila odlomka silosa tako iz Vrabč kot Štanjela, vendar rezultati še niso na voljo.

Silos – special ceramic forms. Contribution to the knowledge of the Early Iron Age households in the Karst region

(Summary)

The contribution presents a group of hitherto undetermined ceramic containers, called as silos (or vasi silos in Italian), recovered from several Early Iron Age sites in western Slovenia. As opposed to other pottery forms such as jars, bowls, lids and so forth, they are made of clay that was either unfired or fired at low temperatures, and hence poorly preserved and generally recovered in highly fragmented states.

Silos are large cylindrical containers with a rim diameter exceeding 50 cm (Tasca 1998, 322). They are made of clay coils and in some instances decorated with applied cordons with finger or tool impressions, sometimes with incisions. The complete form of these silos remains unknown.

We know even less of their use. There are two main interpretations: as a container for either wine and/or beer production (Leonardi 1976, 105) or for storing cereals (Càssola Guida, Vitri 1988, 251).

Finds of silos have come to light in settlements from Lombardy in Italy (Tasca 1998, 322) to the Karst region in Slovenia (Figure 1). The contribution presents in more detail two examples from Tabor near Vrabče (Figures 2–3, 5) and Štanjel (Figures 4–5).

Given the lack of knowledge on their form, it is easy to confuse them with objects such as portable kilns and terracotta plaques. They are often found in the same settlements and in the same time frames. To avoid confusion, we propose a series of distinguishing parameters (Table 1).

Based on their typological characteristics, we defined two types bearing the decoration of cordons and three types bearing other decoration, keeping in mind that the same silo types may have been used in different periods and areas.

Silos offer a new insight into the activities taking place in the households of the Late Bronze and Early Iron Ages in the area of Caput Adriae and represent one of the typical forms of the time.

Literatura / References

- ADAM, A. M., P. CÀSSOLA GUIDA, M. MORETTI, S. VITRI 1982, Insediamento protostorico (Scavi 1980–81). Pozzuolo del Friuli (Udine). – *Relazioni* 1, 47–67.
- BARFIELD, L. 1966, Excavations on the Rocca di Rivoli (Verona) 1963. – *Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona* XIV, 1–100.
- BARFIELD, L., D. WARDLE 2005, The white house at Rivoli Veronese. – *Quaderni di archeologia del Veneto* XXI, 81–85.
- BELLINTANI, P. 1992, Frattesina di Fratta Polesine: il materiale ceramico conservato presso il museo Civico di Rovigo. Classificazione, suddivisione in fasi e la loro considerazione sulla cronologia del Bronzo Finale nella pianura Padana orientale. – *Padusa* XXVIII, 245–299.
- BIANCHIN CITTON, E. 1984, Il bronzo finale. – V/In: A. Aspes (ur./ed.), *Il Veneto nell'antichità. Preistoria e protostoria* II, Verona, 617–630.
- BIANCHIN CITTON, E. 1998, L'insediamento di Montagnana – Borgo S. Zeno. – V/In: E. Bianchin Citton, G. Gambacurta, A. Ruta Serafini (ur./eds.), “presso l'Adige ridente”. *Recenti rinvenimenti archeologici da Este e Montagnana*, Padova, 247–304.
- BARNARD, H., A. N. DOOLEY, G. ARESHIAN, B. GASPARYAN, K. F. FAULL 2011, Chemical evidence for wine production around 4000 BCE in Late Chalcolithic Near Eastern highlands. – *Journal of Archaeological Science* 38-5, 977–984.
- BONATO, S., C. DESTRO, S. MAZZOCCHIN, E. TOMAELLO, S. TUZZATO 2010, Nuovi dati sull'abitato di IX–VIII sec. A. C. e sull'edilizia pubblica romana da nuovo scavo presso il ponte di S. Lorenzo a Padova. – *Archeologia Veneta* XXXIII 2010, 8–43.
- CÀSSOLA GUIDA, P., S. VITRI 1988, La ceramica dei castellieri. – V/In: T. Miotti (ur./ed.), *I Castelli del Friuli* VII, Videm, 221–259.
- CASTELLETI, L., A. MASPERO, S. M. DE CARLO, R. PINI, C. RAVAZZI 2001, Il contenuto del bicchiere della t. 11. – V/In: F. M. Gambari (ur./ed.), *La birra e il fiume. Pombia e le vie dell'Ovest Ticino tra VI e V secolo a. C.*, Torino, 107–111.
- DE MARINIS, R. 1986, L'abitato protostorico di Como. – V/In: *Como fra Etruschi e Celti. Catalogo della mostra*, Como, 25–38.
- DI MAIO, P., F. M. GAMBARI, F. GERNETTI, S. PIROTTO, M. SQUARTANTI, I corredi ed i reperti. – V/In: F. M. Gambari (ur./ed.), *La birra e il fiume. Pombia e le vie dell'Ovest Ticino tra VI e V secolo a. C.*, Torino, 25–93.
- DULAR, J., M. TOMANIČ JEVREMOV 2010, Ormož. Utrjeno naselje iz pozne bronaste in starejše železne dobe / Ormož. Befestigte Siedlung aus der späten Bronze- und der älteren Eisenzeit. – *Opera Instituti archaeologici Sloveniae* 18, Ljubljana.
- FABEC, T., M. VINAZZA 2014, Štanjel. – V/In: B. Teržan, M. Črešnar (ur./eds.), *Absolutno datiranje bronaste in železne dobe na Slovenskem / Absolute dating of Bronze and Iron Ages in Slovenia*. – *Katalogi in monografije* 40, Ljubljana, 595–602.
- FABEC, T., T. TOLAR, M. VINAZZA 2014, Il sito protostorico di Štanjel (Slovenia). – V/In: *Preistoria e protostoria del Caput Adriae. Convegno: riassunti, comunicazioni e poster*, Udine: <http://www.iipp.it/wp-content/uploads/2014/09/abstract-totali-pdf.pdf> (dostop, 14. 11. 2016).
- FOGOLARI, G., E. BIANCHIN CITTON, A. DE GUIO, A. RUTA SERAFINI 1987, La fine dell'età del Bronzo e la civiltà paleoveneta. – V/In: *Storia di Vicenza I. Il territorio, la preistoria, l'età romana*, Vicenza, 106–119.
- GAMBA, M., N. PANOZZO, S. TUZZATO 1982, Osservazioni su una sequenza stratigrafica a Santorso (Vicenza). – *Archeologia veneta* 5, 21–35.
- GAMBA, M., G. GAMBACURTA, A. RUTA SERAFINI, V. TINÉ, F. VERONESE (ur./eds.) 2013, *Venetkens. Viaggio nella terra dei veneti antichi*. Venezia.
- GAMBACURTA, G., E. TOMAELLO 2006–2007, La sequenza protostorica in via dei Tadi 10–12 a Padova: analisi delle strutture e tipologia dei materiali. – *Archeologia Veneta* XXIX–XXX, 79–133.
- GROPPO, V. 2005, Ceramica d'impasto. – V/In: A. Zaccaria Ruggiu, M. Tirelli, G. Gambacurta (ur./eds.), “*Fragmenta*”. *Altino tra Veneti e Romani. Scavo scuola 2000–2002*, Venezia, 33–58.

- GROPPO, V. 2014, Il forno ad elementi mobili di Oderzo (TV), via Dalmazia. – V/In: Preistoria e protostoria del Caput Adriae. Convegno: riassunti, comunicazioni e poster, Udine: <http://www.iipp.it/wp-content/uploads/2014/09/abstract-totali-pdf.pdf> (dostop, 14. 11. 2016).
- GUASCH-JANÈ, M. R., M. IBERN-GÓMEZ, C. ANDRÈS-LACUEVA, O. JÁUREGUI, R. M. LAMUELA-RAVENTÓS 2004, Liquid Chromatography with Mass Spectrometry in Tandem Mode Applied for the Identification of Wine Markers in Residues from Ancient Egyptian Vessels. – *Analytical Chemistry* 76-6, 1672–1677.
- HÄNSEL, B., K. MIHOVILIĆ, B. TERŽAN 2015, *Monkodonja. Istraživanje protourbanog naselja brončanog doba Istre. Knjiga 1. Iskopavanje i nalazi građevina / Forschungen zu einer protourbanen Siedlung der Bronzezeit Istriens. Teil 1. Die Grabung und der Baubefund.* – Monografije i katalogi 25, Arheološki muzej Istre, Pula.
- HAREJ, Z. 1984, Štanjel. – *Varstvo spomenikov* 26, 286–287.
- HENDON, J. A. 2004, Living and Working at Home: The Social Archaeology of Household Production and Social Relations. – V/In: L. Meskell, R. W. Preucel (ur./eds.), *A Companion to Social Archaeology*, Malden, 272–286.
- HORVAT, M. 1999, *Keramika. Tehnologija keramike, tipologija lončenine, keramični arhiv.* – Razprave Filozofske fakultete, Ljubljana.
- KOH, A. J., P. P. BETANCOURT 2010, Wine and olive oil from an early Minoan I hilltop fort. – *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, vol. 10, no. 2, 15–23: http://www.rhodes.aegean.gr/maa_journal/2_Betancourt.pdf (dostop: 10. 5. 2011).
- ISTENIČ, J. 1985, Zapisi v venetski pisavi na Koroškem in v Sloveniji. – *Zgodovinski časopis* 39/4, 313–334.
- JOSIPOVIČ, D., M. VINAZZA 2014, Il sito protostorico di Tabor presso Vrabče (Slovenia). – V/In: Preistoria e protostoria del Caput Adriae. Convegno: riassunti, comunicazioni e poster, Udine: <http://www.iipp.it/wp-content/uploads/2014/09/abstract-totali-pdf.pdf> (dostop, 14. 11. 2016).
- JOSIPOVIČ, D., M. VINAZZA 2015, *Končno strokovno poročilo o arheološki raziskavi Arheološko dokumentiranje/raziskava ob gradnji na Taboru pri Vrabčah (EŠD 7323 Tabor pri Vrabčah - Arheološko najdišče Tabor).* Ljubljana.
- KERMAN, B. 2011, *Kotare-Baza pri Murski Soboti.* – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 17, Ljubljana.
- KULTUS, M. 2014, Platt. – *Fundberichte aus Österreich* 53, 223–225.
- LAMUT, B. 1988–1989, Kronološka skica prazgodovinske naselbine v Ormožu. – *Arheološki vestnik* 39–40, 235–276.
- LAZAR, I. 2006, *Ilovica pri Vranskem.* – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 1, Ljubljana.
- LEJEUNE, M. 1974, *Manuel de la langue vénète.* Heidelberg.
- LEONARDI, G. 1976, Insediamenti. – V/In: G. Fogolari, A. M. Chieci Bianchi (ur./eds.), *Padova Preromana*, Padova, 71–225.
- LEONARDI, G. 1979, Il bronzo finale nell'Italia nord-orientale. Proposte per una suddivisione in fasi. – V/In: *Atti della XXI riunione scientifica. Il bronzo finale in Italia, Firenze 21–23 ottobre 1977. In memoria di Ferrnate Rittatore Vonwiller*, Firenze, 155–188.
- LEONARDI, G., A. FACCHI, M. MIGLIAVACCA 2011, Una casetta seminterrata dell'età del ferro a Montebello Vicentino, Vicenza, Italia. – *Preistoria Alpina* 45, 243–292.
- MALNATI, L. 2001, L'alba dell'età del ferro nel Veneto: due frammenti di pithoi figurati da Frattesina. – *Quaderni di archeologia del Veneto* XVII, 158–164.
- MARCHESETTI, C. 1903, *I castelliere preistorici di Trieste e della regione Giulia.* Trieste.
- MASELLI SCOTTI, F., M. ROTOLI 2007, Indagini archeobotaniche all'Ex Essiccatoio nord di Aquileia: i resti vegetali protostorici e romani. – *Antichità Altoadriatiche* LXV, 783–816.

- MERCURI, A. M., C. ACCORSI, M. BANDINI MAZZANTI, G. BOSI, A. CARDARELLI, D. LABATE, M. MARCHESINI, G. TREVISAN GRANDI 2006, Economy and environment of Bronze Age settlements – Terramaras – on the Po Plain (Northern Italy): first results from the archaeobotanical research at the Terramare di Montale. – *Vegetation History and Archaeobotany* 16, 43–60.
- MERLO, R., G. FRIGERIO 1986, L'abitato. Tecnologia edilizia. – V/In: *Como fra Etruschi e Celti. Catalogo nella mostra*, Como, 41–61.
- MOFFA, C. 2002, Frammenti di concotto dall'area della struttura 1 dell'abitato della prima età del ferro di Lovara. – V/In: A. Aspes (ur./ed.), *Preistoria veronese. Contributi e aggiornamenti*, Verona, 172–174.
- PATEK, E. 1968, *Die Urnenfelderkultur in Transdanubien*. – *Archaeologia Hungarica* XLIV, Budapest.
- PEDROTTI, A. 2000, Il neolitico. – V/In: M. Lanzinger, F. Marzatico, A. Pedrotti (ur./eds.), *Storia del Trentino. La preistoria e la protostoria* 1, Bologna, 19–181.
- PIRAZZINI, C. 1995, I materiali. Nuovi dati dallo scavo dell'abitato d'altura di Trissino (VI). – V/In: R. Poggiani Keller (ur./ed.), *Atti del II Convegno Archeologico Provinciale* 3, Grosio, 136–149.
- RUTA SERAFINI, A., C. BALISTA 1999, Oderzo: verso la formazione della città. – V/In: *Protostoria e Storia del „Venetorum angulus“*. *Atti del XX Convegno di Studi Etruschi ed Italici (16–19 ottobre 1996)*, Pisa–Roma, 73–90.
- SALERNO, R. 1996, Concordia Sagittaria. I materiali. – V/In: L. Malnati, P. Croce Da Villa, E. Di Filippo Balestrazzi (ur./eds.), *La Protostoria tra Sile e Tagliamento. Le antiche genti tra Veneto e Friuli*, Padova, 220–232.
- SALERNO, R., E. TOMAELLO 2004, La produzione ceramica tra bronzo finale e prima età del ferro. – V/In: E. Bianchin Citton, *Alle origini di Treviso. Dal villaggio all'abitato dei Veneti antichi*, Treviso, 38–39.
- SALZANI, L. 1976, Coazze. – V/In: A. Aspes, G. Rizzetto, L. Salzani, *3000 anni fa a Verona. Dalla fine dell'età del bronzo all'arrivo dei romani nel territorio veronese*, Verona, 169–170.
- SAKARA SUČEVIĆ, M. 2008, Sermino protostorica e i castellieri del litorale sloveno. – V/In: R. Auriemma, S. Karinja (ur./eds.), *Terre di mare. L'archeologia dei paesaggi costieri e la cariazione climatiche. Atti del Convegno Internazionale di Studi, Trieste, 8-10 novembre 2007*, Trst, Piran, 44–56.
- SMOLNIK, R. 1996, *Der Burgstallkogel bei Kleinklein II. Die Keramik der vorgeschichtlichen Siedlung*. Veröffentlichung des vorgeschichtlichen Seminars Marburg, Sonderband 9, Marburg.
- SVOLJŠAK, D. 2014, Lončarjeva delavnica ob "obrtni poti" v železnodobni naselbini na Mostu na Soči / Pottery workshop on the 'artisans's street' in the Iron age settlement at Most na Soči. – V/In: S. Tecco Hvala (ur./ed.), *Studia Praehistorica in Honorem Janez Dular*. – Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 30, Ljubljana, 287–295.
- SVOLJŠAK, D., J. DULAR 2016, *Železnodobno naselje Most na Soči. Gradbeni izvidi in najdbe / The Iron age settlement at Most na Soči. Settlement structures and small finds*. – Opera instituti archaeologici Sloveniae 33, Ljubljana.
- SWEITZ, S. R. 2005, *On the periphery of the periphery: Household Archaeology at Hacienda San Juan Bautista Tabi, Yucatán, Mexico*: <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-4614-1496-4> (dostop, 20. 12. 2016).
- TASCA, G. 1992, I manufatti in impasto ceramico non vascolare. – V/In: C. Balista, A. Ruta Serafini, Oderzo, via Savonarola (area SO.PRI.T. 1990). Uno scavo stratigrafico d'urgenza in ambito protourbano (nota preliminare). – *Quaderni di archeologia del Veneto* VIII, 150–166.
- TASCA, G. 1996a, I materiali (Oderzo). – V/In: L. Malnati, P. Croce Da Villa, E. Di Filippo Balestrazzi (ur./eds.), *La Protostoria tra Sile e Tagliamento. Le antiche genti tra Veneto e Friuli*, Padova, 119–121.
- TASCA, G. 1996b, Elementi in terracotta (Montereale Valcellina). – V/In: L. Malnati, P. Croce Da Villa, E. Di Filippo Balestrazzi (ur./eds.), *La Protostoria tra Sile e Tagliamento. Le antiche genti tra Veneto e Friuli*, Padova, 437–440.

TASCA, G. 1998, I vasi silos. – V/In: E. Bianchin Citton, G. Gambacurta, A. Ruta Serafini (ur./eds.), “*presso l’Adige ridente*”. *Recenti rinvenimenti archeologici da Este e Montagnana*, Padova, 322–325.

TASCA, G., D. CALLARI, I. LAMBERTINI 2003, Gradiscutta di Varmo: campagna di scavo 2003. – *Quaderni Friulani di Archeologia* XIII, 268–271.

TASCA, G. 2007a, Evidenze protostoriche nel territorio del comune di Varmo. – V/In: M. Buora (ur./ed.), *Presenze romane nel territorio del Medio Friuli*, Videm, 13–252.

TASCA, G. 2007b, I reperti concotti. – V/In: P. Càssola Guida (ur./ed.), *Gradisca di Spilimbergo (Pordenone). Indagini di scavo in un castelliere protostorico 1987–1992*. – Studi e ricerche di protostoria mediterranea 7, Rim, 315–347.

TASCA, G. 2014, I concotti del castelliere di Pozzuolo (trincea E4). – V/In: *Preistoria e protostoria del Caput Adriae. Convegno: riassunti, comunicazioni e poster*, Udine: <http://www.iipp.it/wp-content/uploads/2014/09/abstract-totali-pdf.pdf> (dostop, 14. 12. 2016).

VINAZZA, M. 2011, *Prazgodovinski Štanjel na Krasu – izkopavanja 2010*. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo, Ljubljana (neobjavljeno/unpublished).

VINAZZA, M. 2012, Prazgodovinska keramika z gradišča Debela griža. Raziskave in pomen volčjegrajskega gradišča. – V/In: M. Guštin (ur./ed.), *Volčji grad*, Komen, 39–59.

VITRI, S., M. LAVARONE, E. BORGNA, S. PETTARIN, M. BUORA 1991, Udine dall’età del bronzo ad età altomedievale. – *Antichità Altoadriatiche* CCCVII, 71–122.

Spletni vir / Web source

Splet 1/Web 1: http://www.archeoveneto.it/portale/wp-content/filemaker/stampa_scheda_estesa.php?recid=146 (dostop, 14. 11. 2016).

Identifikacija izvora surovin za izdelavo kamenih orodij z rentgensko fluorescenčno spektroskopijo (XRF)

Identifying the origin of the raw materials in lithic productions using X-ray fluorescence spectroscopy (XRF)

© Tina Berden

tinaberden@hotmail.com

© Matej Dolenc

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, smudut@siol.net

Izvleček: V članku predstavljamo poskus uporabe rentgenske fluorescenčne spektroskopije (XRF) pri identifikaciji izvora surovin za izdelavo kamenih orodij. Z omenjeno metodo smo analizirali 274 kamenih orodij s štirih prazgodovinskih arheoloških najdišč v Prekmurju (Pod Kotom-sever pri Krogu, Kalinovnjek pri Turnišču, Gornje njive pri Dolgi vasi 2 in Pod Grunti – Pince). Rezultate analiz smo statistično primerjali z rezultati analiz drugih raziskovalcev, da smo iz morebitnega ujemanja med njimi lahko sklepali na provenienco materiala. Ugotovili smo, da je bila večina odbitkovnih orodij izdelana iz kamnin, najdenih na območju Panonske nižine, večina glajenih orodij pa je bila verjetno izdelana iz lokalnih in regionalnih kamnin.

Ključne besede: kamena orodja, arheometrija, rentgenska fluorescenčna spektroskopija, XRF, prazgodovina, Prekmurje

Uvod

Kamena orodja igrajo pomembno vlogo pri arheološkem proučevanju človekovega vedenja v prazgodovini, še posebej v t. i. predkovinskih obdobjih, iz katerih so pogosto edini ohranjeni ostanki nekdanje človekove dejavnosti v določenem prostoru (Andrefsky 1998, 1, 40; Odell 2004, 1, 9). Določanje provenience surovin, iz katerih so bila izdelana (ang. *sourcing*), nam daje informacije o naravnih nahajališčih surovin za njihovo izdelavo, omogoča študije gibanja ljudi v določenem prostoru ter študije socialnih in trgovskih interakcij med ljudmi.

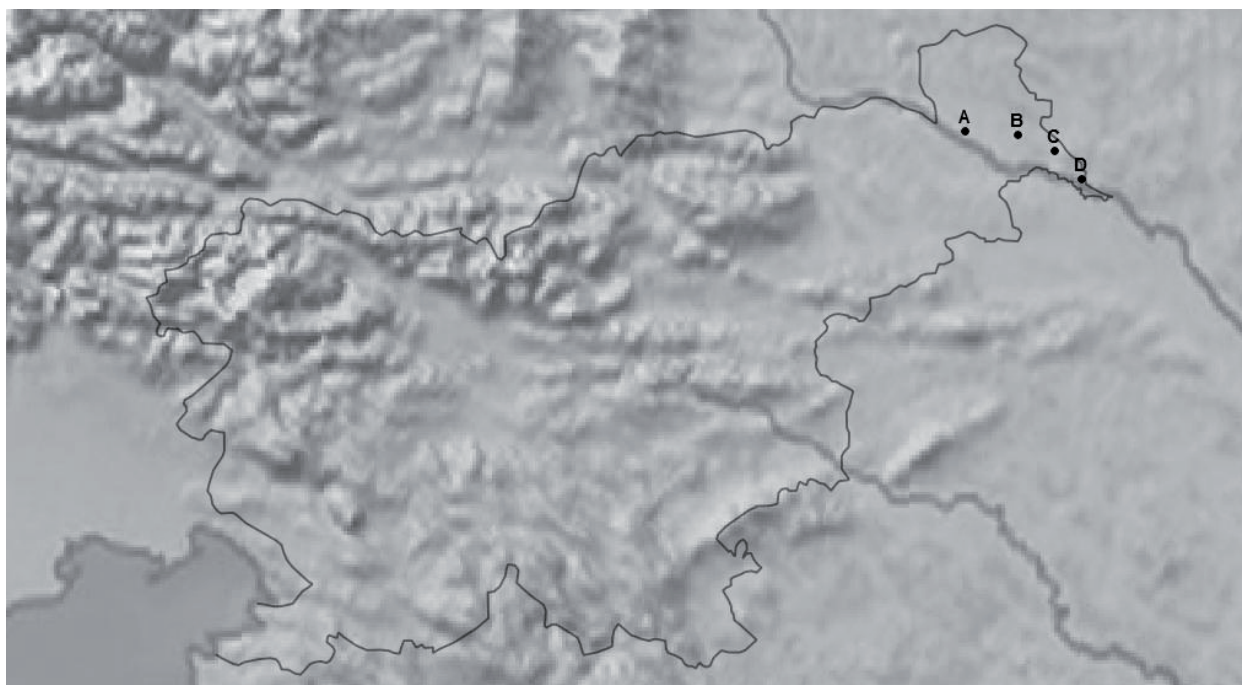
Slovenski arheologi provenienco surovin za izdelavo kamenih orodij večinoma iščejo s pomočjo makroskopskih analiz (Buser 1980; isti 1987; Lubšina Tušek 1993, 50–51; Turk, Turk 2004a, 54–55; ista 2004b, 180–181; Kavur 2005a; isti 2005b; isti 2010a, 56, 58; isti 2010b, 148–150; isti 2011, 50; isti 2012, 46–47; isti 2013, 47–48; Horvat 2006; Petru 2008; Črešnar 2009; Turk, Turk, Turk 2014), ki pa lahko kljub odličnemu petrološkemu znanju arheologa dajejo zavajajoče rezultate. Nanje namreč močno vplivajo geološko znanje arheologa, njegove izkušnje ter osebni kvalitativni kriteriji. Tudi sama identifikacija minerala ali kamnine je lahko vse prej kot

Abstract: The contribution presents the application of X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) in identifying the origin of the raw materials used in the manufacture of stone tools. Our analysis involved 274 stone tools from four prehistoric archaeological sites in the Prekmurje region in Slovenia (Pod Kotom-sever near Krog, Kalinovnjek near Turnišče, Gornje njive near Dolga vas 2 and Pod Grunti – Pince). The results were then statistically compared with those of other researchers and, based on the obtained statistical correlations, inferences were drawn as to the provenance of the raw materials. The results show that most chipped stone tools were made of materials found in the Pannonian Plain and that the raw material for most of the polished stone tools probably came from locally and regionally available sources.

Keywords: stone tools, archaeometry, X-ray fluorescence spectroscopy (XRF), prehistory, Prekmurje

enostavna. V primeru opazovanja drobnostnih kamnin namreč stežka prepoznamo zrna posameznih mineralov, določene vrste mineralov in kamnin pa lahko med sabo ločimo le z uporabo kemičnih analiz (Henderson 2000, 299; Odell 2004, 28, 32; Andrefsky 2009, 77–78; Bustillo *et al.* 2009, 182; Rapp 2009, 26–27, 47, 75). Zanesljivejši dokazi o izvoru določene surovine lahko pridobimo z arheometričnimi raziskavami, pri katerih lahko z instrumentalnimi tehnikami za ugotavljanje mineralne in kemične sestave ter strukture in teksture kamnine natančno določimo izvor posamezne surovine. Arheometrične preiskave kamenih orodij s slovenskih arheoloških najdišč so se večinoma osredotočale na prostor med Jadranskim morjem in Ljubljansko kotlino (Peloi 1996; Petru 1997; Montagnari Kokelj 2001; Montagnari Kokelj *et al.* 2001; isti 2006; Alberti *et al.* 2007; Bernardini 2007; Bernardini *et al.* 2008; isti 2009a; isti 2009b; isti 2010; isti 2011a; isti 2011b; isti 2011c; isti 2011d; isti 2014a; isti 2014b; isti 2014c; Velušček 2010, 71; Velušček, Čufar 2014, 50–51), medtem ko je prostor vzhodne Slovenije ostal spregledan, kar poskušamo delno spremeniti s predstavljenim raziskavo.

S cilji identifikacije provenience surovin za izdelavo kamenih orodij ter testiranja uporabnosti raziskovalne teh-



Slika 1. Lokacije obravnavanih arheoloških najdišč: A – Pod Kotom-sever pri Krogu, B – Kalinovnjek pri Turnišču, C – Gornje njive pri Dolgi vasi 2, D – Pod Grunti – Pince.

Figure 1. Locations of the archaeological sites discussed in the text: A – Pod Kotom-sever near Krog, B – Kalinovnjek near Turnišče, C – Gornje njive near Dolga vas 2, D – Pod Grunti – Pince.

nike in metodologije za nadaljnje podobne raziskave smo z eno izmed arheometričnih raziskav, tj. z rentgensko fluorescenčno spektrometrijo (XRF), analizirali 274 jedrnih in odbitkovnih kamenih orodij ter glajenih sekir s štirih prekmurskih prazgodovinskih arheoloških najdišč (slika 1): Pod Kotom-sever pri Krogu (Kerman 2011), Gornje njive pri Dolgi vasi 2 (Kerman 2013b), Kalinovnjek pri Turnišču (Kerman 2013a) in Pod Grunti – Pince (Kerman *v tisku*).

Metodologija

Sam raziskovalni pristop pri določanju provenience surovin, iz katerih so bila izdelana kamena orodja, temelji na predpostavki O. Helma, da je za vsako kamnino ali mineral značilna določena elementna sestava (beri: kombinacija glavnih in slednih kemičnih prvin), ki predstavlja njen „prstni odtis“ in jo loči od kamnin ali mineralov enake vrste na drugih geografskih lokacijah (Goffer 2007, 26, 42; Pollard *et al.* 2014, 625). „Prstni odtis“ kamnine

in minerala lahko „razberemo“ z različnimi naravoslovnimi preiskavami – v predstavljenem primeru z rentgensko fluorescenčno spektroskopijo (XRF).

Rentgenska fluorescenčna spektrometrija spada v skupino rentgenskih spektroskopskih metod in temelji na emisiji karakterističnih rentgenskih žarkov, značilnih za kemične prvine, ki sestavljajo vzorec. Pri analizah površino vzorca obsevamo z visokoenergijskimi rentgenskimi žarki. Elektroni rentgenskih žarkov lahko zaradi svoje hitrosti in energije v elektronskih orbitalah določenih elementov iztrgajo oziroma odbijejo elektrone, ki se nahajajo v njih, ter pri tem oddajo fotoelektrone. Atom zaradi manjkajočih elektronov postane ioniziran in nestabilen, zato želi nadomestiti manjkajoče elektrone v posamezni orbitali z elektroni iz zunanjih orbital. Ob „skoku“ elektrona iz zunanje orbitale v orbitalo bližje jedru atoma pride do presežka energije in emisije sekundarnih rentgenskih žarkov oziroma fotonov, torej do pojava fluorescence. Večina sekundarnih rentgenskih

žarkov se absorbira v okolici (elementi od vodika – H_2 – do natrija – Na), določen delež pa doseže analizator, kjer lahko z merjenjem njihovih valovnih dolžin in intenzitete določamo prisotnost določenih kemijskih elementov v vzorcih in njihovo koncentracijo. „Surove“ podatke nato kalibriramo z uporabo internih in mednarodno priznanih standardov (NIST, CCRM, USGS), da jih lahko primerjamo z rezultati drugih svetovnih laboratorijev in statistično obdelamo (Andrefsky 1998, 42; Henderson 2000, 15–16; Odell 2004, 34; Bernardini 2007, 9; Goffer 2007, 35; Pollard *et al.* 2007, 93–104; Rapp 2009, 22; Shackley 2011, 16–18, 33; Splet 1; Splet 2).

Največji prednosti uporabe XRF sta njena nedestruktivnost (analizirani predmetovi se običajno sploh ne dotaknemo) in univerzalnost (rezultati merjenja nam dajo razmeroma širok spekter podatkov). Gre za hitro metodo (za analiziranje posameznega predmeta porabimo 5–6 minut ali manj), ki je, v primerjavi z drugimi primerljivimi metodami, razmeroma poceni. Razvoj tehnologije je pripeljal tudi do razvoja in uporabe prenosnih analizatorjev, s katerimi je razmeroma lahko rokovati in omogočajo *in situ* analize. Ena izmed glavnih pomanjkljivosti metode je dejstvo, da nam pokaže zgolj povprečno kemično sestavo površine analiziranega predmeta, saj rentgenski žarki lahko prodrejo maksimalno 200 mikronov globoko. Rezultate analiz lahko popačijo tudi razne nepravilnosti na površini vzorcev in delci okoliškega sedimenta, ki so se sprijeli s površino predmeta, izpostavljenega zelo visokim temperaturam (npr. krakelirani roženci). Težave lahko predstavlja tudi velikost predmetov, saj je iz predmetov, večjih od merilne mizice, treba izdelati manjše vzorce, kar pomeni poškodbe na artefaktih; problematično pa je lahko tudi analiziranje predmetov, krajših od 10 mm in ožjih od 2 mm, kar rešujemo z izborom ožje zaslonke, ki zmanjša analizirano površino (Andrefsky 1998, 42–43; Mantler, Schreiner 2000, 4, 7; Odell 2004, 34–35; Pollard *et al.* 2007, 11, 106–109, 118–119; Verna 2006, 76, 87; Rapp 2009, 22; Desnica 2011, 188–189; Shackley 2011, 8–10).

V okviru študije smo analizirali že inventarizirane arheološke artefakte z zgoraj naštetih arheoloških najdišč, ki jih hranijo v depojih Pomurskega muzeja, tj. dostopna odbitkovna in jedrna kamena orodja ter glajene sekire z dobro dokumentiranim najdiščnim kontekstom, torej z znano lego v stratigrafskem zapisu (za Katalog analiziranih arheoloških artefaktov glej Berden 2015, Pril. 1).



Slika 2. Prenosni XRF analizator NITON GOLDD XL3t+ (foto: M. Udovič, NTF).

Figure 2. Portable XRF NITON GOLDD XL3t+ analyser (photo: M. Udovič, NTF).

Ker pravila pristojnega muzeja ne dovoljujejo izvajanja drugih destruktivnih analiz, na artefaktih nismo delali svežih lomov, prav tako nismo dodatno čistili površine z acetonom ali alkoholom.

274 artefaktov smo v obdobjih 24.–27. 5. 2014 in 2.–3. 4. 2015 analizirali s prenosnim spektralnim analizatorjem NITON XL3t+ GOLDD 900S-He z MINING modulom proizvajalca Thermo Scientific (slika 2), ki je bil med analizami pritrjen na pripadajočo laboratorijsko mizico. Velikost večine artefaktov je dovoljevala uporabo standardne, 8-milimetrske zaslonke, pri artefaktih z manjšo površino pa smo zaradi zmanjšanja vpliva ozadja morali zaslonko zmanjšati na 3 mm. Na analizirano mesto smo v času merjenja dovajali helij (He) zaradi lažje detekcije lažjih elementov (Mg, Si, Al, P, S, Cl). Čas merjenja je bil omejen na 150–152 sekund. Ob izbiri obsevane površine smo bili pozorni, da zaslonka ni zajela površine, kontaminirane s permanentnim markerjem oziroma prozornim lakom za nohte, posledice označevanja artefaktov z inventarnimi številkami.

Pri analizah smo merili vrednosti 11 glavnih elementov (Si, Al, K, Fe, Ca, Ti, Mn, Cl, P, S, Mg), katerih vrednosti so podane v odstotkih (%), ter 19 slednih elementov (Ba, Sb, Sn, Mo, Nb, Zr, Sr, Rb, Bi, As, Se, Au, Pb, W, Zn, Cu, Co, Cr, V), katerih vrednosti so podane v mg/kg. Večino artefaktov smo zaradi homogenosti kamninskega materiala analizirali enkrat, v primeru nehomogenih materialov (npr. serpentinit, amfibolit, diabaz, filit, peščenjak) pa smo predmet analizirali večkrat in nato iz vseh meritev izračunali povprečne vsebnosti merjenih elementov.

Statistično obdelavo podatkov smo izvedli s programom Statistica 10. V prvem koraku smo operirali zgolj z vrednostmi glavnih elementov. Uporabili smo analizo glavnih komponent (PCA) (slika 3) in diskriminantno analizo, da smo ločili posamezne vrste kamnin. Posamezno statistično identificirano vrsto kamnine smo makroskopsko pregledali s pomočjo digitalne lupe, opažanja primerjali z rezultati analiz njene kemične sestave in jo poimenovali. V naslednjem koraku smo operirali z vrednostmi glavnih in slednih elementov. Uporabili smo združevalno oziroma klustersko analizo (hierarhični drevesni diagrami, Wardova metoda), da smo znotraj posamezne identificirane vrste kamnine preverili obstoj morebitnih različic kamnine, ki se razlikujejo glede na kemično sestavo. V naslednjem koraku smo ponovili klustersko analizo. Dobljene podatke smo tokrat primerjali z rezultati XRF analiz geoloških vzorcev iz objavljenih referenčnih zbirk tujih kolegov (Biró, Dobosi 1991; Biró *et al.* 2000), iskali obstoj morebitnih statistično značilnih zvez ter v primeru statističnega ujemanja med rezultati analiz določili geografski izvor kamnine. V primeru obstoja ali neobstoja šibkih korelacij smo predvidevali, da kamnina izvira iz najbližjega naravnega primarnega ali sekundarnega nahajališča (slika 4 – šrafirana območja).

Rezultati

Pod Kotom-sever pri Krogu

Arheološko najdišče Pod Kotom-sever pri Krogu (EŠD 15525) (slika 1: A) se nahaja jugozahodno od vasi Krog, ob cesti, ki vodi v Bakovce. Odkrito je bilo leta 1998 z ekstenzivnimi arheološkimi terenskimi pregledi pred izgradnjo avtoceste na odseku MP 03/2 Vučja vas–Beltinci. Zaradi indikativnih površinskih najdb so v obdobju oktober 1998–oktober 1999 pod vodstvom B. Djurića, I. Šavel in B. Kermana opravili intenzivni površinski pregled, ki so mu v obdobju 26. 5.–29. 9. 2001 sledila zavarovalna arheološka izkopavanja pod vodstvom B. Kermana in B. Kavurja, med katerimi so raziskali 24.000 m² površine na območju načrtovane trase avtoceste (Kerman 2003, 213; isti 2011, 5–9, 15; isti 2014b).

Izkopavanja so odkrila dve keramični posodi iz zgodnje bronaste dobe, naselbino iz srednje in pozne bronaste dobe, halštatsko keramiko, poznolatensko-zgodnjeantično naselbino, bojevniški grob iz poznega latena, zgo-

dnjeslovansko keramiko in srednjeveške jame (Kerman 2003; isti 2011; isti 2014b).

Analizirali smo dve kameni orodji (za rezultate analiz glej Berden 2015, 51, Tab. 2), okvirno (za razpravo glej Berden 2015, 46–49) iz obdobja bronaste dobe.

Z XRF analizami smo ugotovili, da oba artefakta pretežno sestavlja kremenica (SiO₂); makroskopski pregled artefaktov je pokazal, da gre v obeh primerih verjetno za roženec, ki prehaja v opal. Združevalna oziroma klusterska analiza je pokazala, da roženca ne izvirata iz istega naravnega nahajališča, saj sta pokazala statistično značilno ujemanje z rezultati XRF analiz referenčnih geoloških vzorcev z dveh različnih naravnih nahajališč (Biró, Dobosi 1991; Biró *et al.* 2000). Izvor surovine za njuno izdelavo postavljamo na okrog 300 km¹ oddaljeno območje Severnomadžarskega hribovja (slika 4: 1).

Kalinovnjek pri Turnišču

Arheološko najdišče Kalinovnjek pri Turnišču (slika 1: B) se nahaja na območju jugozahodno od Turnišča in severovzhodno od vasi Lipa. Odkrito je bilo leta 2005 z ekstenzivnimi arheološkimi terenskimi pregledi pred izgradnjo avtoceste na odseku MP 03/3 Beltinci–Radmožanci. Zaradi indikativnih površinskih najdb so v obdobju april–junij 2006 pod vodstvom B. Kermana opravili intenzivni površinski pregled, ki so mu v obdobju 20. 9.–28. 11. 2006 sledila zavarovalna arheološka izkopavanja pod vodstvom B. Kermana, med katerimi so raziskali 23.000 m² površine na območju načrtovane trase avtoceste (Kerman 2013a, 5–11).

Izkopavanja so odkrila ostanke naselbine iz poznega neolitika in bakrene dobe, antične naselbine, zgodnjelovanske keramike in novoveških vkopov, za katere avtor objave dopušča možnost naravnega nastanka (Kerman 2010; isti 2013a).

Analizirali smo 58 kamenih orodij – 50 odbitkovnih orodij in osem glajenih sekir (za rezultate analiz glej Berden 2015, 80–82, Tab. 23) iz obdobja lasinjske kulture, kulture keramike z brazdastim vrezom in premešanih prazgodovinskih plasti (neopredeljeni ostanki iz lasinjske kulture in kulture keramike z brazdastim vrezom) (Kerman 2013a, 5–11).

¹ Vse navedene razdalje so podane kot zračne razdalje, merjene v programu Google Earth.

rožencev, ki so prihajali iz okrog 300 km oddaljenega območja Severnomadžarskega hribovja (slika 4: 1) in še neznanih lokacij.

Glajena orodja so izdelovali iz amfibolitov, ki so prihajali iz še neznane lokacije, kvarcitov, ki so morda prihajali iz okrog 30 km oddaljenega severozahodnega Goriškega (slika 4: 5), in serpentinitov, ki so jih morda nabirali na območju vsaj 10 km oddaljenih prodišč ob Muri (slika 4: 8).

Kar se tiče sprememb strategij pridobivanja surovin za izdelavo kamenih orodij skozi čas, med obdobjem lasinjske kulture in obdobjem kulture keramike z brazdastim vrezom ni opaziti bistvenih razlik. V obdobju kulture keramike z brazdastim vrezom sicer izginejo orodja iz amfibolitov in serpentinitov, vendar to dejstvo pripisujemo predvsem različnim funkcionalnim zahtevam in manjšemu številu raziskanih arheoloških struktur iz tega obdobja.

Gornje njive pri Dolgi vasi 2

Arheološko najdišče Gornje njive pri Dolgi vasi 2 (del EŠD 15532) (slika 1: C) se nahaja ob cesti Mostje–Dolga vas, na območju vzhodno od struge Kobiljanskega potočka in zahodno od lendavske obvoznice. Odkrito je bilo leta 1997 z ekstenzivnimi arheološkimi pregledi pred izgradnjo lendavske obvoznice, ki so jim v obdobju junij–december 2004 zaradi spremembe trase načrtovane avtoceste MP 04/2 Lendava–Pince sledili dodatni terenski pregledi. Zaradi indikativnih površinskih najdb so v decembru 2004 in aprilu 2005 pod vodstvom B. Djurića, B. Kermana in I. Šavel opravili intenzivni površinski pregled, ki so mu v obdobju 29. 5.–10. 8. 2006 sledila zavarovalna arheološka izkopavanja pod vodstvom B. Kermana, v katerih so raziskali 25.600 m² površine na območju načrtovanih zemeljskih del (Kerman 2013b, 5–11, 410; Šavel, Kerman 2014).

Izkopavanja so odkrila naselbinske ostanke iz bakrene dobe, jamo s skledo in naselbinske ostanke iz pozne bronzaste dobe, dve jami z latensko keramiko in ostanke antične² ter srednjeveške naselbine (Kerman 2013b).

Analizirali smo 12 artefaktov – 10 odbitkovnih orodij in dve kamniti sekiri (za rezultate analiz glej Berden 2015, 109, Tab. 29) iz obdobja kulture keramike z brazdastim vrezom, ki mu zelo verjetno pripada tudi šest artefaktov iz paleoornice (Kerman 2013b).

S kombinacijo analize glavnih komponent (PCA) in diskriminantne analize smo identificirali dve različni kamnini. Obe statistično identificirani vrsti kamnin smo makroskopsko pregledali s pomočjo digitalne lupe, opažanja primerjali z rezultati analiz njune kemične sestave in ju poimenovali. V naslednjem koraku smo s pomočjo združevalne oziroma klusterske analize iskali podobnost kemične sestave artefaktov, za katere smo ugotovili, da so bili izdelani iz enakega materiala, ter iskali morebitno statistično značilno ujemanje z XRF rezultati analiz iz referenčnih zbirk (Biró, Dobosi 1991; Biró *et al.* 2000).

Izkazalo se je, da so prebivalci naselbine v Gornjih njivah glajena orodja izdelovali iz serpentinitov, ki so jih morda nabirali na območju vsaj 6 km oddaljenih prodišč ob Muri (slika 4: 8), odbitkovna orodja pa iz rožencev, ki morda izvirajo iz okrog 70 km oddaljenega območja Blatnega jezera (slika 4: 4) in/ali okrog 300 km oddaljenega območja Severnomadžarskega hribovja (slika 4: 1).

Pod Grunti – Pince

Arheološko najdišče Pod Grunti – Pince (EŠD 23610) (slika 1: D) se nahaja na območju južno od Pince, ob cesti, ki vodi v naselje Pince–Marof. Odkrito je bilo leta 2004 z ekstenzivnimi arheološkimi pregledi pred izgradnjo avtoceste Lendava–Pince in avtocestnega počivališča Pince. Zaradi indikativnih površinskih najdb so leta 2005 opravili intenzivni površinski pregled, ki so mu v letih 2005 in 2007 sledila zavarovalna arheološka izkopavanja, med katerimi so raziskali 81.000 m² površine (Kerman 2014a, 31).

Izkopavanja so odkrila naselbinske ostanke iz bakrene dobe, zgodnje bronzaste dobe in prehoda srednje v pozno bronzasto dobo, antične jame in fragmente antične keramike ter ostanke srednjeveške naselbine (Kerman 2014a, 31–32).

Analizirali smo 202 artefakta – 185 odbitkovnih orodij in 17 kamnitih sekir (za rezultate analiz glej Berden 2015, 144–151, Tab. 85) iz obdobja lasinjske kulture, kulturnega horizonta Somogyvár - Vinkovci, obdobja srednje

2 Osrednji del antične naselbine je bil raziskan v sklopu najdišča Gornje njive 1 (Šavel 2003; Šavel, Kerman 2008; ista 2014), ki na vzhodnem robu meji na obravnavano najdišče.



Slika 4. Črna območja – dokazana nahajališča surovin za izdelavo analiziranih kamenih orodij (1 – Severnomadžarsko hribovje, 2 – Meček, 3 – Karpati), šrafirana območja – hipotetična nahajališča surovin za izdelavo analiziranih kamenih orodij (4 – severna obala Blatnega jezera, 5 – severozahodno Goričko, 6 – zahodno Goričko, 7 – Lendavske gorice, 8 – struga reke Mure).

Figure 4. Black areas – confirmed deposits of the raw materials used in the analysed lithic production (1 – North Hungarian Mountains, 2 – Mecsek Mountains, 3 – Carpathian Mountains), cross-hatched areas – hypothetical deposits of the raw materials used in the analysed lithic production (4 – northern coast of Lake Balaton, 5 – northeastern Goričko Hills, 6 – western Goričko Hills, 7 – Lendavske gorice Hills, 8 – the Mura riverbed).

in pozne bronaste dobe ter iz premešanih plasti (ostanki iz uničenih plasti in srednjeveških jam) (Kerman 2014a; isti *v tisku*).

S kombinacijo analize glavnih komponent (PCA) in diskriminantne analize smo identificirali osem različnih kamnin. Posamezno statistično identificirano vrsto kamnine smo makroskopsko pregledali s pomočjo digitalne lupe, opažanja primerjali z rezultati analiz njene kemične sestave in jo poimenovali. Tufe in rožence smo ločevali po enakih kriterijih kot v primeru artefaktov z najdišča Kalinovnjek. Ugotovili smo, da so prebivalci naselbine v Pincah uporabljali: diabaz, obsidian, filit, kvarcit, serpentinite, limonitizirani peščenjak, štiri vrste okremenjenih tufov in 36 vrst rožencev. Z združevalno oziroma klasersko analizo smo ugotovili statistično ujemanje določ-

nih naših rezultatov z rezultati XRF analiz iz referenčnih zbirk (Biró, Dobosi 1991; Biró *et al.* 2000).

