

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 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 provenienc 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.

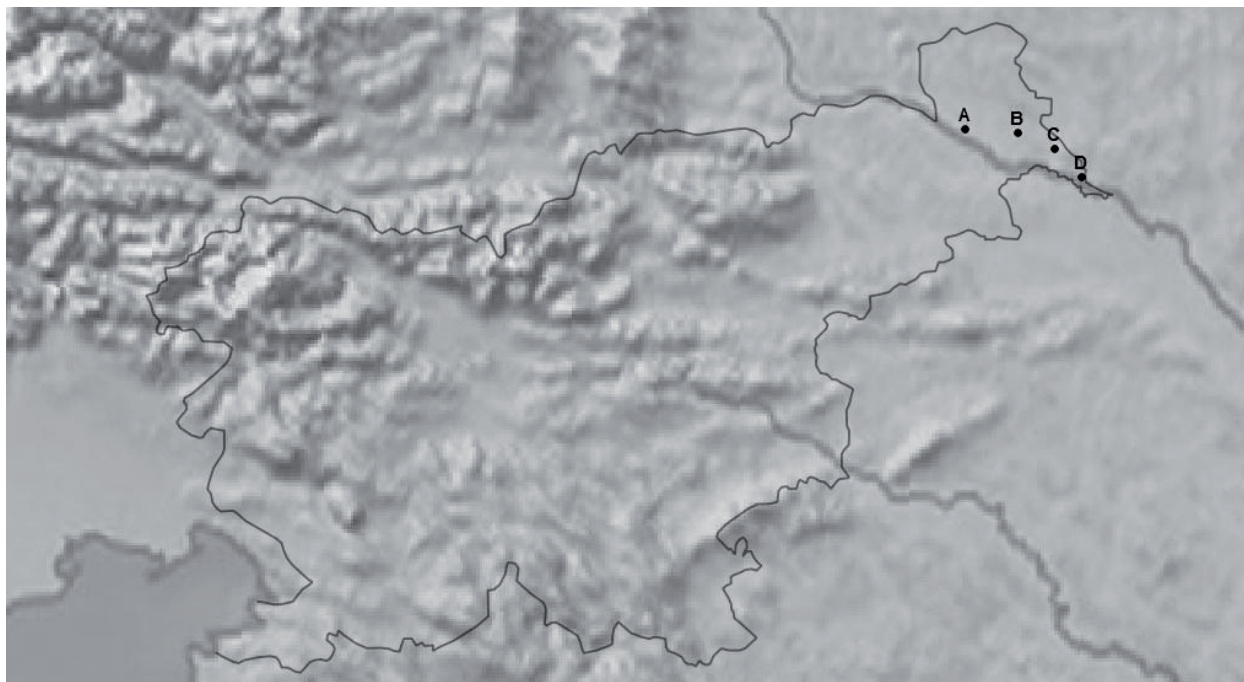
Slovenski arheologi provenienco surovin za izdelavo kamenih orodij večinoma iščejo s pomočjo makroskopskih analiz (Buser 1980; isti 1987; Lubšina Tušek 1993, 50–51; Turk, Turk 2004a, 54–55; ista 2004b, 180–181; Kavur 2005a; isti 2005b; isti 2010a, 56, 58; isti 2010b, 148–150; isti 2011, 50; isti 2012, 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 drobnozrnatih kamnin namreč težka 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). Zanesljivejše dokaze 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 predstavljeno raziskavo.

S cilji identifikacije provenienc 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 – H₂ – 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 (analiziranih predmetov 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).