Izkazalo se je, da so prebivalci naselbine v Pincah odbitkovna orodja izdelovali iz okremenjenih tufov, ki so prihajali iz okrog 300 km oddaljenega območja Severnomadžarskega hribovja (slika 4: 1), okrog 130 km oddaljene planine Meček (slika 4: 2) in še neznanih lokacij; rožencev, ki so prihajali iz okrog 300 km oddaljenega območja Severnomadžarskega hribovja (slika 4: 1) in še neznanih lokacij, obsidiana, ki je prihajal iz okrog 300 km oddaljenega karpatskega območja (slika 4: 3); kvarcita, ki je morda prihajal iz okrog 50 km oddaljenega severozahodnega Goriškega (slika 4: 5), in filitov, ki so jih morda nabirali na območju vsaj 3 km oddaljenih prodišč ob Muri (slika 4: 8).

Glajena orodja so izdelovali iz serpentinitov, ki so jih morda nabirali na območju vsaj 3 km oddaljenih prodišč ob Muri (slika 4: 8), filitov, ki so jih morda ravno tako nabirali na območju teh prodišč (slika 4: 8), diabazov, ki izvirajo iz še neznane lokacije, okremenjenih tufov, ki so prihajali iz okrog 300 km oddaljenega območja Severnomadžarskega hribovja (slika 4: 1), in limonitiziranih peščenjakov, ki so morda prihajali iz okrog 45 km oddaljenega zahodnega Goriškega (slika 4: 6) ali bližnjih, 1,5 km oddaljenih Lendavskih gor (slika 4: 7).

Kar se tiče sprememb strategij pridobivanja surovin za izdelavo kamenih orodij skozi čas, med obdobjem lasinjske kulture, obdobjem kulturnega horizonta Somogyvár - Vinkovci ter obdobjem srednje in pozne bronaste dobe ni opaziti bistvenih razlik. V obdobju lasinjske kulture so prebivalci naselbine v Pincah uporabljali zgolj odbitkovna orodja, izdelana iz rožencev, ki izhajajo iz Severnomadžarskega hribovja, morda tudi z območja ob severni obali Blatnega jezera. V obdobju kulturnega horizonta Somogyvár - Vinkovci so strategije oskrbe z roženci ostale enake, se pa med materialom pojavita tuf, domnevno uvožen z območja planine Meček, in domnevno regionalni limonitizirani peščenjak, kar morda kaže na širjenje socialnih vezi prebivalcev naselbine ali vzpostavitev novih trgovskih poti. Tudi v obdobju srednje in pozne bronaste dobe so uporabljali enake materiale iz enakih nahajališč kot prej s to razliko, da iz arheološkega zbira izgine regionalni peščenjak, uveljavi pa se uporaba materialov iz domnevno sekundarnih geoloških nahajališč (struga Mure in njena neposredna okolica), kot so serpentiniti, diabaz in filiti. To morda kaže na širjenje stikov naselbine tudi v smeri zahoda ali pa je zgolj posledica funkcionalnih zahtev prebivalcev naselbine, ki so morda v tem obdobju začeli intenzivneje krčiti gozdne površine v okolici naselbine, za kar so potrebovali več glajenih orodij in kar nakazujejo tudi paleobotanične raziskave (Culiberg, Šercelj 1989, 221–223; Šercelj 1996, 36; Culiberg 2010, 129; Kaligarič, Paušič 2010; ista 2011a; ista 2011b; Culiberg 2011, 138; ista 2013, 127–128).

Razprava in sklepi

S pričujočo študijo smo pokazali, da je rentgenska fluorescenčna spektroskopija (XRF) primerna metoda za analize izvora surovin za izdelavo kamenih orodij, še posebej v primeru obstoja referenčnih zbirk z rezultati XRF analiz geoloških vzorcev.

Tovrstne analize predstavljajo odlično rešitev predvsem v primeru analiziranja velikega števila artefaktov in različnih preliminarne raziskav, saj so nedestruktivne, relativno finančno nezahtevne, povrhu pa dajejo širok spekter podatkov, ki jih lahko hitro konvertiramo in naše rezultate primerjamo z rezultati analiz kolegov z vsega sveta. Zavedati se moramo, da ima metoda tudi svoje šibkosti; z njo namreč lahko analiziramo zgolj površino artefaktov, saj žarki prodrejo manj kot pol milimetra globoko. Največjo težavo v primeru analiziranja kamenih orodij tako predstavljajo krakelirani artefakti, saj je njihova površina kontaminirana z okoliškimi sedimenti, erodirani artefakti ter slabo očiščeni ali naknadno kontaminirani artefakti³. Problematični so lahko tudi artefakti, večji od nosilne mize analizatorja, saj je iz njih v določenih primerih treba izdelati manjše vzorce; vendar je ta pomislek v primeru analiziranja kamenih orodij drugotnega pomena, saj smo v našem primeru vse glajene sekire uspeli analizirati brez poškodb.

V okviru opravljenih raziskav smo predvidevali tudi uporabo drugih komplementarnih metod za raziskovanje provenience surovin za izdelavo kamenih artefaktov, med katerimi velja izpostaviti optično mikroskopijo zbruskov kamnin, ki raziskovalcu da podatke o mineralni sestavi, strukturi in teksturi kamnine. Primerjava zbruskov arheoloških artefaktov in kamnin z naravnih nahajališč s pomočjo polarizacijskega mikroskopa bi nam omogočila neposredno korelacijo arheološkega artefakta in geološkega vzorca, tako pa smo se lahko zanašali zgolj na rezultate XRF analiz, statistične izračune in makroskopska opažanja.

Glede na pojavnost različnih surovin za izdelavo kamenih orodij na obravnavanih štirih arheoloških najdiščih in njihov izvor sklepamo, da so prebivalci Prekmurja v prazgodovini imeli intenzivne stike predvsem s prostorom Panonske nižine, kar je, glede na geografske značilnosti prostora, tudi logično. Z rezultati XRF analiz smo

3 Kontaminacije so večinoma posledica pisanja muzejskih inventarnih števil na površino artefaktov.

potrdili domneve predhodnih raziskovalcev, ki so izvor kvalitetnih rožencev z arheoloških najdišč v vzhodni Sloveniji povezovali predvsem z madžarskimi nahajališči (Buser 1987, 195; Lubšina Tušek 1993, 50–51; Kavur 2010a, 56; isti 2010b, 148; isti 2012, 46; isti 2013, 48), s to razliko, da večina rožencev ne izvira z območij ob Blatnem jezeru, ampak z bolj oddaljenega območja Severnomadžarskega hribovja. Potrdili smo tudi domneve, da surovine za izdelavo glajenih orodij izvirajo predvsem z območij strug rek Mure in Drave (Buser 1980, 80; isti 1987, 195; Lubšina Tušek 1993, 51; Petru 2008, 135; Kavur 2010a, 58; isti 2010b, 148–150; isti 2011, 50; isti 2012, 47; isti 2013, 47). Navedena območja so očitno predstavljala osnovne vire surovin za izdelavo orodij, ki so jih občasno dopolnjevali tudi s surovinami z drugih območij.

Primerjava uporabe posameznih identificiranih različic kamnin med analiziranimi arheološkimi najdišči (Berden 2015, 179–182, sl. 99) je pokazala, da so prebivalci pokrajine uporabljali enake vire surovin v daljšem časovnem obdobju, kar bolj kot na oskrbo z občasnimi odpravami, ki bi iskale primerne surovine, kaže na obstoj stalne in dobro razvite socialne in/ali trgovske mreže vsaj na območju med Muro in Karpati.

Glede na interesantne in v določenih primerih presenetljive rezultate bi bilo s tovrstnimi analizami vredno nadaljevati ter vzpostaviti vsaj digitalno bazo podatkov (t. i. digitalno litoteko), kar bi raziskovalcem omogočilo medsebojne primerjave rezultatov analiz, lažje in zanesljivejše iskanje izvora določenih surovin ter nenazadnje razvoj kompleksnejših študij populacijskih dinamik in trgovskih povezav, še posebno v arheološko slabše poznanih obdobjih, kot je npr. paleolitik, v katerem so kamena orodja velikokrat edini informatorji o človeški aktivnosti v določenem prostoru.

Zahvala

Članek je nadgradnja magistrske naloge z naslovom *Iskanje surovin za izdelavo kamenih orodij odkritih na območju Prekmurja*, ki sem jo T. Berden zagovarjala v septembru 2015. Na tem mestu bi se, skupaj s soavtorjem, rada zahvalila vsem, ki so omogočili izvedbo analiz in pripravo pričujočega članka. To so: doc. dr. Simona Petru (Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo), red. prof. dr. Breda Mirtič (Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo), dr. Branko Kerman (Pomurski muzej Murska Sobota), doc. dr. Simona Jarc (Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo) in Ema Hrovatin (Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo).

Identifying the origin of the raw materials in lithic productions using X-ray fluorescence spectroscopy (XRF)

(Summary)

The article explores the potential of X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) for identifying the origin of the raw materials used in the production of stone tools. Applying this method, we analysed 274 stone tools from four pre-historic archaeological sites in Prekmurje (Pod Kotom-sever near Krog, Kalinovnjek near Turnišče, Gornje njive near Dolga vas 2 and Pod Grunti – Pince). The results were then statistically compared with those of other researchers and inferences drawn about the provenance of the raw material.

The results revealed that the communities in the Prekmurje region had close contacts with those living in the Pannonian Plain, which is logical given the geography of the region. The majority of the chipped stone tools was made of raw materials from the Pannonian Plain, while the majority of the polished stone tools was probably made of local and regional rocks. These areas represented the basic sources of the raw materials occasionally supplemented with materials from other areas.

The communities living in Prekmurje used the same sources of raw materials over longer periods of time, indicating that, rather than occasional expeditions, we are dealing with a stable and well-developed social and/or trading network responsible for supplying lithic raw materials in the area between the River Mura and the Carpathian Mountains, possibly also beyond.

Literatura / References

- ALBERTI, A., F. BERNARDINI, G. BORELLI, F. CUCCHI, G. DEMARCHI, E. MONTAGNARI KOKELJ, C. PIANO, F. PRINCIVALLE, A. VELUŠČEK 2007, Le materie prime litiche nelle Valli del Natisone e nelle aree limitrofe. – V/In: M. Chiaba, P. Maggi, C. Magrini (ur./eds.), *Le Valli del Natisone e dell'Isonzo tra Centroeuropa e Adriatico. Atti del convegno internazionale di studi. San Pietro al Natisone (UD), 15–16 settembre 2006*, Trieste, Roma, 189–208.
- ANDREFSKY, W. Jr. 1998, *Lithics. Macroscopic approaches to analysis*. Cambridge.
- ANDREFSKY, W. Jr. 2009, The Analysis of Stone Tool Procurement, Production and Maintenance. – *Journal of Archaeological Research* 17, 65–103.
- BERDEN, T. 2015, *Izvor surovin za izdelavo kamenih orodij odkritih na območju Prekmurja*. Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo, Ljubljana (neobjavljeno/unpublished).
- BERNARDINI, F. 2007, *Studio archeometrico di asce in pietra levigata provenienti dal Caput Adriae*; (<http://www.openstarts.units.it/dspace/handle/10077/3127?mode=full>).
- BERNARDINI, F., A. ALBERTI, G. DEMARCHI, E. MONTAGNARI KOKELJ, F. PRINCIVALLE, A. VELUŠČEK 2008, An archaeometric study of the prehistoric polished stone tools from the Ljubljana river (Slovenia). – *Atti della società per la preistoria e protoistoria della Regione Friuli-Venezia Giulia* 16, 53–73.
- BERNARDINI, F., E. MONTAGNARI KOKELJ, G. DEMARCHI, A. ALBERTI 2009a, Scambi e strategie di approvvigionamento nel Ljubljansko barje del IV millennio a.C. dedotti dallo studio archaeometrico di manufatti in pietra / Izmenjava in oskrbovalne strategije na Ljubljanskem barju v 4. tisočletju pr. Kr. na podlagi arheometričnih raziskav kamnitih orodij. – V/In: A. Velušček (ur./ed.), *Koliščarska naselbina Stare gmajne in njen čas. Ljubljansko barje v 2. polovici 4. tisočletja pr. Kr. / Stare gmajne pile-dwelling settlement and its era. The Ljubljansko barje in the 2nd half of the 4th millennium BC*. – Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 16, Ljubljana, 251–279.
- BERNARDINI, F., A. DE MIN, G. DEMARCHI, E. MONTAGNARI KOKELJ, A. VELUŠČEK, D. KOMŠO 2009b, Shaft-hole axes from Slovenia and North-Western Croatia: a first archaeometric study on artefacts manufactured from meta-dolerites. – *Archaeometry* 51/6, 894–912.
- BERNARDINI, F., E. MONTAGNARI KOKELJ, N. SODINI, D. DREOSI, S. FAVRETTO, G. DEMARCHI, A. ALBERTI, E. PRINCIVALLE 2010, Serpentine shaft-holed axes in the Caput Adriae: preliminary results and perspectives based on X-ray computerized microtomography. – V/In: E. Montagnari Kokelj, M. Budich, C. Tuniz (ur./eds.), *Science for cultural heritage. Technological innovation and case studies in marine and land archaeology in the Adriatic region and inland. VII. International Conference on Science, Arts, and Culture, August 28–31, 2007, Veli Lošinj, Croatia*, New Jersey, 226–237.
- BERNARDINI, F., A. ALBERTI, G. DEMARCHI, A. DE MIN, M. DI REMIGIO, E. MONTAGNARI KOKELJ 2011a, Polished Stone Axes from Spaha / Glajene kamnite sekire s Spahe. – V/In: A. Velušček (ur./ed.) 2011, *Spaha*. – Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 22, Ljubljana, 245–252.
- BERNARDINI, F., A. DE MIN, D. LENAŽ, C. TUNIZ, E. MONTAGNARI KOKELJ 2011b, Scientific analyses of stone axes: reconstructing Neolithic long-distance connections in north-eastern Italy. – V/In: *Italian - Australian Archaeology and Cultural Heritage Workshop. New Scientific Techniques in Archaeology, Paleo-Anthropology and Cultural Heritage*, Sydney, 27–28.
- BERNARDINI, F., A. DE MIN, D. EICHERT, A. ALBERTI, G. DEMARCHI, A. VELUŠČEK, C. TUNIZ, E. MONTAGNARI KOKELJ 2011c, Shaft-hole axes from Caput Adriae. Mineralogical and chemical constraints about the provenance of serpentinitic artefacts. – *Archaeometry* 53/2, 261–284.
- BERNARDINI, F., D. EICHERT, D. LENAŽ, A. DE MIN, C. TUNIZ, A. VELUŠČEK, E. MONTAGNARI KOKELJ 2011d, Synchrotron FTIR micro-spectroscopy applied to the study of polished serpentinite artefacts: a non-destructive analytical approach. – *Archaeometry* 53/4, 753–764.
- BERNARDINI, F., A. DE MIN, D. LENAŽ, Z. KASZTOVSZKY, P. TURK, A. VELUŠČEK, V. SZILÁGYI, C. TUNIZ, E. MONTAGNARI KOKELJ 2014a, Mineralogi-

cal and chemical constraints on the provenance of Copper Age polished stone axes of 'Ljubljana type' from Caput Adriae. – *Archaeometry* 56/2, 175–202.

BERNARDINI, F., A. DE MIN, D. LENAZ, Z. KASZTOVSKZY, P. TURK, A. VELUŠČEK, C. TUNIZ, E. MONTAGNARI KOKELJ 2014b, Petrographic and geochemical comparison between the Copper Age 'Ljubljana type' axes and similar lithotypes from Eisenkappler Diabaszug complex (southern Austria). – *Journal of Archaeological Science* 41, 511–522.

BERNARDINI, F., E. MONTAGNARI KOKELJ, A. VELUŠČEK, A. DE MIN, D. LENAZ, C. TUNIZ 2014c, Neolithic and Copper Age cultural connections in the Caput Adriae suggested by the archaeometric analyses of polished stone axes. – V/In: *Preistoria e protostoria del Caput Adriae. Convegno: riassunti, comunicazioni e poster*, Udine, Udine, Pordenone, 16.

BIRÓ, K. T., V. T. DOBOSI 1991, *Lithoteca. Comparative Raw Material Collection of the Hungarian National Museum*. Budapest.

BIRÓ K. T., V. T. DOBOSI, Z. SCHLÉDER 2000, *Lithoteca II. Comparative Raw Material Collection of the Hungarian National Museum 1990–1997*. Budapest.

BUSER, S. 1980, Kameninska sestava kamnitih sekir iz Prekmurja. – *Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji* 8, 79–81.

BUSER, S. 1987, Kameninska sestava neolitskega kamnitega orodja iz Prekmurja. – *Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji* 15, 195–197.

BUSTILLO, M. A., N. CASTAÑEDA, M. CAPOTE, S. CONSUEGRA, C. CRIADO, P. DÍAZ-DEL-RÍO, T. OROZCO, J. L. PÉREZ-JIMÉNEZ, X. TERRADAS 2009, Is the macroscopic classification of flint useful? A petroarchaeological analysis and characterization of flint raw materials from the Iberian neolithic mine of Casa montero. – *Archaeometry* 51/2, 175–196.

CULIBERG, M. 2010, Paleobotanične raziskave. – V/In: A. Plestenjak, *Gorice pri Turnišču*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 12, Ljubljana, 127–128.

CULIBERG, M. 2011, Paleobotanične raziskave. – V/In: M. Novšak, A. Tomaž, A. Plestenjak 2013, *Brezje pri Turnišču*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 40, Ljubljana, 127–128.

CULIBERG, M. 2013, Paleobotanične raziskave. – V/In: I. Tušek, B. Kavur 2011, *Ivankovci (Ivánkóc) pri Lendavi*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 15, Ljubljana, 127–128.

CULIBERG, M., A. ŠERCELJ 1989, Gozdovi Prekmurja v bližnji in daljni preteklosti. – *Gozdarski vestnik* 5, 218–223.

ČREŠNAR, M. 2009, *Rogoza pri Mariboru in njeno mesto v bronasti in železni dobi Podravja*. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo, Ljubljana (neobjavljeno/unpublished).

DESNICA, V. 2011, Prijenosni uređaj za rentgensko fluorescentnu analizu (XRF) kao jedinstveni instrument za in situ elementnu karakterizaciju objekata kulturne baštine. – *Godišnjak zaštite spomenika kulture Hrvatske* 33/34, 187–196.

GOFFER, Z. 2007, *Archaeological Chemistry*. New Jersey.

HENDERSON, J. 2000, *The science and archaeology of materials. An investigation of inorganic materials*. London, New York.

HORVAT, A. 2006, Petrološka sestava in provenienca kamnitih artefaktov – I. / Petrologic composition and provenance of stone artefacts – I. – V/In: A. Gaspari (ur./ed.) *Zalog pri Verdu. Tabor kamenodobnih lovcev na zahodnem robu Ljubljanskega barja / Zalog near Verd. Stone Age hunters camp at the western edge of the Ljubljansko barje*. – Opera Instituti archaeologici Sloveniae 11, Ljubljana, 121–124.

KALIGARIČ, M., I. PAUŠIČ 2010, Arheobotanični pregled arheološkega najdišča. – V/In: I. Šavel, S. Sankovič, *Za Raščico pri Krogu*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 13, Ljubljana, 119–121.

KALIGARIČ, M., I. PAUŠIČ 2011a, Arheobotanični pregled najdišča. – V/In: B. Kerman, , *Kotare-Baza pri Murski Soboti*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 17, Ljubljana, 110–111.

KALIGARIČ, M., I. PAUŠIČ 2011b, Arheobotanični pregled. – V/In: B. Kerman, *Pod Kotom-sever pri Krogu*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 22, Ljubljana, 268–273.

KAVUR, B. 2005a, Kamnita orodja iz izkopavanj v letih 1956–60. – V/In: M. Guštin, A. Tomaž, B. Kavur 2005,

- Drulovka pri Kranju. – V/In: M. Guštin (ur./ed.), *Prvi poljedelci. Savska skupina Lengyelske kulture / First farmers. The Sava group of the Lengyel culture*. – Annales Mediteranea, Koper, 56–63.
- KAVUR, B. 2005b, Kamnita orodja na najdišču Čatež-Sredno polje. – V/In: M. Guštin (ur./ed.), *Prvi poljedelci. Savska skupina Lengyelske kulture / First farmers. The Sava group of the Lengyel culture*. – Annales Mediteranea, Koper, 131–144.
- KAVUR, B. 2010a, Kamnita orodja. – V/In: I. Šavel, S. Sankovič, *Za Raščico pri Krogu*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 13, Ljubljana, 56–59.
- KAVUR, B. 2010b, Kamnita orodja. – V/In: I. Šavel, *Pod Kotom-jug pri Krogu*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 7, Ljubljana, 148–150.
- KAVUR, B. 2011, Kamnita orodja. – V/In: I. Šavel, S. Sankovič, *Pri Muri pri Lendavi*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 23, Ljubljana, 50–51.
- KAVUR, B. 2012, Kamnita orodja. – V/In: I. Šavel, Š. Karo, *Popava pri Lipovcih I*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 30, Ljubljana, 43–47.
- KAVUR, B. 2013, Kamnita orodja. – V/In: I. Šavel, S. Sankovič, *Nedelica pri Turnišču*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 39, Ljubljana, 46–48.
- KERMAN, B. 2003, Pod Kotom-sever. – V/In: D. Prešeren (ur./ed.), *Zemlja pod vašimi nogami. Arheologija na avtocestah Slovenije. Vodnik po najdiščih*, Ljubljana, 213–215.
- KERMAN, B. 2010, Glinena figurica s Kalinovnjeka pri Turnišču. – *Zbornik soboškega muzeja* 15, 49–61.
- KERMAN, B. 2011, *Pod Kotom-sever pri Krogu*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 24, Ljubljana.
- KERMAN, B. 2013a, *Kalinovnjek pri Turnišču*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 33, Ljubljana.
- KERMAN, B. 2013b, *Gornje njive pri Dolgi vasi 2*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 36, Ljubljana.
- KERMAN, B. 2014a, Pince pri Lendavi. – V/In: B. Teržan, M. Črešnar (ur./eds.), *Absolutno datiranje bronaste in železne dobe na Slovenskem / Absolute dating of Bronze and Iron Ages in Slovenia*. – Katalogi in monografije / Catalogi et monographiae 40, Ljubljana, 31–63.
- KERMAN, B. 2014b, Pod Kotom-sever. – V/In: B. Teržan, M. Črešnar (ur./eds.), *Absolutno datiranje bronaste in železne dobe na Slovenskem / Absolute dating of Bronze and Iron Ages in Slovenia*. – Katalogi in monografije / Catalogi et monographiae 40, Ljubljana, 159–176.
- KERMAN, B. v tisku, Seznam stratigrafskih enot. – V/In: B. Kerman, *Pod Grunti – Pince*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije, Ljubljana, 1–90.
- LUBŠINA TUŠEK, M. 1993, Kamnito orodje v severovzhodni Sloveniji. – V/In: B. Lamut (ur./ed.), *Ptujski arheološki zbornik. Ob 100-letnici muzeja in Muzejskega društva*, Ptuj, 31–158.
- MANTLER, M., M. SCHREINER 2000, X-Ray fluorescence spectrometry in art and archaeology. – *X-Ray Spectrometry* 29–1, 3–17.
- MONTAGNARI KOKELJ, E. 2001, Pietra verde, Neolitico e Post-Neolitico, Carso e Friuli (Italia nord-orientale): lo stato della questione. – *Atti e Memorie della Commissione Grotte „E. Boegan“* 38 (2000), 71–86.
- MONTAGNARI KOKELJ, E., C. PATRIZI, F. CUCCHI, C. PIANO, S. BERTOLA 2001, Geo-archeologia nella valle dell'Isonzo (Italia nord-orientale) e oltre. – *Aquileia nostra* LXXII, 29–58.
- MONTAGNARI KOKELJ, E., A. VELUŠČEK, C. D'AMICO, A. ALBERTI, F. BERNARDINI, M. BURIĆ, D. KOMŠO, F. PRINCIVALLE, T. TEŽAK-GREGL 2006, „Greenstone“ shaft-hole axes of North-Eastern Italy, Slovenia, Croatia: a new research project. – V/In: *Atti della XXXIX riunione scientifica. Materie prime e scambi nella preistoria Italiana nel cinquantenario della fondazione dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protoistoria*, Firenze, 25–27 novembre 2004, Firenze, 713–725.
- ODELL, G. H. 2004, *Lithic Analysis. Manuals in archaeological method, theory and technique*. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, Kluwer.
- PELOI, D. 1996, *Le asce-martello in pietra levigata. Proposta di lettura analitica ed esempi applicativi a contesti del Friuli-Venezia Giulia e della Slovenia*. Diplomsko delo. Università degli studi di Trieste, Facoltà di lettere e filosofia, Trieste (neobjavljeno/unpublished).

- PETRU, S. 1997, *Tehnike izdelave in uporaba paleolitskih, mezolitskih in neolitskih kamenih orodij*. Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo, Ljubljana (neobjavljeno/unpublished).
- PETRU, S. 2008, Določitev kamninske sestave kamenega orodja iz Gornjih njiv. – V/In: I. Šavel, B. Kerman, *Gornje njive pri Dolgi vasi*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 6, Ljubljana, 135.
- POLLARD, A. M., S. BLATT, B. STERN, S. M. M. YOUNG 2007, *Analytical Chemistry in Archaeology*. Cambridge.
- POLLARD, A. M., P. J. BRAY, C. GOSDEN 2014, Is there something missing in scientific provenience studies of prehistoric artifacts? – *Antiquity* 88, 625–631.
- RAPP, G. R. 2009, *Archaeomineralogy*. Berlin, Heilderberg.
- SHACKLEY, M. S. 2011, An Introduction to X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis in Archaeology. – V/In: M. S. Shackley (ur./ed.), *X-Ray Fluorescence (XRF) in Geoarchaeology*, New York, 7–44.
- ŠAVAL, I. 2003, Gornje njive pri Dolgi vasi. – V/In: D. Prešeren (ur./ed.), *Zemlja pod vašimi nogami. Arheologija na avtocestah Slovenije. Vodnik po najdiščih*, Ljubljana, 135–136.
- ŠAVAL, I., B. KERMAN 2008, *Gornje njive pri Dolgi vasi*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 6, Ljubljana.
- ŠAVAL, I., B. KERMAN 2014, Dolga vas pri Lendavi. – V/In: B. Teržan, M. Črešnar (ur./eds.), *Absolutno datiranje bronaste in železne dobe na Slovenskem / Absolute dating of Bronze and Iron Ages in Slovenia*. – Katalogi in monografije / Catalogi et monographiae 40, Ljubljana, 79–82.
- ŠERCELJ, A. 1996, *Začetki in razvoj gozdov v Sloveniji / The origins and development of forests in Slovenia*. Dela SAZU, Razred za naravoslovne vede 35, Ljubljana.
- TURK, I., M. TURK 2004a, Razlaga orodnih tipov in armatur ter postopkov pri izdelavi orodij in armatur, najdenih v Viktorjevem spodmolu / Interpretation of types of tool and armature and technology of production of tools and armatures found in Viktorjev spodmol. – V/In: I. Turk, M. Ovsenik (ur./eds.), *Viktorjev spodmol in Mala Triglavca. Prispevki k poznavanju mezolitskega obdobja v Sloveniji. / Viktorjev spodmol and Mala Triglavca. Contributions to understanding the Mesolithic period in Slovenia*. – Opera Instituti archaeologici Sloveniae 9, Ljubljana, 53–61.
- TURK, M., I. TURK 2004b, Arheološke najdbe / Archaeological finds. – V/In: I. Turk, M. Ovsenik (ur./eds.), *Viktorjev spodmol in Mala Triglavca. Prispevki k poznavanju mezolitskega obdobja v Sloveniji. / Viktorjev spodmol and Mala Triglavca. Contributions to understanding the Mesolithic period in Slovenia*. – Opera Instituti archaeologici Sloveniae 9, Ljubljana, 176–196.
- TURK, J., M. TURK, I. TURK 2014, Surovine, uporabljene za izdelavo artefaktov / Raw materials used for making artefacts. – V/In: I. Turk (ur./ed.), *Divje babe I. Paleolitsko najdišče mlajšega pleistocena v Sloveniji. II. del: Arheologija / Divje babe I. Upper Pleistocene Palaeolithic site in Slovenia. Part II: Archaeology*. – Opera Instituti archaeologici Sloveniae 29, Ljubljana, 37–56.
- VELUŠČEK, A. 2010, Raziskovanje kolišč na Ljubljanskem barju. – *Argo* 53/1, 69–73.
- VELUŠČEK, A., K. ČUFAR 2014, Kolišča na Ljubljanskem barju / Pile-dwellings at Ljubljansko barje. – V/In: S. Tecco Hvala (ur./ed.), *Studia Praehistorica in Honorem Janez Dular*. – Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 30, Ljubljana, 39–64.
- VERNA, H. R. 2006, *Atomic and Nuclear Analytical Methods. XRF, Mössbauer, XPS, NAA and B63Ion-Beam Spectroscopic Techniques*. Berlin, Heilderberg.
- Spletni viri / Web sources*
- Splet 1/Web 1: <http://www.swxrflab.net/xrfinstrument.htm> (dostop: 22. 3. 2015).
- Splet 2/Web 2: <http://learnxrf.com/> (dostop: 22. 3. 2015).

Paleodontološka analiza skeletov iz bronastodobne gomile z Brezja pod Brinjevo goro

Palaeodontology analysis of the skeletal remains from the Bronze Age tumulus at Brezje below Brinjeva gora

© Iztok Štampfelj

Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Katedra za zobne bolezni in normalno morfologijo zobnega organa in Univerzitetni klinični center Ljubljana, Center za zobne bolezni, iztok.stampfelj@mf.uni-lj.si

Izvleček: V prispevku je predstavljena raziskava zob in čeljustnic dveh moških in enega ženskega skeleta, ki so jih leta 1956 našli v bronastodobni gomili pod Brinjevo goro v vzhodni Sloveniji. V raziskavi sem med drugim uporabil zobozdravstveni mikroskop in rentgenske slikovne metode, vključno z računalniško tomografijo s stožčastim snopom. Rezultati potrjujejo zaključke antropološke analize skeletov, osvetlili pa so tudi morfološke značilnosti zob, oralno zdravje in prehrano bronastodobnih posameznikov.

Glavne besede: paleodontologija, zobna morfologija, paleopatologija, bronasta doba, računalniška tomografija s stožčastim snopom

Uvod

Zobje in čeljustnice so zaradi obstojnosti dragocen vir podatkov o ljudeh iz preteklih zgodovinskih obdobij. Zobje imajo ključno vlogo pri zvečenju, zato lahko pri preteklih ljudstvih iz pojavnosti kariesa in obrabe zob določimo osnovne značilnosti prehrane in načina preživljanja, neobičajna obraba pri določenem posamezniku pa lahko kaže na uporabo zob pri različnih ponavljajočih se opravilih. Oblika in velikost zob sta pretežno genetsko določena in zato uporabna pri določanju biološke sorodnosti med prebivalstvenimi skupinami. Negenetske razvojne napake sklenine so nespecifičen pokazatelj delovanja škodljivih vplivov okolja (npr. bolezni in neustrezne prehrane) na ljudi iz preteklih obdobij. Forenziki so razvili metode za dentalno določitev spola in kronološke starosti posameznika, ki so uporabne tudi v antropologiji (Pagliara *et al.* 2014).

Tudi čeljustnice so bogat vir antropoloških podatkov. Spodnja čeljustnica se uvršča med najobstojnejše kosti, zato si z njenimi merami in oblikovnimi značilnostmi lahko pomagamo pri določitvi spola, zlasti kadar so ostali deli skeleta slabo ohranjeni (Balci *et al.* 2005). Na osnovi stopnje zakostenelosti šivov med kostmi trdega neba lahko ocenimo kronološko starost posameznika (Mann *et al.* 1987). Zelo zanimiv del čeljustnice je tudi alveolna kost s svojimi fiziološkimi in bolezenskimi spremembami.

Analiziral sem zobe in čeljustnice treh človeških skeletov iz bronastodobne gomile pod Brinjevo goro (1600–1500 pr. n. št.), ki so jo leta 1956 izkopali pod vodstvom arheologa Stanka Pahiča. Namen paleodontološke raziskave

Abstract: The contribution brings the results of the analysis of teeth and jawbones belonging to two male and one female skeleton unearthed in 1956 in a Bronze Age tumulus below Brinjeva gora, eastern Slovenia. The analysis used several devices including a dental microscope and X-ray imaging methods such as cone-beam computed tomography. The results corroborate those of the anthropological analysis of skeletal remains and shed light on the morphologic characteristics of the teeth, oral health and diet of the three Bronze Age individuals.

Keywords: palaeodontology, dental morphology, palaeopathology, Bronze Age, cone-beam computed tomography

je bil določiti: (i) oblikovne znake zob in čeljustnic, (ii) zobne mere, (iii) kronološko starost posameznikov na osnovi rentgenskih posnetkov stalnih zob, (vi) bolezenske spremembe zob in čeljustnic, (vii) obrabo zob. Raziskava želi prispevati k boljšemu poznavanju bioloških lastnosti, zdravstvenega stanja, prehrane in načina življenja bronastodobnih prebivalcev na ozemlju današnje Slovenije. Poudariti velja, da raziskava osvetljuje oralno zdravje treh posameznikov, zato rezultatov ne moremo neposredno prenesti na celotno prebivalstveno skupino, ki so ji ti posamezniki pripadali. Analiza obsežnejšega skeletnega gradiva bi lahko dala bistveno drugačne epidemiološke podatke.

Skeletno gradivo in metode

Skeletno gradivo

Pahič (1962–1963) poroča, da je bilo v gomili pet grobov in v vseh so bili med ostanki skeleta tudi (vsaj deloma ohranjene) čeljustnice in zobje. Del tega gradiva se je v kasnejših letih izgubil, zato so predmet pričujoče raziskave le čeljustnice treh skeletov (2, 3 in 5) s skupno 49 stalnimi zobmi. Podatke o spolu in kronološki starosti teh posameznikov poznamo iz rezultatov dveh antropoloških analiz (glej Tomazo Ravnik 2012; Thomas 2012). Analizi sta pokazali, da je skelet 2 pripadal moškemu, ki je bil starejši od 50 let, skelet 5 pa moškemu, ki je bil po eni oceni star 40–55 let, po drugi oceni pa 50–60 let. Skelet 3 je pripadal ženski, ki je bila po eni oceni stara približno 20 let, po drugi oceni pa približno 30 let.

Zapisovanje zob

Zaradi nazornosti je v prispevku uporabljen Mühlreiterjev način zapisovanja zob, pri katerem stalne zobe zapišemo s črkami I, C, P in M (okrajšava za sekalce, podočnike, ličnike in kočnike) in z arabsko številko (1 za podočnike, 1 ali 2 za sekalce in ličnike ter 1, 2 ali 3 za kočnike), pri tem s položajem številke označimo, ali je zob zgornji ali spodnji, levi ali desni. Tako npr. desni zgornji prvi kočnik zapišemo z I^1M , levi spodnji podočnik s C_1 , levi zgornji drugi sekalec pa z P^2 .

Ugotavljanje oblikovnih znakov zob in čeljustnic

Oblikovne znake zob in čeljustnic sem ugotavljal makroskopsko in z 10-kratno povečavo z lupo. Pri zobeh, ki jih ni bilo mogoče odstraniti iz alveol, sem število korenin določil na osnovi rentgenskih posnetkov.

Merjenje velikosti zobnih kron

Velikost zobnih kron sem izmeril z digitalnim kljunastim merilom s koničasto zabrušenimi merilnimi kraki (*Walter Werke Salzburg GmbH*, Avstrija) z natančnostjo 0,1 mm. Izmeril sem širino (meziodistalni premer) in debelino (vestibuloradni premer) zobnih kron. Močno obrabljenih ali poškodovanih zob nisem izmeril.

Periapikalno in panoramsko rentgensko slikanje zob

Zgornje in spodnje čeljustnice bronastodobnih skeletov 2 in 5 smo posneli z digitalnim ortopantomografom *Kodak 8000C Digital Panoramic and Cephalometric System*¹. Pred tem smo čeljustnice z lepilnimi trakovi pričvrstili v ortopantomograf v ustreznem položaju. Nekatere zobe smo posneli tudi z aparatom za intraoralno rentgensko slikanje *Planmeca Prostyle Intra* (Helsinki, Finska)².

Računalniška tomografija s stožčastim snopom

Spodnji čeljustnici skeletov 2 in 5 smo posneli še z novejšo radiološko slikovno metodo, imenovano računalniška tomografija s stožčastim snopom (RTSS).

Uporabili smo aparaturo *Veraviewepocs 3D R100* (*J. Morita Mfg. Corp.*, Kyoto, Japonska)³.

Določanje kronološke starosti posameznikov

S programom Adobe Photoshop 5.0 sem na digitaliziranih lokalnih rentgenskih posnetkih izbranih zob določil relativno obsežnost pulpine votline in izračunal kronološko starost posameznika po metodi, ki so jo razvili Kvaal in sodelavci (Kvaal *et al.* 1995).

Ugotavljanje zobnega kariesa

Tako kot priporoča Caselitz (1998), je bilo merilo prisotnosti kariesa kaviteta v sklenini ali cementu, vidna s prostim očesom. Pri vsaki kariozni spremembi sem zabeležil lokacijo na zobu (krona, vrat, korenina) in zobno ploskev (okluzalna, mezialna, distalna, vestibularna, oralna). Napredovanost karioznih sprememb sem ocenil rentgensko.

Ugotavljanje apikalnega parodontitisa

Znake prisotnosti apikalnega parodontitisa sem ugotavljal makroskopsko in rentgensko.

Ugotavljanje parodontalne bolezni

Razgradnja marginalne alveolne kosti je eden od znakov parodontalne bolezni. Izgubo marginalne kosti pri bronastodobnih skeletih sem vrednotil na dva načina: i) po absolutni (direktni) metodi, pri kateri merimo razdaljo med skleninsko-cementno mejo (SCM) in robom alveolne kosti (RAK) v mm, in ii) po relativni (proporcionalni) metodi, pri kateri izražamo višino alveolne kosti, ki obdaja zob, kot odstotni delež dolžine zoba (Snoj Cvetko *et al.* 1994). Poleg vodoravne razgradnje alveolne kosti sem ugotavljal še prisotnost poševne kostne resorpcije in razgradnjo kosti v predelu koreninskega razcepišča večkoreninskih zob (prizadetost koreninskega razcepišča) (Salvi *et al.* 2008).

Pri absolutni metodi sem ob vsakem prisotnem zobu na šestih mestih z Williamsovo parodontalno sondo (Hu-Friedy, ZDA) izmeril razdaljo SCM-RAK: mezio-

1 Snemanje je potekalo pri nastavitvah 71 kV, 12 mA in 13,2 s.

2 Slikanje je poteklo pri nastavitvah 60 kV, 8 mA, 0,160 s. Pri tem smo uporabili rentgenski film *Carestream Dental E-speed* (velikosti 30,5 × 40,5 mm).

3 Snemanje je potekalo pri 90 kV in 7 mA. Čas ekspozicije je bil 9,4 s, velikost voksla 0,125 mm, debelina rezine pa 1 mm. 2D prereze in 3D rekonstrukcije anatomskih struktur sem pregledoval na zaslonu osebnega računalnika s programom *i-Dixel One Volume Viewer 2.0.0* (*J. Morita*, Kyoto, Japonska).

bukalno, bukalno, distobukalno, meziopalatinalno, palatinalno in distopalatinalno. Tista mesta, na katerih je bila kost poškodovana po smrti, sem pri meritvah izpustil. Za vsak zob sem izračunal povprečno razdaljo SCM-RAK.

Pri proporcionalni metodi sem analiziral digitalizirane panoramske posnetke zgornjih in spodnjih čeljustnic. S programom Adobe Photoshop 5.0 sem na posnetkih izmeril razdaljo med vrhom krone in koreninsko konico (dolžina zoba) ter razdaljo med robom alveolne kosti in koreninsko konico (višino alveolne kosti) na mezialni in distalni strani vseh prisotnih zob. Za višino alveolne kosti pri vsakem posameznem zobu sem upošteval povprečje izmerjenih vrednosti na mezialni in distalni strani zoba. Na panoramskih rentgenskih posnetkih analiziranih skeletov je bilo zaradi zob, izgubljenih po smrti, in poškodovanosti čeljustnic izmerljivih le 34,4 % (66/192) aproksimalnih ploskev.

Ugotavljanje zobnega kamna

Prisotnost zobnega kamna sem ugotavljal z zobozdravstvenim mikroskopom (*OPMI Pico, Carl Zeiss AG, Oberkochen, Nemčija*) pri 3,4-kratni in 5,1-kratni povečavi. Pri vsakem zobu sem določil, na katerih ploskvah je zobni kamen in njegovo lego glede na SCM. Ničelno domnevo, da se pogostnost zgornjih in spodnjih zob z zobnim kamnom ne razlikuje, sem preverjal s testom hi-kvadrat, posebej za zobe interkaninega (sekalci in podočniki) in transkaninega predela (ličniki in kočniki). Statistični izračuni so bili narejeni s programom Microsoft Excel. Razliko sem obravnaval kot statistično značilno pri $p \leq 0,05$.

Ugotavljanje hipoplazij sklenine

Makroskopski pregled površine sklenine sem dopolnil s pregledom pod zobozdravstvenim mikroskopom pri 8,5-kratni povečavi. Z digitalnim kljunastim merilom sem izmeril razdaljo med SCM in sredino vsake ugotovljene linearne hipoplazije sklenine (LHS). Izmerjeno razdaljo sem pretvoril v starost otroka v času nastanka hipoplazije tako kot Goodman in sodelavci (Goodman *et al.* 1980).

Določanje okluzijskega odnosa med zobnima lokoma

Uporabili smo Anglovo razvrstitev okluzijskega odnosa med zobnima lokoma v sagitalni (anteroposteriorni) ravnini: razred I (normalni griz), razred II (distalni griz), razred III (mezialni griz).

Ugotavljanje obrabe zob

Stopnjo okluzalne obrabe zob sem določil po osemstopenjski Molnarjevi lestvici (1–8) (Molnar 1971). Uporabil sem tudi kazalnik obrabe zob TWI (Tooth Wear Index), ki ima pet stopenj (0–4) in ločeno vrednoti vratni in preostali del vestibularne ploskve ter grizno ploskev/grizni rob in oralno ploskev (Smith, Knight 1984).

Rezultati

Skelet 2

Opis zgornjih čeljustnic

Ohranjene so obe zgornji čeljustnici s 7 stalnimi zobmi *in situ* in leva nebica (tabela 1, slika 1A). Desna zgornja čeljustnica je zlepljena iz dveh delov, ker se je po smrti prelomila prek zobiščnega in nebnega odrastka. Prelom poteka ob alveoli zoba ²P. Incizivni šiv je v celoti zakostenel, znake zakostenevanja pa kažejo tudi ostali trije nebni šivi. Ob prevzemu gradiva je bil v alveolo zoba I¹ prilepljen I¹C, ki pripada skeletu 3. Alveola zoba I¹C v zgornji čeljustnici skeleta 3 se po velikosti in obliki uje ma s korenino omenjenega zoba. Poleg tega se omenjeni I¹C z distalno aproksimalno faseto natančno prilega mezialni aproksimalni faseti I¹P, ki pripada skeletu 3. Slika 1A prikazuje zgornji čeljustnici skeleta 2 po tem, ko je bil I¹C prenesen k skeletu 3. I² skeleta 2 je prilepljen v ustrezno alveolo, vendar je zasukan za 180° in tako z labialno ploskvijo obrnjen v palatinalno smer, s palatinalno ploskvijo pa v labialno smer. Kljub veliki obrabljenosti lahko pri tem zobu s pomočjo zobozdravstvenega mikroskopa določimo palatinalno in labialno ploskev, ker ima prva na zobnem tuberklu vidne sledove vzdolžnih brazd, mezialna ploskev pa se od distalne razlikuje po višjem loku SCM. Po smrti so bili izgubljeni ³M, ²P, ²I¹, P², M³. V nasprotju s tem sta bila I¹M¹ izgubljeni za časa življenja, njuni alveoli sta se preoblikovali in zapolnili s kostnino. Lega alveole po smrti izgubljenega P² kaže, da je bil zob zasukan distopalatinalno za 45°, I¹M¹ sta

pomaknjena nekoliko nad grizno ravnino. Opisane spremembe so nastale postopoma po izgubi ¹M¹, iz njih pa lahko sklepamo, da omenjena zoba nista bila izgubljena neposredno pred smrtjo.

Opis spodnje čeljustnice

Ohranjena je spodnja čeljustnica s 14 stalnimi zobmi *in situ* (tabela 1, slika 1B). Kost je zlepljena, ker se je po smrti prelomila med telesom in desno navpično vejo v predelu simfize, zdrobljena pa je bila tudi v predelu levih kočnikov. Mentalni odprtini (*foramen mentale*) sta enojni in ležita pod stikom obeh spodnjih ličnikov. Predel brade je pri pogledu s spodnje strani oglate oblike. Spodnji

rob telesa spodnje čeljustnice je na obeh straneh nekoliko izbočen, brez predgonialne zareze. Oba čeljustna kota sta pri pogledu iz zadajšnje strani ravna. Zadajšnji rob obeh ramusov je brez upogiba. ¹I₁ sta bila izgubljena po smrti, njuni zobnici sta poškodovani in zato le delno ohranjeni.

Oblikovni znaki zob in čeljustnic

Pri zgornjih zobeh zaradi napredovane obrabe ni bilo mogoče določiti večine oblikovnih znakov zobne krone, lahko pa sem določil število korenin: ena korenina pri ^{1,2}I^{1,2}, ¹C¹, ²P², dve korenini pri ¹P¹, tri korenine pri ^{3,2}M^{2,3} (slika 2). Pri spodnjih zobeh je boljša ohranjenost zobnih kron omogočala določitev večjega števila oblikovnih

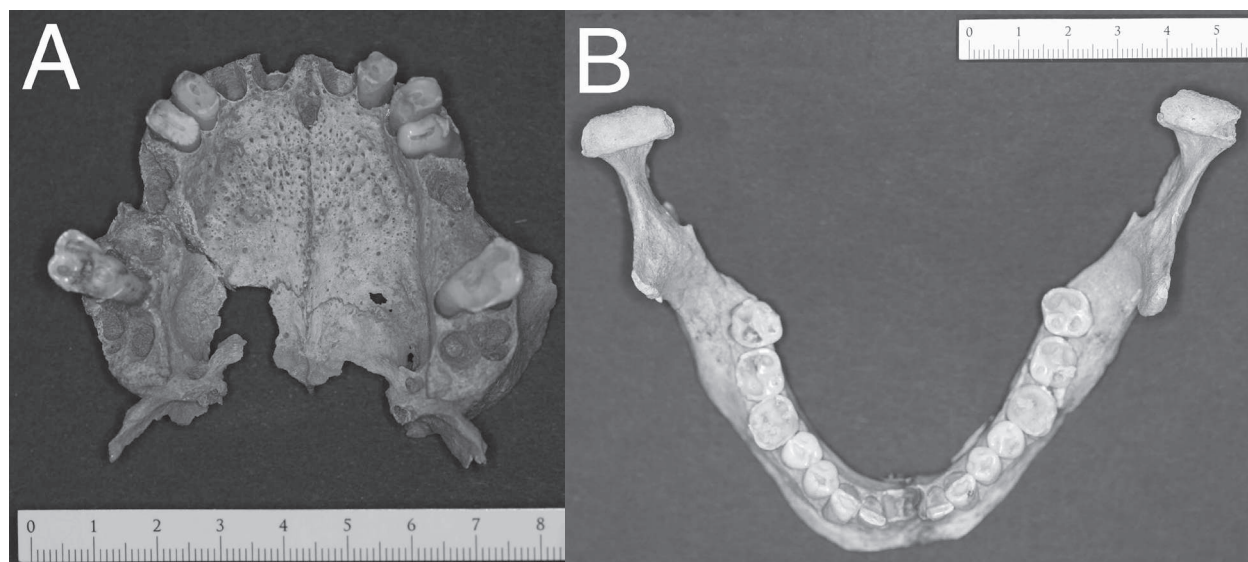
Značilnost	³ M	² M	¹ M	² P	¹ P	¹ C	² I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I
MD premer krone	PM	9,1	AM	PM	--	5,4	PM	PM	PM	5,5	5,9	--	PM	AM	9,5	PM	
VO premer krone	PM	11,6	AM	PM	8,7	8,9	PM	PM	PM	6,4	8,7	9,0	PM	AM	12,0	PM	
Stopnja obrabe**	PM	7	AM	PM	7	7	PM	PM	PM	6	7	8	PM	AM	7	PM	
Lega kariesa	PM	D*	AM	PM	O	O	PM	PM	PM	O	O	O	PM	AM	D*	PM	
Napred. kariesa	PM	N	AM	PM	O	O	PM	PM	PM	O	O	O	PM	AM	N	PM	
AP	O	O	AM	O	O	O	O	O	O	O	O	P	O	AM	O	O	
Zobni kamen	PM	O	AM	PM	O	O	PM	PM	PM	X	O	O	PM	AM	X	PM	
LHS	PM	O	AM	PM	O	O	PM	PM	PM	O	O	O	PM	AM	O	PM	
Značilnost	³ M	² M	¹ M	² P	¹ P	¹ C	² I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I
MD premer krone	10,2	10,6	10,3	7,3	7,3	--	5,9	PM	PM	6	7,1	7,2	7,1	10,5	10,8	10,6	
VO premer krone	10,1	10,0	10,4	8,1	8,2	8,8	6,4	PM	PM	6,4	8,6	7,9	7,9	10,3	10,0	10,2	
Stopnja obrabe**	4	5	6	4	4	4	3	PM	PM	3	4	4	4	6	4	4	
Lega kariesa	O	B*	M*, D*	O	O	O	O	PM	PM	O	O	O	O	D*	O	O	
Napred. kariesa	O	Z	S, Z	O	O	O	O	PM	PM	O	O	O	O	S	O	O	
AP	O	O	O	O	O	O	O	PM	PM	O	O	O	O	O	O	O	
Zobni kamen	X	X	Y	X	X, Y	X	X	PM	PM	X	X	X	X	Y	O	O	
LHS	O	O	O	O	O	O	P	PM	PM	P	O	O	O	O	O	O	

Legenda: PM – posmrtno (*post mortem*) izgubljen zob, AM – zob izgubljen za časa življenja (*ante mortem*), MD – meziodistalno, VO – vestibulooralno, M – mezialno, D – distalno, B – bukalno, * – karies na zobnem vratu, ** – 8-stopenjska lestvica po Molnarju (1971), Z/S/N – zunanja/srednja/notranja tretjina dentinskega plašča, AP – apikalni parodontitis, LHS – linearna hipoplazija sklenine, O – odsotnost kariesa/AP/zobnega kamna/LHS, P – prisotnost AP/LHS, X/Y – zobni kamen nad/pod skleninsko-cementno mejo.

Legend: PM – postmortally lost tooth, AM – intravitally lost tooth, MD – mesiodistally, VO – vestibuloorally, M – mesial, D – distal, B – buccal, * – cervical caries, ** – 8-point Molnar's scale (1971), Z/S/N – outer/middle/inner third of dentine, AP – apical periodontitis, LHS – linear enamel hypoplasia, O – absence of caries/AP/calculus/LHS, P – presence of AP/LHS, X/Y – calculus above/below the cemento-enamel junction.

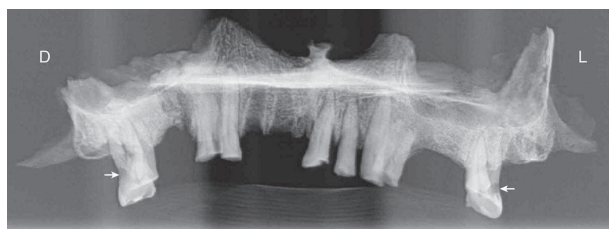
Tabela 1. Značilnosti zobovja pri skeletu 2 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro – manjkajoči zobje, zobne mere (v mm), stopnja okluzalne obrabe po Molnarjevi lestvici, karies, apikalni parodontitis, zobni kamen in linearne hipoplazije sklenine.

Table 1. Characteristics of the teeth belonging to Skeleton 2 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora – missing teeth, tooth measurements (in mm), occlusal attrition stage on the Molnar scale, caries, apical periodontitis, dental calculus and linear enamel hypoplasia.



Slika 1. Zgornji čeljustnici (A) in spodnja čeljustnica (B) skeleta 2 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro.

Figure 1. Maxillae (A) and mandible (B) belonging to Skeleton 2 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora.



Slika 2. Panoramski rentgenski posnetek zgornjih čeljustnic skeleta 2 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro. Puščici (→←) označujeta kariozni spremembi na distalni ploskvi zob ²M². D – desno, L – levo.

Figure 2. Panoramic radiograph of maxillae belonging to Skeleton 2 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora. Arrows (→←) mark the carious lesions on the distal sides of ²M². D – right side, L – left side.

znakov. ¹P₁ imata na grizni ploskvi po 2 vršičke, ²P₂ po 3 vršičke, ^{3,2}M_{2,3} po 4 vršičke. ³M₃ imata pod meziobukalnim vršičkom drobno jamico, ki je najverjetneje protostilid. ²M₂ imata fisurni sistem X oziroma Y, ³M₃ pa fisurni sistem + oziroma X. Pri ¹M₁ zaradi velike obrabljenosti ni bilo mogoče določiti niti števila vršičkov niti vrste fisurnega sistema. ^{3,2}M₂ imajo na bukalni ploskvi približno 1 mm dolg skleninski jezik. Eno korenino imajo ^{2,1}I_{1,2},

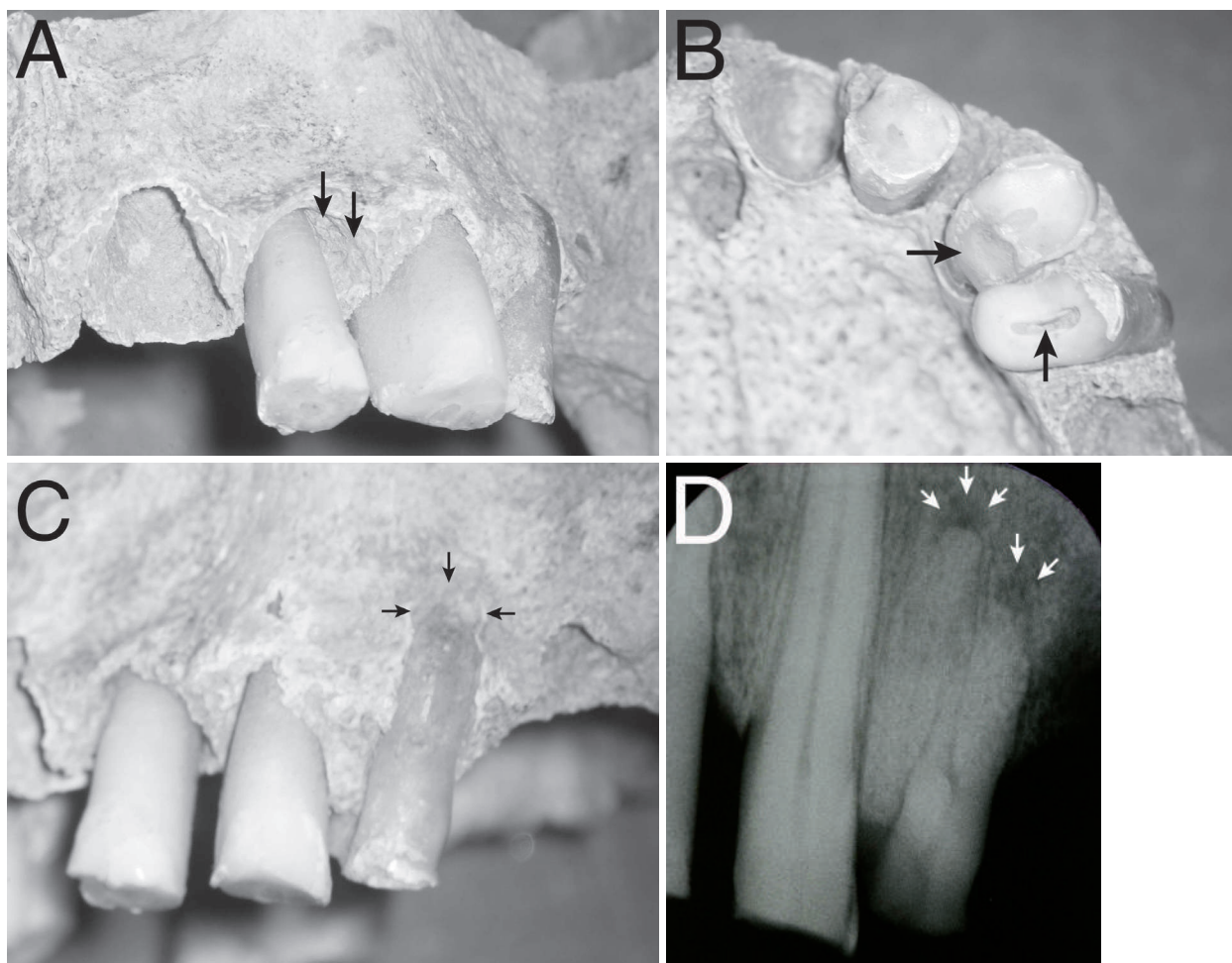
¹C₁, ^{2,1}P_{1,2}, dve korenini pa ^{3,2,1}M_{1,2,3}. Čeljustnice nimajo kostnih izboklin (eksostoz). Spodnji rob telesa spodnje čeljustnice je izbočen, zato na ravni površini ni stabilna in jo lahko zazibamo (zibajoča spodnja čeljustnica, angl. rocker jaw).

Okluzijski odnos med zobnima lokoma

Zobna loka sta simetrična, njuno okluzijsko ujemanje pa je zaradi večje obrabljenosti zgornjih zob v primerjavi s spodnjimi zobmi slabo. Določitev okluzijskega odnosa med zobnima lokoma ni bila mogoča zaradi premajhnega števila ohranjenih zgornjih zob.

Obraba zob

Zgornji zobje so zelo močno obrabljeni, okluzalna obraba je od 6. do 8. stopnje po Molnarjevi lestvici (tabela 1) oz. 4. stopnje po kazalniku TWI (tabela 2). Njihove zobne krone so zaradi obrabe skoraj v celoti uničene (sliki 3–4). Pri ¹P₁ je vlogo grizne ploskve prevzela zobna korenina, le na bukalni ploskvi je pri ¹P₁ 2 mm, pri ¹P₂ pa 3 mm ohranjene sklenine. Obraba je dosegla zobno korenino tudi na palatinalni strani ²M₂ (slika 4). Pri vseh zgornjih zobeh je zaradi obrabe izpostavljen terciarni dentin, pri ¹P₁ pa je odprt pulpni prekat (slika 3B). Pri ohranjenih



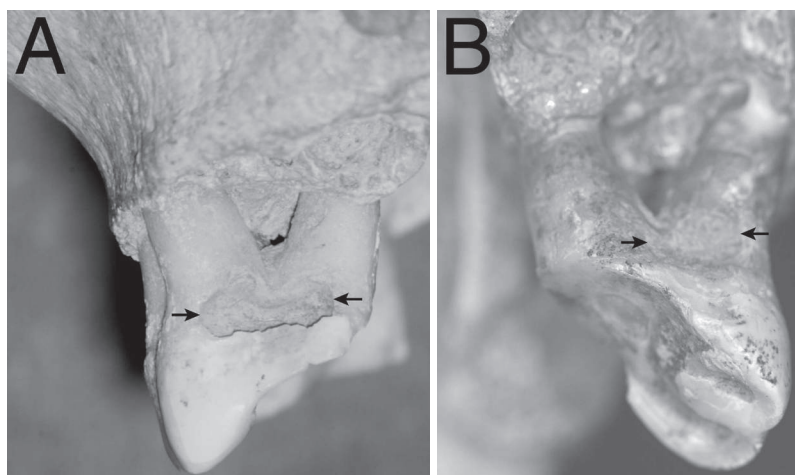
Slika 3. Levi zgornji zobje skeleta 2 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro. A – pogled z labialne strani. Poševna razgradnja alveolne kosti (↓↓) ob korenini zoba I². B – pogled z okluzalne strani. C¹ ima na palatinalni strani poševno zabrušenje (→), pri P¹ pa je zaradi velike obrabljenosti odprt pulpni prekat (↑). C – pogled z bukalne strani. Apikalna razgradnja kosti (→↓←) ob bukalni korenini P¹. D – puščice na rentgenskem posnetku označujejo periapikalni radiolucenosti ob koreninah zoba P¹.

Figure 3. Left maxillary teeth of the skeleton 2 from Bronze Age site Brezje under Brinjeva gora. A – labial view. Note vertical loss of alveolar bone (↓↓) near root of the tooth I². B – occlusal view. C¹ exhibits an inclined wear facet on the palatal side (→) whereas the pulp chamber of P¹ has been exposed (↑) as a result of heavy wear. C – buccal view. Note apical bone resorption (→↓←) associated with buccal root of P¹. D – arrows on radiograph indicate periapical radiolucencies associated with both roots of P¹.

interkanininih zobeh (I², ¹C¹) je obraba vodoravna, C¹ pa ima na palatinalni strani še poševno zabrušenje (slika 3B). Ohranjeni zgornji transkaninini zobje (¹P¹, ²M²) imajo grizne ploskve obrabljene poševno v palatinalni smeri pod kotom približno 30° (slika 4).

Pri skeletu 2 preseneča precej manjša obrabljenost spodnjih zob v primerjavi z zgornjimi zobmi (sliki 1A–1B);

okluzalna obraba spodnjih zob je od 3. do 6. stopnje po Molnarjevi lestvici (tabela 1) oz. od 2. do 4. stopnje po kazalniku TWI (tabela 2). Najbolj obrabljena spodnja zoba sta ¹M₁. Okluzijska ravnina v predelu spodnjih kočnikov je poševna, vendar bistveno manj kot pri ²M². Grizne ploskve spodnjih kočnikov so čašasto oblikovane, ker so predeli z izpostavljenim dentinom obrabljeni bolj kakor okolna sklenina.



Slika 4. Distalna ploskev zoba 2M (A) in zoba M^2 (B), ki pripadata skeletu 2 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro. Puščici ($\rightarrow\leftarrow$) označujeta kariozni spremembi na zobnem vratu obeh zob. Pri obeh zobeh je obraba griznih ploskev izrazito poševna in na palatinalni strani že sega v zobno korenino.

Figure 4. Distal sides of 2M (A) and M^2 (B) which belong to the skeleton 2 from Bronze Age site Brezje under Brinjeva gora. Arrows ($\rightarrow\leftarrow$) indicate cervical carious lesions on both teeth. Occlusal surfaces of both teeth show markedly oblique wear planes which are palatally engaging the root.

Zobna ploskev	Zgornji zobni lok																
	³ M	² M	¹ M	² P	¹ P	¹ C	² I	¹ I	I ¹	I ²	C ¹	P ¹	P ²	M ¹	M ²	M ³	
C	PM	1	AM	PM	1	1	PM	PM	PM	1	1	--	PM	AM	1	PM	
B	PM	1	AM	PM	--	--	PM	PM	PM	--	--	--	PM	AM	1	PM	
O/I	PM	4	AM	PM	4	4	PM	PM	PM	4	4	4	PM	AM	4	PM	
L	PM	--	AM	PM	--	--	PM	PM	PM	1	4	--	PM	AM	--	PM	
L	1	1	1	1	1	1	1	PM	PM	1	1	1	1	--	1	1	
O/I	3	3	4	2	2	2	2	PM	PM	2	2	2	2	4	3	3	
B	1	1	1	1	1	1	1	PM	PM	1	1	1	1	1	--	1	
C	1	1	1	1	1	1	1	PM	PM	1	1	1	1	1	1	1	
Zobna ploskev	³ M	² M	¹ M	² P	¹ P	¹ C	² I	¹ I	I ₁	I ₂	C ₁	P ₁	P ₂	M ₁	M ₂	M ₃	
Spodnji zobni lok																	
Legenda: PM – posmrtno (<i>post mortem</i>) izgubljen zob, AM – zob izgubljen za časa življenja (<i>ante mortem</i>), C – cervikalno, B – bukalno, O/I – okluzalno/incizalno, L – lingvalno, * – Tooth Wear Index (Smith, Knight 1984).																	
Legend: PM – postmortally lost tooth, AM – intravitaly lost tooth, C – cervical, B – buccal, O/I – occlusal/incisal, L – lingual, * – TWI (Smith, Knight, 1984).																	

Tabela 2. Kazalnik obrabe zob TWI* pri skeletu 2.

Table 2. Tooth wear index* scores in Skeleton 2.

Povprečna stopnja obrabe po Molnarjevi lestvici je pri zgornjih zobeh 7,0 (49/7), pri spodnjih zobeh pa 4,2 (59/14). Tudi če pri izračunu upoštevamo samo tiste spodnje zobe, ki imajo ohranjen istoimenski zob v zgornji čeljusti, je povprečna stopnja obrabe spodnjih zob 4,0 (28/7). Povprečna vrednost kazalnika TWI za incizalni rob/grizno ploskev je pri zgornjih zobeh 4,0 (28/7), pri spodnjih zobeh 2,6 (36/14). Kazalnik ima na palatinalni strani C^1 zaradi prej omenjenega poševnega zabrušenja vrednost 4, na vseh ostalih vestibularnih in oralnih ploskvah pa vrednost 1.

Zobni karies

Kavitirane kariozne spremembe so na distalnih ploskvah $^2M^2$ (sliki 4A–4B), na bukalni ploskvi 2M (slika 6B), na mezialni in distalni ploskvi 1M ter na distalni ploskvi M^1 (tabela 1). Vseh 6 karioznih sprememb je na zobnem vratu. Po rentgenski sliki sta kariozni spremembi na distalnih ploskvah $^2M^2$ globoki in segata v notranjo tretjino dentinskega plašča (slika 2), kariozni spremembi na mezialni ploskvi 1M (slika 5A) in na distalni ploskvi M^1 (slika 5B) segata v srednjo tretjino dentinskega plašča, kariozni spremembi na distalni ploskvi 1M (slika 5A) in

na bukalni ploskvi $_2M$ (slika 5C) pa sta omejeni na zunanjo tretjino dentinskega plašča.

Apikalni parodontitis

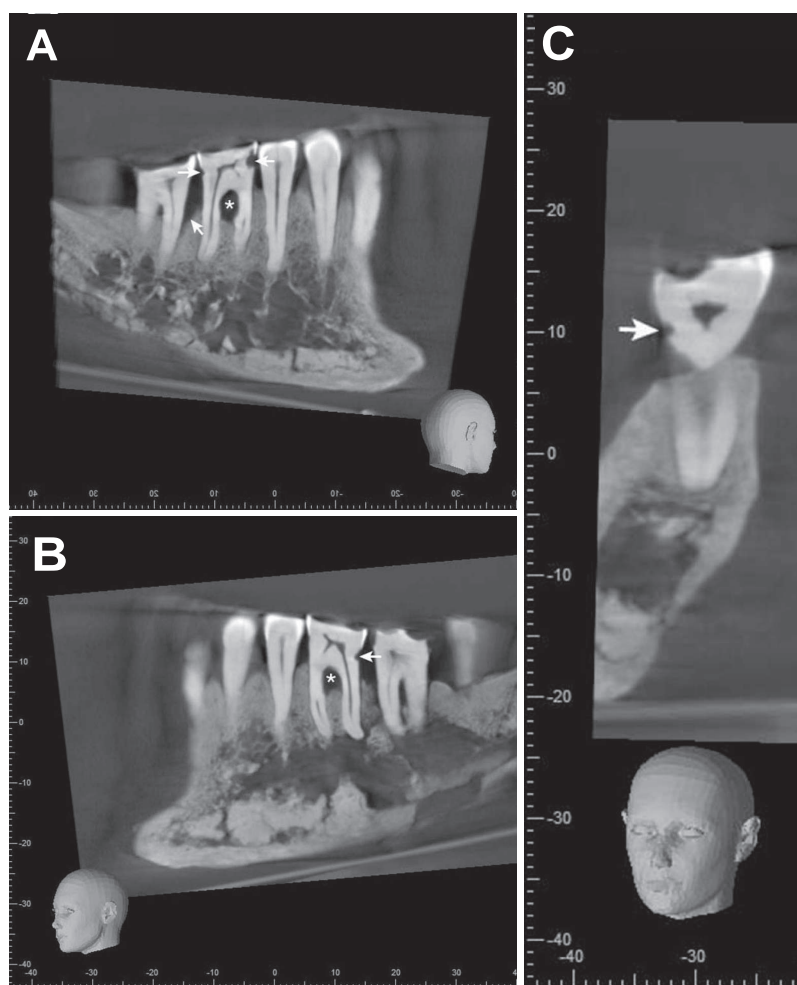
P^1 , pri katerem je obraba dosegla pulpni prekat, ima ob konici bukalne korenine makroskopsko vidno razgradnjo kosti premera 3,2 mm (slika 3C). Na rentgenskem posnetku tega zoba sta ob konicah obeh korenin (bukalne in palatinalne) vidni manjši neostro omejeni radiolucenci (slika 3D). Alveoli po smrti izgubljenih zob $^2P^2$ sta v apikalnem delu nepravilno oblikovani, kar dopušča možnost, da gre za vnetni razgradnji kosti. Tudi njun nastanek bi bil vzročno lahko povezan z odprtjem pulpne prekate zaradi obrabe. V nasprotju s tem pa ob spodnjih zobeh ni znakov apikalne razgradnje kosti.

Hipoplazije sklenine

$_2I_2$ imata v vratni polovici labialne ploskve vsak po 2 šibko izraženi vodoravno potekajoči hipoplaziji sklenine (slika 6A). Pri I_2 sta hipoplaziji od SCM oddaljeni 2,6 mm in 3,4 mm, pri $_2I$ pa 2,3 mm in 3,4 mm.

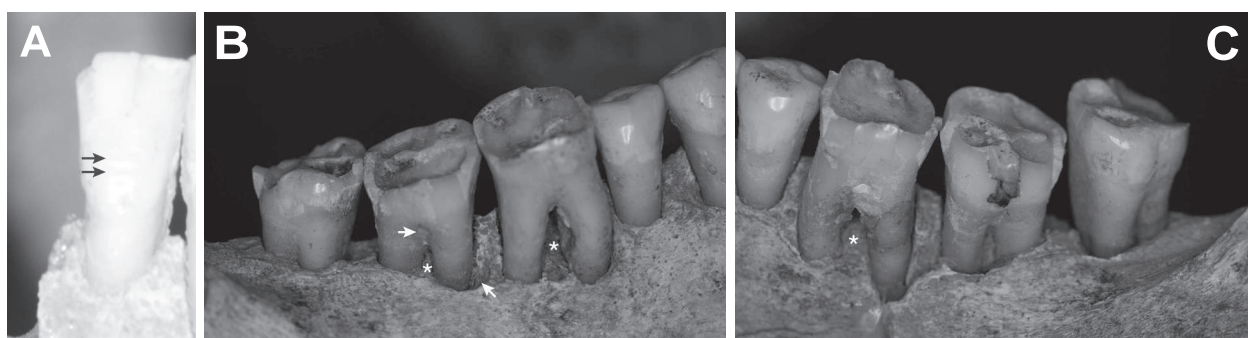
Parodontalna bolezen

Znaki parodontalne bolezni so prisotni ob 42,9 % (12/28) ocenjenih zob, med katerimi je devet kočnikov ($^{3,2}M^{2,3}$, $^{3,2,1}M_{1,2}$), dva ličnika ($P^{1,2}$) in en sekalec (I^2) (tabela 3). Kočniki $_{2,1}M_1$, $^2M^2$ imajo prizadeto koreninsko razcepišče (slike 4A, 4B, 5A, 5B, 6B in 6C). Ob mezialni korenini $_2M$ in ob korenini zoba I^2 je razgradnja alveolne kosti poševna (slike 3A, 5A in 6B), ob ostalih 10 zobeh pa vodoravna. Ob parodontalno prizadetih zobeh je povprečna



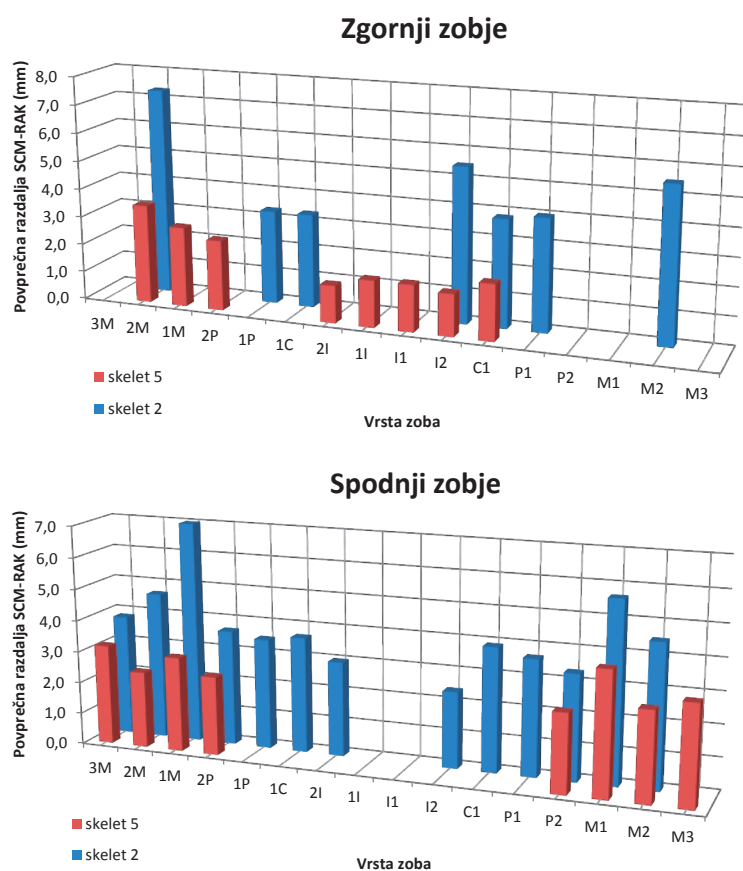
Slika 5. Prikaz spodnje čeljustnice skeleta 2 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro z metodo računalniške tomografije s stožčastim snopom. A – meziodistalni vzdolžni prerez predela desnih spodnjih ličnikov in kočnikov. Zob $_1M$ ima kariozni spremembi na mezialni ($\leftarrow$) in distalni ploskvi ($\rightarrow$) ter prizadeto koreninsko razcepišče (*). Ob mezialni korenini zoba $_2M$ je vidna poševna razgradnja alveolne kosti ($\uparrow$). B – meziodistalni vzdolžni prerez predela levih spodnjih ličnikov in kočnikov. Zob M_1 ima kariozno spremembo na distalni ploskvi ($\leftarrow$) in prizadeto koreninsko razcepišče (*). C – bukolingvalni vzdolžni prerez zoba $_2M$ s kariozno spremembo na bukalni ploskvi ($\rightarrow$).

Figure 5. Cone-beam computed tomography images of the mandible belonging to Skeleton 2 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora. A – mesiodistal longitudinal section of the right mandibular premolars and molars. $_1M$ exhibits carious lesions on mesial ($\leftarrow$) and distal sides ($\rightarrow$), as well as furcation involvement (*). Note vertical loss of alveolar bone ($\uparrow$) near the mesial root of $_2M$. B – mesiodistal longitudinal section of the left mandibular premolars and molars. M_1 exhibits a carious lesion on the distal side ($\leftarrow$) and furcation involvement (*). C – buccolingual longitudinal section of $_2M$ showing a carious lesion on the buccal side ($\rightarrow$).



Slika 6. Spodnji zobje skeleta 2 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro. A – zob I_2 z dvema šibko izraženima linearnima hipoplazijama sklenine ($\rightarrow$). B – predel desnih spodnjih ličnikov in kočnikov z bukalne strani. Pri zobu $2M$ sta s puščicama označena kariozna sprememba ($\rightarrow$) in poševna razgradnja alveolne kosti ($\uparrow$) ob mezialni korenini. Zoba $2M$ imata prizadeto koreninsko razcepišče (*). C – predel levih spodnjih ličnikov in kočnikov z bukalne strani. Zob M_1 ima prizadeto koreninsko razcepišče (*).

Figure 6. Mandibular teeth of Skeleton 2 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora. A – I_2 with two faintly expressed linear enamel hypoplasias ($\rightarrow$). B – buccal view of the right mandibular premolars and molars. Arrows mark a carious lesion ($\rightarrow$) and vertical loss of alveolar bone ($\uparrow$) near the mesial root of $2M$. $2M$ exhibit furcation involvement (*). C – buccal view of the left mandibular premolars and molars. M_1 exhibits furcation involvement (*).



Slika 7. Povprečna razdalja med skleninsko-cementno mejo (SCM) in robom alveolne kosti (RAK) pri zobeh skeletov 2 in 5 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro.

Figure 7. Average cemento-enamel junction (CEJ) to alveolar crest (AC) distance in the teeth of Skeletons 2 and 5 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora.

razdalja SCM-RAK med 4,5 mm in 7,3 mm, ob zobeh brez znakov parodontalne bolezni pa med 3,0 mm in 3,9 mm (slika 7). Pri prvih je višina alveolne kosti v območju med 41,9 % in 57,2 % dolžine zoba, pri drugih pa med 56,2 % in 75,5 % dolžine zoba (slika 8). Napredovana parodontalna bolezen (višina alveolne kosti < 50 % dolžine zoba in/ali prizadetost koreninskega razcepišča 2. ali 3. stopnje) je bila prisotna ob petih zobeh ($^2M^2$, I^2 , 1M_1).

Zobni kamen

Otočki zobnega kamna so prisotni pri 66,7 % (14/21) zob (tabela 1). V zgornji čeljusti ima zobni kamen 28,6 % (2/7) zob, v spodnji čeljusti pa 85,7 % (12/14) zob. Otoki zobnega kamna ležijo na anatomski kroni, razen pri 1M_1 , kjer ležijo na anatomski korenini, in pri 1P , kjer ležijo tako na anatomski kroni kot na anatomski korenini. Na anatomski kroni ležeči zobni kamen je pri obeh zgornjih zobeh na bukalni ploskvi, pri vseh spodnjih zobeh pa na palatinalni ploskvi. Na anatomski korenini ležeči zobni kamen je pri vseh treh spodnjih zobeh na bukalni ploskvi, pri 1M pa tudi na palatinalni ploskvi.

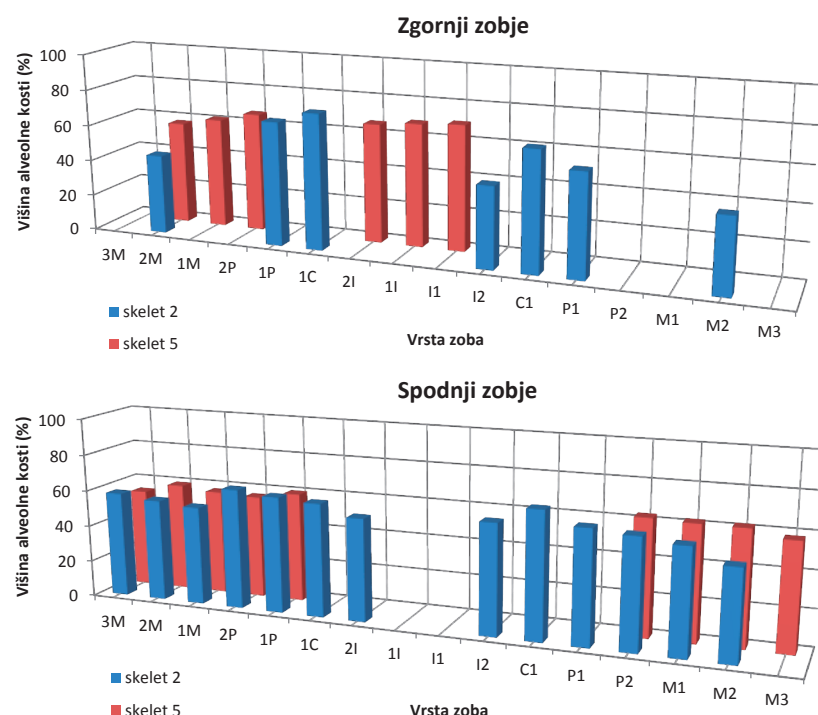
Mesto	3M	2M	1M	2P	1P	1C	2I	1I	I^1	I^2	C^1	P^1	P^2	M^1	M^2	M^3
MB	PM	7,0	AM	PM	4,0	4,0	PM	PM	PM	7,0	5,0	3,0	PM	AM	5,0	PM
B	PM	6,0	AM	PM	4,0	4,0	PM	PM	PM	7,0	5,0	--	PM	AM	5,0	PM
DB	PM	7,0	AM	PM	3,0	3,0	PM	PM	PM	7,0	4,0	5,0	PM	AM	6,0	PM
MP	PM	8,0	AM	PM	3,0	3,0	PM	PM	PM	3,0	3,0	--	PM	AM	--	PM
P	PM	8,0	AM	PM	3,0	3,0	PM	PM	PM	4,0	3,0	--	PM	AM	--	PM
DP	PM	8,0	AM	PM	3,0	3,0	PM	PM	PM	5,0	3,0	--	PM	AM	6,0	PM
Povprečje	PM	7,3	AM	PM	3,3	3,3	PM	PM	PM	5,5	3,8	4,0	PM	AM	5,5	PM
PKR	PM	3	AM	PM	0	--	PM	PM	PM	--	--	0	PM	AM	2	PM
Mesto	3M	2M	1M	2P	1P	1C	2I	1I	I^1	I^2	C^1	P^1	P^2	M^1	M^2	M^3
MB	4,0	7,0	6,0	4,0	2,0	3,0	3,0	PM	PM	3,0	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0	--
B	3,0	5,0	9,0	5,0	6,5	8,0	3,0	PM	PM	3,0	10,0	6,5	5,0	9,0	5,0	--
DB	3,0	4,0	9,0	4,0	4,0	3,0	3,0	PM	PM	2,5	3,0	3,0	3,0	5,0	3,0	--
ML	5,0	4,0	6,0	3,0	3,0	3,0	2,5	PM	PM	2,0	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0	--
L	4,0	4,0	7,0	3,0	3,0	2,0	3,0	PM	PM	2,0	2,0	3,5	3,0	5,0	5,0	--
DL	4,0	4,0	5,0	3,0	2,5	3,0	3,5	PM	PM	2,0	2,5	3,0	3,0	5,0	4,0	--
Povprečje	3,8	4,7	7,0	3,7	3,5	3,7	3,0	PM	PM	2,4	3,9	3,7	3,3	5,7	4,5	--
PKR	0	1	3	--	--	--	--	PM	PM	--	--	--	--	2	0	--

Legenda: MB – meziobukalno, B – bukalno, DB – distobukalno, MP – mezipalatinalno, P – palatinalno, DP – distopalatinalno, PKR – stopnja prizadetosti koreninskega razcepišča (0 – brez prizadetosti, 1 – do 1/3 širine, 2 – več kot 1/3 širine, 3 – celotna širina medkoreninskega kostnega pretina). Zobje z znaki parodontalne bolezni (povečana razdalja SCM-RAK, spremenjen potek roba alveolne kosti, izguba povrhnje kompakte ipd.) so zapisani krepko. Siva polja označujejo zobe, pri katerih ohranjenost čeljustne kosti ne zadošča za oceno prisotnosti/odsotnosti parodontalne bolezni.

Legend: MB – mesiobuccally, B – buccally, DB – distobuccally, MP – mesioapally, P – palatally, DP – distopalatally, PKR – degree of furcation involvement (0 – no involvement, 1 – not exceeding 1/3 of the width of the interradicular bony septum, 2 – exceeding 1/3 of the width of the interradicular bony septum, 3 – whole width of the interradicular bony septum). Teeth with signs of periodontal disease (increased CEJ-AC distance, change of the contour of the AC, loss of the surface cortical bone, etc.) are written in bold. Grey boxes indicate teeth with insufficient alveolar bone preservation to assess the presence/absence of periodontal disease.

Tabela 3. Razdalja med skleninsko-cementno mejo (SCM) in robom alveolne kosti (RAK) pri zobovju skeleta 2 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro (v mm).

Table 3. Cementoenamel junction (CEJ) to alveolar crest (AC) distance in the teeth of Skeleton 2 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjevo gora (in mm).



Slika 8. Primerjava zob pri skeletih 2 in 5 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro po višini alveolne kosti, izraženi kot odstotni delež dolžine zoba.

Figure 8. Comparison of the heights of alveolar bone expressed as a percentage of tooth length in Skeletons 2 and 5 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora.

Skelet 3

Opis zgornjih čeljustnic

Ohranjeni so manjša dela obeh zgornjih čeljustnic ob incizivni odprtini in dva zgornja stalna zoba (1P in 1C) (tabela 4). Incizivni šiv je v celoti zakostenel, ohranjeni del prednjega sredinskega nebnega šiva je nezakostenel, ostali nebni šivi pa niso ohranjeni. V prevzetem gradivu je bil 1C skeleta 3 prilepljen v alveolo zoba I^1 pri skeletu 2, skelet 3 pa je imel v alveolo zoba 1I prilepljen 2I , v alveolo zoba C^1 pa C_1 . 2I najverjetneje ne pripada skeletu 3, njegova obrabljenost je namreč nesorazmerno majhna v primerjavi z obrabljenostjo sosednjih 1P in 1C . C_1 najverjetneje pripada skeletu 3 in je le prilepljen na napačno mesto, njegova alveola v spodnji čeljustnici pa ni ohranjena. Slika 9A prikazuje ohranjena dela zgornjih čeljustnic, pripadajoča zoba 1P in 1C ter zob C_1 , ki spada k spodnji čeljustnici. $P^{1,2}$ sta bila izgubljena za časa življenja, njuni alveoli sta zapolnjeni s kostnino. V predelu alveole manjkajočega zoba 2I je čeljustna kost razgrajena, luknjičasta in brez sledov lamine cribriformis, zato sklepam, da je bil tudi ta zob izgubljen pred smrtjo (slika 9B). Po smrti so bili izgubljeni 2P , $^1I^{1,2}$, C^1 .

Opis spodnje čeljustnice

Ohranjen je le manjši brezzobi kos spodnje čeljustnice ob desnem čeljustnem kotu (slika 10C). V njem je alveola zoba 3M , ki je bil izgubljen po smrti (tabela 4). 2M in najverjetneje tudi 1M sta bila izgubljena za časa življenja, njune alveole so zapolnjene s kostnino.

Oblikovni znaki zob in čeljustnic

Eno korenino imajo $^2I^{1,2}$, $^1C^1$, C_1 , dve korenini pa 1P . Na ohranjenih delih čeljustnic ni kostnih eksostoz.

Okluzijski odnos med zobnima lokoma

Ohranjenost zob in čeljustnic ne zadošča za določitev okluzijskega odnosa med zobnima lokoma, zato na tej osnovi ni bilo mogoče preveriti, ali gre za ostanke čeljustnic istega skeleta.

Obraba zob

Po Molnarjevi lestvici je obraba edinih dveh ohranjenih zgornjih zob (1P , 1C) stopnje 5, obraba edinega ohranjenega spodnjega zoba (C_1) pa stopnje 4 (tabela 4). Stopnja obrabljenosti približno ustreza istovrstnim zobem skeleta 5. Kazalnik TWI za incizalni rob/grizno ploskev ima pri

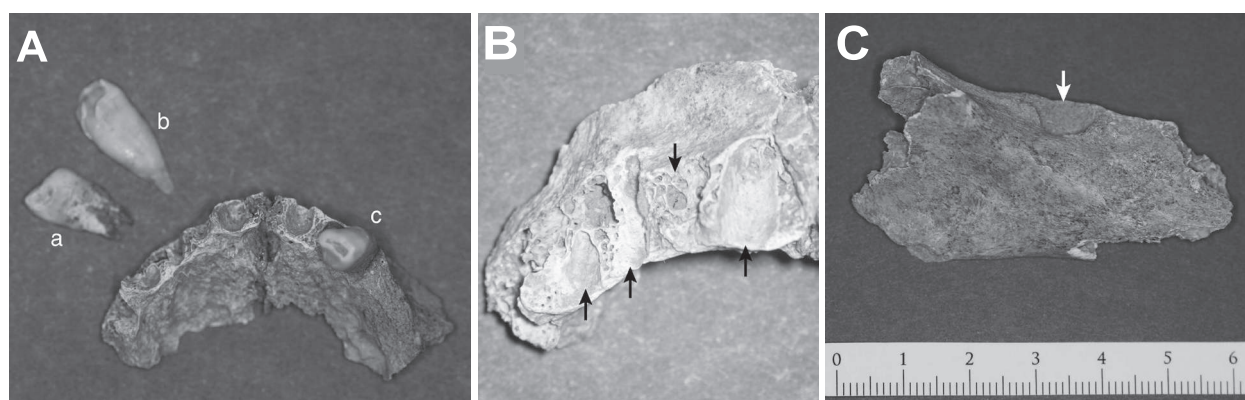
Značilnost	³ M	² M	¹ M	² P	¹ P	¹ C	² I	¹ I	I ¹	I ²	C ¹	P ¹	P ²	M ¹	M ²	M ³
MD premer krone	N	N	N	PM	5,7	7,5	AM	PM	PM	PM	PM	AM	AM	N	N	N
VO premer krone	N	N	N	PM	8,3	7,8	AM	PM	PM	PM	PM	AM	AM	N	N	N
Stopnja obrabe**	N	N	N	PM	5	5	AM	PM	PM	PM	PM	AM	AM	N	N	N
Lega kariesa	N	N	N	PM	M*	O	AM	PM	PM	PM	PM	AM	AM	N	N	N
Napred. kariesa	N	N	N	PM	N	O	AM	PM	PM	PM	PM	AM	AM	N	N	N
AP	N	N	N	O	O	O	AM	O	O	O	O	AM	AM	N	N	N
Zobni kamen	N	N	N	PM	O	X	AM	PM	PM	PM	PM	AM	AM	N	N	N
LHS	N	N	N	PM	O	O	AM	PM	PM	PM	PM	AM	AM	N	N	N
Značilnost	³ M	² M	¹ M	² P	¹ P	¹ C	² I	¹ I	I ₁	I ₂	C ₁	P ₁	P ₂	M ₁	M ₂	M ₃
MD premer krone	PM	AM	AM	N	N	N	N	N	N	N	6,7	N	N	N	N	N
VO premer krone	PM	AM	AM	N	N	N	N	N	N	N	7,1	N	N	N	N	N
Stopnja obrabe**	PM	AM	AM	N	N	N	N	N	N	N	4	N	N	N	N	N
Lega kariesa	PM	AM	AM	N	N	N	N	N	N	N	O	N	N	N	N	N
Napred. kariesa	PM	AM	AM	N	N	N	N	N	N	N	O	N	N	N	N	N
AP	PM	AM	AM	N	N	N	N	N	N	N	O	N	N	N	N	N
Zobni kamen	PM	AM	AM	N	N	N	N	N	N	N	O	N	N	N	N	N
LHS	PM	PM	AM	N	N	N	N	N	N	N	O	N	N	N	N	N

Legenda: PM – posmrtno (*post mortem*) izgubljen zob, AM – zob izgubljen za časa življenja (*ante mortem*), N – manjkajoči del čeljustnice z zobmi, MD – meziodistalno, VO – vestibulooralno, * – karies na zobnem vratu, ** – 8-stopenjska lestvica po Molnarju (1971), Z/S/N – zunanja/srednja/notranja tretjina dentinskega plašča, M – mezialno, ARK – apikalna razgradnja kosti, LHS – linearna hipoplazija sklenine, O – odsotnost kariesa/ARK/zobnega kamna/LHS, P – prisotnost ARK/LHS, X/Y – zobni kamen nad/pod skleninsko-cementno mejo.

Legend: PM – postmortally lost tooth, AM – intravitally lost tooth, N – missing portion of the jawbone with teeth, MD – mesiodistally, VO – vestibuloorally, * – cervical caries, ** – 8-point Molnar's scale (1971), Z/S/N – outer/middle/inner third of dentine, M – mesially, AP – apical periodontitis, LHS – linear enamel hypoplasia, O – absence of caries/AP/calculus/LHS, P – presence of AP/LHS, X/Y – calculus above/below the cemento-enamel junction.

Tabela 4. Značilnosti zobovja pri skeletu 3 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro – manjkajoči zobje, zobne mere (v mm), stopnja okluzalne obrabe po Molnarjevi lestvici, karies, apikalna razgradnja kosti, zobni kamen in linearne hipoplazije sklenine.

Table 4. Characteristics of the teeth belonging to Skeleton 3 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora – missing teeth, tooth measurements (in mm), occlusal attrition stage on the Molnar scale, caries, apical periodontitis, dental calculus and linear enamel hypoplasia.