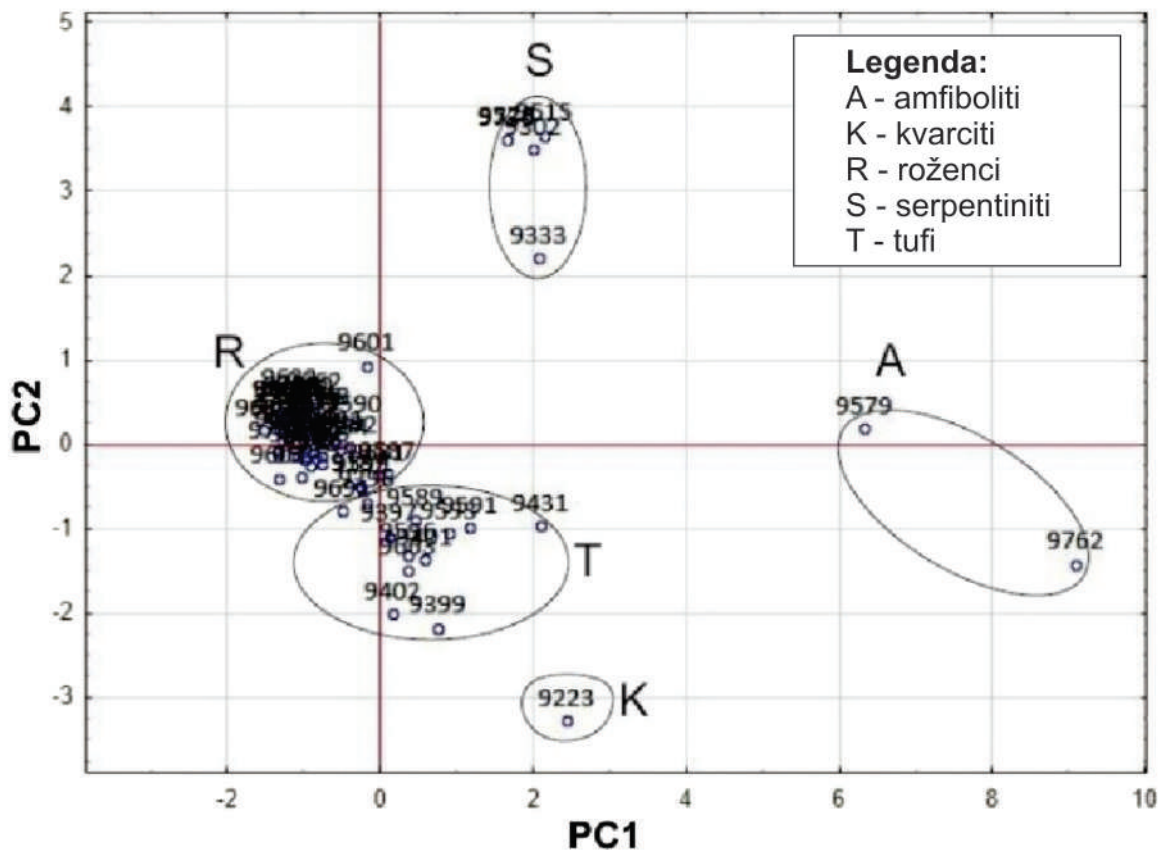
Kalinovnjek pri Turnišču

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.



Slika 3. Razsevni diagram analiziranih artefaktov z najdišča Kalinovnjek pri Turnišču (PC1: Si, Al, K, Fe, Ca, Ti; PC2: Mn, Cl, P, S, Mg). Komponenti pojasnita 71,46 % variance.

Figure 3. Scatterplot diagram of the analysed artifacts from Kalinovnjek near Turnišče (PC1: Si, Al, K, Fe, Ca, Ti; PC2: Mn, Cl, P, S, Mg). Total variance explained 71.46 %.

S kombinacijo analize glavnih komponent (PCA) in diskriminantne analize smo identificirali pet 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 predvsem glede na videz. Prvi namreč vsebujejo več vključkov hipidiomorfnih in ksenomorfnih zrn različnih barv, izmed katerih so nekatera tudi močno kloritizirana ter se kemično nekoliko razlikujejo v primerjavi s čistim rožencem, saj vsebujejo večje količine aluminija (Al) in kalija (K). 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. Ugotovili smo, da so

prebivalci naselbine v Kalinovnjeku uporabljali: amfibolite (slika 3: A), kvarcite (slika 3: K), serpentinite (slika 3: S), šest vrst okremenjenih tufov (slika 3: T) in 23 vrst rožencev (slika 3: R). Z združevalno oziroma klustersko analizo smo ugotovili statistično ujemanje določenih naših rezultatov z določenimi rezultati XRF analiz iz referenčnih zbirk (Biró, Dobosi 1991; Biró *et al.* 2000).

Izkazalo se je, da so prebivalci naselbine v Kalinovnjeku odbitkovna orodja izdelovali iz okremenjenih tufov, ki so prihajali iz okrog 300 km oddaljenega območja Severnomadžarskega hribovja (slika 4: 1), okrog 150 km oddaljene planine Meček (slika 4: 2) in še neznanih lokacij, kvarcitov, ki so morda prihajali iz okrog 30 km oddaljenega severozahodnega Goriškega (slika 4: 5), ter

ročencev, 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 neznanе 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 potoka 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 ročencev, 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 rožencev 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 klasterko 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 Goričkega (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 neznanе 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 gorici (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 preliminarnih 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 analizadorja, 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 prehistoric archaeological sites in Prekmurje (Pod Kotom-sever near Krog, Kalinovnjek near Turnišče, Gornjenjive 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. LENAŽ, 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. LENAŽ, 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.
- ŠAVEL, 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.
- ŠAVEL, I., B. KERMAN 2008, *Gornje njive pri Dolgi vasi*. – Zbirka Arheologija na avtocestah Slovenije 6, Ljubljana.
- ŠAVEL, 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.

Spletne 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).