Slika 9. Ohranjeni deli čeljustnic in zobje skeleta 3 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro. A – ohranjena dela zgornjih čeljustnic z zobema ¹P (a) in ¹C (b). V alveolo po smrti izgubljenega zoba C¹ je prilepljen zob C₁ (c), ki spada k spodnji čeljustnici. Alveoli zob P^{1,2} sta zapolnjeni s kostnino, ker sta bila zoba izgubljena za časa življenja. B – v odlomku desne zgornje čeljustnice so vidne deloma ohranjene alveole zob ¹P, ¹C in ¹I (↑↑↑), v predelu ²I (↓) pa je lamina cribriformis povsem razgrajena, ker je bil zob izgubljen pred smrtjo. C – ohranjen del spodnje čeljustnice ob desnem čeljustnem kotu z alveolo po smrti izgubljenega zoba ₃M (↓). Alveoli zob _{2,1}M sta zapolnjeni s kostnino, zoba sta bila izgubljena za časa življenja.

Figure 9. Remains of the jawbones with teeth belonging to Skeleton 3 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora. A – fragments of maxillae with ¹P (a) and ¹C (b). The tooth in the socket of postmortally lost C¹ is actually C₁ (c) belonging to the mandible of Skeleton 3. The sockets of P^{1,2} are filled with bone since both teeth were lost during lifetime. B – partly surviving sockets of ¹P, ¹C in ¹I (↑↑↑) are visible in the fragment of the right maxilla; however, lamina cribriformis in the area of ²I (↓) is completely resorbed indicating that the tooth was lost before death. C – mandible fragment in the part near the mandibular angle with the empty socket of postmortally lost ₃M (↓). Sockets of _{2,1}M are filled with bone; these teeth were lost during lifetime.

Zobna ploskev	Zgornji zobni lok															
	³ M	² M	¹ M	² P	¹ P	¹ C	² I	¹ I	I ¹	I ²	C ¹	P ¹	P ²	M ¹	M ²	M ³
C	N	N	N	PM	1	1	PM	PM	PM	PM	PM	AM	AM	N	N	N
B	N	N	N	PM	1	1	PM	PM	PM	PM	PM	AM	AM	N	N	N
O/I	N	N	N	PM	3	3	PM	PM	PM	PM	PM	AM	AM	N	N	N
L	N	N	N	PM	1	3	PM	PM	PM	PM	PM	AM	AM	N	N	N
L	PM	AM	N	N	N	N	N	N	N	N	1	N	N	N	N	N
O/I	PM	AM	N	N	N	N	N	N	N	N	2	N	N	N	N	N
B	PM	AM	N	N	N	N	N	N	N	N	1	N	N	N	N	N
C	PM	AM	N	N	N	N	N	N	N	N	1	N	N	N	N	N
Zobna ploskev	Spodnji zobni lok															
	₃ M	₂ M	₁ M	₂ P	₁ P	₁ C	₂ I	₁ I	I ₁	I ₂	C ₁	P ₁	P ₂	M ₁	M ₂	M ₃
Legenda: PM – posmrtno (<i>post mortem</i>) izgubljen zob, AM – zob izgubljen za časa življenja (<i>ante mortem</i>), C – cervikalno, B – bukalno, O/I – okluzalno/incizalno, L – lingvalno, * – Tooth Wear Index (Smith, Knight 1984).																
Legend: PM – postmortally lost tooth, AM – intravitaly lost tooth, C – cervical, B – buccal, O/I – occlusal/incisal, L – lingual, * – TWI (Smith, Knight. 1984).																

Tabela 5. Kazalnik obrabe zob TWI* pri skeletu 3.

Table 5. Tooth wear index* scores in Skeleton 3.

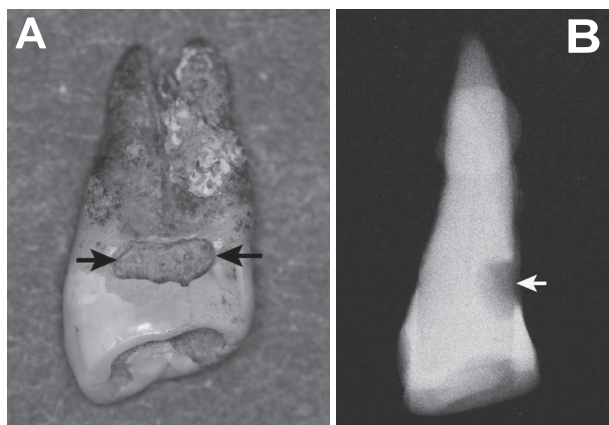
1C in 1P vrednost 3, pri C_1 vrednost 2 (tabela 5), kar ustreza istovrstnim zobem skeleta 5. Omenjeni kazalnik ima na vestibularnih in oralnih ploskvah vrednost 1 z izjemo palatinalne ploskve 1C , na kateri ima vrednost 3.

Zobni karies in apikalni parodontitis

Zob 1P ima kavitirano kariozno spremembo na mezialni ploskvi v predelu zobnega vratu (slika 10A). Rentgenski posnetek zoba je pokazal, da sega karies v notranjo tretjino dentinskega plašča (slika 10B). Preostala zoba 1C in C_1 nimata kariesa. Aveola zoba 2I je deloma razgrajena, na mestu, kjer je normalno gladka alveolna kost, je spongioza (slika 9B). Zob je bil najverjetneje izgubljen kratek čas pred smrtjo. Na ohranjenih delih čeljustnic ni znakov apikalnega parodontitisa.

Parodontalna bolezen

Alveola po smrti izgubljenega 3M kaže znake vodoravne razgradnje alveolne kosti, ob ostalih zobeh pa je čeljustna kost tako slabo ohranjena, da ni bilo mogoče oceniti prisotnosti/odsotnosti parodontalne bolezni.



Slika 10. Zob 1P skeleta 3 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro. A – mezialna ploskev zoba. Puščici označujeta kariozno spremembo na zobnem vratu ($\rightarrow\leftarrow$). B – rentgenski posnetek zoba kaže, da sega kariozna sprememba ($\leftarrow$) v neposredno bližino pulpne votline.

Figure 10. 1P belonging to Skeleton 3 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora. A – Mesial side. Arrows ($\rightarrow\leftarrow$) mark a cervical carious lesion. B – radiograph shows a close proximity between the carious lesion ($\leftarrow$) and the pulp cavity.

Slika 11. Zgornji čeljustnici (A) in spodnja čeljustnica (B) skeleta 5 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro. Puščici ($\rightarrow\leftarrow$) označujeta *torus palatinus*.

Figure 11. Maxillae (A) and the mandible (B) of the skeleton 5 from Bronze Age site Brezje under Brinjeva gora. *Torus palatinus* is marked with arrows ($\rightarrow\leftarrow$).



Zobni kamen

1C ima otoček zobnega kamna na distalni ploskvi anatomske krone, ostala dva zoba (1P in C_1) nimata zobnega kamna.

Skelet 5

Opis zgornjih čeljustnic

Obe zgornji čeljustnici sta deloma ohranjeni in imata 9 stalnih zob *in situ* (tabela 6, slika 11A). Desna zgornja čeljustnica je zlepljena, ker se je po smrti prelomila prek alveole zoba 1P . Incizivni šiv je povsem zakostenel, prav tako tudi ohranjeni srednji del prečnega šiva, prednji sredinski nebni šiv je nezakostenel. Čeprav ima desna zgornja čeljustnica 1M že *in situ*, je bil v prejetem gradivu poleg nje še en izolirani 1M . Zob je bil najverjetneje napačno določen za M^1 in zato dodan skeletu 5. Morda pripada skeletu 3, pri katerem pa pripadajoča alveola ni

ohranjena. Delno ali v celoti ohranjene alveole zob ³M, ¹P¹ kažejo, da so ti zobje izpadli po smrti. Zobiščni odrastek z zobmi P², M^{1,2,3} ni ohranjen, vendar bi iz normalnega položaja grizne ravnine v predelu levih spodnjih transkaninih zob (antagonistov) lahko sklepali, da so bili tudi ti zobje izgubljeni šele po smrti. Temu v prid govori tudi stopnja obrabe spodnjih transkaninih zob (drugega ličnika in kočnikov), ki je na levi strani v povprečju celo nekoliko večja kot na desni strani (4,8 vs. 4,0 po Molnarjevi lestvici). Za časa življenja pri tem posamezniku najverjetneje ni bil izgubljen noben stalni zob.

Opis spodnje čeljustnice

Spodnja čeljustnica je ohranjena v celoti skupaj s 14 stalnimi zobmi *in situ* (tabela 6, slika 11B). Zlepljena je iz več delov, ker se je po smrti zdrobila v predelu P_{1,2} in M₁, odlomila pa sta se tudi oba sklepna odrastka. I₂ in P₁ sta se izgubila po smrti. Rentgenski posnetek C₁ je pokazal, da je njegova zobna korenina zlomljena v apikalnem predelu. Poškodba je verjetno nastala po smrti. Spodnja čeljustnica ima na desni strani enojno, na levi strani pa dvojno mentalno odprtino (*foramen mentale*). Mentalne odprtine ležijo pod stikom drugega ličnika in prvega ko-

Značilnost	³ M	² M	¹ M	² P	¹ P	¹ C	² I	¹ I	I ¹	I ²	C ¹	P ¹	P ²	M ¹	M ²	M ³
MD premer krone	PM	8,9	9,9	6,7	PM	8,0	7,0	8,5	8,5	6,9	8,1	PM	N	N	N	N
VO premer krone	PM	11,9	11,7	8,8	PM	8,9	6,4	7,6	7,8	6,5	8,9	PM	N	N	N	N
Stopnja obrabe*	PM	5	7	5	PM	5	5	5	5	5	5	PM	N	N	N	N
Lega kariesa	PM	O	O	O	PM	O	O	O	O	O	O	PM	N	N	N	N
Napred. kariesa	PM	O	O	O	PM	O	O	O	O	O	O	PM	N	N	N	N
AP	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	N	N	N	N
Zobni kamen	PM	X	X	X	PM	X	X	X	O	X	X	PM	N	N	N	N
LHS	PM	O	O	O	PM	O	O	O	O	O	O	PM	N	N	N	N
Značilnost	³ M	² M	¹ M	² P	¹ P	¹ C	² I	¹ I	I ₁	I ₂	C ₁	P ₁	P ₂	M ₁	M ₂	M ₃
MD premer krone	11,9	10,9	10,1	7,0	6,5	7,3	5,6	4,3	4,5	PM	6,9	PM	7,2	9,8	10,8	10,4
VO premer krone	9,9	10,4	10,9	8,3	8,0	8,5	6,4	6,1	6,0	PM	8,6	PM	8,3	10,7	10,4	10,6
Stopnja obrabe*	3	4	6	3	3	4	4	5	5	PM	4	PM	4	6	5	4
Lega kariesa	O	O	O	O	O	O	O	O	O	PM	O	PM	O	O	O	O
Napred. kariesa	O	O	O	O	O	O	O	O	O	PM	O	PM	O	O	O	O
AP	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Zobni kamen	X	X	X	X	X	X	X	X	O	PM	O	PM	X	X	X	X
LHS	O	O	O	O	O	O	O	O	O	PM	O	PM	O	O	O	O

Legenda: PM – posmrtno (*post mortem*) izgubljen zob, N – manjkajoči del čeljustnice z zobmi, MD – meziodistalno, VO – vestibulooralno, * – 8-stopenjska lestvica po Molnarju (1971), AP – apikalni parodontitis, LHS – linearna hipoplazija sklenine, O – odsotnost kariesa/AP/zobnega kamna/LHS, P – prisotnost AP/LHS, X/Y – zobni kamen nad/pod skleninsko-cementno mejo.

Legend: PM – postmortally lost tooth, N – missing portion of the jawbone with teeth, MD – mesiodistally, VO – vestibuloorally, * – 8-point Molnar's scale (1971), AP – apical periodontitis, LHS – linear enamel hypoplasia, O – absence of caries/AP/calculus/LHS, P – presence of AP/LHS, X/Y – calculus above/below the cements-enamel junction.

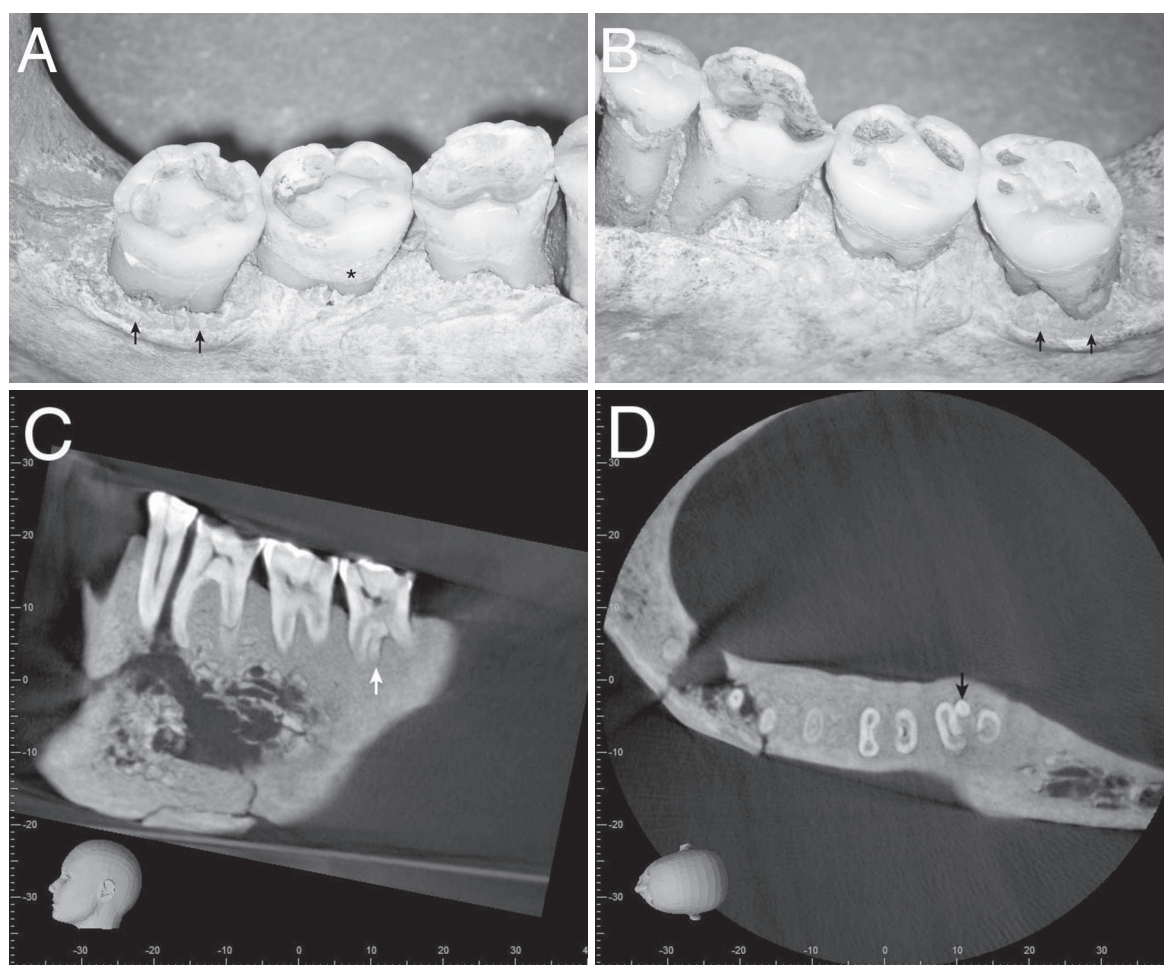
Tabela 6. Značilnosti zobovja pri skeletu 5 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro – manjkajoči zobje, zobne mere (v mm), stopnja okluzalne obrabe po Molnarjevi lestvici, karies, apikalni parodontitis, zobni kamen in linearne hipoplazije sklenine.

Table 6. Characteristics of the teeth in Skeleton 3 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora – missing teeth, tooth measurements (in mm), occlusal attrition stage on the Molnar scale, caries, apical periodontitis, dental calculus and linear enamel hypoplasia.

čnika. Bradna izboklina (*protuberantia mentalis*) je močno izražena. Predel brade je pri pogledu s spodnje strani oglete oblike. Spodnji rob telesa spodnje čeljustnice je na desni strani raven, na levi strani ima manjšo predgonialno zarezo. Oba čeljustna kota sta uvihana (gonialna inverzija). Zadajšnji rob obeh ramusov je brez upogiba.

Oblikovni znaki zob in čeljustnic

Zobni kroni ¹I¹ na palatinalni strani nimata vidnih obrobnih grebenov (nelopatasta oblika zobne krone), pri ²I² pa sta obrobna grebena šibko izražena (lopatasta oblika v sledeh), poleg tega imata oba na palatinalni ploskvi slepo jamico (*foramen caecum*). Pri ¹C¹ ima zobni tuberkel obliko vršička, ki ga od preostale zobne krone ločujeta



Slika 12. Predel levih (A) in desnih spodnjih kočnikov (B) skeleta 5 z lingvalne strani. Puščice (↑↑) označujejo mizasto oblikovan, luknjičav alveolni rob na lingvalni ploskvi zob ${}_3M_3$. Na zobnem vratu M_2 je debelejša plast zobnega kamna (*). Slikanje spodnje čeljustnice z metodo računalniške tomografije s stožčastim snopom je pokazalo, da ima zob M_3 nadštevilno korenino *radix entomolaris*: na meziodistalnem vzdolžnem prerezu (C) in na vodoravnem prerezu (D) levih spodnjih kočnikov je nadštevilna korenina označena s puščico.

Figure 12. Lingual view of the left (A) and right mandibular molars (B) belonging to Skeleton 5. Arrows (↑↑) mark the porous boardlike border of the limbus alveolaris on the lingual sides of ${}_3M_3$. A thicker deposit of calculus (*) is present along the cervix of M_2 . Cone-beam computed tomography has revealed that M_3 possesses a supernumerary root, *radix entomolaris*: arrows mark the supernumerary root on the mesiodistal longitudinal (C) and axial sections (D) of the left mandibular molars.

fisuri. Pri $^{2,1}M$ ter 1M_1 število vršičkov na grizni ploskvi zaradi napredovane obrabe ni določljivo, 2M_2 imata po 4 vršičke, 3M_3 pa po 5 vršičkov. Pri 3M bukalna fisura zavija distalno, kar je ena od oblik protostilida. Fisurni sistem ima pri 2M_2 in M_3 verjetno obliko X, pri 3M pa verjetno obliko +. $^{2,1}M_{1,2}$ imajo na bukalni ploskvi približno 2 mm dolg skleninski jezik.

Pri prisotnih zobeh sta določitev števila korenin omogočila klasično rentgensko slikanje in RTSS, pri zobeh, ki so bili izgubljeni po smrti, pa makroskopski pregled zobnic. Eno korenino imajo $^{2,1}I_{1,2}$, $^{2,1}I_{1,2}$, $^1C^1$, 1C_1 , $^{2,1}P$, $^{2,1}P_{1,2}$, 3M , dve korenini $^{3,2,1}M_{1,2}$, tri korenine pa $^{2,1}M$ in M_3 . Posnetki z RTSS so pokazali, da ima M_3 poleg dveh rednih korenin (mezialne in distalne korenine) še nadštevilno korenino *radix entomolaris* (RE) (sliki 12C–12D). RE izhaja iz koreninskega debla na lingvalni strani med obema rednima koreninama. Vhod v koreninski kanal RE leži distolingvalno od vhoda v lingvalni kanal mezialne korenine. RE je ravna in 2–3 mm krajša od obeh rednih korenin.

Čeljustnice skeleta 5 imajo več kostnih izboklin, t. i. ek-sostoz. Vzdolž sredinskega nebnega šiva, ki je ohranjen v

dolžini 3 cm, je podolgovata kostna izboklina visoka 2–3 mm – palatinalni torus (*torus palatinus*) (slika 11A). Na palatinalni strani desnih zgornjih kočnikov so vozličaste kostne izbokline visoke 2–3 mm, medtem ko predel levih zgornjih kočnikov ni ohranjen. Na spodnji čeljustnici so na lingvalni strani desnega podočnika in ličnikov tipne vozličaste kostne izbokline – mandibulni torus (*torus mandibularis*). Kontralateralni predel spodnje čeljustnice je poškodovan, vendar se zdi, da je bil omenjeni kostni znak izražen obojestransko. Spodnja čeljustnica je na ravni podlagi stabilna.

Okluzijski odnos med zobnima lokoma

Zobna loka sta simetrična in usklajena. Usklajenost zobnih lokov potrjuje pripadnost obeh čeljustnic istemu skeletu oz. posamezniku. Okluzijski odnos sem lahko določil le na desni strani, ker levi zgornji zobje manjkajo. Odnos prvih stalnih kočnikov ustreza tipu III (mezialni griz) po Anglovi razvrstitvi. V središčni okluziji je bukalna brazda 1M mezialno od meziobukalnega vršička 1M . Tudi odnos stalnih podočnikov ustreza razredu III: zgornji podočnik okludira distalno od stika med spodnjim podočnikom in spodnjim prvim ličnikom. Pri skeletu 5

Zobna ploskev	Zgornji zobni lok															
	3M	2M	1M	2P	1P	1C	2I	1I	I^1	I^2	C^1	P^1	P^2	M^1	M^2	M^3
C	PM	1	1	1	PM	1	1	1	1	1	1	PM	N	N	N	N
B	PM	1	1	1	PM	1	1	1	1	1	1	PM	N	N	N	N
O/I	PM	3	4	3	PM	3	3	4	4	3	3	PM	N	N	N	N
L	PM	1	1	1	PM	1	1	1	1	1	1	PM	N	N	N	N
L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	PM	1	PM	1	1	1	1
O/I	2	3	4	2	2	2	2	2	2	PM	2	PM	2	4	3	3
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	PM	1	PM	1	1	1	1
C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	PM	1	PM	1	1	1	1
Zobna ploskev	3M	2M	1M	2P	1P	1C	2I	1I	I^1	I^2	C^1	P^1	P^2	M^1	M^2	M^3
Spodnji zobni lok																
Legenda: PM – posmrtno (<i>post mortem</i>) izgubljen zob, AM – zob izgubljen za časa življenja (<i>ante mortem</i>), C – cervikalno, B – bukalno, O/I – okluzalno/incizalno, L – lingvalno, * – Tooth Wear Index (Smith, Knight 1984).																
Legend: PM – postmortally lost tooth, AM – intravitaly lost tooth, C – cervical, B – buccal, O/I – occlusal/incisal, L – lingual, * – TWI (Smith, Knight, 1984).																

Tabela 7. Kazalnik obrabe zob TWI* pri skeletu 5.

Table 7. Tooth wear index* scores in Skeleton 5.

je ali spodnja čeljustnica protrudirana ali pa je zgornja čeljustnica retrudirana.

Obraba zob

Zobje skeleta 5 so močno obrabljeni, okluzalna obraba je 3. do 7. stopnje po Molnarjevi lestvici (tabela 6) in 2. do 4. stopnje po kazalniku TWI (tabela 7). Najbolj obrabljeni zobje so zgornji in spodnji prvi kočniki (¹M, ¹M₁). Po Molnarjevi lestvici je povprečna stopnja obrabe zgornjih zob 5,2 (47/9), spodnjih zob 4,3 (60/14). Tudi če pri

izračunu upoštevamo le spodnje zobe, ki imajo prisoten istoimenski zob v nasprotni čeljusti, je povprečna stopnja obrabe spodnjih zob 4,4 (35/8). Povprečna vrednost kazalnika TWI za incizalni rob/grizno ploskev je pri zgornjih zobeh 3,3 (30/9), pri spodnjih zobeh 2,5 (35/14). Omenjeni kazalnik ima na vseh vestibularnih in oralnih ploskvah vrednost 1. Okluzijska ravnina v predelu kočnikov je poševna. Grizne ploskve kočnikov so čašasto oblikovane, ker so predeli z izpostavljenim dentinom obrabljeni bolj kakor okolna sklenina.

Mesto	³ M	² M	¹ M	² P	¹ P	¹ C	² I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ C	¹ P	² P	¹ M	² M	³ M
MB	PM	4,0	3,0	2,0	PM	--	2,0	2,5	2,0	--	--	--	PM	N	N	N	N
B	PM	4,0	3,0	3,0	PM	--	--	1,5	--	--	--	--	PM	N	N	N	N
DB	PM	4,0	3,0	2,0	PM	--	--	1,0	--	--	--	--	PM	N	N	N	N
MP	PM	3,0	3,0	3,0	PM	--	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,0	PM	N	N	N	N
P	PM	3,0	3,0	3,0	PM	--	1,0	2,0	2,0	1,5	--	--	PM	N	N	N	N
DP	PM	3,0	2,0	2,0	PM	--	--	2,0	--	1,5	--	--	PM	N	N	N	N
Povprečje	PM	3,5	2,8	2,5	PM	--	1,3	1,7	1,7	1,5	2,0	2,0	PM	N	N	N	N
PKR	PM	0	0	--	PM	--	--	--	--	--	--	--	PM	N	N	N	N
Mesto	³ M	² M	¹ M	² P	¹ P	¹ C	² I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ I	¹ C	¹ P	² P	¹ M	² M	³ M
MB	2,5	2,0	3,0	--	--	--	--	--	--	PM	--	PM	2,5	--	2,5	2,5	2,5
B	2,5	2,0	--	--	--	--	--	--	--	PM	--	PM	--	--	4,0	3,0	3,0
DB	2,0	2,0	3,0	3,0	--	--	--	--	--	PM	--	PM	--	--	3,5	2,5	2,5
ML	4,0	3,0	3,0	--	--	--	--	--	--	PM	--	PM	2,5	--	4,0	3,0	4,0
L	4,0	3,0	--	--	--	--	--	--	--	PM	--	PM	--	--	4,0	3,0	4,0
DL	4,0	2,5	3,0	2,0	--	--	--	--	--	PM	--	PM	--	--	4,0	3,0	3,0
Povprečje	3,2	2,4	3,0	2,5	--	--	--	--	--	PM	--	PM	2,5	--	3,9	2,8	3,2
PKR	0	0	0	--	--	--	--	--	--	PM	--	PM	--	--	0	0	0

Legenda: MB – meziobukalno, B – bukalno, DB – distobukalno, MP – mezipalatinalno, P – palatinalno, DP – distopalatinalno, N – manjkajoči del čeljustnice z zobmi, PKR – stopnja prizadetosti koreninskega razcepišča (0 – brez prizadetosti, 1 – do 1/3 širine, 2 – več kot 1/3 širine, 3 – celotna širina medkoreninskega kostnega pretina). Znaki parodontalne bolezni so prisotni samo na lingvalni ploskvi obeh spodnjih tretjih kočnikov, zato sta zapisana krepko. Siva polja označujejo zobe, pri katerih ohranjenost marginalne alveolarne kosti ne zadošča za oceno prisotnosti/odsotnosti parodontalne bolezni.

Legend: MB – mesiobuccally, B – buccally, DB – distobuccally, MP – mesiopalatally, P – palatally, DP – distopalatally, N – missing portion of the jawbone with teeth, PKR – degree of furcation involvement (0 – no involvement, 1 – not exceeding 1/3 of the width of the interradicular bony septum, 2 – exceeding 1/3 of the width of the interradicular bony septum, 3 – whole width of the interradicular bony septum). Signs of periodontal disease are present on the lingual side of both mandibular third molars which are therefore written in bold. Grey boxes indicate the teeth with insufficient alveolar bone preservation to assess the presence/absence of periodontal disease.

Tabela 8. Razdalja med skleninsko-cementno mejo (SCM) in robom alveolarne kosti (RAK) pri zobovju skeleta 5 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro (v mm).

Table 8. Cementoenamel junction (CEJ) to alveolar crest (AC) distance in the teeth of Skeleton 5 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora (in mm).

Zobni karies in apikalni parodontitis

Zobovje skeleta 5 je brez kavitiranih karioznih sprememb in apikalnih razgradenj kosti (tabela 6).

Parodontalna bolezen

Pri skeletu 5 marginalna alveolna kost ob 19 ocenjenih zobeh z izjemo obeh spodnjih modrostnih zob ne kaže sprememb, ki so značilne za parodontalno bolezen. Alveolni rob je oster in posnema obliko SCM. V nasprotju s tem je na lingvalni ploskvi spodnjih modrostnih zob alveolni rob širok (3 mm), mizasto oblikovan in ima luknjičavo površino (sliki 12A–12B). Takšna oblika alveolnega roba je znak prisotnosti parodontalne bolezni, ki se pojavlja zlasti ob kočnikih, in jo v angleški literaturi označujejo z izrazom mizasti rob (*boardlike border*) (Strohm, Alt 1998). Na lingvalni ploskvi spodnjih tretjih kočnikov je razdalja med SCM in RAK 4 mm, koreninska razcepišča niso prizadeta. Pri skeletu 5 je povprečna razdalja med SCM in RAK večja od 3,0 mm pri 4 zobeh (2M , $_3M$, M_1 , M_3), kar predstavlja 25,0 % (4/16) izmerjenih zob, večja od 3,5 mm pa le pri enem zobu (M_1), kar je 6,3 % (1/16) izmerjenih zob (tabela 8, slika 7). Pri zobeh skeleta 5 je višina alveolne kosti v območju med 54,1 % in 69,8 % dolžine zoba (slika 8).

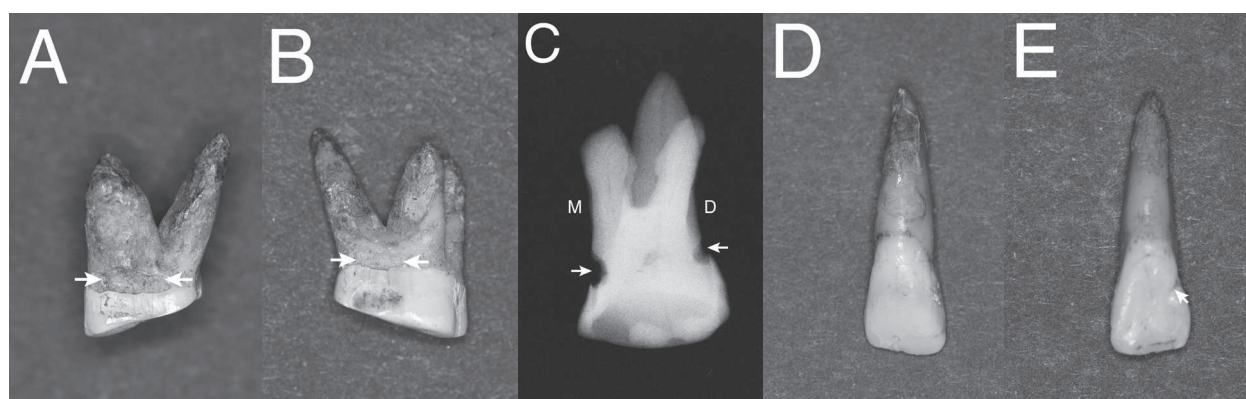
Zobni kamen

Zobni kamen je prisoten pri 87,0 % (20/23) zob (tabela 6). V zgornji čeljusti ima zobni kamen 88,9 % (8/9) zob, v spodnji čeljusti pa 85,7 % (12/14) zob. Pri vseh 20 zobeh leži zobni kamen na anatomski kroni. Gre za otočke zobnega kamna, le na lingvalni ploskvi M_2 (slika 12A) in na palatinalnih ploskvah $^1C^1$, $^1I^2$ je prisoten v debelejši plasti vzdolž SCM. Pri zgornjih zobeh je zobni kamen največkrat prisoten na bukalni ploskvi (7/8), sledita palatinalna (5/8) in mezialna ploskev (2/8). Pri spodnjih zobeh je zobni kamen največkrat prisoten na palatinalni ploskvi (10/12), manj pogosto na bukalni (3/12), mezialni (3/12) in distalni ploskvi (2/12).

Izolirana zgornja stalna zoba (desni drugi sekalec in desni prvi kočnik)

Oblikovni znaki zob

V gradivu sta bila tudi dva zoba, ki ne pripadata nobenemu od analiziranih treh skeletov. Po oblikovnih znakih gre za 2I in 1M (slika 13). 2I ima nelopatasto zobno krono in zobni tuberkel v obliki gladkega izbočenja, ki ga distalno omejuje prek obrobne grebena potekajoča kronsko-koreninska palatinalna brazda (slika 13E). Braz-



Slika 13. Izolirana zoba, pri katerih je analiza pokazala, da ne pripadata skeletom 2, 3 in 5 z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro. Zob 1M ima na mezialni (A) in distalni ploskvi (B) kariozno spremembo ($\rightarrow\leftarrow$). Rentgenski posnetek zoba (C) kaže, da segata obe kariozni spremembi v srednjo tretjino dentinskega plašča (M – mezialno, D – distalno). Zob 2I z labialne (D) in palatinalne strani (E). Puščica ($\leftarrow$) označuje kronsko-koreninsko palatinalno brazdo.

Figure 13. The two isolated teeth established not to have belonged to Skeletons 2, 3 and 5 from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora. 1M has carious lesions ($\rightarrow\leftarrow$) on the mesial (A) and distal sides (B). Radiograph (C) shows that both lesions extend into the middle third of dentine (M – mesial, D – distal). Labial (D) and palatal (E) views of 2I . Arrow ($\leftarrow$) marks the interruption groove.

da ne sega na korenino. ²I ima eno korenino. Pri ¹M so na obrabljeni grizni ploskvi vidna razgaljena dentinska jedra štirih vršičkov. ¹M ima tri korenine.

Obraba zob

Grizna ploskev ¹M je obrabljena poševno v palatinalni smeri pod kotom približno 15°. Po Molnarjevi lestvici je obraba ¹M 5. stopnje, obraba ²I pa 3. stopnje (tabela 9).

Zob	¹ M	² I
MD premer krone	9,9	7,2
VO premer krone	11,7	6,6
Stopnja obrabe*	5	3
Lega kariesa	M*, D*	O
Napredovanost kariesa	S, S	O
Zobni kamen	X	X
LHS	O	O
Kazalnik TWI	C	1
	B	1
	O/I	4
	L	1

Legenda: MD – meziodistalno, VO – vestibulooralno, M – mezialno, D – distalno, * – karies na zobnem vratu, ** – 8-stopenjska lestvica po Molnarju (1971), *** – Tooth Wear Index (Smith, Knight, 1984), Z/S/N – zunanja/srednja/notranja tretjina dentinskega plašča, LHS – linerana hipoplazija sklenine, O – odsotnost kariesa/zobnega kamna/LHS, X/Y – zobni kamen nad/pod skleninsko-cementno mejo, C – cervikalno, B – bukalno, O/I – okluzalno/incizalno, L – lingvalno.

Legend: MD – mesiodistally, VO – vestibuloorally, M – mesially, D – distally, * – cervical caries, ** – 8-point Molnar's scale (1971), *** – TWI (Smith, Knight, 1984), Z/S/N – outer/middle/inner third of dentine, LHS – linear enamel hypoplasia, O – absence of caries/calculus/LHS, X/Y – calculus above/below the cements/enamel junction, C – cervically, B – buccally, O/I – occlusally/incisally, L – lingually.

Tabela 9. Značilnosti dveh izoliranih zgornjih stalnih zob z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro – zobne mere (v mm), stopnja obrabe po Molnarjevi lestvici, karies, zobni kamen, linearne hipoplazije sklenine in kazalnik obrabe zob TWI***.

Table 9. Characteristics of two isolated teeth from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora – tooth measurements (in mm), occlusal attrition stage on the Molnar scale, caries, dental calculus, linear enamel hypoplasia and tooth wear index***.

Zobni karies

¹M ima kavitirani kariozni spremembi na obeh aproksimalnih ploskvah v predelu zobnega vratu (sliki 13A–13B). Rentgenski posnetek tega zoba je pokazal, da spremembi segata v srednjo tretjino dentinskega plašča (slika 13C). Na posnetku so prikazane tudi makroskopsko vidne cementne zadebelitve apikalno in na medkorenskih ploskvah meziobukalne in distobukalne korenine. Njihov nastanek je najverjetneje vzročno povezan s postopnim izražanjem zoba zaradi močne obrabe.

Zobni kamen

Oba izolirana zoba imata manjšo količino zobnega kamna na anatomski kroni, in sicer ¹M na bukalni ploskvi, ²I pa na mezialni ploskvi (tabela 9).

Napake pri določanju zob

Analiza je pokazala, da je bila v treh primerih napačno določena vrsta zoba:

i) Skeletu 3 ne pripada ²I, ki je bil ob prevzemu gradiva prilepljen v alveolo zoba ¹I. Raziskava je pokazala, da omenjeni ²I ne pripada nobenemu od treh analiziranih skeletov. Zob sem brez poškodbe kosti odlepil iz alveole in pustil poleg ostankov čeljustnic, ki pripadajo skeletu 3.

ii) Pri skeletu 3 je C₁ prilepljen v alveolo zoba C¹. Alveola zoba C₁ v spodnji čeljustnici ni ohranjena, zato ne morem z gotovostjo trditi, da gre za zob skeleta 3, je pa to glede na zobne mere zelo verjetno. Omenjenega C₁ nisem odstranil iz alveole, ker bi pri tem najverjetneje poškodoval kost.

iii) Pri skeletu 2 je bil ob prevzemu gradiva ¹C prilepljen v alveolo zoba I¹. Omenjeni ¹C pripada skeletu 3, ki ima delno ohranjeno pripadajočo alveolo, zato sem ga na to mesto tudi prenesel.

Poleg tega so bile v dveh primerih napačno določene ploskve zoba:

i) Pri skeletu 2 je I² prilepljen v ustrezno alveolo, vendar tako, da je z labialno ploskvijo obrnjen v palatinalno smer, s palatinalno ploskvijo pa v bukalno smer. Zob sem pustil prilepljen v nepravilnem položaju.

ii) Skelet 5 je imel ob prevzemu dva desna zgornja prva kočnika (¹M), enega *in situ*, drugi pa je bil priložen zgor-

njima čeljustnicama. Ni znano, kateremu skeletu pripada izolirani ¹M, morda skeletu 3.

Izračun kronološke starosti posameznikov na osnovi rentgenskih posnetkov zob

S človekovo kronološko starostjo so v najboljši korelaciji meritve relativne obsežnosti pulpine votline na rentgenskih posnetkih prvega in drugega zgornjega sekalca, drugega zgornjega ličnika, drugega spodnjega sekalca, spodnjega podočnika in prvega spodnjega ličnika (Kvaal *et al.* 1995). Pri skeletu 2 sem starost izračunal iz meritev na drugem zgornjem sekalcu (53 let) in iz meritev na vseh treh spodnjih zobeh (44 let), pri skeletu 3 iz meritev na spodnjem podočniku (33 let), pri skeletu 5 pa iz me-

ritev na vseh šestih zobeh (58 let). Izolirani zob ²I, ki ne pripada nobenemu od treh analiziranih skeletov, je glede na obsežnost pulpine votline pripadal mlajšemu odraslemu človeku (27 let), kar se sklada z majhno obrabljenostjo tega zoba (3. stopnja po Molnarjevi lestvici, 2. stopnja po kazalniku TWI). Izračuni so skupaj z antropološkimi ocenami starosti posameznikov prikazani v tabeli 10.

Skelet	Zob	P	R	A	B	C	M	W	L	Starost (leta)	TTR	JLT
2	I ²	1,05	0,8	0,04	0,07	0,11	0,41	0,09	0,93	53 ^a	> 50	> 50
	I ₂	1,16	0,81	0,04	0,07	0,10	0,44	0,09	0,99	44 ^b		
	C ₁	1,04	0,79	0,16	0,10	0,12	0,44	0,11	0,92			
	P ₁	1,15	0,85	0,15	0,18	0,09	0,48	0,14	1,00			
3	C ₁	1,17	0,83	0,15	0,14	0,17	0,49	--	--	33 ^c	ca. 30	ca. 20
5	I ¹	0,79	0,58	0,00	0,18	0,12	0,33	0,15	0,68	58 ^d	50-60	40-55
	² I	0,88	0,64	0,00	0,19	0,11	0,36	0,15	0,76			
	² P	1,03	0,79	0,14	0,10	0,08	0,43	0,09	0,91			
	₂ I	0,86	0,63	0,00	0,07	0,07	0,32	0,07	0,74			
	₁ C	0,98	0,79	0,00	0,13	0,09	0,40	0,11	0,88			
	₁ P	1,03	0,78	0,15	0,08	0,06	0,42	0,07	0,91			
?	² I	1,13	0,77	0,29	0,21	0,18	0,52	0,20	0,95	27 ^a	--	--

Legenda: P – razmerje dolžina zobne pulpe/dolžina korenine, R –razmerje dolžina zobne pulpe/dolžina zoba, A – razmerje širina zobne pulpe/ širina korenine v višini skleninsko-cementne meje, B – razmerje širina zobne pulpe/širina korenine pri oddaljenosti ene četrtine dolžine korenine od skleninsko-cementne meje, C – razmerje širina zobne pulpe/širina korenine na sredini korenine, M – povprečje vseh razmerij, W – povprečje B in C, L – povprečje P in R. Regresijske formule za izračun kronološke starosti posameznika na osnovi rentgensko določenih parametrov (Kvaal *et al.* 1995): ^astarost = 103,5 – 216,6(M) – 46,6(W – L), ^bstarost = 135,3 – 356,8(M) – 82,5(W – L), ^cstarost = 158,8 – 255,7(M), ^dstarost = 129,8 – 316,4(M) – 66,8(W – L). Ocena kronološke starosti posameznika po standardnih antropoloških postopkih: TTR – Tatjana Tomazo Ravnik, JLT – Jayne-Leigh Thomas (glej Tomazo Ravnik 2012; Thomas 2012).

Legend: P – ratio length of pulp/length of root, R – ratio length of pulp/length of tooth, A – ratio width of pulp/width of root at cementoamel junction, B – ratio width of pulp/width of root at one quarter of the root length from cementoamel junction, C – ratio width of pulp/width of root at mid-root level, M – mean value of all ratios, W – mean value of width ratios B and C, L – mean value of lengths ratios P and R. Regression formulae for chronological age based on radiographically determined parameters (Kvaal *et al.*, 1995): ^aaAge = 103,5 – 216,6(M) – 46,6(W – L), ^bbAge = 135,3 – 356,8(M) – 82,5(W – L), ^ccAge = 158,8 – 255,7(M), ^ddAge = 129,8 – 316,4(M) – 66,8(W – L). Estimates of chronological age based on standard anthropological procedures: TTR – Tatjana Tomazo – Ravnik, JLT – Jayne-Leigh Thomas (glej Tomazo-Ravnik, 2012; Thomas, 2012).

Tabela 10. Izračun kronološke starosti skeletov z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro na osnovi rentgenskih posnetkov zob.

Table 10. Calculation of the chronological age of the skeletons from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora based on the dental radiographs.

Razprava

Ohranjenost čeljustnic in zobovja

Pri arheološkem gradivu lahko stopnjo ohranjenosti čeljustnic prikažemo z deležem ohranjenih zobnih položajev, tj. predelov z (i) zobmi *in situ*, (ii) s preoblikovanimi in zapolnjenimi alveolami (izguba zob za časa življenja) in (iii) s praznimi alveolami (izguba zob po smrti) (Caselitz 1998). Ohranjenih zobnih položajev je pri skeletu 5 87,5 % (28/32), pri skeletu 2 100,0 % (32/32), pri skeletu 3 pa 40,6 % (13/32). Vsi trije skeleti skupaj imajo ohranjenih 76,0 % (73/96) zobnih položajev.

V gradivu je skupno 49 stalnih zob, med katerimi je 11 sekalcev, 10 podočnikov, 11 ličnikov in 17 kočnikov. Poleg tega je v čeljustnicah 20 praznih, delno ali v celoti ohranjenih alveol, ker so se pripadajoči zobje izgubili pri izkopavanju arheološkega gradiva in/ali njegovi nadaljnji obdelavi. Med temi tako imenovanimi po smrti izgubljenimi zobmi je 18 enokoreninskih zob (9 sekalcev, 6 ličnikov, 2 kočnika in 1 podočnik) in 2 trikoreninska zoba (oba kočnika). Za skeletno gradivo z arheoloških najdišč je na splošno značilno, da je med zobmi, izgubljenimi po smrti, največ enokoreninskih zob, ker so v primerjavi z večkoreninskimi zobmi slabše pritrjeni v čeljustnice.

Obraba zob

Rezultati so pokazali, da je obraba zob pri analiziranih bronastodobnih posameznikih nastala skoraj izključno z atricijo in abrazijo. Atricija je posledica griznih in mezializacijskih sil, abrazija pa posledica brusnih delcev v hrani. Brusni delci so bili lahko sestavina hrane (npr. silikatni fitoliti v hrani rastlinskega izvora) ali pa so se vanjo zanesli med predelavo in pripravo hrane, npr. kamniti delci, ki so se pri mletju žita z mlinskimi kamni pomešali z moko (Scott 1997). Kerr (1998a) meni, da je v preteklih obdobjih abrazijo v največji meri pospeševala v Evropi do poznega srednjega veka razširjena navada žvečenja kosti perutnine in drugih manjših živali, ki so zaradi kostnega mozga zelo hranljive. Tretja vrsta obrabe je erozija (fizikalno-kemična obraba zoba), ki pa glede na predstavljene rezultate na zobe bronastodobnih posameznikov ni imela večjega vpliva.

Moški, ki mu je pripadal skelet 5, je imel v mladosti najverjetneje normalni griz, mandibularni prognatizem pa

se je razvil kasneje z zmanjšanjem višine griza zaradi močne obrabe. Ceperuelo *et al.* (2015) so takšen pridobljeni mandibularni prognatizem opisali pri skeletu moškega z bakrenodobnega najdišča El Mirador v današnji severni Španiji. Poleg tega so raziskave pokazale, da se je pri preteklih ljudstvih zaradi močne obrabe postopoma spreminjal tudi okluzijski odnos v interkaninem predelu, in sicer od normalnega incizalnega previsa prek okluzije zob na zob do obratnega incizalnega previsa (Kaifu 2000).

Skeleta 2 in 5 imata skoraj enako povprečno stopnjo obrabe spodnjih zob tako po Molnarjevi lestvici (4,2 vs. 4,3) kot po kazalniku TWI (2,6 vs. 2,5), kar kaže na primerljivo kronološko starost obeh posameznikov. Pri skeletu 2 je zelo nenavadna precej večja povprečna stopnja obrabe zgornjih zob v primerjavi s spodnjimi zobmi tako po Molnarjevi lestvici (7,0 vs. 4,2) kot po kazalniku TWI (4,0 vs. 2,6). Nenavaden je tudi večji naklon grizne ravnine pri zgornjih kakor pri spodnjih kočnikih. Posledica je okluzijsko neujemanje zgornjih in spodnjih zob. Pri žvečenju hrane se zgornji in spodnji zobje obrabljajo približno enako hitro, zato gre pri skeletu 2 bolj verjetno za posledico neke dodatne aktivnosti, morda uporabe zgornjih zob pri določenem opravilu. C¹ ima na palatinalni strani poševno zabrušenje, ki bi skupaj z močno obrabljenostjo sosednjega P¹ lahko nastalo na takšen način. Kakšno opravilo bi lahko povzročilo močnejšo obrabo zgornjih zob, ostaja nerešeno vprašanje. Iz literature poznamo opise obrabe zgornjih in spodnjih sprednjih zob zaradi obdelave živalskih kož pri lovcih in nabiralcih in žlebičasto obrabo na aproksimalnih ploskvah zob zaradi uporabe koščenih zobotrebcev ali obdelave nitastih rastlinskih ali živalskih delov (npr. tetiv) z zobmi (Scott 1997), kar pa je omejeno na posamezne zobe ali skupino zob, zato ni primerljivo s stanjem pri analiziranem skeletu 2. Druga možna razlaga je, da se je pri delu s skeletnim gradivom v preteklosti zgodila zamenjava in čeljustnice sploh ne pripadajo istemu skeletu.

Velikost zobnih kron

Mere stalnih zob so uporabne za določitev spola v antropologiji in sodni medicini. Najzanesljivejše ločevanje spolov omogoča kombinacija meziodistalnih premerov najmanj šestih stalnih zob (Garn *et al.* 1977a). Možnosti za analizo so bile v našem primeru zelo omejene, ker so pri skeletu 3 ohranjeni samo trije zobje. Velikost zobnih

kron pri skeletih 2 in 5, ki sta po ugotovitvah antropologov pripadala moškima, smo primerjali z velikostjo zobnih kron pri skeletu 3, ki je po njihovih ugotovitvah pripadal ženski. V primerjavo smo poleg zob, ki z gotovostjo pripadajo skeletu 3 (¹C in ¹P), vključili še zob C₁, ki verjetno pripada skeletu 3, in izolirana zoba ¹M in ²I, ki verjetno ne pripadata nobenemu od treh analiziranih skeletov. Podatki za paleolitske, mezolitske in sedanje prebivalce Evrope kažejo, da so pri stalnih podočnikih velikostne razlike med spoloma večje kot pri ostalih zobeh (Garn *et al.* 1977b; Frayer 1977; Lund, Mörnstad 1999). Naša primerjava je pokazala, da so mere obeh zob, ki pripadata skeletu 3, brez izjeme manjše od mer istovrstnih zob pri skeletih 2 in 5 (tabele 1–6), kar bi lahko pomenilo, da je skelet 3 pripadal ženski, ostala dva skeleta pa moškima. Poleg tega so rezultati primerjave skladni z domnevo, da tudi zob C₁ pripada skeletu 3. Njegove zobne mere so manjše od mer spodnjih podočnikov, ki pripadajo skeletoma 2 in 5 (tabele 1–6). V nasprotju s tem pa izolirana zoba ¹M in ²I po velikosti bolj ustrezata moškemu kakor ženskemu zobovju (tabele 1–9), kar ob upoštevanju zaključkov določanja zob potrjuje trditvi, da ne pripadata nobenemu od treh analiziranih skeletov.

Pettenati-Soubayroux *et al.* (2002) so preizkušali zanesljivost različnih načinov določanja spola na francoskem zobnem gradivu iz začetka 18. stoletja. Ugotovili so, da sta najzanesljivejša pokazatelja spola kazalnik zgornjih sekalcev (angl. *incisor index*) in kazalnik spodnjih zob (angl. *lower dental index*). Prvi je razmerje med meziodistalnima premeroma drugega in prvega zgornjega sekalca, izraženo v odstotkih (²I² MD premer / ¹I¹ MD premer × 100), drugi pa je razlika med meziodistalnima premeroma spodnjega podočnika in drugega spodnjega sekalca, izražena v mm (₁C₁ MD premer – ₂I₂ MD premer). Pri skeletu 5 je vrednost kazalnika zgornjih sekalcev (desno 82,4 %, levo 81,2 %) bolj podobna povprečni vrednosti kazalnika za moške (80,5 %) kakor za ženske (76,3 %) iz omenjenega francoskega gradiva. Tudi vrednost kazalnika spodnjih zob je tako pri skeletu 2 (levo 1,1 mm) kot pri skeletu 5 (desno 1,7 mm) bolj podobna povprečni vrednosti kazalnika za moške (0,97 mm) kakor za ženske (0,67 mm) iz francoskega gradiva. Poudariti velja, da gre pri tem za primerjavo s prebivalstveno skupino iz povsem drugega časovnega obdobja in prostora, vseeno pa so rezultati skladni z interpretacijo na osnovi prve metode.

Oblikovni znaki stalnih zob in čeljustnic

Zobna morfologija analiziranih bronastodobnih skeletov (odsotnost lopataste in dvojne lopataste oblike pri zgornjih sekalcih, drugi zgornji sekalci s kronsko-koreninsko palatinalno brazdo, drugi spodnji kočniki s štirimi vršički, dvokoreninski prvi zgornji ličniki, trikoreninski drugi zgornji kočniki) je značilna za kavkaško prebivalstveno skupino. Veliko presenečenje pa je bila ugotovitev, da ima M₃ skeleta 5 poleg dveh rednih korenin (mezialne in distalne) še nadštevilno korenino *radix entomolaris* (RE). RE se lahko razvije na lingvalni strani spodnjih stalnih in mlečnih kočnikov. Po podatkih iz literature je pri Evropejcih pogostnost trikoreninskega prvega spodnjega stalnega kočnika manjša od 5 %, pri Afričanih manjša od 3 %, v nasprotju s tem pa je njegova pogostnost pri Azijcih med 20 % in 30 % (Scott, Turner II 1997).

Po rentgenski oceni ima RE pri sedanjih prebivalcih Slovenije 1,3 % (18/1361) prvih, 0,3 % (4/1575) drugih in 1,8 % (13/736) tretjih spodnjih stalnih kočnikov (Strmšek, Štampfelj 2017). Podobni so nekoliko starejši podatki za Nizozemce, po katerih ima RE 1,07 % prvih, 0,14 % drugih in 0,85 % tretjih spodnjih stalnih kočnikov (Visser 1948). Ugotovitev pričujoče raziskave dokazuje, da so nosilci dednega zapisa, ki pri spodnjih kočnikih omogoča razvoj RE, na območju današnje Slovenije živeli že v srednji bronasti dobi. V nasprotju s tem v vzhodni Anatoliji pri skeletih iz železne dobe (1100–600 pr. n. št.) še niso ugotovili nobenega mlečnega (0/15) ali stalnega spodnjega kočnika (0/144) z RE, ugotovili pa so jih pri skeletih iz srednjega veka (10. stol.), in sicer pri obeh skupinah spodnjih kočnikov (Erkman, Kaya 2014). Avtorja domnevata, da so ustrezni dedni zapis na to območje zanesli migracijski tokovi iz Azije šele v srednjem veku.

Pri M₃ skeleta 5 sem makroskopsko in celo z lokalnim rentgenskim posnetkom lahko ugotovil le prisotnost dveh rednih korenin, tretjo korenino (RE) pa je pokazala šele RTSS. Slednja z veliko ločljivostjo prikaže zobe in sosednje anatomske strukture v vseh treh dimenzijah, zato je v dentalni medicini zelo uporabna za razpoznavo bolezenskih sprememb in načrtovanje koreninskega zdravljenja zob, vse pogosteje pa se uporablja tudi pri paleodontoloških raziskavah skeletnih ostankov iz preteklih obdobj.

Opisi spodnjih kočnikov z RE pri ljudeh iz predzgodovinskih obdobij so v literaturi maloštevilni, kar je povezano tudi z dejstvom, da so v večini raziskav število korenin določali z makroskopskim pregledom gradiva. To pa zlasti pri kočnikih ni zanesljiv način, ker se teh zob večinoma ne dá odstraniti iz alveol, zato je za neposredni pregled dostopen le vratni del zobne korenine. Na železnodobnem najdišču v severnem Pakistanu (Timargarha) so pri 15,4 % skeletov (2/13) ugotovili prisotnost prvega spodnjega stalnega kočnika z RE, v obeh primerih obojestransko, pri enem skeletu pa tako kot v našem primeru prisotnost tretjega spodnjega stalnega kočnika z RE (Lukacs 1983). Na francoskem najdišču pri kraju Rouffignac so med človeškimi skeletnimi ostanki

iz železne dobe našli M_2 (1/21) s kratko nadštevilno koreninico RE (Sahly *et al.* 1962). Tudi v zobnem gradivu z nubijskih najdišč (100 pr. n. št.–550 n. št.) je bil med 71 prvimi spodnjimi stalnimi kočniki le en trikoreninski zob (1,7 %) (Turner II, Markowitz 1990). Na železnodobnih najdiščih južne Italije (9. do 2. stol. pr. n. št.) niso našli nobenega trikoreninskega prvega spodnjega stalnega kočnika, kar je presenetljivo glede na številčnost vzorca (279 skeletov) (Coppa *et al.* 1998).

Kronološka starost posameznikov

Uporabljena metoda, ki so jo razvili Kvaal *et al.* (1995), omogoča izračun kronološke starosti odraslega posameznika na osnovi meritev velikosti pulpine votline na periapikalnih rentgenskih posnetkih zob. Metoda temelji na rentgenskih posnetkih zob današnjih Norvežanov, vendar se je izkazala za uporabno tudi pri analizi arheološkega skeletnega gradiva. Przysańska *et al.* (2015) so pri skeletnih ostankih osmih odraslih ljudi s poljskega bronastodobnega najdišča ugotovili skladnost med ocenami starosti, ki so bile izračunane po omenjeni dentalni metodi, in tistimi, ki so temeljile na osteoloških kriterijih. Kvaal in During (1999) sta pri skeletnih ostankih posadke švedske vojaške ladje Vasa, ki se je potopila leta 1628, ugotovili ujemanje dentalne in osteološke ocene starosti pri 11 od skupno 15 posameznikov, pri katerih je bilo mogoče določiti starost po obeh metodah.

Pri skeletu 2 sem na osnovi rentgenskega posnetka zoba I^2 izračunal kronološko starost 53 let. Antropološki ocenili sta bili pri tem skeletu enotni (> 50 let) (tabela 10). Popolna zakostenelost incizivnega šiva in znaki zakostenevanja preostalih treh nebnihi šivov prav tako kažejo na starost 50 let ali več (Mann *et al.* 1991). Ker pa zaradi manjše obrabljenosti spodnjih zob v primerjavi z zgornjimi zobmi ter okluzijskega neujemanja zobnih lokov ne izključujem možnosti, da čeljustnice ne pripadajo istemu skeletu, sem kronološko starost izračunal še na osnovi rentgenskih posnetkov treh spodnjih zob. Rezultat (44 let) bi lahko potrjeval omenjeno možnost.

Pri skeletu 3 sem na osnovi rentgenskega posnetka zoba C_1 izračunal kronološko starost 33 let, kar se bolj ujema z eno (ca. 30 let) kakor z drugo antropološko oceno (ca. 20 let). Vendar pa v prid starosti okrog 30 let govorita tudi popolna zakostenelost incizivnega šiva, ki se navadno ne razvije pred 30. letom starosti (Mann *et al.* 1987), in

Zgornji zobni lok									
Št. zob <i>in situ</i>	2	3	5	3	1	1	3	0	18
Št. izoliranih zob	0	1	0	0	0	1	0	0	2
Št. PM izgubljenih zob	4	3	1	2	3	0	0	3	16
Št. AM izgubljenih zob	0	0	0	1	1	2	0	0	4
Št. karioznih zob	0	0	0	1	0	1	2	0	4
Vrsta zoba	I1	I2	C	P1	P2	M1	M2	M3	Skupaj
Št. zob <i>in situ</i>	2	3	4	3	4	4	4	4	28
Št. izoliranih zob	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Št. PM izgubljenih zob	2	1	0	1	0	0	0	1	5
Št. AM izgubljenih zob	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Št. karioznih zob	0	0	0	0	0	2	1	0	3
Spodnji zobni lok									
Legenda: PM – po smrti (<i>post mortem</i>), AM – za časa življenja (<i>ante mortem</i>)									
Legend: PM – postmortally, AM – intravitally									

Tabela 11. Razvrstitev karioznih in manjkajočih zob z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro po zobnih skupinah.

Table 11. Distribution of carious and missing teeth in the skeletons from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora.

zmerna obrabljenost zob (4,7 po 8-stopenjski Molnarjevi lestvici).

Pri skeletu 5 sem na osnovi rentgenskih posnetkov šestih zob izračunal kronološko starost 58 let, ki se bolj uje ma z eno (50–60 let) kakor z drugo antropološko oceno (40–55 let). Na osnovi nebnihi šivov (povsem zakostenela incizivni šiv in srednji del prečnega šiva, nezakostenel prednji sredinski nebni šiv) lahko sklepamo le, da je bila oseba starejša od 40 let.

Zobni karies

Zobni karies je razgradnja trdih zobnih tkiv zaradi delovanja kariogenih bakterij. Od treh bronastodobnih skeletov je le eden brez kariesa (moški skelet 5). V analiziranem gradivu je 14,3 % (7/49) karioznih zob: pet zob pri skeletu 2 (5/21), en zob pri skeletu 3 (1/3), nič zob pri skeletu 5 (0/23), poleg tega ima karies še eden od dveh izoliranih zob. Dva zoba imata po dve kariozni spremembi, pet zob pa po eno. Med sedmimi karioznimi zobmi so trije prvi kočniki (1M_1 , 1M_2), trije drugi kočniki (2M_1 , 2M_2) in en prvi ličnik (1P) (tabela 11). Prevladujoča prizadetost kočnikov ni presenetljiva, saj se je karies v vseh obdobjih najpogostejše pojavljal pri tej zobni skupini, zlasti na prvem in drugem kočniku, manj pogosto na ličnikih, karies na sekalcih in podočnikih pa je bil redkost vse do obdobja po letu 1000 n. š. (Caselitz 1998).

Ugotovljeni delež karioznih stalnih zob (14,3 %) je značilen za način preživljanja, ki temelji na poljedelstvu (2,2–26,9 %) (Turner II 1979), se pa uvršča v zgornji del razpona vrednosti za evropska bronastodobna najdišča (slika 14). Zanimivo je, da je tudi v 2500 do 3000 let mlajšem srednjeveškem skeletnem gradivu iz Središča ob Dravi primerljivih 15,8 % karioznih stalnih zob (Štamfelj 2004). Primerljiv odstotek navajajo še Cucina *et al.* (1999), ki so pregledali 430 stalnih zob z zgodnjebronastodobnih najdišč na območju Trentina v današnji Italiji. Prebivalci tega območja so imeli v neolitiku le 4,1 % karioznih stalnih zob, kar je značilno za prehrano, ki vsebuje malo ogljikovih hidratov, v bakreni dobi 6,2 % karioznih stalnih zob, v zgodnji bronasti dobi pa že 16,1 % karioznih stalnih zob. V današnji španski Valencii so primerljiv delež karioznih stalnih zob ugotovili na bronastodobnem najdišču Castellet (17,1 %), na ostalih dveh najdiščih iz istega obdobja je bil delež manjši (Vinalopó, 8,9 %; Cova dels Blaus, 5,4 %) (Polo-Cerdá *et al.*

2007). Delež karioznih stalnih zob je bil manjši tudi na srednjebronastodobnem najdišču Tiszafüred na severovzhodu današnje Madžarske (3,2 % ali 123/3903) (Ubelaker, Pap 1996), na zgodnjebronastodobnem najdišču Rogalin na vzhodu današnje Poljske (1,1 % ali 2/178) (Przystańska *et al.* 2015) in na zgodnjebronastodobnih najdiščih na območju današnje osrednje Nemčije (5,8 % ali 110/1896) (Nicklisch *et al.* 2016). Tudi v megalitskem gradivu (1800 pr. n. št.) z najdišča Roche v današnji osrednji Franciji je karioznih le 4,2 % (25/610) stalnih zob (Brabant, Cordier 1966).

Večanje pogostnosti kariesa od neolitika do bronaste dobe povezujejo s spremembami prehrane zaradi postopnega prehoda od lova in nabiralništva k poljedelstvu in živinoreji. Epidemiološke raziskave so pokazale, da obstaja povezava med prevalenco kariesa in količino zaužitih ogljikovih hidratov (monosaharidov, disaharidov in polisaharida škroba) (Turner II 1979; Kelley *et al.* 1991). Žitarice vsebujejo škrob, ki ima podobno pospešujoč učinek na razvoj kariesa kakor sladkorji (Johansson, Birkhed 1999). Mleko vsebuje laktozo v majhni koncentraciji, vendar v splošnem velja za nekariogeno ali celo antikariogeno, ker vsebuje kazein, kalcij in fosfat, ki zavirajo razvoj kariesa (Johansson, Birkhed 1999). V nasprotju s prej omenjenim trendom so za območje današnje osrednje Nemčije ugotovili, da je bil delež karioznih zob v starejšem neolitiku (8,6 %) večji kakor v srednjem neolitiku (4,9 %), mlajšem neolitiku (5,5 %) in v zgodnji bronasti dobi (5,8 %) (Nicklisch *et al.* 2016). Temu trendu je sledila prevalenca kariesa, ki je bila v starejšem neolitiku (54,8 %) večja kakor v srednjem (44,0 %) in mlajšem neolitiku (38,3 %) in v zgodnji bronasti dobi (35,6 %). Meritve količine dušikovega izotopa ^{15}N v kosteh, ki so jih opravili omenjeni avtorji, kažejo, da se je na tem območju skozi obdobje neolitika postopoma večal delež proteinov v prehrani (meso in mlečni izdelki), kar bi lahko povezali z upadanjem pogostnosti kariesa. Opisane razlike med najdišči (pogostnost kariesa in njeno spreminjanje skozi čas) bi bile lahko povezane z regionalnimi razlikami v naravnem okolju in posledično prehrani predzgodovinskih ljudstev. Ob tem velja omeniti, da na razvoj kariesa poleg vrste in količine ogljikovih hidratov v prehrani vplivajo še številni drugi dejavniki (pogostnost uživanja hrane, konsistenca hrane, količina in sestava sline, genetski dejavniki, ki določajo oblikovne lastnosti in velikost zob ter mineraliziranost in mikrostrukturo trdih zobnih tkiv, količina fluorja in

drugih elementov v sklenini, nekatere sistemske bolezni itd.), ki jih pri predzgodovinskih ljudstvih slabo poznamo (Tayles *et al.* 2009).

Pri zobeh z Brezja pod Brinjevo goro je vseh devet karioznih sprememb na zobnem vratu (osem na aproksimalnih ploskvah in ena na bukalni ploskvi) in vse so bile omejene na posamezno zobno ploskev. Tudi pri bronastodobnih prebivalcih iz severovzhodnega predela današnje Madžarske je bilo največ karioznih sprememb na zobnem vratu (41,5 %), sledile so kariozne spremembe na zobnih koreninah (21,1 %), na griznih ploskvah (14,6 %), kariozno uničenje zobne krone (14,6 %) in karies na aproksimalnih ploskvah zobnih kron (8,1 %) (Ubelaker, Pap 1996). Za razliko od tega se pri sedanjem prebivalstvu karies najpogosteje razvije na zobnih kronah kočnikov in ličnikov, in sicer največkrat v fisurnem sistemu na griznih ploskvah, nato na njihovih aproksimalnih ploskvah. Pojavljanje kariesa na zobnem vratu in koreninah namesto na griznih ploskvah pri predzgodovinskih prebivalstvenih skupinah povezujejo z veliko obrabo zob (Maat,

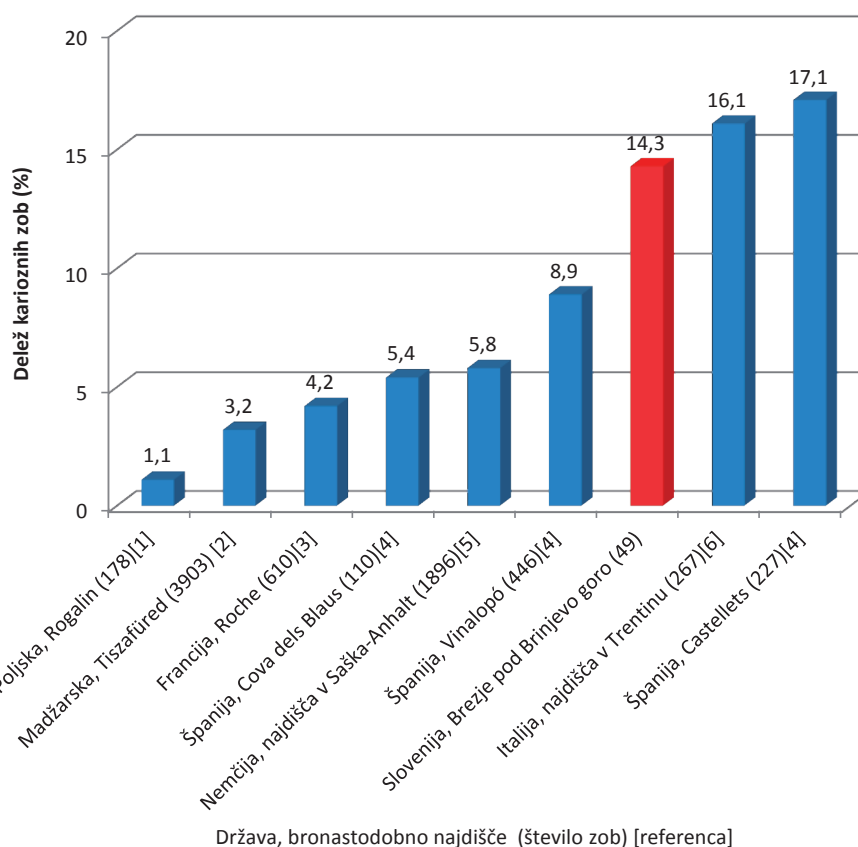
Van der Velde 1987; Meinel *et al.* 2010). Okluzalna obraba je povzročila zgodnje preoblikovanje griznih ploskev kočnikov in ličnikov, predvsem izgubo fisur, ki so predilekcijsko mesto za razvoj okluzalnega kariesa. Poleg tega se je obraba zobnih kron delno izravnavała z izraščanjem zob, kar je razgalilo vratni del zobne korenine, ki ga sicer pokrivajo obzobna tkiva. Apikalno umikanje obzobnih tkiv pa je lahko pospešila parodontalna bolezen.

Po rentgenski oceni segata dve kariozni spremembi v zunanjo tretjino dentinskega plašča, štiri kariozne spremembe v srednjo tretjino dentinskega plašča, tri pa v notranjo tretjino dentinskega plašča. Nobena kariozna sprememba rentgensko ne sega do pulpine votline, zato domnevam, da zobna pulpa nobenega od prizadetih zob ni bila nepopravljivo okvarjena. Posledica ugotovljenih karioznih sprememb bi lahko bila preobčutljivost zob na toplotne in kemične dražljaje, spontanah bolečin pa posamezniki zaradi tega niso imeli. Če bi ti ljudje živeli dlje,

Slika 14. Odstotek karioznih stalnih stalnih zob v gradivu iz gomile pod Brinjevo goro (rdeče) in v gradivih z drugih evropskih bronastodobnih najdišč (modro).

Figure 14. Percentage of the carious permanent teeth in the bone assemblage from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora (red) and from other European Bronze Age sites (blue).

Viri: 1 – Przystánska *et al.* 2015, 2 – Ubelaker, Pap 1996, 3 – Brabant, Cordier 1966, 4 – Polo-Cerdá *et al.* 2007), 5 – Nicklisch *et al.* 2015, 6 – Cucina *et al.* 1999.



bi karies po vsej verjetnosti najprej dosegel zobno pulpo pri ²M² skeleta 2 in pri ¹P skeleta 3.

Kronični apikalni parodontitis

Kronični apikalni parodontitis (KAP) je vnetje, ki se razvije ob koreninski konici okuženega avitalnega zoba. Na čeljustni kosti se kaže kot apikalna osteolitična sprememba. V večini primerov se razvije ob zobeh, pri katerih sta karies ali obraba dosegla zobno pulpo.

Apikalno kostno razgradnjo, ki je nastala zaradi KAP, sem makroskopsko in rentgensko ugotovil pri skeletu 2 ob korenini P¹. Nastanek KAP je bil v tem primeru vzročno povezan z odprtjem pulpnega prekata zaradi močne obrabe, kar je mikroorganizmom iz ustne votline omogočilo vstop v notranjost zoba. Pri istem posamezniku je bil KAP morda prisoten tudi ob zobeh ²P², vendar to zaradi slabe ohranjenosti alveol in izgube zob po smrti ni povsem jasno.

V analiziranem bronastodobnem gradivu sem morebitno prisotnost apikalne kostne razgradnje lahko ugotavljal pri 67 zobeh (47 zob *in situ* ter 20 alveol, ki pripadajo po smrti izgubljenim zobem). Delež zob s KAP je bil 1,5 % (1/67), kar je, upoštevaje majhnost vzorca, primerljivo z 0,42-odstotnim deležem (17/4032) pri bronastodobnih prebivalcih današnje Madžarske (Ubelaker, Pap 1996), vendar precej manj od 6,6-odstotnega deleža (23/349) pri zgodnjebronastodobnih prebivalcih današnjega Trentina v Italiji (Cucina *et al.* 1999). Brothwell (1963) je pri pregledu 910 zob iz obdobja mezolitika v Evropi in Severni Afriki ugotovil 39 primerov odprtja pulpnega prekata zaradi obrabe (4,3 %), pri tem pa je treba upoštevati, da je bila večina pregledanih zob z najdišč v Severni Afriki, kjer je zaradi suhega peščenega okolja v hrani več abrazivnih delcev kot v Evropi. Pri srednjeveških prebivalcih Središča ob Dravi je bil delež zob s KAP 1,1 % (14/1307) (Štampfelj 2004).

Na klinični potek KAP je na osnovi arheološkega skeletnega gradiva težko sklepati, domnevajo pa, da so v predzgodovinskem času nekateri dejavniki delovali v smislu manjše verjetnosti nastanka težjih vnetnih zapletov (Kerr 1998a; Alt *et al.* 1998). Večina KAP je bila, tako kot pri P¹ skeleta 2, odprtega tipa (odprt pulpni prekat), kar je omogočalo drenažo, to pa zmanjšuje verjetnost nastanka gnojnega vnetja. Poleg tega se je zaradi močne obrabe in posledičnega hitrega izraščanja zob anatomskega odnos

med koreninskimi konicami in narastišči obraznih mišic spremenil tako, da se vnetni procesi v večini primerov niso širili v globlje predele obraza in vratu, kar bi vodilo v težje, tudi življenjsko nevarne okužbe.

Za časa življenja izgubljeni zobje

Manjkajoč zob sem opredelili kot izgubljen za časa življenja, kadar je bila pripadajoča alveola delno ali v celoti zapolnjena s kostnino. Moški, ki mu je pripadal skelet 2, je za časa življenja izgubil oba prva zgornja stalna kočnika, moški, ki mu je pripadal skelet 5, pa po vsej verjetnosti ni izgubil nobenega zoba. Najslabše je ohranjeno zobovje ženske, ki ji je pripadal skelet 3, ohranjeni odlomki čeljustnic pa kažejo, da je za časa življenja izgubila najmanj pet zob (²I, P^{1,2} in _{2,1}M). Rentgenski posnetki so pokazali, da je bilo vseh sedem zob ekstrahiranih v celoti, brez v kosti zaostalih koreninskih odlomkov.

Pri vseh treh posameznikih skupaj je bilo za časa življenja izgubljenih 9,6 % zob (7 zob/73 zobnih položajev). Podatek je ob upoštevanju majhnosti vzorca primerljiv s tistimi za druga evropska bronastodobna najdišča. Pri bronastodobnih prebivalcih današnje Madžarske je bila pogostnost za časa življenja izgubljenih zob 4,7 % (229/4858) (Ubelaker, Pap 1996). Pri prebivalcih današnjega italijanskega Trentina se je delež za časa življenja izgubljenih zob povečal s 6,5 % v neolitik in 2,6 % v bakreni dobi na 13,1 % v zgodnji bronasti dobi (Cucina *et al.* 1999). Srednjeveški prebivalci Središča ob Dravi so za časa življenja izgubili 8,6 % zob (143 zob/1665 zobnih položajev) (Štampfelj 2004).

Izguba zob za časa življenja ima lahko različno etiologijo. Najpogostejše je posledica napredovanega kariesa, lahko pa tudi napredovane parodontalne bolezni, odkritja pulpnega prekata zaradi obrabe, poškodbe zoba in nekaterih razvojnih napak zob. Pri skeletih iz gomile pod Brinjevo goro so bili z izjemo ²I skeleta 3 vsi za časa življenja izgubljeni zobje ličniki (P^{1,2}) in kočniki (¹M¹, _{2,1}M). Tudi prej citirana Ubelaker in Pap (1996) poročata o večji pogostnosti izgube za časa življenja pri zobeh transkaninega predela kakor pri zobeh interkaninega predela, kar naj bi predvsem odražalo večjo dovzetnost za karies pri prvi skupini.

Parodontalna bolezen

V literaturi navajajo za razdaljo SCM-RAK pri zdravih obzobnih tkivih mladih odraslih ljudi vrednosti od 1,3 do 3,0 mm (Lennon, Davies 1974; Gjermo *et al.* 1984; Štamfelj 2004). Pri parodontalni bolezni je ta razdalja zaradi razgradnje kosti povečana, vendar pa se s starostjo povečuje tudi fiziološko zaradi postopnega izraščanja zob, zlasti pri veliki obrabi zob, zato pri skeletnem gradivu ni zanesljiv pokazatelj prisotnosti parodontalne bolezni (Clarke, Hirsch 1991). Skladno s priporočili iz literature je bilo v tej raziskavi merilo prisotnosti parodontalne bolezni povečana razdalja SCM-RAK (> 4 mm) z znaki vnetne razgradnje kosti, kamor spadajo spremenjena oblika alveolnega roba, ki ne posnema oblike SCM, manjkajoča povrhnja kompakta in vidni številni razširjeni nutritivni foramni (Strohm, Alt 1998).

Prisotnost znakov parodontalne bolezni sem lahko ugotavljal pri skeletih 2 in 5, pri skeletu 3 pa je ohranjenost čeljustne kosti preslaba. Rezultati kažejo, da se je parodontalno zdravje moških, ki sta jima pripadala skeleta 2 in 5, kljub primerljivi starosti močno razlikovalo. Pri skeletu 5 so znaki parodontalne bolezni prisotni le ob dveh zobeh, pri skeletu 2 pa ob 12 zobeh in pri skoraj polovici teh zob je bila bolezen napredovana. Takšno stanje je rezultat naravnega poteka bolezni. Tudi epidemiološke raziskave pri današnjih prebivalstvenih skupinah so pokazale, da za razvoj parodontalne bolezni niso dovzetne vse osebe. Za napredovano parodontalno boleznijo, ki ogroža obstoj zob, oboli med 10 % in 20 % oseb (Papapanou, Wennström 1990). Kljub temu da ima večina prebivalstva s starostjo slabše stanje obzobnih tkiv, prizadene parodontalna bolezen tudi v starejših prebivalstvenih skupinah le del prebivalstva (Brown *et al.* 1989).

Pri bronastodobnih skeletih so znaki parodontalne bolezni prisotni ob 11 kočnikih (štirih zgornjih in sedmih spodnjih), dveh zgornjih ličnikih in enem zgornjem sekalcu. Prevladujoča prizadetost kočnikov se ujema z rezultati epidemioloških raziskav pri živečih in preteklih populacijah (Kerr 1991). Pri srednjeveških prebivalcih Središča ob Dravi je bila največja kostna razgradnja izmerjena v zgornji čeljusti ob kočnikih, v spodnji čeljusti pa ob kočnikih in sekalcih (Štamfelj 2004).

V primerjavi z zobnim kariesom je naravna zgodovina parodontalne bolezni slabo poznana. Primerjavo rezultatov različnih študij otežujejo majhni vzorci in neenotnost

meril za določitev prisotnosti parodontalne bolezni. Izpostaviti pa velja obsežno raziskavo na skeletnih gradivih z Britanskega otočja (Kerr 1998b). Avtor je določal spremembe na alveolni kosti pri 504 skeletih iz predzgodovinskega obdobja, srednjega veka, 17., 18. in 19. stoletja in pri tem ugotovil, da je pogostnost parodontalne bolezni v zadnjih 3000 letih kljub velikim spremembam oralnega okolja ostala nespremenjena.

Zobni kamen

Skupno je v gradivu 75,5 % (37/49) zob z zobnim kamnom. Skelet 5 ima zobni kamen na 87,0 % (20/23) zob. Pri vseh zobeh je pritrjen na anatomsko krono (supragingivalni zobni kamen), kar se sklada z zdravo alveolno kostjo pri tem posamezniku. Skelet 2 ima zobni kamen na 66,7 % (14/21) zob. Upošteva njegovo lego glede na SCM in prizadetost alveolne kosti, sklepam, da gre pri 57,1 % (12/21) zob za supragingivalni zobni kamen, pri 9,5 % (2/21) zob pa za subgingivalni zobni kamen. Subgingivalni zobni kamen je prisoten samo na I_{M_1} , ob katerih so vidni znaki napredovane parodontalne bolezni. Znano je, da nastane subgingivalni zobni kamen v predelu parodontalnega žepa kot stranski proizvod vnetja (Lang *et al.* 2008). Prisotnost zobnega kamna olajša kopičenje bakterijskega zobnega plaka, vendar ni neposredni vzročni dejavnik parodontalne bolezni, zato ne preseneča, da sta se moška kljub približno enaki količini supragingivalnega zobnega kamna in primerljivi starosti močno razlikovala glede parodontalnega zdravja; pri enem je bila ob slabi polovici zob prisotna (mestoma napredovana) razgradnja alveolne kosti, pri drugem je bila alveolna kost praktično zdrava. Skelet 3 ima zobni kamen na anatomski kroni enega od treh ohranjenih zob, prav tako je zobni kamen prisoten na anatomski kroni obeh izoliranih zob.

Supragingivalni kamen je prisoten na 71,4 % (35/49) vseh ohranjenih zob. Pri veliki večini zob gre za majhno količino zobnega kamna, vendar je treba upoštevati, da je ocena količine zobnega kamna pri arheološkem gradivu zaradi posmrtnega krušenja nezanesljiva. Pogostnosti zgornjih (72,7 % oz. 8/11) in spodnjih interkanininih zob (70,0 % oz. 7/10) s supragingivalnim zobnim kamnom se ne razlikujeta (hi-kvadrat, $p = 0,89$), nekoliko bližje statistični značilnosti je razlika med zgornjimi (55,6 % oz. 5/9) in spodnjimi transkaninimi zobmi (78,9 % oz. 15/19) (hi-kvadrat, $p = 0,20$).

Zobje zgornjega interkaninega predela imajo supragingivalni zobni kamen največkrat na bukalni (45,5 %) in palatinalni ploskvi (36,4 %), zobje spodnjega interkaninega predela pa na lingvalni ploskvi (60,0 %). Zobje zgornjega transkaninega predela imajo zobni kamen največkrat na bukalni ploskvi (55,6 %), zobje spodnjega transkaninega predela pa na lingvalni ploskvi (73,7 %). Zobni kamen nastane z mineralizacijo mehkih zobnih oblog. V raziskavi ugotovljena razporeditev supragingivalnega zobnega kamna je običajna in se ujema s položajem izvoda velikih žlez slinavk v ustni votlini (Lang *et al.* 2008). Ustje izvodila predušesne žleze slinavke (*glandula parotis*) leži bukalno ob drugem zgornjem kočniku, ustja izvodil podčeljustnične žleze (*glandula submandibularis*) in podjezične žleze slinavke (*glandula sublingualis*) pa ležijo pod jezikom (Brand, Isselhard 2003).

Linearne hipoplazije sklenine

Linearne hipoplazije sklenine (LHS) so nespecifičen odraz delovanja okoljskih škodljivih dejavnikov na otrokov organizem (Baume, Crawford 1980). Lahko so posledica neustrezne prehrane pri otroku, sistemskih in infekcijskih bolezni (Schultz *et al.* 1998). Sklenina se po zaključnem razvoju ne prenavlja več, zato ostane motnja trajno zapisana v njeno strukturo. Pri skeletu 2 imata I_2 v sklenini vratne polovice labialne ploskve vsak po dve šibko izraženi linearni hipoplaziji. Vsak par hipoplazij je približno enako oddaljen od SCM, zato ga lahko povežemo z istim vzročnim dejavnikom. Iz časovnih določil pri razvoju drugega spodnjega stalnega sekalca (Goodman *et al.* 1980) lahko določim, da je en par LHS nastal pri starosti 2,5 let, drug par pa pri starosti 3 let. Menijo, da je pri preteklih ljudstvih to obdobje sovpadalo s prekinitvijo dojenja in prehodom na mešano prehrano (Goodman *et al.* 1980). V našem primeru je to le nepreverjena domneva. Čas prehoda na mešano prehrano bi lahko opredelili z analizo mikroelementov barija in stroncija v sklenini, ki pa je destruktivna metoda, primerna za večje vzorce (Grupe 1998).

V zobnem gradivu iz gomile pod Brinjevo goro ima LHS 33,3 % (2/6) spodnjih sekalcev. V zgodnjebronastodobnem gradivu iz današnjega italijanskega Trentina je takšnih spodnjih sekalcev 75,0 % (12/16) (Cucina *et al.* 1999). LHS sem ugotovil pri 33,3 % (1/3) skeletov oziroma pri 4,1 % (2/49) zob iz gomile pod Brinjevo goro. Objavljeni podatki o pogostnosti hipoplazij skle-

nine pri stalnih zobeh z drugih bronastodobnih najdišč se razlikujejo. Pri zgodnjebronastodobnem gradivu z današnje vzhodne Poljske (Rogalin) so jih ugotovili pri 23,1 % (3/13) posameznikov (Przystańska *et al.* 2015), pri bronastodobnih prebivalcih s severovzhoda današnje Madžarske (Tiszafüred) le pri 0,5 % (19/3805) stalnih zob (Ubelaker, Pap 1996), v današnji španski Valencii na enem najdišču pri 13,1 % stalnih zob, na drugih štirih najdiščih pri 20,4 do 23,3 % stalnih zob (Polo-Cerdá *et al.* 2007), v današnji Armeniji pa na enem najdišču (Black Fortress) pri 62 % skeletov, na drugem (Landjik) pri 50 % skeletov (Khudaverdyan 2011). Perikimacije, ki so normalna značilnost površine sklenine, so pri zobnem gradivu iz gomile pod Brinjevo goro pri 8,5-kratni povečavi vidne le pri izoliranem ^{21}I in pri $^{3}\text{M}_3$ skeleta 5.

Primerjava oralnega zdravja posameznikov, ki so jim pripadali skeleti z bronastodobnega najdišča Brezje pod Brinjevo goro

Pri skeletih 2 in 5 so čeljustnice in zobje dobro ohranjeni, zato je utemeljena primerjava oralnega zdravja obeh posameznikov. Analiza je pokazala, da je bilo oralno zdravje precej slabše pri moškem, ki mu je pripadal skelet 2, kakor pri moškem, ki mu je pripadal skelet 5 (slika 15), čeprav sta oba iz iste starostne skupine (50–60 let). Moški, ki mu je pripadal skelet 5, za časa življenja najverjetneje ni izgubil nobenega zoba, ni imel zobnega kariesa, apikalnega parodontitisa in hipoplazij sklenine. Parodontalna bolezen je bila prisotna le na lingvalni strani obeh spodnjih tretjih kočnikov. V nasprotju s tem je moški, ki mu je pripadal skelet 2, za časa življenja izgubil oba zgornja prva kočnika, imel je najmanj pet karioznih zob, najmanj en zob z apikalnim parodontitisom in najmanj dva zoba z linearnimi hipoplazijami sklenine. Poleg tega je bila ob 12 zobeh prisotna parodontalna bolezen, ob petih zobeh je bila napredovana. Oba moška sta imela supragingivalni zobni kamen na več kot polovici zob. Moška se nista razlikovala po povprečni stopnji obrabe spodnjih zob (4,2 vs. 4,3 po Molnarjevi lestvici; 2,6 vs. 2,5 po kazalniku TWI); v nasprotju s tem je povprečna stopnja obrabe zgornjih zob precej večja pri moškem, ki mu je pripadal skelet 2 (7,0 po Molnarjevi lestvici, 4,0 po kazalniku TWI), kakor pri moškem, ki mu je pripadal skelet 5 (5,2 po Molnarjevi lestvici, 3,3 po kazalniku TWI).

Zobovje ženske, ki ji je pripadal skelet 3, je zelo slabo ohranjeno (odlomki čeljustnic s 3 zobmi), razpoložljivi podatki pa navajajo k domnevi, da je bilo njeno oralno zdravje najslabše, čeprav je bila najmanj 20 let mlajša od obeh moških. Preseneča zlasti to, da je za časa življenja izgubila najmanj pet zob, kar je v nesorazmerju z njeno starostjo (okrog 30 let), pa tudi to, da sta med izgubljenimi zobmi dva zgornja ličnika ($P^{1,2}$) in en zgornji sekal (I^1), kar bi zlasti pri slednjem težko pripisali posledicam kariesa. Karies se je v predzgodovinskih obdobjih zelo redko pojavil na sekalcih in podočnikih. Brabant in Cordier (1966) pri megalitskem gradivu (1800 pr. n. št.) iz današnje osrednje Francije nista ugotovila nobenega karioznega zgornjega sekalca (0/65). Zgovoren je tudi podatek, da pri nobenem od 63 posameznikov (23 moških in 40 žensk) iz srednjeveškega grobišča Središče ob Dravi (10.–15. stol.) nisem ugotovil izgube $2^1I^{1,2}$, I^1C^1 in I^1P^1 (Štampfelj 2004). Pri ženski, ki ji je pripadal skelet 3, je bila izguba 2^1I bolj verjetno posledica poškodbe, morda celo katere od razvojnih napak, ki se pojavljajo pri drugem zgornjem sekalcu (npr. uvihan zob ali globoka kronsko-koreninska brazda), ali pa je šlo za ritual-

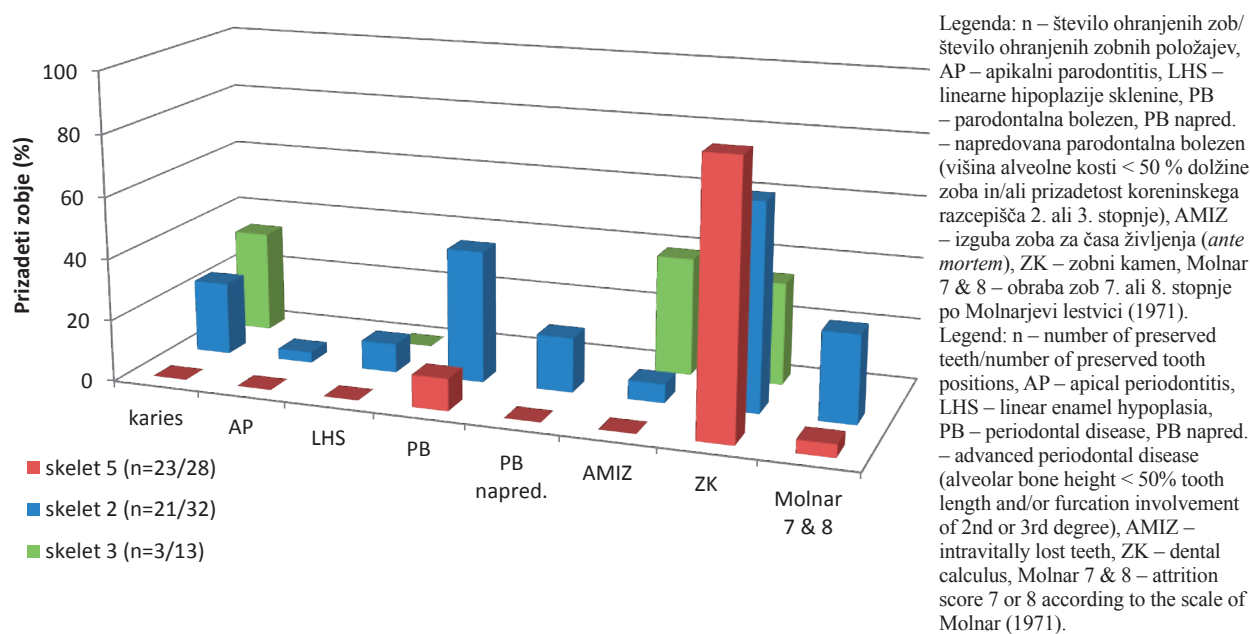
no odstranitev zoba. Ugotovljene razlike med žensko in obema moškima bi deloma lahko bile odraz dvospolnih razlik glede pogostnosti kariesa pri takratnem prebivalstvu. Obstoje takšnih razlik potrjujejo raziskave številnih arheoloških gradiv, vzroki za večjo pogostnost kariesa pri ženskah kot pri moških pa so verjetno socialne in ne fiziološke narave (Larsen *et al.* 1991).

Zaključki

V gradivu je 49 stalnih zob: 21 pri skeletu 2, trije pri skeletu 3, 23 pri skeletu 5, dva zoba (desni drugi zgornji sekalci in desni prvi zgornji kočnik) pa ne pripadata nobenemu od analiziranih treh skeletov. Lahko bi pripadala skeletoma 1 in/ali 4 iz iste gomile, pri katerih pa čeljustnice niso ohranjene.

Skelet 3 ima med vsemi tremi skeleti najmanjše zobne krone, kar se ujema z antropološko določitvijo, da je pripadal ženski, skeleta 2 in 5 pa moškima.

Starost ob smrti, izračunana na osnovi rentgenskih posnetkov zob, je bila najvišja pri moškem, ki mu je pripadal



Slika 15. Oralno zdravje moških, ki sta jima pripadala skeleta 2 in 5, ter ženske, ki ji je pripadal skelet 3 (skeletno gradivo iz bronastodobne gomile pod Brinjevo goro).

Figure 15. Oral health of the analysed men (Skeletons 2 and 5) and woman (Skeleton 3) from the Bronze Age site at Brezje below Brinjeva gora.

skelet 5 (58 let), sledita moški, ki mu je pripadal skelet 2 (53 let), in ženska, ki ji je pripadal skelet 3 (33 let). Desni drugi zgornji stalni sekalec, ki ne pripada nobenemu od analiziranih treh skeletov, je po takšnem izračunu pripadal človeku, staremu 27 let.

Računalniška tomografija spodnje čeljustnice skeleta 5 je pokazala, da ima levi tretji kočnik poleg dveh rednih korenin (mezialne in distalne) še nadštevilno korenino na lingvalni strani – *radix entomolaris* (RE). Na evropskih predzgodovinskih najdiščih so našli in opisali le nekaj spodnjih kočnikov z RE, pa tudi pri recentnih Kavkazcih je njihova pogostnost majhna. Najdba posredno dokazuje, da so nosilci dednega zapisa, ki usmerja razvoj te dodatne korenine, na območju današnje Slovenije živeli že v času srednje bronaste dobe.

Močno obrabljenost in razmeroma velik delež karioznih zob v vzorcu (14,3 %) bi lahko povezali z abrazivno prehrano pretežno rastlinskega izvora. Pri skeletu 2 preseneča precej večja obrabljenost zgornjih zob v primerjavi s spodnjimi zobmi, kar bi lahko nastalo kot posledica uporabe zgornjih zob pri določenem opravilu ali pa se je pri rokovanju z gradivom v preteklosti zgodila zamenjava in čeljustnici sploh ne pripadata istemu skeletu.

Rezultati kažejo, da so se analizirani bronastodobni posamezniki zelo razlikovali glede oralnega zdravja. Moški, ki mu je pripadal skelet 5, je do konca svojega življenja obdržal popolno in nekariozno zobovje ter z izjemo dveh zob zdravo alveolno kost. Moški, ki mu je pripadal skelet 2, je za časa življenja izgubil dva kočnika, imel je najmanj pet karioznih zob, najmanj en zob z apikalnim parodontitisom, najmanj dva zoba z linearnimi hipoplazijami sklenine in 12 parodontalno obolelih zob, med katerimi je bilo pet zob z napredovano obliko bolezni. Ženska, ki ji je pripadal skelet 3 in je umrla vsaj 20 let mlajša od obeh moških, je za časa življenja izgubila najmanj pet zob, med katerimi sta celo en zgornji sekalec in dva zgornja ličnika, kar kljub zelo slabi ohranjenosti zobovja in čeljustnic navaja k sklepu, da je bilo njeno oralno zdravje najslabše.

Analiza arheoloških skeletnih najdb je timsko delo, pri katerem sodelujejo arheologi, antropologi in sodelavci različnih biomedicinskih strok. Zobje so zaradi svojih lastnosti (npr. obstojnost, pretežno dedna določenost velikosti in oblike, ontogenetska stabilnost) zelo informativno raziskovalno gradivo. To dokazuje tudi pričujoča

paleodontološka raziskava, ki temelji na ostankih samo treh posameznikov, kljub temu pa je prispevala številne zanimive ugotovitve in s tem doprinesla k boljšemu poznavanju prebivalstva, ki je v času srednje bronaste dobe živelo na ozemlju današnje Slovenije. Izziv za prihodnost predstavljajo doslej neraziskana skeletna gradiva iz domačih muzejskih zbirk in uporaba nekaterih novejših raziskovalnih metod, npr. določanje mikroelementov in izotopov v sklenini ter analiza zobne mikroobrade.

Zahvala

Iskreno se zahvaljujem:

- inženirjem radiologije Boštjanu Frlanu, Mojci Lah, Marjani Longar, Tadeji Salkič in Nataši Torner s Stomatološke klinike Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana za izdelavo rentgenskih posnetkov skeletnega gradiva,

- Zobnemu rentgenu Rudnik iz Ljubljane, še posebej inženirju radiologije Urošu Horjaku, za računalniško tomografijo spodnjih čeljustnic,

- anonimnima recenzentoma, ki sta mi s svojimi pripombami pomagala izboljšati besedilo.

Palaeodontological analysis of the skeletal remains from the Bronze Age tumulus at Brezje below Brinjeva gora

(Summary)

The contribution presents the results of the palaeodontological analysis performed on the human remains excavated in 1956 in a Bronze Age tumulus at Brezje, eastern Slovenia. The remains date to the Middle Bronze Age (1600–1500 BC) and have been attributed to the tumulus culture. Two male (Nos. 2 and 5) and two female skeletons (Nos. 3 and 4) were found in the tumulus. The excavation revealed the maxillae and mandibles of all four skeletons, but those of Skeleton 4 were later lost. The analysis has examined the dental status, size and morphology of teeth as well as dental pathologies, tooth wear and enamel hypoplasia. In addition, the dental age of each individual has been estimated according to the radiographic method (Kvaal et al. 1995). Several modern technologies have been used, including dental microscope, periapical and panoramic radiography and cone-beam computed tomography (CBCT).

Analysis of the crown diameters indicates that Skeleton 3 was female whereas Skeletons 2 and 5 were male. The dental age of the woman has been estimated at around 30 years, that of the men at between 50 and 60 years. This is in broad agreement with the estimates provided by the use of other anthropological methods. The 49 surviving permanent teeth include two (2I and 1M) that do not belong to any of the three individuals.

The maxillae and mandibles of both men are well preserved. The dentition of Skeleton 5 was disease-free with the exception of the boardlike border of the limbus alveolaris in the mandibular third molar region. This is regarded as a sign of periodontal disease. In contrast, the man of Skeleton 2 lost two teeth ($^1M^1$) during lifetime, he had five carious teeth ($^2M^2$, $_{2,1}M_1$), at least one tooth (P^1) with apical periodontitis associated with heavy wear and opening of the pulp cavity, twelve teeth ($^{3,2}M^{2,3}$, $_{3,2,1}M_{1,2}$, $P^{1,2}$, I^2) with evidence of alveolar resorption indicating periodontal disease and at least two teeth ($_2I_2$) exhibiting linear enamel hypoplasia. In both men, small to moderate amounts of calculus were present on most teeth. In the female Skeleton 3, only fragments of the jaws and three teeth survive; one of them is carious (1P). There is evidence that she lost at least five teeth (2I , $P^{1,2}$, $_{2,1}M$) during her lifetime, suggesting that her oral health was the worst of all three individuals in spite of her dying at least twenty years younger than the two men.

All dentitions show heavy wear with dentine exposure. Heavy wear, relatively high percentage of carious teeth (14.3%) and cervical location of all carious lesions are consistent with a plant-based subsistence. Surprisingly, the maxillary teeth of Skeleton 2 are considerably more worn than his mandibular teeth. Average scores for maxillary and mandibular teeth on the Molnar's scale were 7.0 and 4.2, respectively. Moreover, the plane of attrition is considerably steeper in maxillary than in mandibular posterior teeth. All this may indicate extramasticatory use of teeth; however, it is more likely that the jaws do not belong to the same individual. In the male Skeleton 5, CBCT of the mandible revealed the presence of supernumerary root radix entomolaris (RE) on the left third molar. This represents the earliest evidence to date for the appearance of RE on Slovenian and probably also European territory. This radicular variant is rare in living and skeletal Caucasian populations and probably entered Europe from Asia, where it is most common. How and when this happened is currently not known. The identification of RE would not be possible without CBCT, which best illustrates the potential held by modern imaging methods in the field of palaeodontology.

Literatura / References

- ALT, K. W., J. TÜRPEL, R. WÄCHTER 1998, Periapical lesions – clinical and anthropological aspects. – V/In: K. W. Alt, F. Rösing, M. Teschler-Nicola (ur./eds.), *Dental Anthropology: fundamentals, limits, and prospects*, Wien, New York, 247–276.
- BALCI, Y., M. YAVUZ, S. CAĞDIR 2005, Predictive accuracy of sexing the mandible by ramus flexure. – *Homo* 55, 229–237.
- BAUME, R. M., M. CRAWFORD 1980, Discrete dental trait asymmetry in Mexican and Belizean groups. – *American Journal of Physical Anthropology* 52, 315–321.
- BRABANT, H., G. CORDIER 1966, Étude des dents et des fragments de maxillaires du dolmen de la Roche, Commune de Manthelan (Indre-et-Loire). – *Bulletin de la Société royale belge d'Anthropologie et de Préhistoire* 77, 5–29.
- BRAND, R. W., D. E. ISSELHARD 2003, *Anatomy of orofacial structures*. St. Louis.
- BROTHWELL, D. R. 1963, The macroscopic dental pathology of some earlier human populations. – V/In: D. R. Brothwell (ur./ed.), *Dental anthropology*, Oxford, 271–288.
- BROWN, L. J., R. C. OLIVER, H. LÖE 1989, Periodontal diseases in the U. S. in 1981: prevalence, severity, extent, and role in tooth mortality. – *Journal of Periodontology* 60, 363–370.
- CASELITZ, P. 1998, Caries – ancient plague of humankind. – V/In: K. W. Alt, F. W. Rösing, M. Teschler-Nicola (ur./eds.) *Dental Anthropology: fundamentals, limits, and prospects*, Wien, New York, 203–226.
- CEPERUELO, D., M. LOZANO, F. DURAN-SINDREU, M. MERCADÉ 2015, Supernumerary fourth molar and dental pathologies in a Chalcolithic individual from the El Mirador Cave site (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). – *Homo* 66, 15–26.
- CLARKE, N. G., R. S. HIRSCH 1991, Physiological, pulpal and periodontal factors influencing alveolar bone. – V/In: M. A. Kelley, C. S. Larsen (ur./eds.), *Advances in dental anthropology*, New York, 241–266.
- COPPA, A., A. CUCINA, D. MANCINELLI, R. VARGIU, J. CALCAGNO 1998, Dental anthropology of Central-Southern, Iron-Age Italy: the evidence of metric versus nonmetric traits. – *American Journal of Physical Anthropology* 107, 371–386.
- CUCINA, A., M. LUCCI, R. VARGIU, A. COPPA 1999, Dental evidence of biological affinity and environmental conditions in prehistoric Trentino (Italy) samples from the Neolithic to the Early Bronze Age. – *International Journal of Osteoarchaeology* 9, 404–416.
- ERKMAN, A. C., F. KAYA 2014, Morphological variations of three-rooted mandibular molars in ancient Anatolian populations (Dilkaya mound, Van, Turkey): a literature review on world populations. – *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 14, 1–11.
- FRAYER, D. W. 1977, Dental sexual dimorphism in the European upper Paleolithic and Mesolithic. – *Journal of Dental Research* 56, 871.
- GARN, S. M., P. E. COLE, R. L. WAINWRIGHT, K. E. GUIRE 1977a, Sex discriminatory effectiveness using combinations of permanent teeth. – *Journal of Dental Research* 56, 697.
- GARN, S. M., C. L. BRACE, P. E. COLE 1977b, Use of crown areas in odontometric analysis. – *Journal of Dental Research* 56, 876.
- GJERMO, P., H.-T. BELLINI, S. V. PEREIRA, J. G. MARTINS, J. R. FERRACYOLI 1984, Prevalence of bone loss in a group of Brazilian teenagers assessed on bite-wing radiographs. – *Journal of Clinical Periodontology* 11, 104–113.
- GOODMAN, A. H., G. J. ARMELAGOS, J. C. ROSE 1980, Enamel hypoplasias as indicators of stress in three prehistoric populations from Illinois. – *Human Biology* 52, 515–528.
- GRUPE, G. 1998, 'Archives of childhood' – The research potential of trace element analysis of ancient human dental enamel. – V/In: K. W. Alt, F. W. Rösing, M. Teschler-Nicola (ur./eds.), *Dental Anthropology: fundamentals, limits, and prospects*, Wien, New York, 337–347.

- JOHANSSON, I., D. BIRKHED 1999, Diet and caries process. – V/In: A. Thylstrup, O. Fejerskov (ur./eds.), *Textbook of clinical cariology*, Copenhagen, 283–310.
- KAIFU, Y. 2000, Tooth wear and compensatory modification of the anterior dentoalveolar complex in humans. – *American Journal of Physical Anthropology* 111, 369–392.
- KERR, N. W. 1991, Prevalence and natural history of periodontal disease in Scotland – The mediaeval period (900–1600 A.D.). – *Journal of Periodontal Research* 26, 346–354.
- KERR, N. W. 1998a, Dental pain and suffering prior to the advent of modern dentistry. – *British Dental Journal* 184, 397–399.
- KERR, N. W. 1998b, The prevalence and natural history of periodontal disease in Britain from prehistoric to modern times. – *British Dental Journal* 185, 527–535.
- KELLEY, M. A., D. R. LEVESQUE, E. WEIDL 1991, Contrasting patterns of dental disease in five early northern Chilean groups. – V/In: M. A. Kelley, C. S. Larsen (ur./eds.), *Advances in dental anthropology*, New York, 203–213.
- KHUDAVERDYAN, A. Y. 2011, The anthropology of infectious diseases ob Bronze Age and Early Iron Age from Armenia. – *Dental Anthropology* 24, 42–54.
- KVAAL, S. I., K. M. KOLLTVEIT, I. O. THOMSEN, T. SOLHEIM 1995, Age estimation of adults from dental radiographs. – *Forensic Science International* 74, 175–185.
- KVAAL, S. I., E. M. DURING 1999, A dental study comparing age estimations of the human remains from the Swedish warship Vasa. – *International Journal of Osteoarchaeology* 9, 170–181.
- LANG, N. P., A. MOMBELLI, R. ATTSTRÖM 2008, Oral biofilms and calculus. – V/In: J. Lindhe, N. P. Lang, T. Karring (ur./eds.), *Clinical periodontology and implant dentistry*, Oxford, 183–206.
- LARSEN, C. S., R. SHAVIT, M. C. GRIFFIN 1991, Dental caries evidence for dietary change: an archaeological context. – V/In: M. A. Kelley, C. S. Larsen (ur./eds.), *Advances in dental anthropology*, New York, 179–202.
- LENNON, M. A., R. M. DAVIES 1974, Prevalence and distribution of alveolar bone loss in a population of 15-years-old school children. – *Journal of Clinical Periodontology* 1, 175–182.
- LUKACS, J. R. 1983, Dental anthropology and the origins of two Iron Age populations from Northern Pakistan. – *Homo* 34, 1–15.
- LUND, H., H. MÖRNSTAD 1999, Gender determination by odontometrics in a Swedish population. – *The Journal of Forensic Odonto-Stomatology* 17, 30–34.
- MAAT, G. J. R., E. A. VAN DER VELDE 1987, The caries-attribution competition. – *International Journal of Anthropology* 2, 281–292.
- MANN, R. W., S. A. SYMES, W. M. BASS 1987, Maxillary suture obliteration: aging the human skeleton based on intact or fragmentary maxilla. – *Journal of Forensic Sciences* 32, 148–157.
- MANN, R. W., R. L. JANTZ, W. M. BASS, PS. WILLEY 1991, Maxillary suture obliteration: a visual method for estimating skeletal age. – *Journal of Forensic Sciences* 36, 781–791.
- MEINL, A., G. M. ROTTENSTEINER, C. D. HUBER, S. TANGL, G. WATZAK, G. WATZEK 2010, Caries frequency and distribution in an early medieval Avar population from Austria. – *Oral Diseases* 16, 108–116.
- MOLNAR, S. 1971, Human tooth wear, tooth function and cultural variability. – *American Journal of Physical Anthropology* 34, 175–190.
- NICKLISCH, N., R. GANSLMEIER, A. SIEBERT, S. FRIEDERICH, H. MELLER, K. W. ALT 2016, Holes in teeth – dental caries in neolithic and Bronze Age populations in Central Germany. – *Annals of Anatomy* 203, 90–99.
- PAGLIARA, F., F. BERTOLDI, R. CAMERIERE, F. BESTETTI 2014, A recently excavated Copper Age human sample from Italy and dental age estimation results. – *16th International Symposium on Dental Morphology, Aug 26–30, 2014, Zagreb, Croatia*; (<http://hrcak.srce.hr/file/184502>).
- PAGLIARA, F., F. BERTOLDI, R. CAMERIERE, F. BESTETTI 2014, A recently excavated Copper Age hu-

- man sample from Italy and dental age estimation results. – *Bulletin of the International Association for Paleodontology* 8, 85.
- PAHIČ, S. 1962–1963, Bronastodobna gomila pod Brinjevo gor. – *Arheološki vestnik* 13–14, 349–373.
- PAPAPANOU, P. N., J. L. WENNSTRÖM 1990, A 10-year retrospective study of periodontal disease progression. Clinical study of subjects with pronounced and minimal disease development. – *Journal of Clinical Periodontology* 17, 78–84.
- PETTENATI-SOUBAYROUX, I., M. SIGNOLI, O. DUTOUR 2002, Sexual dimorphism in teeth: discriminatory effectiveness of permanent lower canine size observed in a XVIIIth century osteological series. – *Forensic Science International* 126, 227–232.
- POLO-CERDÁ, M., A. ROMERO, J. CASABÓ, J. DE JUAN 2007, The Bronze Age burials from Cova dels Blaus (Vall d'Uixó, Castelló, Spain): an approach to paleodietary reconstruction through dental pathology, occlusal wear, and buccal microwear patterns. – *Homo* 58, 297–307.
- PRZYSTAŃSKA, A., D. LORKIEWICZ-MUSZYŃSKA, M. ABREU-GŁOWACKA, M. GLAPIŃSKI, A. SROKA, A. REWEKANT, A. HYRCHATA, B. BARTECKI, C. ŻABA, T. KULCZYK 2015, Analysis of human dentition from Early Bronze Age: 4000-year-old puzzle. – *Odontology* 105-1, 13–22.
- SAHLY, A., H. BRABANT, M. BOUYSSOU 1962, Observations sur les dents et les maxillaires du mésolithique et de l'âge du fer, trouvées dans la grotte de Rouffignac (Département de la Dordogne, France). – *Bulletin du Groupement International pour la Recherche Scientifique en Stomatologie et Odontologie* 5, 252–285.
- SALVI, G. E., J. LINDHE, N. P. LANG 2008, Examination of patients with periodontal diseases. – V/In: J. Lindhe, N. P. Lang, T. Karring (ur./eds.), *Clinical periodontology and implant dentistry 2. Clinical concepts*, Oxford, 573–586.
- SCHULTZ, M., P. CARLI-THIELE, T. H. SCHMIDT-SCHULTZ, U. KIERDORF, H. KIERDORF, W.-R. TEEGEN, K. KREUTZ 1998, Enamel hypoplasias in archaeological skeletal remains. – V/In: K. W. Alt, F. W. Rösing, M. Teschler-Nicola (ur./eds.), *Dental Anthropology: fundamentals, limits, and prospects*, Wien, New York, 293–311.
- SCOTT, G. R., C. G. TURNER II 1997, *The anthropology of modern human teeth: dental morphology and its variation in recent human populations*. Cambridge.
- SCOTT, G. R. 1997, Dental anthropology. – V/In: R. Dulbecco (ur./ed.), *Encyclopedia of human biology* 3, Cambridge, 175–190.
- SMITH, B. G., J. K. KNIGHT 1984, An index for measuring the wear of teeth. – *British Dental Journal* 156, 435–438.
- SNOJ CVETKO, E., F. PERNUŠ, U. SKALERIČ 1994, Ocena višine alveolarne kosti iz panoramskih posnetkov. – *Zobozdravstveni vestnik* 49, 113–116.
- STRMŠEK, L., I. ŠTAMFELJ 2017, Pogostnost trikoreninskih spodnjih stalnih kočnikov pri prebivalcih Slovenije. – *Zbornik predavanj 17. simpozija zobnih bolezni in endodontije, Bled, 7.–8. april 2017, Bled, Slovenija*, 36–37.
- STROHM, T. F., K. W. ALT 1998, Periodontal disease – etiology, classification and diagnosis. – V/In: K. W. Alt, F. W. Rösing, M. Teschler-Nicola (ur./eds.), *Dental Anthropology: fundamentals, limits, and prospects*, Wien, New York, 227–246.
- ŠTAMFELJ, I. 2004, *Analiza morfoloških značilnosti in bolezenskih sprememb stalnih zob in čeljustne kosti na skeletnem gradivu iz 10.–15. stoletja (Središče ob Dravi)*. Magistrsko delo. Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana (neobjavljeno/unpublished).
- TAYLES, N., K. DOMETT, S. HALCROW 2009, Can dental caries be interpreted as evidence of farming? The Asian experience. – *Frontiers of Oral Biology* 13, 162–166.
- THOMAS, J.-L. 2012, *Osteological report of four graves from Brezje*. Ljubljana (neobjavljeno/unpublished).
- TOMAZO RAVNIK, T. 2012, *Antropološka analiza skeletnega materiala Brezje pod Brinjevo gor. Kranj* (neobjavljeno/unpublished).

TURNER II, C. G. 1979, Dental anthropological indications of agriculture among the Jomon people of Central Japan. – *American Journal of Physical Anthropology* 51, 619–636.

TURNER II, C. G., M. A. Markowitz 1990, Dental discontinuity between Late Pleistocene and recent Nubians. Peopling of the Eurafrican-South Asian triangle I. – *Homo* 41, 32–41.

UBELAKER, D. H. 1996, Pap I. Health profiles of a Bronze Age population from northeastern Hungary. – *Annales historico-naturales Musei nationalis hungarici* 88, 271–296.

VISSER, J. B. 1948, *Beitrag zur Kenntnis der menschlichen Zahnwurzelformen*. – Medical dissertation, Zürich.

Uporaba FTIR spektroskopije za analizo kosti iz arheoloških okolij

Application of FTIR spectroscopy for analysing bones from archaeological contexts

© Tamara Leskovar

tamaraleskovar@gmail.com

Izvleček: FTIR-ATR spektroskopija omogoča hitre in natančne kemične analize vzorcev. Zaradi možnosti izvedbe na majhnih vzorcih in izogitve uničenju le-teh je izredno uporabna kot del (osteo)arheoloških analiz. Nudi namreč vpogled v kemično sestavo vzorca, ki lahko predstavlja izhodišča za razumevanje stanja ohranjenosti vzorca ter vplivov okolja na zaznane spremembe. V nadaljevanju so predstavljene osnove FTIR spektroskopije, kemične sestave kosti in njenih sprememb po smrti organizma ter možnosti obdelave in interpretacije pridobljenih podatkov.

Ključne besede: FTIR-ATR spektroskopija, kemična sestava kosti, tafonomija, kolagen, mineral, analiza FTIR spektra

Abstract: FTIR-ATR spectroscopy enables fast and accurate chemical analyses of different materials. Small sample requirements and a potentially non-destructive nature render the technique a highly useful tool in (osteo)archaeological analyses. Offering an insight into the chemical composition, it can be employed in the study of the state of sample preservation or the influence of environment on the sample's chemical structure. The contribution brings a brief presentation of the technique, the chemical structure of the bone, the changes in bone structure after death and the different possibilities for FTIR-ATR data manipulation and interpretation.

Keywords: FTIR-ATR spectroscopy, chemical composition of bone, taphonomy, collagen, mineral, FTIR spectrum analysis

Uvod

Fourierjeva transformacijska infrardeča (FTIR) spektroskopija predstavlja eno od hitrih in izredno informativnih tehnik kemične analize materialov. Uporablja se z namenom določitve in primerjave kemične sestave vzorcev (Smith 1999, 1). Z vidika arheologije je tehnika izredno zanimiva, saj je primerna za analize različnih organskih in anorganskih materialov ter hkrati zahteva zgolj majhne vzorce (Margaris 2014, 2890). Zaradi svoje široke uporabnosti in možnosti izogitve uničenju analiziranega vzorca je pogosto uporabljena tudi za analize človeških (ali živalskih) posmrtnih ostankov. FTIR analiza slednjih namreč omogoča vpogled v stanje kolagena in minerala v kosti. Pridobljeni rezultati tako nudijo izhodišče ali dopolnilo razumevanju tafonomskih sprememb v kosti po smrti organizma in vplivov fizičnega okolja na te spremembe.

Namen članka je predstavitev FTIR spektroskopije, predvsem tehnike oslabiljenega popolnega odboja (*attenuated total reflection* – ATR) in njene uporabnosti v primeru analiz kosti iz arheoloških okolij. Besedilo podaja osnove FTIR-ATR spektroskopije in kemične sestave kosti, glavne tafonomske spremembe v kosti po smrti organizma ter izhodišča za interpretacijo pridobljenega spektra. Celoten postopek je prikazan tudi s primerom analize vzorcev kosti, izpostavljenih različnim tafonomskim spremembam.

FTIR spektroskopija

FTIR spektroskopija se uporablja za analize molekularne strukture in karakterizacijo materialov. Deluje na osnovi interakcije infrardeče (IR) svetlobe v povezavi z molekularnimi nihanjem in rotacijami (Stuart 2004, 2). Skozi vzorec potujoča IR-svetloba povzroči različne vrste gibanj molekulskih vezi, kot so na primer simetrično in nesimetrično raztezanje in krčenje, upogibanje v ravnini ter gugajoče upogibanje zunaj ravnine. Funkcionalne skupine (denimo $C = E$, CH_3) oz. njihove vezi absorbirajo IR-svetlobo pri različnih valovnih dolžinah in različno intenzivno. S tem v vzorcu ustvarijo edinstven molekularni spekter (Stuart 2004, 46). Na osnovi valovnih dolžin in intenzitete absorpcijskih vrhov trakov v spektru je tako mogoče ugotoviti prisotne funkcionalne skupine (Smith 1999, 15–18). Ker je intenziteta absorpcijskega vrha traku proporcionalna koncentraciji funkcionalnih skupin, hkrati odraža količino skupine v vzorcu. Opozoriti velja, da slednje drži za čiste, enomolekularne vzorce. Pri večmolekularnih vzorcih je intenzivnost pogojena z različnimi molekulami in funkcionalnimi skupinami. Ker se trakovi v spektru večmolekularnega vzorca prekrivajo, je otežena jasna določitev koncentracij (Smith 1999, 19; Coates 2000, 3–6). Za interpretacijo spektra je lahko koristna tudi širina posameznega traku, saj je odvisna od jakosti medmolekularnih interakcij. Denimo močne vodikove vezi tvorijo široke trakove, medtem ko šibke van der Waalsove vezi tvorijo ozke trakove (Smith 1999, 21).

Obstaja sicer več tehnik FTIR spektroskopije, vendar je v arheoloških kontekstih najpogosteje zaslediti transmissijsko tehniko z uporabo kalijevega bromida (KBr)

ter refleksijsko tehniko oslabiljenega popolnega odboja (*attenuated total reflection* – ATR). V preteklosti je prevladovala uporaba prve, medtem ko je v zadnjem času opaziti prednjačenje druge. Razlogi za porast uporabe ATR tehnike so predvsem v boljši primerljivosti znotraj vzorcev in med njimi, v njeni stroškovni učinkovitosti ter možnosti analize tako uprašenih kot tudi trdnih vzorcev (Hollund *et al.* 2013; Beasley *et al.* 2014). Pri tem je treba poudariti, da rezultati, pridobljeni z različnimi tehnikami in na vzorcih v različnem stanju, niso neposredno primerljivi (Surovell, Stiner 2001; Hollund *et al.* 2013; Beasley *et al.* 2014; Leskovaar 2016), kar velja upoštevati pri interpretacijah rezultatov različnih raziskav.

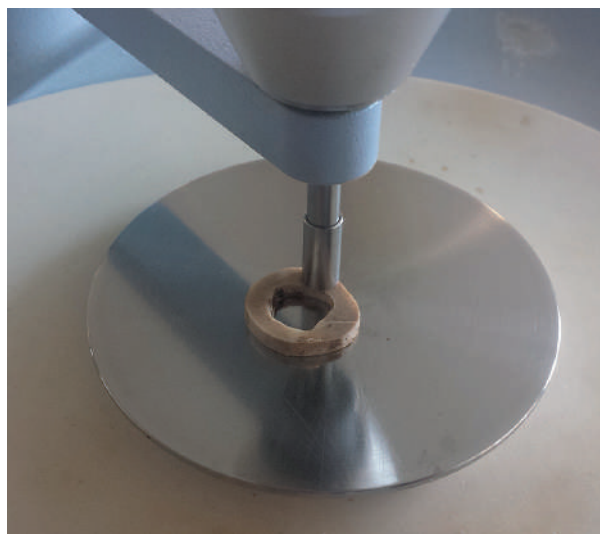
Priprava vzorcev

Priprava vzorcev za pridobitev FTIR spektra kosti je odvisna od uporabljene tehnike. Ob uporabi ATR tehnike je vzorce mogoče posneti v obliki prahu ali v trdni obliki. V prvem primeru je treba vzorce uprašiti, prah pa je posnet brez nadaljnjih priprav. Trdne vzorce je mogoče posneti neposredno, potrebna je le dovolj ravna površina, ki zagotovi dober stik med napravo in vzorcem (Hollund *et al.* 2013, 18; Beasley *et al.* 2014, 508).

Snemanje vzorcev s FTIR-ATR tehniko

Pred snemanjem vzorcev s FTIR napravo je treba posneti ozadje. Korak je nujen zaradi atmosferskih plinov, prisotnih v okolju, ki absorbirajo IR-sevanje (CO_2 , vodna para). Spekter posnetega ozadja je shranjen in ob snemanju vzorca samodejno odštet od spektra vzorca (Pavia *et al.* 2014, 25). Snemanje vzorca poteka s postavitvijo vzorca na kristal, nameščen v napravi (slika 1). Nastavitve snemanja so raznolike, odvisne od lastnosti vzorca in želene natančnosti. V primeru snemanja kosti se uporablja spekter srednjih valovnih dolžin med 4000 cm^{-1} in 400 cm^{-1} . Število ponovitev in ločljivost snemanja med raziskavami nihata med 8–64 ponovitvami pri ločljivosti 2–8 cm^{-1} (Thompson *et al.* 2009, 911; Hollund *et al.* 2013, 512; Lebon *et al.* 2016, 3). Njuna izbira temelji na potrebnih natančnostih in časovni omejitvi. Večje število ponovitev in visoka ločljivost omogočita pridobitev natančnejših podatkov, a sta tudi časovno bolj zahtevna.

Pridobljeni spekter je nadalje obdelan z računalniško programsko opremo. Deloma je obdelava mogoča že s programom, pripadajočim napravi, deloma so zahtevani



Slika 1. Snemanje kostnega izseka s FTIR-ATR tehniko.

Figure 1. Scanning a bone section using the FTIR-ATR technique.

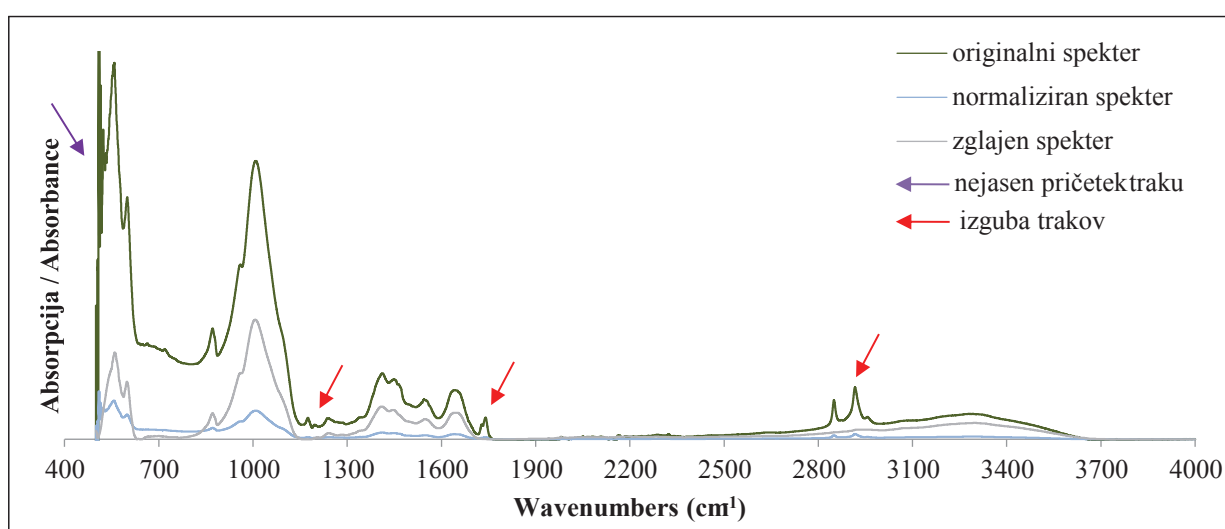
dodatni računalniški programi (Stuart 2004, 51–57). Izbira programske opreme ter nadaljnja obdelava sta odvisni od skeniranega vzorca, kakovosti pridobljenega spektra ter zastavljenih vprašanj. Potrebno je namreč najti pravo mero med pridobitvijo največje možne količine kakovostnih informacij brez prevelikih izgub (slika 2).

Kost

Sestava

Kost je kompozitni material s kompleksno hierarhično strukturo. 60 % teže kosti predstavlja anorganski del, 30 % organski del, medtem ko preostalih 10 % tvori voda (Gong *et al.* 1964, 329). Anorganski del zastopajo mineralni kristali, grajeni iz nestehiometričnega kalcijevega hidroksiapatita, poznanega kot bioapatit. Organski del kosti v 85–90 % zastopa kolagen tipa I, medtem ko preostanek sestavljajo nekolagenski proteini in lipidi (Millard 2001; Clarke 2008).

Kolagen tvorijo tri levosučne alfa verige, povezane v trojno desnosučno vijačno molekulo (Ramachandran 1967, 225; Lodish *et al.* 2000, 217). Vijačnico vzdržujejo interakcije in vezi med aminokislinskimi ostanki sosednjih stranskih verig (Brodsky, Ramshaw 1997, 546).



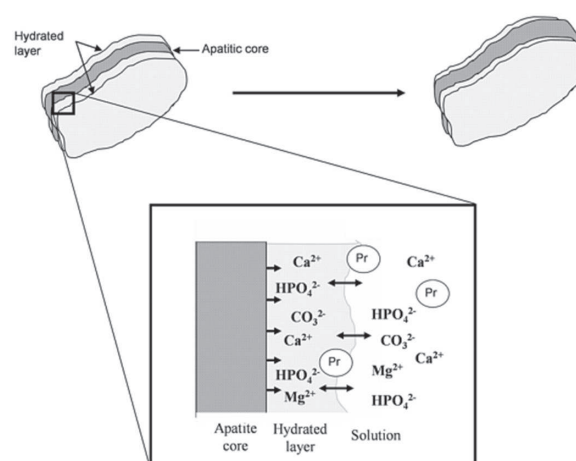
Slika 2. Primerjava med originalnim, normaliziranim in zglajenim spektrom istega vzorca.

Figure 2. Comparison between the original, normalised and tuned-up spectra of the same sample.

Molekule z vzdolžnim, vodoravnim in radialnim razporejanjem tvorijo fibrile (Hulmes 2002, 2), vzdrževane z mrežo kovalentnih navzkrižnih vezi znotraj molekul in med njimi (Fratzl, Weinkamer 2007, 1276). V mineraliziranem tkivu, kakršno je kost, so fibrile kolagena obdane z mineralom. Slednjega predstavljajo majhni in ploščati kristali kalcijevega fosfata, ki tvorijo slabo kristalinični, nestehiometrični kalcijev hidroksiapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ (Landis *et al.* 1996, 206). Nestehiometričnost izvira iz zamenjav kalcijevih ionov ali fosfatnih in hidroksilnih skupin. Pri tem je najpogostejša zamenjava fosfatne s karbonatno skupino, ki tako lahko predstavlja 3–5 % bioapatita (Lowenstam *et al.* 1989, 17; Olszta *et al.* 2007, 82). Zamenjave povzročijo vgradnjo karbonata v strukturo kosti ter posledično popačenje in deformacije v mineralni mreži in omejitev velikost kristalov. Majhni kristali imajo veliko površino, kar poveča njihovo reaktivnost in topnost (Rey *et al.* 1990, 386; Currey 2002, 6). Reaktivnost je nadalje povečana z neapatitnim hidriranim slojem na površini kristala (slika 3), ki vsebuje labilne, lahko izmenljive ione, kot so denimo CO_3^{2-} , PO_4^{3-} in HPO_4^{2-} (Rey *et al.* 1990, 386; Cazalbou *et al.* 2004, 564).

Mineralizirani fibrili predstavljajo osnovne gradnike kosti. Tvorijo namreč vlakna, nadalje zložena v snope, ki sestavljajo nezrelo in zrelo strukturo kosti (Currey 2002,

12; Clarke 2008, 137). Strukture so nadalje povezane ali v trdno in gosto kortikalno ali močno porozno (~80 %) trabekularno kost. Oba tipa skupaj tvorita skeletne elemente različnih velikosti in oblik (Fratzl, Weinkamer 2007, 1270–1273).



Slika 3. Hidrirani sloj na površini kristala (Farlay *et al.* 2010, 334, sl. 1).

Figure 3. Hydrated layer on the surface of the crystal (Farlay *et al.* 2010, 334, Fig. 1).

Tafonomske spremembe v kosteh

Po smrti organizma je skelet izpostavljen fiziokemičnim spremembam, ki vodijo v popoln propad ali fosilizacijo (Hedges 2002; Jans 2005; Nielsen-Marsh *et al.* 2007; Smith *et al.* 2007). Proces sprememb oz. njihovo proučevanje je poimenovano tafonomija (Efremov 1940) in je nadalje razdeljeno na biostratinomijo in diagenozo. Prva je vezana na makroskopske in mikroskopske spremembe pred odložitvijo posmrtnih ostankov, druga na spremembe po njej. Celoten proces vpliva na ohranjenost kosti ter informacije, ki jih le-ta hrani (Smith 2002, 21–27). Zaradi odvisnosti številnih notranjih in zunanjih dejavnikov je proces izredno kompleksen (Hedges, Millard 1995; Hedges 2002; Tütken, Vennemann 2011). V osnovi vpliva na spremembe minerala in kolagena v kosti. Oba sta lahko prizadeta zaradi delovanja mikroorganizmov, kar se največkrat zgodi v začetni fazi procesa (Hedges 2002, 321). Posledica delovanja organizmov je izguba organskega dela kosti ter reorganizacija minerala (Hedges 2002, 321–322; Jans *et al.* 2004, 87–88). Do propadanja kolagena lahko pride tudi s kemično hidrolizo peptidnih vezi. Proces zahteva svoj čas in je značilen za geokemično stabilna okolja, vendar je lahko močno pospešen v primeru visokih temperatur in okolij z izredno nizkimi ali visokimi pH vrednostmi (Collins *et al.* 2002, 387). Kemična hidroliza pripelje do denaturacije kolagena v želatino, ki se izluži iz kosti (Collins *et al.* 1995, 181; isti 2002, 387). Poleg mikroorganizmov spremembe v mineralu najpogosteje povzroča voda. Interakcija med kostjo in vodo namreč vodi v raztapljanje in rekristalizacijo mineralnih kristalov ter absorpcijo ionov iz okolja. Končni rezultat je ali popolno izginotje kosti ali njena povišana kristaliničnost (Hedges, Millard 1995; Smith 2002, 29–30). Omeniti velja, da tesen odnos med mineralom in kolagenom predstavlja njuno vzajemno zaščito, ključno za dolgoročno ohranitev kosti. Izguba enega ali drugega vodi v dodatno izpostavljenost tafonomskim spremembam ter hitrejši propad (Hedges, Millard 1995; Nielsen Marsh, Hedges 2000; Jackes *et al.* 2001; Collins *et al.* 2002; Trueman *et al.* 2004; Jans 2005).

Poseben tafonomski proces predstavljajo izredne koliščine izpostavitve kosti visokim temperaturam. Izpostavitve v osnovi povzroči izgubo vode (100–600 °C), razgradnjo in izgubo organskih snovi (300–800 °C) ter povečanje kristaliničnosti (500–1100 °C). Končne posledice izpostavitve so vendarle lahko raznolike, odvisne od

začetnega stanja kosti (prisotnost/odsotnost mehkega tkiva), višine temperatur ter načina in časa izpostavljenosti (Thompson 2004, 204; Koon 2006, 31).

FTIR spektroskopija kosti

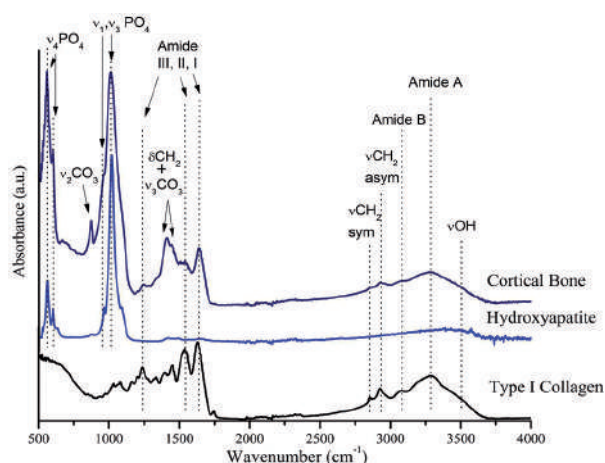
Prepoznavanje funkcionalnih skupin v kosti

V kosti so prisotne različne funkcionalne skupine, v glavnini vezane na mineral, kolagen in lipide. Skupini PO_4 in CO_3 predstavljata hidroksiapatit, prepoznaven pri valovnih dolžinah 500–700 cm^{-1} in 900–1500 cm^{-1} , kolagen je prek amidnih skupin I–III, A in B prepoznaven pri dolžinah 1200–1700 cm^{-1} in 3000–3700 cm^{-1} , medtem ko gre lipide s skupinami CH_2 , CH_3 in CO prepoznati pri dolžinah 700–1800 cm^{-1} in 2800–3000 cm^{-1} . Pri tem je treba omeniti nekaj prekrivanj. V območju med 500 in 700 cm^{-1} del trakov tvorijo tudi amidi IV–VII, v območju med 1300 in 1600 cm^{-1} so prisotne skupine minerala, amidov in lipidov, prekrivanje pa je prisotno tudi v sku-

Valovna dolžina / Wavelength (cm^{-1})	Mineral / Mineral	Kolagen / Collagen	Lipidi / Lipids
~ 560	PO_4	Amide IV–VII	
~ 600	PO_4		
~ 720			CH_2
~ 870	CO_3		
~ 1016	PO_4		
~ 1175			CO
~ 1395		$\text{CH}_2 + \text{CH}_3$	
~ 1415	CO_3		
~ 1455	CO_3	CH_2	
~ 1465			$\text{CH}_2 + \text{CH}_3$
~ 1245		Amide III (CN, NH)	
~ 1550		Amide II (NH, CN)	
~ 1650		Amide I (CO)	
~ 1745			CO
~ 2850		CH_2	CH_2
~ 2920		CH_2	CH_2
~ 3080		Amide B	
~ 3290		Amide A	

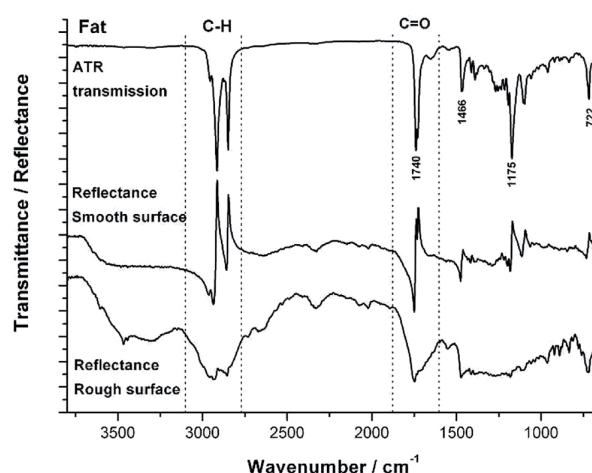
Tabela 1. Funkcionalne skupine v kosti.

Table 1. Functional groups in bone.



Slika 4. FTIR spektri kortikalne kosti, hidroksiapatita in kolagena tipa I (Figueiredo *et al.* 2014, 321, sl. 4).

Figure 4. FTIR spectra of the cortical bone, hydroxyapatite and type I collagen (Figueiredo *et al.* 2014, 321, Fig. 4).



Slika 5. FTIR spekter maščobe (Prinsloo *et al.* 2014, 736, sl. 6c).

Figure 5. FTIR spectrum of fat (Prinsloo *et al.* 2014, 736, Fig. 6c).

pinah kolagena in lipidov¹ v območju med 2800 in 3000 cm^{-1} (tabela 1; sliki 4 in 5) (Figueiredo *et al.* 2014, 322; Prinsloo *et al.* 2014, 735).

Pridobitev informacij

Večina trakov kostnega spektra je sestavljena iz več funkcionalnih skupin. Njihova ločitev na posamezne komponente je z odvajanjem sicer mogoča, vendar zgolj na osnovi visoko kakovostnega spektra z nizkim šumom in dobrim razumevanjem v vzorcu prisotnih molekul (Petibois *et al.* 2009, 510–511). Odvajanje je tako precej težavno, posebej v primeru kosti iz arheoloških kontekstov. Zaradi podvrženosti tafonomiji njihova sestava namreč ni povsem jasna. Tako pridobljeni spektri običajno niso uporabljeni v absolutnem smislu, temveč služijo kot izhodišče različnim primerjavam med vzorci in znotraj njih (Figueiredo *et al.* 2012, 324).

Na osnovi primerjav je mogoče pridobiti informacije o kristaliničnosti minerala (Weiner, Bar-Yosef 1990), vsebnosti karbonatov (Wright, Schwarcz 1996), vsebnosti organskih snovi (Trueman *et al.* 2004; Grecu *et al.* 2007) ter razmerju med organskimi in anorganskimi snovmi v kosti (Trueman *et al.* 2004; Thompson *et al.* 2009). Če je odvajanje vendarle uporabljeno, FTIR spekter lahko poda natančnejše

informacije o strukturnih spremembah v mineralu in kolagenu (Trueman *et al.* 2004; Lebon *et al.* 2008; Chadeaux *et al.* 2009; Anastassopoulou *et al.* 2015).

Kristaliničnost

Kristaliničnost minerala je pogojena z velikostjo kristalov in urejenostjo kristalne mreže (Winer, Bar-Yosef 1990, 189–190). Tafonomija kosti vpliva na obe lastnosti, ki tako omogočita zaznavo sprememb. V FTIR spektru je kristaliničnost izražena z vrhovi trakov PO_4 pri ~ 560 in $\sim 600 \text{ cm}^{-1}$ in njunim delitvenim dejavnikom (*splitting factor* – SF) (Weiner, Bar-Yosef 1990, 189–190). Raziskave poročajo o gibanju SF vrednosti moderne kosti med 2,5 in 4 (Wright, Schwarcz 1996; Berna *et al.* 2004; Thompson *et al.* 2009; Hollund *et al.* 2013; Beasley *et al.* 2014). Ker SF odraža rast kristalov, se njegova vrednost s tafonomskimi spremembami v kosti viša (Wright, Schwarcz 1996, 936; Berna *et al.* 2004, 879).

Urejenost mreže je mogoče ugotavljati z razmerjem med vrhovi trakov PO_4 pri valovni dolžini 1030 cm^{-1} in 1020 cm^{-1} . Razmerje $1030/1020$ namreč odraža odnos med nestehiometričnimi in stehiometričnimi apatiti v mineralu (Paschalis *et al.* 1996, 482) ter apatitnimi in neapatitnimi okolji kristalov (Farlay *et al.* 2010, 435). V modernih kosteh je vrednost razmerja okrog 1,12 (Lebon *et al.*

¹ Lipidi presegajo okvir tega članka in nadalje ne bodo obravnavani.

2010, 2269). Ker tafonomski procesi vodijo v nižjo raven nestehiometričnih apatitov in neapatitnih okolij, naraslo razmerje 1030/1020 odraža izboljšano urejenost mineralne mreže (Lebon *et al.* 2010, 2267–2268).

Vsebnost karbonatov

Vsebnost karbonatov v mineralni strukturi kosti se spreminja s tafonomskimi procesi. Ocena njihove vsebnosti je podana z razmerjem med vrhom traku CO_3 pri $\sim 1035 \text{ cm}^{-1}$ in vrhom traku PO_4 pri $\sim 1415 \text{ cm}^{-1}$ (Wright, Schwarcz 1996, 936). Raziskave poročajo o vrednosti moderne kosti med 0,22 in 0,4 (Wright, Schwarcz 1996; Nielsen Marsh, Hedges 2000; Garvie Lok *et al.* 2004). Nižje razmerje C/P nakazuje na raztapljanje in obarjanje fosfatov ali na raztapljanje in obarjanje strukturnih karbonatov. Višje razmerje C/P je vezano na zamenjavo fosfatov s karbonati ali na raztapljanje in obarjanje fosfatov (Thomas *et al.* 2007, 1536). Pri interpretaciji je potrebne nekaj pazljivosti, saj sočasni pojav več omenjenih procesov lahko pripelje do na videz nespremenjenih vrednosti razmerja C/P in s tem prikrije spremembe (Nielsen Marsh, Hedges 2000, 1144).

Strukturne spremembe minerala

Spremembe v mineralni mreži so opazne tudi prek vrha traku PO_4 , ki je v modernih vzorcih viden pri valovni dolžini $\sim 960 \text{ cm}^{-1}$ (Pasteris *et al.* 2004, 232; Lebon *et al.* 2010, 2268). Izmenjave ionov v mineralni mreži povzročijo premik vrha na druge valovne dolžine. Pozitivni premik tako odraža izgubo karbonatov in/ali vključevanje fluora v mrežo, ki je posledično bolj urejena (Lebon *et al.* 2010, 2273).

Vsebnost kolagena

Ocena vsebnosti kolagena je izražena z razmerjem med vrhom traku amida I pri $\sim 1660 \text{ cm}^{-1}$ ter vrhom trakov PO_4 pri $\sim 1035 \text{ cm}^{-1}$ (Am/P) in CO_3 pri $\sim 1415 \text{ cm}^{-1}$ (Am/C). Značilne vrednosti AmI/P modernih kosti nihajo med 0,1 in 0,3 (Trueman *et al.* 2004, 726; Hollund *et al.* 2013, 516–519; Lebon *et al.* 2016, 14), medtem ko se vrednosti AmI/C gibljejo okrog $\sim 1,1$ (Thompson *et al.* 2013, 420). Izguba kolagena se odraža v manj intenzivnem vrhu amidnega traku in s tem v nižjem razmerju Am/P oz. Am/C (Trueman 2004, 726; Thompson *et al.* 2013, 419–420).

Strukturne spremembe kolagena

Strukturne anomalije kolagenskih proteinov so vidne v razmerju med amidom I in amidom II, ki je v moderni kosti med 0,6 in 1,1. Ker je slednji bolj občutljiv v primerjavi s prvim (Anastassopoulou *et al.* 2015, 93), se njuno razmerje s tafonomskimi procesi niža (Leskovar 2016, 77). Odvajanje traku amida I (tabela 2) in III raz-

Valovna dolžina / Wavelength (cm^{-1})	Posamezne komponente / Components
~ 1610	Denaturirani kolagen / Denatured collagen
~ 1630	Denaturirani kolagen / Denatured collagen
~ 1643	Upogibanje molekule H_2O / H_2O bending
~ 1650	Denaturirani kolagen / Denatured collagen
~ 1660	α vijačnice / α helix
~ 1668	Nepripisano / Non attributed
~ 1674	Karbonske skupine lateralnih verig / Carbonyl groups from collagen lateral groups
~ 1681	Denaturirani kolagen / Denatured collagen
~ 1690	Vijačnice kolagenu podobnih peptidov / Helices of aggregated collagen-like peptides
~ 1697	Nepripisano / Non attributed

Tabela 2. Posamezne komponente traku amida I.

Table 2. Components of the Amide I band.

Valovna dolžina / Wavelength (cm^{-1})	Zamenjava / Substitution
~ 880	Karbonat zamenja OH skupino – enojni trak / Carbonate substitution of the OH group – single band
$\sim 1450, \sim 1545$	Karbonat zamenja OH skupino – dvojni trak / Carbonate substitution of the OH group – double band
$\sim 875, \sim 1410, \sim 1455$	Karbonat zamenja fosfatno skupino – enojni trak / Carbonate substitution of the phosphate group – single band

Tabela 3. Zamenjave v mineralni mreži ob izpostavitvi kosti visokim temperaturam.

Table 3. Substitutions in the bone mineral matrix due to high temperature exposure.

deli osnovni absorpcijski trak na posamezne komponente (Payne, Veis 1988; Renugopalakrishnan *et al.* 1989; Prystupa, Donald 1996; Chang, Tanaka 2002; Habermehl *et al.* 2005; Barth 2007; Chadeaux *et al.* 2009) (tabela 2). Pri tafonomskih procesih običajno pride do denaturacije kolagena, ki jo je mogoče opaziti v razmerju med komponento ~ 1660 in ~ 1630 cm^{-1} (60/30) znotraj amida I ter komponento ~ 1237 in 1270 cm^{-1} (37/70) znotraj amida III (Habermehl *et al.* 2015, 825–826; Leskovar 2016, 78). Komponenti ~ 1660 in ~ 1270 cm^{-1} namreč odražata α vijačnice, zato je njuna izguba nakazuje denaturacijo kolagena (Chi *et al.* 1998, 2858; Chang, Tanaka 2002, 4817; Habermehl *et al.* 2005, 824–825).

Do opaznih sprememb v strukturi kosti pride tudi ob izpostavitvi kosti visokim temperaturam. Pri valovnih dolžinah 880, 1450 in 1545 cm^{-1} je OH skupina v mineralu nadomeščena s karbonatno skupino, pri valovnih dolžinah 1455, 1410 in 875 cm^{-1} pa karbonat zamenja fosfatno skupino (tabela 3). Poleg tega temperature pod 400 °C močneje vplivajo na razmerja C/P, Aml/C in Aml/P ter na

širino PO_4 traku pri valovni dolžini ~ 1035 cm^{-1} , temperature med 400 in 700 °C na SF in širino PO_4 traku pri valovni dolžini ~ 1035 cm^{-1} , temperature nad 700 °C pa na razmerje C/P ter razmerje med vrhovoma traku pri 625 in 610 cm^{-1} . Omeniti velja še, da se slednja dva trakova pojavita šele pri izpostavitvi kosti nad 700 °C (Thompson *et al.* 2013, 418–419).

Primer analize

Z namenom prikaza uporabnosti FTIR spektroskopije za vpogled v stanje ohranjenosti kosti so bila opravljena FTIR skeniranja različnih vzorcev. Skenirani so bili vzorec sveže kosti ter vzorci kosti, izpostavljenih različnim tafonomskim procesom (Leskovar 2016, 27–28).

Metodologija

Vzorci

Analizirani vzorci (tabela 4) izvirajo iz raziskav z namensko, nadzorovano izpostavitvijo vzorcev agresivnim

Vzorec / Sample	Kost / Bone	Izpostavljenost / Exposure
F1	moderna ovčja	brez / none
F1D	moderna ovčja	visok hidravlični potencial / high hydraulic conductivity (D)
F1pH	moderna ovčja	pH 3 (pH)
A1	arheološka ovčja	arheološko okolje / archaeological context
A2	arheološka človeška	kremacija / cremation

Tabela 4. Analizirani vzorci.

Table 4. Analysed samples.



Slika 7. Arheološka ovčja dolga kost.

Figure 7. Archaeological long bone of a sheep.



Slika 6. Sveža ovčja dolga kost.

Figure 6. Fresh long bone of a sheep.



Slika 8. Žgana človeška kost.

Figure 8. Cremated human bone.

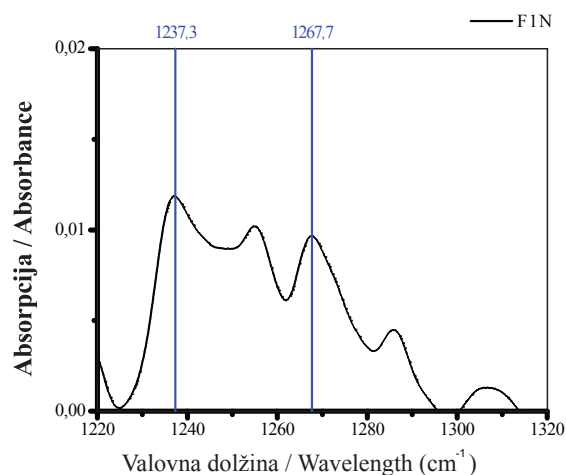
okoljem ter z arheoloških najdišč. V primeru prvih gre za svežo kost ovce (slika 6), izpostavljeno okolju z visokim hidravličnim potencialom (D) in okolju z nizko pH vrednostjo (pH). Arheološka vzorca predstavljata dobro ohranjeno ovčjo kost (sliki 7, 9) z rimskodobnega najdišča (A1) ter del človeške žganine (slika 8) s prazgodovinskega najdišča (A2).

Debilo moderne ovčje kosti je bilo razrezano na 3 mm debele preseke. Dva izmed presekov sta bila šest tednov izpostavljena okolju z visokim hidravličnim potencialom in okolju s pH vrednostjo 3. Po izpostavitvi sta bila oba preseka očiščena z deionizirano vodo ter posušena na zraku. FTIR snemanje je bilo brez dodatnih priprav opravljeno na enem neizpostavljenem preseku ter obeh izpostavljenih presekih.



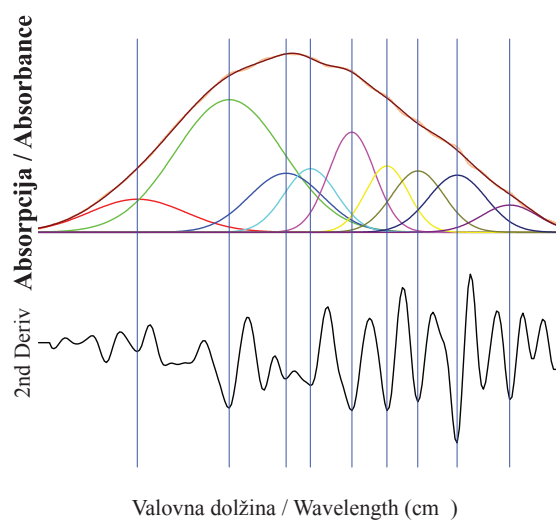
Slika 9. Preseki arheološke ovčje kosti.

Figure 9. Cross-sections of the archaeological sheep bone.



Slika 10. Izmera višin vrhov trakov pri ~ 1237 in ~ 1270 cm^{-1} .

Figure 10. Measuring peak heights at ~ 1237 and ~ 1270 cm^{-1} .



Slika 11. Odvajanje in pridobitev posameznih komponent traku amida I.

Figure 11. Differentiation and determination of the Amide I band components.

Arheološka ovčja kost je bila razrezana na 3 mm debele preseke (slika 9). Snemanje je bilo opravljeno brez nadaljnjih priprav.

Arheološka žgana kost je bila posneta brez predhodnih priprav.

Snemanje in obdelava podatkov

FTIR snemanje je bilo opravljeno s tehniko ATR. Uporabljen je bil spektrometer *PerkinElmer* s pripadajočo programsko opremo. Vsi vzorci so bili skenirani v območju 4000–400 cm^{-1} . Opravljenih je bilo 32 skeniranj vsakega vzorca z resolucijo 4 cm^{-1} in intervalom 0,1 cm^{-1} . Skeniranje posameznega vzorca je bilo ponovljeno trikrat. Za nadaljnje analize je bilo uporabljeno povprečje vseh treh skeniranj. Pridobljeni podatki so bili nato obdelani s programsko opremo *Origin Pro 2016*, s katero so bili opravljeni odvajanje in izmere višin vrhov (slika 10) ter površin komponent (slika 11). Na osnovi enačb (tabela 5) je bil za izračun razmerij uporabljen program *Microsoft Office Excel*.

Rezultati

Spekter

Izpostavitve vzorcev tafonomskim procesom je povzročila številne spremembe (priloga 1). V pH okolju so vidne izgube PO_4 in CO_3 trakov na valovnih dolžinah med 500 in

1200 cm^{-1} . V okolju pH je opazna izguba dihotomije trakov amida III in CO_3 na valovnih dolžinah med 1200 in 1500 cm^{-1} ter izguba CH_2 in CO trakov med 700 in 1800 cm^{-1} . Arheološki vzorec A1 kaže dobro ohranjenost z rahlim nižanjem in izgubo dihotomije vrhov amidov. Vzorec A2, izpostavljen visokim temperaturam, odraža predvsem izgubo trakov organskega dela kosti ter večjo izrazitost trakov minerala. Opaziti gre tudi dodaten vrh pri $\sim 620 \text{ cm}^{-1}$.

PO_4 trak z vrhom pri $\sim 960 \text{ cm}^{-1}$

Valovna dolžina vrha traku pri 960 cm^{-1} modernega neizpostavljenega vzorca je bila 960 cm^{-1} . Z izpostavitvijo vzorca okolju D se ni spremenila. Z izpostavitvijo okolju pH se je vrh premaknil na 937 cm^{-1} . Valovna dolžina vrha v arheološki kosti je bila rahlo nižja od tiste v sveži kosti, medtem ko je bila v žganem vzorcu rahlo višja (tabela 6).

Razmerja

V primerjavi s svežim vzorcem je bil SF v vseh preostalih vzorcih povišan, najočitneje v žgani kosti. Razmerje 1030/1020 je bilo opazno spremenjeno v vzorcu, izpostavljenem okolju pH, ter v žganem vzorcu. Razmerje C/P se je v okolju D in pH povišalo, izrazito v slednjem. V arheoloških vzorcih je razmerje v primerjavi s svežo kostjo nižje. Podoben trend je zaslediti v Aml/P in Aml/C, z izjemo Aml/C v vzorcu A1, ki je bilo povišano. Razmerji Aml/AmII in Aml/AmIII sta bili v vseh primerih povišani v primerjavi s svežo kostjo, medtem ko sta bili razmerji 37/70 in 60/30 nižji. Izjemi sta le razmerje 60/30 v vzorcu A1, ki je bilo povišano, ter žgan vzorec A2, pri katerem vrhovi, potrebni za izmere, niso bili več razpoznavni (tabela 7).

Razmerje / Ratio	Vrhovi / Peaks	Enačba / Equation
SF	$\sim 560, \sim 600$ in vmesni minimum $\sim 590 \text{ cm}^{-1}$	$H \sim 600 + H \sim 560$ $H \sim 590$
P/P	1020 in 1030 cm^{-1}	H_{1030}/H_{1020}
C/P	~ 1016 in $\sim 1415 \text{ cm}^{-1}$	H_{1415}/H_{1016}
Aml/P	~ 1016 in $\sim 1650 \text{ cm}^{-1}$	H_{1650}/H_{1016}
Aml/C	~ 1415 in $\sim 1650 \text{ cm}^{-1}$	H_{1650}/H_{1415}
Aml/AmII	~ 1550 in $\sim 1650 \text{ cm}^{-1}$	H_{1650}/H_{1550}
Aml/AmIII	~ 1237 in $\sim 1650 \text{ cm}^{-1}$	H_{1650}/H_{1237}
37/70	~ 1237 in $\sim 1270 \text{ cm}^{-1}$	H_{1237}/H_{1270}
60/30	~ 1660 in $\sim 1630 \text{ cm}^{-1}$	A_{1660}/A_{1630}

Tabela 5. Uporabljene enačbe za izračun razmerij. H = največja višina vrha traku, A = površina komponente traku.

Table 5. Equations for the ratio calculations. H = maximum band height, A = area of the band component.

VZOREC / SAMPLE	TOČNA VALOVNA DOLŽINA PO_4 PRI $\sim 960 \text{ cm}^{-1}$ / EXACT WAVELENGTH OF THE PO_4 AT $\sim 960 \text{ cm}^{-1}$
FIN	960
F1D	960
F1pH	937
A1	958,5
A2	961

Tabela 6. Točne valovne dolžine vrha traku $\sim 960 \text{ cm}^{-1}$ analiziranih vzorcev.

Table 6. Exact wavelengths of the analysed $\sim 960 \text{ cm}^{-1}$ band samples.

VZOREC / SAMPLE	SF	1030/1020	C/P	AmI/P	AmI/C	AmI/AmII	AmI/AmIII	37/70	60/30
FIN	3.62	0.93	0.27	0.21	0.76	0.61	1.54	0.78	0.59
FID	4.28	0.92	0.31	0.39	1.23	0.76	4.36	0.48	0.29
FlpH	NO	1.24	0.56	3.27	5.80	0.66	3.12	0.287	0.24
A1	5.62	0.90	0.23	0.19	0.84	0.71	3.95	0.4211	1.12
A2	6.05	1.02	0.07	0.03	0.47	/	/	/	/

Tabela 7. Rezultati izračunanih razmerij za posnete vzorce.

Table 7. Results of the analysed sample ratios.

Diskusija

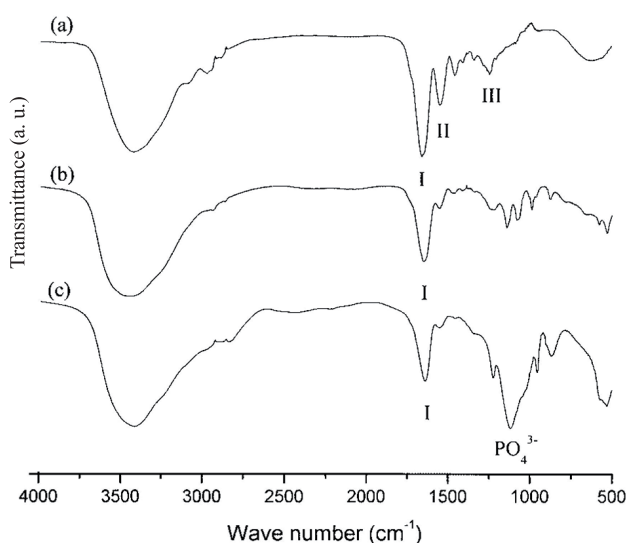
Primerjava med svežo kostjo in kostmi, izpostavljenimi različnim tafonomskim procesom, izraža jasne razlike v ohranjenosti kolagena in minerala. Neposredna primerjava pridobljenih spektrov je nekoliko otežena zaradi raznolike absorpcije vsakega izmed vzorcev. Tako kaže zgolj grob vpogled v spremembe, ki ga je treba podpreti z izračunanimi razmerji.

Spremembe v mineralu

Spremembe v mineralu so najočitnejše v vzorcu, izpostavljenem okolju z nizko pH vrednostjo. Kislo okolje je namreč povzročilo izgubo trakov funkcionalnih skupin minerala, kar kaže na raztapljanje le-tega (Smith 1999, 19). Slednje je mogoče potrditi s primerjavo pridobljenega spektra s primerom spektra vzorca čistega kolagena ter vzorca kolagena z manj kot 50 % kalcijevega fosfata (sliki 12–13). SF vzorca, izpostavljenega kislemu okolju, ni bilo moč izračunati zaradi izgube vrhov trakov, medtem ko razmerja med mineralom in kolagenom kažejo izrazito povečanje koncentracij slednjega. Natančnejši vpogled v razmerja razkriva izgubo neapatitnih okolij in večje koncentracije strukturnih karbonatov. Vzorec s tem odraža raztapljanje vseh vrst mineralnih kristalov, tudi osnovnih fosfatnih gradnikov. Porast karbonatov je namreč moč obrazložiti zgolj z raztapljanjem fosfata (Thomas *et al.* 2007, 1536). Pridobljeni rezultati se tako ujemajo z drugimi raziskavami vpliva kislih okolij na strukturo kosti (Figueiredo *et al.* 2011; El-Bassyouni *et al.* 2013).

Spekter vzorca, izpostavljenega okolju z visokim hidravličnim potencialom, ne kaže primerljivo izrazitih razlik kot vzorec izpostavljen kislemu okolju. Tako je upora-

ba razmerij toliko bolj potrebna. Razmerja prikazujejo pričakovano rast velikosti kristalov (Wright, Schwarcz 1996, 936; Berna *et al.* 2004, 879), zanemarljive razlike v neapatitnih okoljih ter dvig koncentracij strukturnih karbonatov. Slednje je mogoče razložiti ali z zamenjavo fosfatov s karbonati ali z raztapljanjem in izgubo prvih (Thomas *et al.* 2007, 1536). Glede na to, da je govora o okolju z visokim hidravličnim potencialom, je verjetnejša druga možnost. Hiter pretok vode bi namreč težko



Slika 12. FTIR spekter čistega kolagena (a), kolagena s 50 % kalcijevega fosfata (b) ter kolagena s 70 % kalcijevega fosfata (c) (Zhang *et al.* 2003, 1053, Fig. 3).

Figure 12. FTIR spectra of pure collagen (a), collagen with 50 % of calcium phosphate (b), and collagen with 70 % of calcium phosphate (c) (Zhang *et al.* 2003, 1053, Fig. 3).

dopuščal rekristalizacijo. Veliko bolj verjetna je možnost raztapljanja in odnašanja mineralnih kristalov iz kosti.

Primerjava med svežo in arheološko kostjo A1 prikazuje dobro ohranjenost slednje z zanemarljivimi spremembami v trakovih minerala. Boljšo sliko predstavijo razmerja, ki kažejo pričakovano rast kristalov (Wright, Schwarcz 1996, 936; Berna *et al.* 2004, 879) in izgubo karbonatov. Slednja odraža arheološko okolje, ki ni dopuščalo izrazite izgube fosfatnih ionov na račun raztapljanja ali izmenjave s karbonatnimi ioni iz okolja (Nielsen-Marsh, Hedges 2000, 1144; Thomas *et al.* 2007, 1536).

Vzorec, izpostavljen visokim temperaturam, prikazuje izrazite PO_4 trakove in pridobitev traku z vrhom pri $\sim 620 \text{ cm}^{-1}$. Razmerja odražajo pričakovano rast kristalov (Wright, Schwarcz 1996, 936; Berna *et al.* 2004, 879) ter bolj urejeno kristalno mrežo zaradi izgube neapatitnih okolij in karbonatov (Lebon *et al.* 2010, 2267–2270). Omenjeni trak $\sim 620 \text{ cm}^{-1}$ nadalje nakazuje na izpostavljenost kosti temperaturam, višjim od 700°C (Thompson *et al.* 2013, 418–419).

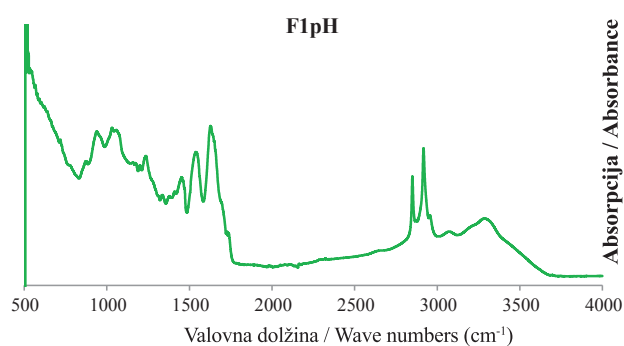
Nekoliko bolj kompleksen je premik vrha traku pri $\sim 960 \text{ cm}^{-1}$. Lebon *et al.* (2010) govorijo o pozitivnem premiku vrha z vse bolj urejeno kristalno mrežo. Pri tem za dovolj pomembno označijo spremembo, večjo od 1 cm^{-1} . V pričujoči raziskavi se je vrh traku vzorca, izpostavljenega kislemu okolju, izrazil premaknil na nižjo valovno dol-

žino. Premik tako lahko odraža že prikazano raztapljanje minerala in s tem manj urejeno kristalno mrežo. Premik v žganem vzorcu A2 je skladen z Lebnovo teorijo, saj se je vrh premaknil v pozitivno smer. Neskladen pa je negativen premik vrha dobro ohranjenega arheološkega vzorca A1. Po teoriji bi bilo namreč pričakovati pozitiven premik. Razlago gre morda iskati v vzpostavitvi Lebnove teorije zgolj na osnovi kosti, izpostavljenih visokim temperaturam, ter kosti pleistocenske starosti. Seveda je vzorec premajhen za oprijemljive zaključke. Vendar velja omeniti, da je bil trend negativnega premika opazen tudi na drugih rimskodobnih arheoloških vzorcih (Leskovar 2016, 56). Morda gre za odraz različnega vpliva tafonomskih sprememb na kosteh, pogojenega bodisi z okoljem bodisi s časom.

Spremembe v kolagenu

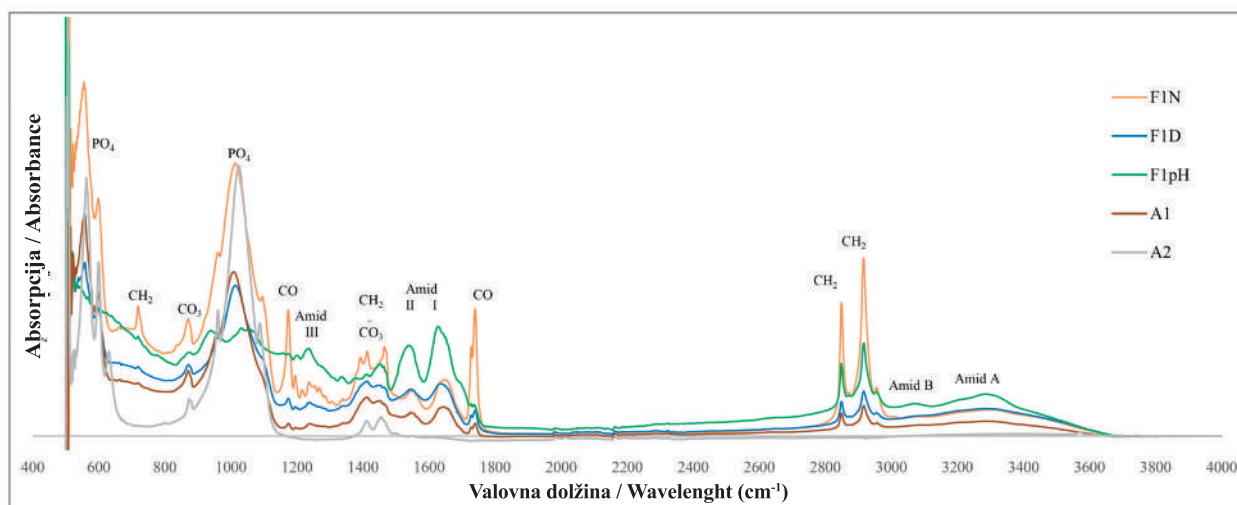
V vzorcu, izpostavljenem kislem okolju, so trakovi amidov narasli, kar odraža izgubo minerala s posledično povišanimi koncentracijami kolagena (Zhang *et al.* 2003). Večje koncentracije kolagena so bile nadalje potrjene s povišanimi razmerji med mineralom in amidi. Podrobnejši vpogled v razmerja med amidi in njihovimi komponentami vendarle kaže na strukturne spremembe v kolagenu oz. njegovo denaturacijo (Chi *et al.* 1998, 2858; Chang and Tanaka 2002, 4817; Habermehl *et al.* 2005, 824–825; Anastassopoulou *et al.* 2015, 93). Visoko hidravlično okolje je povzročilo izpiranje kolagena iz kosti, kar je vidno tako v izgubi trakov spektra kot v razmerjih med posameznimi amidi. Podobno kot v kislem okolju so tudi v visoko hidravličnem okolju opazne strukturne spremembe kolagena. V kolagenu opazne spremembe gre povezati z že omenjenim izpiranjem minerala, saj potrjuje teorije o medsebojni odvisnosti minerala in kolagena v kontekstu njune ohranitve (Hedges, Millard 1995; Nielsen-Marsh, Hedges 2000; Jackes *et al.* 2001; Collins *et al.* 2002; Trueman *et al.* 2004; Jans 2005).

V arheološkem vzorcu A1 gre sicer opaziti nekaj izgub amidov, vendar so te majhne, najočitnejše v traku amida III. Primerjava vrhov trakov amidov z vrhovi trakov mineralov je skladna z dobro ohranjenimi fosfatnimi funkcionalnimi skupinami ter nekaj izgubami karbonatov. Opaziti gre tudi izrazite spremembe v komponentah amida II, ki kažejo denaturacijo kolagena. Težavo predstavlja nepričakovano visoko razmerje 60/30 med komponentami amida I. Denaturacija kolagena bi namreč morala po-



Slika 13. FTIR spekter moderne ovčje kosti, izpostavljene kislemu okolju.

Figure 13. FTIR spectrum of a modern sheep bone exposed to an acidic environment.



Priloga 1. Spektri analiziranih kosti.

Appendix 1. Spectra of the analysed bones.

kazati nizko razmerje, ne visokega. Najverjetneje gre za težavo, nastalo pri procesu odvajanja. Kot že omenjeno, so kompozitni (arheološki) vzorci lahko precej težavni za odvajanje, saj njihova struktura ni povsem jasna. Posebej težavna je prisotnost vode, ki lahko močno popači komponente, pridobljene z odvajanjem (Chadefaux *et al.* 2009, 324; Figueiredo *et al.* 2012, 134–135).

Izpostavitve kosti visokim temperaturam je pričakovano povzročila popolno izgubo kolagena (Thompson 2004, 204), videno v številnih raziskavah (Lebon *et al.* 2008; Thompson *et al.* 2009; Lebon *et al.* 2010).

Zaključki

Namen članka je predstavitev uporabnosti FTIR spektroskopije kot dopolnitve (osteo)arheoloških analiz. Opozoriti velja, da prikazani vzorci predstavljajo le nekaj primerov sprememb v pridobljenem spektru. Podane interpretacije tako ne temeljijo zgolj na predstavljenih vzorcih, temveč so osnovane na širšem ozadju teorij in predvsem drugih, večjih raziskav.

Primerjave med spektri kosti različnega izvora jasno kažejo na možnosti, ki jih FTIR-ATR analize ponujajo. Prepoznati gre namreč številne kemične spremembe v mineralu in kolagenu, do katerih pride zaradi tafonomskih procesov. Z dovolj dobrim zajemom podatkov je tako moč prepoznati izgube gradnikov kosti ali njihove strukturne spremembe. Tehnika s tem odpira številne možnosti prepoznavanja stanja ohranjenosti kosti in njihovega potenciala za nadaljnje analize (denimo analize izotopov ali aDNK), razumevanja vpliva tafonomije na kemično sestavo kosti ter vpliva okolja na tafonomski proces. Slednje nudi tudi možnost raziskave z nasprotno perspektive, torej interpretacije okolja, v katerem se je kost nahajala.

Application of FTIR spectroscopy for analysing bones from archaeological contexts

(Summary)

The contribution's aim is to present FTIR-ATR spectroscopy and its applicability in osteoarchaeological analyses. It brings basic data on the technique, on the chemical composition of bone, the main taphonomic changes in bone and the methodology for obtaining and interpreting the obtained spectra.

Fourier transformative infrared (FTIR) spectroscopy is a fast and informative technique for performing chemical analyses of different materials (Smith 1999, 1). From the archaeological standpoint, the technique is extremely interesting: it requires only small samples and is suitable for both organic and inorganic materials (Magaris 2014, 2890). Because of its wide applicability and the possibility of avoiding sample destruction, the technique is often used for analysing human or/and animal osteological remains. As it offers an insight into the state of collagen and mineral in the sample, the obtained results shed light on the taphonomic changes in bone and the influences the environment has on these changes.

FTIR spectroscopy

It is used for analysing the structure of the molecules and material characterisation. It examines the interaction between a molecule's nuclear vibrations and electromagnetic radiation – the infrared light. The infrared radiation passing through the sample is either absorbed or transmitted, creating the sample's unique molecular spectrum. The position, height and width of the peaks in the obtained spectra provide information on the presence and concentrations of the functional groups (e.g. C = O, CH₃) of molecules in the sample (Smith 1999, 15–18; Coates 2000, 3–6; Stuart 2004, 2).

There are numerous techniques of FTIR spectroscopy, of which the transmission KBr and attenuated total reflection or ATR are the most commonly used ones when dealing with archaeological finds. The former dominated in the past, while the latter is being increasingly employed today because of the possibility to analyse powdered or solid samples, the cost-effectiveness, as well as the readily comparable inter- and intra-sample results (Hollund *et al.* 2013; Beasley *et al.* 2014).

Sample preparation for the FTIR-ATR technique is relatively simple. Solid samples can be analysed directly, while for the powder analysis samples need to be ground. Before analysing the sample, the background has to

be scanned in order to eliminate the IR absorbing atmospheric gases (CO₂, water vapour) (Pavia *et al.* 2014, 25). Sample scanning is conducted by placing the sample onto the machine's diamond crystal (Figure 1) and making sure that there is good contact between the sample and the crystal (Hollund *et al.* 2013; Beasley *et al.* 2014). Scanning setting differs based on sample properties and desired accuracy. For bone, scanning uses the middle wavelength spectrum between 4000 cm⁻¹ and 400 cm⁻¹. The number of scans varies between 8 and 64, with a 2–8 cm⁻¹ accuracy (Thompson *et al.* 2009, 911; Hollund *et al.* 2013, 512; Lebon *et al.* 2016, 3). The obtained spectrum is then processed using computer programs that allow for normalisation, baseline correction and noise cleaning (Figure 2).

Bone composition and taphonomy

Bone is a composite material with a complex hierarchical structure. On the weight basis, 60% is represented by the inorganic phase, 30% by organic phase, while the remaining 10% is water. The inorganic phase is composed of mineral crystals, formed by a non-stoichiometric calcium hydroxyapatite, also known as bioapatite. The organic phase corresponds to the proteins, mainly (85–90%) type I collagen, and a series of non-collagenous proteins (NCP) and lipids (Millard 2001; Clarke 2008).

The collagen is made up of amino acids, forming left-handed alpha chains/the amino acids forming left-handed alpha chains. They are folded into a right-handed triple helical macromolecule (Ramachandran 1967, 225; Lodish *et al.* 2000, 217), maintained by the interaction and bonds between the amino acid residues of the adjacent side chains (Brodsky, Ramshaw 1997, 546). In the mineralised tissues, collagen is coated by the mineral crystals (Fratzl, Weinkamer 2007, 1276). The small, flat plate calcium phosphate crystals form the poorly crystalline, non-stoichiometric calcium hydroxyapatite Ca₅(PO₄)₃OH (Landis *et al.* 1996, 206). The crystallites have a high surface area, making them very soluble and reactive (LeGeros, LeGeros 1984; Rey *et al.* 1990, 386; Currey 2002, 6). The reactivity is further increased by a non-apatitic hydrated layer on their surface (Figure 3), containing labile and easily exchangeable ions such as CO₃, PO₄ and HPO₄ (Rey *et al.* 1990, 386; Cazalbou *et al.* 2004, 564).

After the death of an organism, skeletal elements are exposed to taphonomic changes that result either in complete degradation or in fossilisation of the bones (Hedges 2002; Jans 2005; Nielsen-Marsh *et al.* 2007; Smith *et al.* 2007). The process is highly variable and complex, controlled by the bone's intrinsic and environmental extrinsic factors (Hedges, Millard 1995; Hedges 2002; Tütken, Vennemann 2011). In general, it involves changes to the mineral and the protein phase of the bone. Both can be altered due to microbial attack, causing a loss of organic matter and a reorganisation of the mineral (Hedges 2002, 321). Alteration and loss of collagen can also occur due to the chemical hydrolysis of the peptide bonds. The process depends upon time, water availability, temperature and the pH of the surrounding environment. Usually it is slow, characteristic of geochemically stable environments (Collins *et al.* 2002, 387). Regardless of the mechanism, the collagen is reduced to soluble gelatine and leached out of the bone (Collins *et al.* 1995, 181). Consequently, the bone's physical and chemical integrity is severely affected and the bone is more vulnerable to other diagenetic processes (Hedges, Millard 1995; Jackes *et al.* 2001; Jans 2005). The alterations to the mineral occur because the bioapatite crystals are thermodynamically unstable and liable to change. Even though the microbial action can affect the mineral, most significant changes are caused by the interaction of the bone with the groundwater. The interaction causes dissolution, recrystallisation and exogenous ion absorption (Hedges, Millard 1995).

Distinctive taphonomic changes can be caused by the exposure of the bones to high temperatures. The exposure causes dehydration (100–600°C), the breakdown and loss of organic matter (300–800°C), followed by the alteration and decomposition of the mineral (500–1100°C). The changes mainly depend on the initial state (e.g. fleshed or defleshed), the method of heating, temperatures and the time of exposure (Thompson 2004, 204; Koon 2006, 31).

It is also worth knowing that collagen and mineral have an intimate relationship, providing their mutual protection, essential for long-term survival. The mineral stabilises and protects the collagen against gelatinisation and microbial attack (Nielsen-Marsh *et al.* 2000b; Collins *et al.* 2002). On the other hand, degradation and loss of the collagen cause increased porosity (Nielsen-Marsh, Hedges

1999, 2000), exposing crystals to the dissolution and recrystallisation (Person *et al.* 1995; Trueman *et al.* 2004).

Analysis of the bone FTIR spectra

When analysing bone FTIR spectra, the PO₄ and CO₃ peaks of the hydroxyapatite are identifiable in the 500–700 and 900–1500 cm⁻¹ regions, the peaks corresponding to Amides I–III, A and B in the 1200–1700 and 3000–3700 cm⁻¹ regions, and the peaks characteristic of the lipids² in the 700–1800 and 2800–3000 cm⁻¹ regions. Additionally, some overlapping has to be considered. In the 500–700 cm⁻¹ region of the hydroxyapatite, a minor contribution from Amides IV–VII is present. Also, the peaks between 1300 and 1600 cm⁻¹ result from a combination of the mineral, Amides and lipids (Table 1, Figures 4–5) (Figueiredo *et al.* 2014, 322; Prinsloo *et al.* 2014, 735).

In the context of archaeological bones and their chemical composition, FTIR spectroscopy provides information on the crystallinity of the apatite (Weiner and Bar-Yosef 1990), the amount of carbonate (Wright, Schwarcz 1996), the amount of the organic matrix (Greco *et al.* 2007) and the ratio of organic to inorganic components (Trueman *et al.* 2004; Thompson *et al.* 2009). Furthermore, a closer look at the peaks can reveal structural changes of the mineral and collagen (Trueman *et al.* 2004; Lebon *et al.* 2008; Chadeaux *et al.* 2009; Anastassopoulou *et al.* 2015).

Example

With the intention of presenting the usefulness of FTIR spectroscopy, fresh and archaeological sheep bone samples and bone samples exposed to different taphonomic factors were analysed; the fresh bones derived from the butcher, the archaeological bones from an archaeological site. The exposed samples were subjected to aggressive environments with a high hydrological conductivity and a low pH. For the samples altered due to high temperatures, cremated human remains from an archaeological site were used (Table 4; Figures 6–9).

The FTIR analysis of all the samples was performed in the Attenuated Total Reflectance (ATR) mode. Each sam-

2 Lipids were recognized using FTIR-ATR spectroscopy but will not be discussed further as they are beyond the scope of this contribution.

ple was scanned 32 times. Infrared spectra were obtained between 400 cm^{-1} and 4000 cm^{-1} , with a spectral resolution of 4 cm^{-1} and data interval of 0.1 cm^{-1} . For each sample, the scanning procedure was repeated three times. The obtained spectra were exported into OriginPro 2016 in order to analyse and measure the heights of the peaks (Figures 10–11). Based on the peak positions, the presence of specific functional groups was determined. Peak position, height and width were examined. For more objective analyses, ratios (Table 5) were calculated.

Comparing the results obtained from the fresh samples and from the samples exposed to different taphonomic processes revealed clear differences in the collagen and mineral preservation. Due to the different absorption of the samples, the comparison of the spectra (Appendix 1) only offers a rough indication of the changes and is further examined using calculated ratios (Table 7).

Changes in the mineral show extreme losses in the low pH environment. The obtained spectrum is actually closely comparable to that of pure collagen and collagen with less than 50% of calcium phosphate (Figures 12–13). The mineral changes in the environment with a high hydraulic conductivity presented high losses of phosphates. The losses were caused by dissolution and removal of the crystals from the bone, combined with a lack of recrystallization due to water flow. The mineral in the archaeological sample was barely affected, presenting only slightly increased crystal size. Thus, a stable archaeological environment with minimal influences on the mineral dissolution and ion exchange was deduced. The spectrum of the samples exposed to high temperatures proved an exposure to temperatures above 700°C and a purification of the mineral lattice.

Furthermore, the $\sim 960\text{ cm}^{-1}$ peak positions (Table 6) indicated different effects of the bone mineral, determined by the environmental factors and/or time of exposure.

Due to the loss of the mineral in the sample from the acidic environment, the collagen concentrations increased. However, the structural components of the Amide I peak presented collagen denaturation. High hydraulic conductivity caused a loss of collagen and its denaturation, which is in agreement with the loss of mineral and an interdependence between the mineral and collagen in the bone. A similar pattern is seen in the archaeological sample, where limited loss of collagen occurred. This is in accordance with only

slightly affected mineral, offering further protection to the collagen. As expected, the exposure to high temperatures caused a complete loss of collagen.

Conclusions

The contribution presents the basic methodological procedures for the FTIR-ATR spectroscopy in osteoarchaeological analyses. Even though the included examples are limited, the usefulness of the technique is clear. It offers an insight into the chemical changes in the mineral and collagen caused by different taphonomic processes. The FTIR-ATR spectroscopy is thus opening up new possibilities for studying the preservation state of the bones and their potential for further analyses (e.g. isotopic aDNA). Furthermore, understanding the taphonomic processes, FTIR-ATR spectroscopy can provide means for deducing the characteristics of the environment surrounding the bones in the past.

Literatura / References

- ANASTASSOPOULOU, J., M. KYRIAKIDOU, S. KYRIAZIS, T. H. KORMAS, A. F. MAVROGENIS, V. DRITAS, P. KOLOVOU, T. THEOPHANIDES 2015, An FT-IR Spectroscopic Study of Metastatic Cancerous Bones. – V/In: T. Theophanides (ur. / ed.), *Infrared Spectroscopy - Anharmonicity of Biomolecules, Crosslinking of Biopolymers, Food Quality and Medical Applications*, Rijeka, 89–100.
- BARTH, A. 2007, Infrared spectroscopy of proteins. – *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics* 1767 (9), 1073–1101.
- BEASLEY, M. M., E. J. BARTELINK, L. TAYLOR, R. M. MILLER 2014, Comparison of transmission FTIR, ATR, and DRIFT spectra: implications for assessment of bone bioapatite diagenesis. – *Journal of Archaeological Science* 46, 16–22.
- BERNA, F., A. MATTHEWS, S. WEINER 2004, Solubilities of bone mineral from archaeological sites: the recrystallization window. – *Journal of Archaeological Science* 31, 867–882.
- BESHAH, K., C. REY, M. J. GLIMCHER, M. SCHIMIZU, R. G. GRIFFIN 1990, Solid state carbon-13 and proton NMR studies of carbonate-containing calcium phosphates and enamel. – *Journal of Solid State Chemistry* 84 (1), 71–81.
- BRODSKY, B., J. A. M. AMSHAW 1997a, The collagen triple-helix structure. – *Matrix Biology* 15, 545–554.
- BRODSKY, B., J. A. M. RAMSHAW 1997b, *The collagen triple-helix structure*. Germany.
- CAZALBOU, S., D. EICHERT, C. DROUET, C. COMBES, C. REY 2004, Minéralisations biologiques à base de phosphate de calcium. – *Comptes Rendus Palevol* 3, 563–572.
- CHADEFAUX, C., A. S. LE HÔ, L. BELLOT-GURLET, I. REICHE 2009, Curve-fitting Micro-ATR-FTIR studies of the amide I and II bands of type I collagen in archaeological bone materials. – *e-PRESERVATION Science* 6, 129–137; (<http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2009/Chadefaux-04-07-2008.pdf>).
- CHANG, M. C., J. TANAKA 2002, FT-IR study for hydroxyapatite/collagen nanocomposite cross-linked by glutaraldehyde. – *Biomaterials* 23, 4811–4818.
- CHI, Z., X. G. CHEN, J. S. W. HOLTZ, S. A. ASHER 1998, UV Resonance Raman-Selective Amide Vibrational Enhancement: Quantitative Methodology for Determining Protein Secondary Structure. – *Biochemistry* 37, 2854–2864.
- CLARKE, B. 2008, Normal Bone Anatomy and Physiology. – *Clinical Journal of the American Society of Nephrology* 3, 131–139.
- COATES, J. 2000, Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach. – V/In: R. A. Meyers (ur. / ed.), *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, Chichester, 10815–10837.
- COLLINS, M. J., C. M. NIELSENMARSH, J. HILLER, C. I. SMITH, J. P. ROBERTS, R. V. PRIGODICH, T. J. WESS, J. CSAPÒ, A. R. MILLARD, G. TURNER WALKER 2002, The survival of organic matter in bone: a review. – *Archaeometry* 44, 383–394.
- COLLINS, M. J., M. S. RILEY, A. M. CHILD, G. TURNER WALKER 1995, A Basic Mathematical Simulation of the Chemical Degradation of Ancient Collagen. – *Journal of Archaeological Science* 22, 175–183.
- CURREY, J. D. 2002, *Bones: Structure and Mechanics*. New Jersey.
- EFREMOV, I. 1940, Taphonomy: new branch of paleontology. – *Pan-American Geologist* 74, 81–93.
- EL-BASSYOUNI, G. T., O. W. GUIRGUIS, W. I. ABDEL-FATTAH 2013, Morphological and macrostructural studies of dog cranial bone demineralized with different acids. – *Current Applied Physics* 13, 864–874.
- FARLAY, D., G. PANCZER, C. REY, P. D. DELMAS, G. BOIVIN 2010, Mineral maturity and crystallinity index are distinct characteristics of bone mineral. – *Journal of Bone and Mineral Metabolism* 28, 433–445.
- FIGUEIREDO, M., S. CUNHA, G. MARTINS, J. FREITAS, F. JUDAS, H. FIGUEIREDO 2011, Influence of hydrochloric acid concentration on the demineralization of cortical bone. – *Chemical Engineering Research and Design* 89, 116–124.

- FIGUEIREDO, M. M., J. A. F. GAMELAS, A. G. MARTINS 2012, Characterization of Bone and Bone-Based Graft Materials Using FTIR Spectroscopy. – V/In: T. Theophile, (ur./ed.), *Infrared Spectroscopy - Life and Biomedical Sciences*, Rijeka, 315–338.
- FRATZL, P., R. WEINKAMER 2007, Nature's hierarchical materials. – *Progress in Materials Science* 52, 1263–1334.
- GARVIE-LOK, S. J., T. L. VARNEY, M. A. KATZENBERG 2004, Preparation of bone carbonate for stable isotope analysis: the effects of treatment time and acid concentration. – *Journal of Archaeological Science* 31, 763–776.
- GONG, J. K., J. S. ARNOLD, S. H. COHN 1964, Composition of trabecular and cortical bone. – *The Anatomical Record* 149, 325–331.
- GRECU, R., V. COMAN, V. AVRAM, M. BĂCIUȚ, G. BĂCIUȚ 2007, Bone Matrices of Different Origins Studied by FTIR Spectroscopy. – V/In: S. Vlad, R. V. Ciupa (ur./eds.), *Proceedings of the 1st International Conference on Advancements of Medicine and Health Care through Technology*, Cluj-Napoca, 429–432.
- HABERMEHL, J., J. SKOPINSKA, F. BOCCAFOSCHI, A. SIONKOWSKA, H. KACZMAREK, G. LAROCHE, D. MANTOVANI 2005, Preparation of Ready-to-use, Stockable and Reconstituted Collagen. – *Macromolecular Bioscience* 5, 821–828.
- HACKETT, C. J. 1981, Microscopical Focal Destruction (Tunnels) in Exhumed Human Bones. – *Medicine, Science and the Law* 21, 243–265.
- HEDGES, R. E. M. 2002, Bone diagenesis: an overview of processes. – *Archaeometry* 44-3, 319–328.
- HEDGES, R. E. M., A. R. MILLARD 1995, Bones and Groundwater: Towards the Modelling of Diagenetic Processes. – *Journal of Archaeological Science* 22, 155–164.
- HEDGES, R. E. M., A. R. MILLARD 1995, Measurements and Relationships of Diagenetic Alteration of Bone from Three Archaeological Sites. – *Journal of Archaeological Science* 22, 201–209.
- HOLLUND, H. I., F. ARIESE, R. FERNANDES, M. M. E. JANS, H. KARS 2013, Testing an Alternative High-throughput Tool for Investigating bone Diagenesis: FTIR in Attenuated Total Reflection (ATR) Mode. – *Archaeometry* 55, 507–532.
- HULMES, D. J. 2002, Building Collagen Molecules, Fibrils, and Suprafibrillar Structures. – *Journal of Structural Biology* 137, 2–10.
- JACKES, M., R. SHERBURNE, D. LUBELL, C. BARKER, M. WAYMAN 2001, Destruction of microstructure in archaeological bone: a case study from Portugal. – *International Journal of Osteoarchaeology* 11, 415–432.
- JANS, M. M. E. 2005, *Histological characterisation of diagenetic alteration of archaeological bone*. Amsterdam.
- JANS, M. M. E., C. M. NIELSEN-MARSH, C. I. SMITH, M. J. COLLINS, H. KARS 2004, Characterisation of microbial attack on archaeological bone. – *Journal of Archaeological Science* 31, 87–95.
- KOON, H. E. C. 2006, *Detecting cooked bone in the archaeological record: a study of the thermal stability and deterioration of bone collagen*. Doktorska disertacija. Univerza v Yorku, York (neobjavljeno/unpublished).
- LANDIS, W. J. 1996, Mineral characterization in calcifying tissues: atomic, molecular and macromolecular perspectives. – *Connective Tissue Research* 34, 239–246.
- LANDIS, W. J., K. J. HODGENS, J. ARENA, M. J. SONG, B. F. McEWEN 1996, Structural relations between collagen and mineral in bone as determined by high voltage electron microscopic tomography. – *Microsc Res Tech* 33, 192–202.
- LEBON, M., I. REICHE, J. J. BAHAIN, C. CHADEFAUX, A. M. MOIGNE, F. FRÖHLICH, F. SÉMAH, H. P. SCHWARCZ, C. FALGUÈRES 2010, New parameters for the characterization of diagenetic alterations and heat-induced changes of fossil bone mineral using Fourier transform infrared spectrometry. – *Journal of Archaeological Science* 37, 2265–2276.
- LEBON, M., I. REICHE, F. FRÖHLICH, J. J. BAHAIN, C. FALGUÈRES 2008, Characterization of archaeological burnt bones: contribution of a new analytical protocol based on derivative FTIR spectroscopy and curve fitting of the ν_1 ν_3 PO₄ domain. – *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 392, 1479–1488.

- LEBON, M., I. REICHE, X. GALLET, L. BELLOT-GURLET, A. ZAZZO 2016, Rapid Quantification of Bone Collagen Content by ATR-FTIR Spectroscopy. – *Radiocarbon* 58, 131–145.
- LEGEROS, R. Z., J. P. LEGEROS 1984, Phosphate Minerals in Human Tissues. – V/In: J. O. Nriagu, P. B. Moore (ur./ed.), *Phosphate Minerals*, Berlin, 351–385.
- LESKOVAR, T. 2016, *Insight into the Diagenesis of Fresh and Archaeological Sheep bone in Three Controlled Burial Environments*. Master of Science, Univerza v Bradoru, Bradford (neobjavljeno/unpublished).
- LODISH, H., A. BERK, S. L. ZIPURSKY, P. MATSUDAIRA, P. BALTIMORE, J. DARNELL 2000, *Collagen: The Fibrous Proteins of the Matrix*. New York.
- LOWENSTAM, H. A., S. WEINER, I. EBRARY 1989, *On biomineralization*. New York.
- MARGARIS, A. V. 2014, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR): Applications in Archaeology. – V/In: C. Smith (ur./ed.), *Encyclopedia of Global Archaeology*, New York, 2890–2893.
- MILLARD, A. R. 2001, Deterioration of bone. – V/In: D. Brothwell, M. Pollard (ur./ed.), *Handbook of Archaeological Sciences*, Chichester, 633–643.
- NIELSEN-MARSH, C. M., R. E. M. HEDGES 2000, Patterns of Diagenesis in Bone I: The Effects of Site Environments. – *Journal of Archaeological Science* 27, 1139–1150.
- NIELSEN-MARSH, C. M., R. E. M. HEDGES, T. MANN, M. J. COLLINS 2000, A preliminary investigation of the application of differential scanning calorimetry to the study of collagen degradation in archaeological bone. – *Thermochimica Acta* 365, 129–139.
- NIELSEN-MARSH, C. M., C. I. SMITH, M. M. E. JANS, A. NORD, H. KARS, M. J. COLLINS 2007, Bone diagenesis in the European Holocene II: taphonomic and environmental considerations. – *Journal of Archaeological Science* 34-9, 1523–1531.
- OLSZTA, M. J., X. CHENG, S. S. JEE, R. KUMAR, Y. Y. KIM, M. J. KAUFMAN, E. P. DOUGLAS, L. B. GOWER 2007, Bone structure and formation: A new perspective. – *Materials Science and Engineering: Reports* 58, 77–116.
- PASCHALIS, E. P., E. DiCARLO, F. BETTS, P. SHERMAN, R. MENDELSON, A. L. BOSKEY 1996, FTIR microspectroscopic analysis of human osteonal bone. – *Calcified Tissue International* 59, 480–487.
- PASTERIS, J. D., B. WOPENKA, J. J. FREEMAN, K. ROGERS, E. VALSAMI-JONES, J. A. M. VAN DER HOUWEN, M. J. SILVA 2004, Lack of OH in nanocrystalline apatite as a function of degree of atomic order: implications for bone and biomaterials. – *Biomaterials* 25, 229–238.
- PAVIA, D. L., G. M. LAMPMAN, G. S. KRIZ, J. R. VYVYAN 2014, *Introduction to Spectroscopy*. Stamford.
- PAYNE, K. J., A. VEIS 1988, Fourier transform ir spectroscopy of collagen and gelatin solutions: Deconvolution of the amide I band for conformational studies. – *Biopolymers* 27, 1749–1760.
- PETIBOIS, C., K. WEHBE, K. BELBACHIR, R. NOREEN, G. DÉLÉRIS 2009, Current trends in the development of FTIR imaging for the quantitative analysis of biological samples. – *Acta Physica Polonica-Series A General Physics* 115, 507–512.
- PRYSTUPA, D. A., A. M. DONALD 1996, Infrared study of gelatin conformations in the gel and sol states. – *Polymer Gels and Networks* 4, 87–110.
- RAMACHANDRAN, G. N. 1967, *Treatise on collagen*. London.
- RENUGOPALAKRISHNAN, V., G. CHANDRAKASAN, S. MOORE, T. B. HUTSON, C. V. BERNEY, R. S. BHATNAGAR 1989, Bound water in collagen: evidence from Fourier transform infrared and Fourier transform infrared photoacoustic spectroscopic study. – *Macromolecules* 22, 4121–4124.
- REY, C., J. L. MIQUEL, L. FACCHINI, A. P. LEGRAND, M. J. GLIMCHER 1995, Hydroxyl groups in bone mineral. – *Bone* 16, 583–586.
- REY, C., M. SHIMIZU, B. COLLINS, M. J. GLIMCHER 1990, Resolution-enhanced fourier transform infrared spectroscopy study of the environment of phosphate ions in the early deposits of a solid phase of calcium-phospha-

- te in bone and enamel, and their evolution with age. I: Investigations in the PO_4 domain. – *Calcified Tissue International* 46, 384–394.
- SMITH, B. C. 1999, *Infrared Spectral Interpretation: A Systematic Approach*. Florida.
- SMITH, C. I. 2002, *Modelling Diagenesis in Archaeological Bone*. Newcastle.
- SMITH, C. I., C. M. NIELSEN-MARSH, M. M. E. JANS, M. J. COLLINS 2007, Bone diagenesis in the European Holocene I: patterns and mechanisms. – *Journal of Archaeological Science* 34, 1485–1493.
- STUART, B. H. 2004, *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Hoboken.
- SUROVELL, T. A., M. C. STINER 2001, Standardizing Infra-red Measures of Bone Mineral Crystallinity: an Experimental Approach. – *Journal of Archaeological Science* 28, 633–642.
- THOMAS, D. B., R. E. FORDYCE, R. D. FREW, K. C. GORDON 2007, A rapid, non-destructive method of detecting diagenetic alteration in fossil bone using Raman spectroscopy. – *Journal of Raman Spectroscopy* 38, 1533–1537.
- THOMPSON, T. J. U. 2004, Recent advances in the study of burned bone and their implications for forensic anthropology. – *Forensic Science International* 146, S203–S205.
- THOMPSON, T. J. U., M. GAUTHIER, M. ISLAM 2009, The application of a new method of Fourier Transform Infrared Spectroscopy to the analysis of burned bone. – *Journal of Archaeological Science* 36, 910–914.
- THOMPSON, T. J. U., M. ISLAM, M. BONNIERE 2013, A new statistical approach for determining the crystallinity of heat-altered bone mineral from FTIR spectra. – *Journal of Archaeological Science* 40, 416–422.
- TRUEMAN, C. N. G., A. K. BEHRENSMEYER, N. TUROSS, S. WEINER 2004, Mineralogical and compositional changes in bones exposed on soil surfaces in Amboseli National Park, Kenya: diagenetic mechanisms and the role of sediment pore fluids. – *Journal of Archaeological Science* 31, 721–739.
- TÜTKEN, T., T. W. VENNEMANN 2011, Fossil bones and teeth: Preservation or alteration of biogenic compositions? – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 310, 1–8.
- WEINER, S., O. BAR-YOSEF 1990, States of preservation of bones from prehistoric sites in the Near East: A survey. – *Journal of Archaeological Science* 17, 187–196.
- WEINER, S., W. TRAUB 1992, Bone structure: from angstroms to microns. – *The FASEB Journal* 6, 879–885.
- WRIGHT, L. E., H. P. SCHWARCZ 1996, Infrared and Isotopic Evidence for Diagenesis of Bone Apatite at Dos Pilas, Guatemala: Palaeodietary Implications. – *Journal of Archaeological Science* 23, 933–944.
- ZHANG, W., Z. L. HUANG, S. S. LIAO, F. Z. CUI 2003, Nucleation Sites of Calcium Phosphate Crystals during Collagen Mineralization. – *Journal of the American Ceramic Society* 86, 1052–1054.

Gabrovčev dan. Poklon arheologu, muzealcu, profesorju in akademiku

© Matija Črešnar, Biba Teržan, Peter Turk

V januarju leta 2015 nas je dosegla vest, da je v častitljivi starosti 94 let umrl akademik prof. dr. Stane Gabrovec, velikan slovenske arheologije, ki je s svojimi strokovnimi dosežki močno presegel meje svoje domovine. Že kmalu po tem se je v Slovenskem arheološkem društvu rodila ideja, da bi v počastitev spomina nanj med dejavnosti društva v začetku leta 2016 uvrstili tudi strokovno srečanje, poimenovano Gabrovčev dan. To naj bi bil dogodek, na katerem bi se srečali slovenski arheologi, predvsem raziskovalci bronaste in železne dobe, torej obdobj, ki ju je s svojimi študijami najbolj zaznamoval naš veliki predhodnik.

Gabrovčev dan smo tako izvedli 15. 1. 2016 v Dvorani Zemljepisnega muzeja ZRC SAZU. Začel se je, kot je za takšno srečanje primerno, s prispevkoma, posvečenima spominu na prof. Gabrovca. Biba Teržan se je v svojem referatu (*Akademik prof. dr. Stane Gabrovec, raziskovalec in učitelj*) posvetila predvsem njegovemu znanstvenemu delu, kot bo ostalo zapisano v številnih prispevkih in monografijah. Nekoliko drugačen, bolj oseben ton je izbral Drago Svoljšak (*Učna leta v profesorjevi sondi*), ki je predstavil svoja (strokovna) srečanja s prof. Gabrovcem in vpliv, ki ga je imel nanj. Obe predstavitvi sta bili medtem že objavljeni v strokovni literaturi, prva v Arheološkem vestniku (št. 67), druga v Arheu (št. 32), in sta s tem dosegli tudi na spletu.

Sledile so predstavitve raznovrstnih raziskav, s katerimi so želeli referenti počastiti obletnico smrti prof. Gabrovca, ob tem pa dodati kamenček v mozaik znanja, ki ga je tako uspešno oblikoval skozi vso svojo dolgoletno strokovno pot. V okviru srečanja smo se udeležili tudi odprtja gostujoče razstave *Kelti s smaragdnih gora* (Arheološki muzej v Zugliu), ki je potekalo v Narodnem muzeju Slovenije. V nadaljevanju podajamo seznam vseh predavanj:

Mija Ogrin
Železna doba na Gorenjskem in visokogorska arheologija

Barbara Hofman
Bled v prazgodovini s poudarkom na grobišču Bled-Žale

Petra Vojaković, Matej Draksler
Nova dognanja o prazgodovinski Ljubljani

Vojka Cestnik
Pregled dolenske kulturne skupine s poudarkom na ženski noši

Dragan Božič
O osrednji grobnici stiške gomile 48 ali kaj se zgodi, ko les preperi

Lucija Grahek, Mateja Kovač, Borut Toškan
Poznatenski grobovi iz Vira pri Stični

Miha Mlinar
Starejšeeželeznodobna odkritja Posočja v tretjem tisočletju

Manca Vinazza
Prispevek h kronologiji starejše železne dobe na Krasu

Andrej Preložnik
Novi odlomki najstarejše grobne celote z upodobitvijo v situlskem stilu

Srečanje se je izkazalo kot zelo uspešno, saj je prineslo precej novih spoznanj. Na pobudo predsednika Slovenskega arheološkega društva Bojana Djurića smo kaj hitro začeli razmišljati, da bi srečanje lahko postalo tradicionalno in bi ob ustrezni organizaciji lahko tudi preseglo slovenske meje. Pripravo naslednjega srečanja, ki bo potekalo v januarju leta 2017, smo tako po povabilu predsednika SAD prevzeli Peter Turk (NMS), Biba Teržan in Matija Črešnar (oba Oddelek za arheologijo FF, UL). Po premisleku smo predlagali nekajeten koncept bodočih strokovnih srečanj, ki smo ga poimenovali *Halštatske kulturne skupine na območju Slovenije*. Vsako leto bi tako obravnavali po eno izmed halštatskih skupin, kot jih je opredelil prof. Gabrovec v svojih temeljnih člankih, pri čemer bi bilo težišče na predstavitev novih izkopavanj, raziskav in znanstvenih dognanj.

Prvo takšno srečanje, ki je načrtovano za petek, 27. januarja 2017, bo posvečeno kulturni skupini Kleinklein-Martijanec-Kaptol oz. štajersko-južnopanonski skupini. Sledili bodo strokovni simpoziji, posvečeni dolenski kulturni skupini (predvidoma januar 2018), notranjsko-kraški kulturni skupini (predvidoma januar 2019), svetolucijski kulturni skupini (predvidoma januar 2020) in gorenjski kulturni skupini (predvidoma januar 2021), pri čemer pa bomo vselej poskušali povabiti tudi kolege iz sosednjih držav, ki raziskujejo sorodna najdišča in zasledujejo podobna strokovna vprašanja v obmejnih pokra-

jinah. Zato že vnaprej vabimo vse kolegice in kolege, ki izvajajo raziskave v posameznih regijah in se ukvarjajo z zadevno tematiko, da sodelujejo na vsakoletnem Gabrovčevem dnevu.

Nadejamo se, da bi tako lahko v ciklu štirih ali petih let bistveno dopolnili naše znanje o halštatski kulturi z novimi spoznanji in s tem – v Gabrovčevem smislu – prispevali k boljšemu razumevanju naše davne preteklosti in morda tudi sedanjosti.

Ker pa je od izida večine preglednih monografij, ki obravnavajo slovenski prostor v starejši železni dobi, minilo že več let ali celo desetletij, smo pomislili, da bi naša srečanja in skupni raziskovalni elan, ki ga posvečamo pripravi referatov, izkoristiti tudi za pripravo pisnih prispevkov. Te želimo najprej vsako leto združevati v drugem zvezku sprotne številke *Arhea* oz. *Arheo Actes*, ki je pred leti že uspešno izhajal ob izvedenih strokovnih srečanjih na različne teme varstva dediščine. Ob koncu cikla bi bilo po našem mnenju primerno, da pridobljeno znanje združimo in vsi skupaj oblikujemo monografijo, ki bo na pregleden način in z vsemi novimi dognanji na novo predstavila slovenski prostor v starejši železni dobi.

Program srečanja, ki je predstavljen spodaj, je prvi korak v to smer. Vabljeni predavatelji iz Slovenije in tujine bodo predstavili nekaj najpomembnejših raziskav zadnjih let na širšem prostoru in s tem brez dvoma obogatili naše znanje o halštatski kulturi na prostoru od jugovzhodnih Alp do jugozahodne Panonije, ki ga opisujemo kot kulturno skupino Kleinklein-Martijanec-Kaptol oz. štajersko-južnopanonsko skupino.

Program srečanja Gabrovčev dan 2017
(27. 1. 2017, Narodni muzej Slovenije – Metelkova):

Markus Egg
The princely graves from Kleinklein in Styria

Georg Tiefengraber
Neue Forschungen auf dem hallstattzeitlichen „Fürstensitz“ auf dem Falkenberg bei Strettweg und in seinen Gräberfeldern

Marko Mele
Poselitev doline reke Solbe v pozni bronasti in starejši železni dobi – nove raziskave graškega Joanneuma / Spätbronze- und eisenzeitliche Besiedlung des Sulmtals – aktuelle Forschungen des Grazer Joanneums

Hrvoje Potrebica
Požega valley in the Hallstatt world / Požeška dolina u halštatskom svijetu

Branko Kerman
Naselbine starejše železne dobe v Prekmurju

Georg Tiefengraber
Hallstattzeitliche Gräber und Gräberfelder im Prekmurje – Die Gräberfelde von Nova tabla bei Murska Sobota

Matija Črešnar
Nove raziskave o starejši železni dobi na slovenskem Štajerskem

Teja Gerbec
Hotinja vas in nižinska poselitev na zahodnem obrobju Panonije v starejši železni dobi

Zaključimo lahko le z apelom, da bi v zasnovi cikla srečanj prepoznali njegov potencial in veliko vrednost za arheologijo starejše železne dobe na Slovenskem ter se številčno odzivali našim vabilom, saj lahko le družno ne samo uspešno gradimo, temveč tudi dogradimo novo znanje o tej davni preteklosti, ki smo ji s svojim delom vsi zapisani.

Vitrina meseca na Oddelku za arheologijo FF UL. Odsev zainteresiranosti študentov.

© Manca Vinazza, Danijela Udovič

Študentje na Oddelku za arheologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani v zadnjih letih v sklopu prvo-stopenjskega študija izkusijo sodelovanje na različnih ustanovah, ki jih uvedejo v različne vidike praktične arheologije. Brez dvoma jih je tudi ta stik z „zunanjim“ arheološkim svetom, ki presega arheološka izkopavanja, motiviral, da so postali bolj zainteresirani za promocijo arheološke dediščine. V preteklih mesecih smo tako premišljevali, kako energijo mlade zagnane generacije preusmeriti v nekaj, kar zahteva ustvarjalnost in delo, po drugi strani pa za uresničitev ne potrebujemo visokih finančnih sredstev. Tako se je porodila ideja o zagonu projekta Vitrina meseca.

Osnovna zamisel se je navezovala na vključitev študentov na način, da bodo ideje in izpeljava izključno v njihovi domeni, naša vloga pa bi se nanašala bolj na mentorstvo in pomoč pri logistiki.

Na vabilo k sodelovanju pri pripravi prve vitrine se je odzvalo kar enajst študentov. Projekta smo se lotili ce-

lostno, tako da smo zasnovali njegovo grafično podobo (Slika 1), zloženko ter spletno stran (Splet 1).

Otvoritev 1. vitrine meseca z naslovom „Za vero staršev“: arheološko najdišče Gradišče nad Bašljem in literarno delo Krst pri Savici, je bila 19. decembra 2016. Osnovno vodilo vitrine je bil čas pokristjanjevanja in vključitev arheološkega najdišča Gradišče nad Bašljem v to zgodbo. Vitrina je bila sestavljena iz treh komplementarnih delov. Prvi del je zajemal predstavitev zgodovinskih virov o uporih na območju Slovenije v času 8. in 9. stoletja ter Prešernov Krst pri Savici. V osrednjem delu je bila predstavljena replika kadilnice, ki jo je izdelal Matic Zupan, tretji del pa je bil namenjen prikazu boja z modelom, izdelanim iz Lego kock, na lidarski podlagi. Vitrino je dopolnila zloženka (Jamar Anderle *et al.* 2016).

Po zaslugi velikega števila študentov in njihove prizadevnosti smo lahko pripravili vitrino, ki je pomembno obogatila knjižnico Oddelka za arheologijo. Nadejamo se, da smo s tem pridobili „poligon“, ki bo študentom še



Slika 1. Logotip projekta (levo) in naslovnica zloženke (desno). Oblikovanje: M. Drobnak.

naprej omogočal, da se preizkušajo pri izvajanju skupinskega dela in sledenju vnaprej dogovorjenemu cilju, si razdelijo naloge po svojih sposobnostih in preferencah, se izražajo na tradicionalne in ustaljene ali pa inovativne in alternativne načine ter se skratka kalijo.

S projektom bomo nadaljevali tudi v letu 2017, saj imamo v pripravi že dve novi predstavitvi: v mesecu februarju bomo predstavili vitrino z naslovom „Skrivnosti Pošte“, v mesecu marcu pa bomo v sodelovanju z Dolenjskim muzejem Novo mesto pripravili vitrino „Knežinja, svečenica ali gospodarica?“.

Projekt Vitrina meseca bomo poskušali v prihodnje tudi nadgraditi, saj je idej in želja veliko. Že v začetku se je pojavila potreba po razstavnem katalogu (prim. Ratej 2016–2017, 25–29), dogajanje pa bomo skušali dopolniti s predavanji in literarnimi prezentacijami, vezanimi na posamezno temo vitrine; želimo pa si tudi sodelovanja z ostalimi sorodnimi institucijami.

Skratka, ob naslednji Vitriini meseca: „Vabljeni na ogled!“

Literatura / References

JAMAR ANDERLE, I., E. GRAŠIČ, D. KOŽUH, K. PAVLETIČ, J. N. POLLAK, R. RATEJ, A. VIČAR, M. ZUPAN, T. ŽANKO 2016, *Za vero staršev. Arheološko najdišče Gradišče nad Bašljem in literarno delo Krst pri Savici*. – Projekt Vitrina meseca 1, Ljubljana.

RATEJ, R. 2016–2017, „Za vero staršev“. – Arheološko najdišče Gradišče nad Bašljem. – *Profil. Revija Študentskega arheološkega društva* 11, 25–29.

Spletni vir / Web source

Splet 1/Web 1: http://arheologija.ff.uni-lj.si/knjiznica/vitrina_meseca/prva_vitrina (dostop, 31. 12. 2016).



Slika 2. Vitrina meseca (foto: M. Vinazza).

Predstavitev projektov PalaeoDiversiStyria in Iron-Age-Danube ter povabilo k sodelovanju

© Matija Črešnar, Marko Mele, Katharina Zanier, Anja Vintar, Sarah Kiszter,

Anja Hellmuth Kramberger

S koncem leta 2016 in z začetkom leta 2017 na območju Slovenije in v sosednjih državah začenjata svoje aktivnosti projekta PalaeoDiversiStyria in Iron-Age-Danube. Z njima poskušamo arheologijo v širši javnosti utrditi kot neusahljiv vir znanja, na katerem je moč graditi trajnostni razvoj. Oba sta plod utečenega partnerstva Univerzalnega muzeja Joanneum iz Gradca z Oddelkom za arheologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani in Zavodom za varstvo kulturne dediščine Slovenije, ki že lep čas deluje v skupnem stremljenju po raziskovanju, varstvu in promociji kulturne dediščine.

Dodano vrednost pa bosta oba projekta imela le, če se bo beseda o naših dejavnostih razširila in bosta ob tem nagovorila ter povezala širšo stroko. Zato vas vabimo, da si preberete spodnji predstavitev in morda v njiju prepoznate dodano vrednost tudi za vaše delo. Vsak posamezen podatek, ki ga lahko vključimo v naše skupne raziskave, se morda zdi nepomemben. A pravzaprav je vsak nenadomestljiv in gradnik širše slike, s katero bomo našo znanost še lažje predstavili kot pomemben vir vedenja in znanja za prihodnje rodove.

PalaeoDiversiStyria

Projekt *Paleokrajina Štajerske in njena biodiverziteta od prazgodovine do odkritja Novega sveta* s kratico *PalaeoDiversiStyria* smo začeli že 1. oktobra 2016 in bo trajal polna tri leta. Projekt je financiran v okviru čezmejnega sodelovanja Interreg V-A Slovenija–Avstrija 2014–2020.

Pri projektu pod vodstvom Univerzalnega muzeja Joanneum sodelujeta še dva avstrijska partnerja, Univerza v Gradcu in Občina Großklein, v Sloveniji pa so projektni partnerji Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Univerza v Mariboru (Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede) in Občina Hoče-Slivnica.

Pri projektu izhajamo iz skupnih naravnih danosti in sorodnega (pra)zgodovinskega razvoja avstrijske Štajerske ter vzhodne Slovenije. Njuno povezanost je moč prepoznati v bogati arheološki dediščini vse od mlajše kamene dobe, ko je človek z uvajanjem najzgodnejših kmetijskih praks prvič začel resneje posegati v svoje okolje.

Eden osnovnih ciljev projekta je, da bi raziskali raznovrstnost rastlin in živali, ki so skozi tisočletja oblikovale prehranske navade ljudi tega prostora. V zadnjih stoletjih so bile številne rastline, ki so bile nekoč steber

človekovega preživetja, z uvajanjem novih pridelkov počasi potisnjene v ozadje, nekatere pa popolnoma pozabljene. Kulturne rastline, ki jih danes gojijo v vzhodni Sloveniji in na avstrijskem Štajerskem, se tako bistveno razlikujejo od tistih, ki so jih gojili naši predniki pred odkritjem obeh Amerik, pred kasnejšimi kmetijskimi reformami in današnjim globaliziranim (ter malodane monopoliziranim) svetom.

Temelji projekta PalaeoDiversiStyria bodo arheološki podatki, na katerih bomo gradili nadaljnje raznolike aktivnosti. S paleobotaničnimi in arheozoološkimi raziskavami razpoložljivih vzorcev z arheoloških najdišč obeh omenjenih območij želimo pridobiti celovito bazo podatkov, s pomočjo katere bomo lahko raziskovali spremembe v rabi rastlin in živali skozi čas. Tukaj se obračamo tudi na vas, drage kolegice in kolegi. Če morda razpolagate z vzorci živalskih kosti ali organskega materiala, ki bi jih želeli analizirati, imamo v okviru projekta nekaj možnosti tudi za takšne raziskave. Po analizi in z vašim strinjanjem bodo rezultati vneseni v skupno bazo podatkov, ki bo javno dostopna.

Kemijske analize, ki jih izvajamo v navezujočih projektih, omogočajo tudi identifikacijo ostankov hrane na več tisočletij stari keramiki, s čimer bomo pridobili tudi neposredne dokaze o načinih priprave živil v različnih obdobjih.

Povezava teh interdisciplinarnih raziskav z znanjem sodobnih botaničnih in kmetijskih ved tvori osnovo za revitalizacijo gojenja, predelave in uporabe prvobitnih, a danes pozabljenih rastlinskih vrst. Z oživitvijo gojenja še obstoječih divjih in kultiviranih paleorastlinskih vrst bomo mogoče na eni strani povečati biološko pestrost v regiji in na drugi strani sočasno ustvarjati oz. obujati njeno (nekdanjo) identiteto ter dvigovati zavest o pomenu ohranjanja kulturne krajine.

Aktivno obujanje avtohtonih in starih kultiviranih rastlin si bodo zainteresirani obiskovalci lahko ogledali v sodobnih informacijskih centrih ter demonstracijskem vrtu na Burgstallkoglu pri Großkleinu in v Botaničnem vrtu Univerze v Mariboru na Pivoli. Posebej za to urejena kolekcijska in testna polja v Botaničnem vrtu, na katerih bodo vzpostavljeni pogoji za obuditev gojenja prvobitnih rastlin in genska banka, bo povezovala učna pot. Obe lokaciji bosta opremljeni z informacijskimi tablam.

V sklopu projekta bo nastala linija kakovostnih izdelkov pod novo, skupno znamko in z lastno grafično podobo. Tako se bodo lahko vsi, ki bodo vključeni v mrežo lokalnih proizvajalk in proizvajalcev, še bolj domiselno predstavili novim kupcem ter obiskovalcem. Razmere na trgu terjajo vedno večjo inovativnost in iskrenost ponudnika, predvsem pa kakovost izdelka. Spremembe v smeri višje kakovosti pa današnji potrošniki prepoznajo kot dodano vrednost.

S ponovno uvedbo nekaterih starih kulturnih rastlin v poljedelstvu in gastronomiji ter predstavitev zgodbe, ki jo kultura pridelave in predelave hrane nosi s seboj, je mogoče dvigniti turistično atraktivnost regije. Z vsemi dodatnimi aktivnostmi bomo dosegli večjo raznolikost in kakovost preživljanja prostega časa, ponudili nova doživetja ter podaljšali posameznikov obisk v regiji. Arheološka dediščina bo s projektom PalaeoDiversiStyria postala nosilec identitete turističnih izdelkov, s tem pa se bo utrdila zavest in dvignil pomen varstva kulturne dediščine ter njenega vključevanja v turistično ponudbo.

Spletna stran: <https://www.museum-joanneum.at/archaeologiemuseum-schloss-eggenberg/ueber-uns/forschung/palaeodiversistyria>

Facebook: <https://www.facebook.com/PalaeoDiversiStyria/>

Twitter: <https://twitter.com/search?q=PalaeoDiversiStyria>

Instagram: <https://www.instagram.com/palaeodiversistyria/>

YouTube: https://www.youtube.com/channel/UC8at95F0T_M3jUST3-rLo-Q

Iron-Age-Danube

1. januarja 2017 bomo začeli izvajati aktivnosti v okviru projekta *Monumentalized Early Iron Age Landscapes in the Danube River Basin* ali na kratko *Iron-Age-Danube*. Projekt je sofinanciran s strani Evropske unije v okviru transnacionalnega programa Podonavje (*Interreg Danube Transnational Programme*).

Pod vodstvom Univerzalnega muzeja Joanneum iz Gradca se je v partnerstvu zbralo deset projektnih partnerjev in devet pridruženih partnerjev iz Avstrije, Slovenije, Hrvaške, Madžarske ter Slovaške, ki v projekt prinašamo specifična strokovna znanja. Kot partnerji iz Slovenije sodelujemo Univerza v Ljubljani (Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo), Univerza v Mariboru (Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede) in Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije ter kot pridruženi partnerji še Pokrajinski muzej Maribor, Dolenjski muzej Novo mesto in Slovenska turistična organizacija. Projekt bo trajal 30 mesecev in se bo končal 30. junija 2019.

Osrednja skupna podstat projekta so monumentalni arheološki ostanki iz starejše železne dobe, ki so bili odkriti na širšem projektnem območju, poznanem tudi kot osrednji prostor t. i. vzhodnega halštatskega kroga. Čas starejše železne dobe povezujemo tako z razvojem inovativnih tehnologij kot s pojavom občutnih družbenih in religioznih sprememb. Na to med drugim kažejo utrjene višinske naselbine in obsežna gomilna grobišča. Prav kovinske in keramične najdbe iz teh naselij in grobišč lahko štejemo med najdragocenejše zapuščine evropske prazgodovine, ki pogosto predstavljajo tudi najprivlačnejše predmete muzejskih zbirk.

Doslej domala ni bilo poskusa, da bi halštatsko kulturo oz. kulturo starejše železne dobe kot širši evropski pojav uporabili za oblikovanje meddržavnih strategij. In prav to so ključni cilji projekta *Iron-Age-Danube*. Želimo namreč oblikovati strategije in z njimi spodbuditi raziskovanje, varstvo, promocijo in trajnostno turistično rabo najpomembnejših železnodobnih krajin v Avstriji, Sloveniji, na Hrvaškem, Madžarskem ter Slovaškem. Med njimi so območja v okolici Großkleina, Stettwega, Jalžabeta, Kaptola, Százhalombatte, Sütta, Soprona, Pošte in Dolenjskih Toplic, ki vsako zase in predvsem vsa skupaj predstavljajo najodličnejše primere arheoloških krajin iz starejše železne dobe v širšem prostoru. Takšne ugotovitve in strategije so nato prenosljive na kulturno

dediščino iz drugih obdobj in na druge prostore ter so tako zelo široko uporabne.

Pomemben del projekta *Iron-Age-Danube* so mednarodni arheološki tabori. Ti bodo potekali spomladi in poleti 2017 ter 2018 v posameznih mikroregijah v obliki raziskovalnih in promocijskih taborov s programi za šole, skupine in posamezne obiskovalce, na katere ste vljudo vabljeni. V okviru taborov si bomo predstavniki vseh partnerjev med seboj in z javnostjo izmenjevali informacije in izkušnje. Pri raziskavah območij bodo pred izkopavanji uporabljene najsodobnejše neinvazivne metode, kot sta lidarsko snemanje in nabor geofizikalnih raziskav. Ti podatki bodo nato uporabljeni tudi za izdelavo 3D prikazov in vizualizacij v okolju razširjene resničnosti. Rezultati interdisciplinarnih raziskav terenskega dela in znanje, pridobljeno v sodelovanju s partnerji ter v stiku z obiskovalci v okviru taborov, bodo služili kot osnova za razvoj novih turističnih orodij in programov, npr. orodja za e-učenje, mobilne aplikacije ali informativne table.

Terensko delo se bo začelo v Avstriji na območjih arheoloških krajin v okolici Großkleina in Judenburga. Z raziskavami bomo začeli v zadnjih dneh aprila, potekale pa bodo vse do konca junija 2017. Ti območji sta mednarodno poznani zaradi znamenitih knežjih grobov ter pridatkov, odkritih v njih. Med njimi sta izjemnega pomena bronasta maska iz Kleinkleina in kultni voziček iz Stettweiga. V Sloveniji bo raziskovalno-promocijski tabor potekal v letu 2018. Naše pozornosti bosta deležna predvsem okolica utrjene višinske naselbine na Pošteli pri Mariboru, ki jo zaznamuje izjemna strateška lega, in območje Cvingerja pri Dolenjskih Toplicah, na katerem je eno izmed bolje ohranjenih železarskih središč iz starejše železne dobe pri nas.

Pomemben rezultat projekta bo tudi baza podatkov, v katero bomo vnašali rezultate naših raziskav, delovala pa bo v GIS okolju. Tukaj pa vabimo k neposrednemu sodelovanju tudi vas, drage kolegice in kolegi. Z registracijo v projektno bazo boste lahko na eni strani v okviru naše mreže objavljali svoje znanstvene dosežke in podatke, za katere menite, da bi utegnili zanimati druge kolege. Po drugi strani pa boste lahko dostopali do informacij, ki jih bodo v bazo vnesli drugi uporabniki. O razvijanju baze vas bomo sproti obveščali ter vas takoj, ko bo nared za širšo uporabo, ponovno povabili k sodelovanju. Po koncu projekta bo ta baza podatkov ostala mednarodno javno

dostopna na spletni strani, za kar že imamo zagotovljene pogoje.

Prav tako so v okviru projekta načrtovane dejavnosti za krepitev lokalnega turizma, kot sta revitalizacija že obstoječih arheoloških parkov in poti ter razvoj novih programov za obiskovalce v muzejih. Mednarodna promocija in turistična raba mreže pomembnih železnodobnih krajin, kakršna bo nastala v okviru projekta, pa bo tudi osrednja tema mednarodne konference, ki bo potekala med 6. in 10. majem 2019 v Zagrebu.

Spletna stran: <http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/iron-age-danube>

Facebook: <https://www.facebook.com/IronAgeDanube/>

Twitter: <https://twitter.com/ironagedanube>

Instagram: <https://www.instagram.com/ironagedanube/>

Obeta se nam torej veliko zanimivega dela in, upamo, tudi navdušujočih rezultatov, ki jih bomo ustvarjali skupaj z vami.

Navodila avtorjem

Avtorske pravice – Avtorske pravice pripadajo avtorju prispevka. Prispevki niso honorirani.

Recenzentski postopek – Vsak prispevek recenzirata dva anonimna recenzenta, ki ju določi uredništvo. Recenzenta prispevek umestita v eno izmed naslednjih kategorij:

Članek je primeren za objavo

brez popravkov	A
z manjšimi popravki	B
z večjimi popravki	C
Članek še ni primeren za objavo	D

V primeru ocene B ali C bo prispevek objavljen, ko bo avtor pomanjkljivosti odpravil. Glede na končno oceno recenzentov uredništvo razvrsti prispevek po veljavni *tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS* (izvirni znanstveni članek, pregledni znanstveni članek, kratki znanstveni prispevek, strokovni članek, drugo).

Jezik prispevkov – Prispevki bodo objavljeni v slovenskem jeziku z angleškim povzetkom. V primeru avtorjev iz tujega govornega področja bo uredništvo poskrbelo za prevod prispevka. Na željo avtorja lahko prispevek izide tudi v tujem jeziku s slovenskim povzetkom.

Rokopis prispevka – Prispevki naj bodo oddani v uredništvo v digitalni obliki. Besedilo naj bo zapisano v obliki *.doc, *.docx ali *.rtf. Vsi posebni znaki (črke s preglasom, ostrivcem, kraticem, oglati oklepaji ipd.) naj bodo posebej označeni z rumeno barvo. Prispevek lahko vsebuje poleg besedila tudi slikovno gradivo in tabele, ki naj bodo oštevilčene z zaporednimi številkami in opremljene z dvojezičnim naslovom ali razlago.

Struktura članka – članek mora vsebovati naslov, lahko tudi podnaslov in mednaslov ter ime in priimek avtorja, ime institucije, kjer je zaposlen, in njegov spletni naslov. Prav tako je potrebno dodati izvleček (do 600 znakov), ključne besede in povzetek (do 1800 znakov) v slovenskem jeziku, ki bosta prevedena v angleški jezik. Povzetek je lahko za obsežnejše članke dolg do 5400 znakov, vendar mora v tem primeru za prevod v angleški jezik poskrbeti avtor prispevka.

Priprava slikovnega gradiva – črtne oz. črno-bele risbe naj bodo oddane v ločljivosti 600 dpi, medtem ko naj bodo sivinske risbe pripravljene v ločljivosti 350 dpi. Za vso slikovno gradivo veljata širini 16,5 cm (dvokolonska slika) in 7,65 cm (enokolonska slika), njihova višina pa naj ne presega 20,5 cm. Izhodni zapisi naj bodo TIFF, JPG ali PDF.

Opombe in seznam literature – Opombe naj bodo oštevilčene po vrstnem redu in nameščene na dnu tekoče strani. Vsebinsko sodijo v opombe avtorjevi komentarji ali razširjena pojasnila, ne pa zgolj navajanje zadevne literature.

Navodila za navajanje – Uporabljeno literaturo navajamo med besedilom. Navedek vsebuje priimek avtorja in leto izida ter morebitno navedbo strani ali slikovnega gradiva.

Primer:

(Erič 1994) ali (Erič 1994, 74–78).

(Aitken *et al.* 1993, 50).

Na koncu članka sledi seznam literature, v katerem so avtorji navedeni po abecednem vrstnem redu, objave enega avtorja pa so navedene od najstarejših proti najmlajšim. Objave enega avtorja, ki so izšle istega leta, so označene z malimi tiskanimi črkami (a, b, c ...). Priimek in začetnico imena avtorja je potrebno napisati z velikimi tiskanimi črkami, medtem ko so leto izida, naslov članka, številka revije in število strani napisani v normalnem tisku. Naslovi monografij ter imena revij in zbirk so napisana v poševnem tisku (kurzivi). Pri monografijah je potrebno navesti še kraj izida.

Pri navajanju literature se ne uporablja seznama kratic revij in zbirk.

Primer:

ERİÇ, M. 1994, Nova datiranja deblakov in čolnov. – *Arheo* 16, 74–78.

AITKEN, M. J., C. B. STRINGER, P. A. MELLARS (ur./ed.) 1993, *The Origin of Modern Humans and the Impact of Chronometric Dating*. Princeton.

Pri člankih iz zbornikov je potrebno navesti popoln citat zbornika.

Primer:

NELSON, D. E. 1997, Radiokarbonsko datiranje kosti in oglja iz Divjih bab I. – V/In: I. Turk (ur./ed.), *Moustérienska „koščena piščal“ in druge najdbe iz Divjih bab I v Sloveniji*. – Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 2, Ljubljana, 51–64.

Pri navajanju spletnih virov je potrebno, v kolikor avtorja poznamo, članek ali monografijo navesti v seznam literature po avtorju.

Primer:

(Zörer 1855, 65)

ZÖRER, J. 1855, Od zarezanja živih graj ali mej. – Kmetijske in rokodelske novic 12/64-67; (<http://www.dlib.si/v2/Details.aspx?URN=URN:NBN:SI:DOC-97TQLV05>).

V kolikor pa avtor ni poznan, oziroma je citirani vir delo določene skupine ali organizacije, ga navedemo s pomočjo oznake Splet 1, Splet 2 ...

Primer:

(Splet 1)

Splet 1/Web 1: <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200816&stevilka=485> (dostop 5. 6. 2010).

Guidelines to the contributors

Copyright – All contributions are copyright. We do not pay author's fees.

Reviews – every contribution is reviewed by two anonymous reviewers appointed by the editorial board. The contributions are then sorted into one of the following categories:

The contribution will be published with

no corrections	A
some corrections	B
many corrections	C
The contribution is not suitable for publication	D

In cases of B or C the contribution will be published as soon as the corrections are made. After the final review the editorial board classifies the contribution according to valid typology of publications for bibliographies in the COBISS system (original scientific article, review article, short scientific article, professional article, other).

Language – The contributions will be published in Slovenian with an English summary. In cases of foreign contributors, the translation will be provided by the editorial board. Exceptionally the contribution can be published in a foreign language with a Slovenian summary.

Manuscripts – Manuscripts should be submitted in digital form (*.doc, *.docx or *.rtf). All special characters (umlauts, acute and grave accents, square brackets, etc.) should be marked in yellow.

The contributions can contain illustrations and plates, which should be numbered in sequence and include bilingual captions (title or explanation) in English and Slovenian.

Structure – the contribution should include a title (possibly subtitles), author's name and surname, institution name address and e-mail. Also an abstract (up to 600 characters), keywords and summary (up to 1800 characters), which shall be translated into Slovenian, should be added. In case of longer contributions the summary can contain up to 5400 characters.

Illustrations – line and black&white drawings should be submitted in resolution of 600 dpi, grayscale in 350 dpi. All illustrations should not exceed the width of 16,5 cm (two-column figure) or 7,65 cm (one-column figure), the height should not exceed 20,5 cm. Accepted formats are TIFF, JPG or PDF.

References and bibliography – References should be numbered and appear as footnotes at the bottom of the page. Text in footnotes should be limited to author's commentaries or extended explanations, not citations.

Citations – Literature should be cited within the body of the text. A citation contains the author's surname and year of publication with possible reference to page number or illustration.

Example:

(Erič 1994) or (Erič 1994, 74–78).

(Aitken *et al.* 1993, 50).

The list of bibliography should appear at the end of the contribution with authors listed alphabetically. Publications of one author are listed from older to new, if more than one appeared in the same year they should be marked with small block letters (a, b, c, ...). Author's surname and name initial(s) should be given in capitals, whereas year of publication, title, publication number and page numbers are given in normal print.

Titles of monograph journals and serial publications are given in italics. When citing monographs the place of publication should be included.

Abbreviations are not necessary for journals and edited volumes.

Example:

ERIČ, M. 1994, Nova datiranja deblakov in čolnov. – *Arheo* 16, 74–78.

AITKEN, M. J., C. B. STRINGER, P. A. MELLARS (ur./ed.) 1993, *The Origin of Modern Humans and the Impact of Chronometric Dating*. Princeton.

When citing a paper in an edited volume in a series a full citation is needed.

Example:

NELSON, D. E. 1997, Radiokarbonsko datiranje kosti in oglja iz Divjih bab I. –V/In: I. Turk (ur./ed.), *Moustérienska „koščena piščal“ in druge najdbe iz Divjih bab I v Sloveniji*. – Opera Instituti archaeologici Sloveniae 2, Ljubljana, 51–64.

If the author is known web sources should be included in the list of references.

Example:

(Zörer 1855, 65)

ZÖRER, J. 1855, Od zarezanja živih graj ali mej. – Kmetijske in rokodelske novic 12/64-67; (<http://www.dlib.si/v2/Details.aspx?URN=URN:NBN:SI:DOC-97TQLV05>).

If the author is not known or if the source represents the work of a group or organization it should be cited as Web 1, Web 2 etc.

Example:

(Web 1)

Splet 1/Web 1: <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200816&stevilka=485> (accessed 5.5.2010).