

KEMIJSKE ANALIZE PREDMETOV IZ GROBOV POZNE BRONASTE IN STAREJŠE ŽELEZNE DOBE POHORSKEGA PODRAVJA

Rafko Urankar, Matija Črešnar

Pri raziskavah starejše železne dobe v Pohorskem Podravju se porajajo vprašanja o odnosu tradicionalnih elementov, ki se ohranjajo kot prežitki predhodnega obdobja kulture žarnih grobišč (npr. sežig umrlih in nekatere oblike keramičnih posod), do novosti, ki se začnejo pojavljati z začetkom halštatske dobe (npr. pojav gomil, nove oblike keramičnih posod in kovinskih izdelkov). Pri obravnavi kovinskih predmetov so se ob tipoloških študijah uveljavile tudi arheometrične raziskave. Z njimi pridobimo dodaten uvid, ki skozi prizmo kemijske sestave najdb odsluži tehnološko znanje metalurgov in obrtnikov, nakazuje vire surovin, trgovske stike ipd.

S temi predpostavkami smo si zadali cilj, da s pilotno študijo analiziramo nekaj predmetov iz dveh obdobji zgodnjega 1. tisočletja pr. n. št. – iz obdobja mlajše kulture žarnih grobišč (Ha B) in zgodnje faze starejše železne dobe (Ha C). Kemijske analize predmetov iz teh kronoloških stopenj so bile pri nas za razliko od številnih analiz predmetov iz depojev, datiranih predvsem v stopnji Bd D in Ha A/B¹, izvedene mnogo redkeje².

Analize kemijske sestave vzorčenih predmetov smo na eni strani želeli primerjati med seboj, po drugi strani pa ugotoviti podobnosti in razlike z do sedaj opravljenimi analizami na Slovenskem.³

METODA IN VZORCI

Predmeti so bili analizirani z metodo ICP-AES z atomskim emisijskim spektrometrom *PE OPTIMA 3100RL* na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije v Ljubljani⁴. Vzorci so bili odvzeti z vrtanjem, nato pa so bile po postopku, ki je bil uveljavljen pri analizah slovenskih depojskih najdb, opravljene

CHEMICAL ANALYSES OF THE LATE BRONZE AND EARLY IRON AGE GRAVE GOODS FROM POHORSKO PODRAVJE

Rafko Urankar, Matija Črešnar

The investigations of the Early Iron Age in Pohorsko Podravje have raised a number of questions, among them also those regarding the relationship between the traditional elements that survived from the previous, Urnfield culture period (for instance cremation of the dead and certain pottery forms) and the novelties that appeared at the onset of the Hallstatt period (such as burial under tumuli, new forms of pottery and metal artefacts). These questions can be tackled with typological studies, but also with the help of archaeometric analyses, of which those examining the chemical composition of artefacts offer an additional insight into the technological knowhow of the metallurgists and artisans of the day, the sources of the raw materials, the trade links and so forth.

A pilot study of the chemical composition was launched and included the analysis of several artefacts from two periods of the early 1st millennium BC: the Late Urnfield culture period (Ha B) and the early phase of the Early Iron Age (Ha C). As opposed to the many analyses of hoard finds dated primarily to BA D and Ha A/B¹, the artefacts from these two periods have been subjected to chemical analyses in considerably lower numbers².

The goal of the pilot study was to compare the chemical composition of the sampled artefacts among themselves and with the composition of the objects from Slovenian archaeological sites that have already been analysed³.

METHOD AND SAMPLES

The artefacts were analysed using the ICP-AES method with the *PE OPTIMA 3100RL* atomic emission spectrometer at the Institute of Metals and Technology in Ljubljana⁴. Samples were taken by drilling and later analysed for the Cu, Sn, Pb, As, Ni, Sb, Co, Bi, Ag, Fe, Mn and Zn content following

¹ Trampuž Orel et al. 1996; Trampuž Orel 1999.

² Trampuž Orel et al. 2016, 304–310.

³ Glej npr. Trampuž Orel et al. 1996; Trampuž Orel, Urankar 2009; Črešnar 2009; isti 2010; Urankar 2012; Trampuž Orel et al. 2016.

⁴ Za pomoč pri analizi se zahvaljujemo dr. Nevi Trampuž Orel in dr. Borisu Orlu. Analizo je opravila dr. Aleksandra Kocijan.

¹ Trampuž Orel et al. 1996; Trampuž Orel 1999.

² Trampuž Orel et al. 2016, 304–310.

³ See e.g. Trampuž Orel et al. 1996; Trampuž Orel, Urankar 2009; Črešnar 2009; id. 2010; Urankar 2012; Trampuž Orel et al. 2016.

⁴ We thank Neva Trampuž Orel and Boris Orel for their help in the analyses, and Aleksandra Kocijan for performing them.

analize za sledeče elemente: Cu, Sn, Pb, As, Ni, Sb, Co, Bi, Ag, Fe, Mn in Zn.⁵

V analizo je bilo vključenih 21 predmetov oz. njihovih odlomkov iz grobov (*pril. 1*), ki jih kronološko delimo v dve skupini. V prvo skupino sodijo predmeti iz grobov ruške skupine kulture žarnih grobišč, iz grobišča Ruše II, gr. 29 (2)⁶, Maribor – Mladinska ulica (1)⁷, Pobrežje, gr. 31 (5, 6 in 7)⁸, Gračič pod Brinjevo goro, gr. 30 (4) in 31 (3)⁹. V drugi skupini so najdbe z grobišč, ki pripadajo utrjeni naselbini na Pošteli, in sicer iz grobov na planoti Habakuk (Lepa Ravna), plani grob 5 (8, 9) in gomila 38 (12, 13)¹⁰, ter najdbe iz gomile 14 iz Pivole (10, 11)¹¹, ki sodijo v starejšo železno dobo. Ker je običaj v obeh časovnih stopnjah vključeval sežig preminulih oseb v njihovi opravi, so bili predmeti pogosto razlomljeni in poškodovani od ognja.

Rezultate kemijskih analiz naše raziskave smo nameravali v prvi vrsti primerjati z rezultati dosedanjih raziskav, ki kažejo, da je kemijska sestava predmetov pogojena tudi kronološko. Pri tem smo želeli preveriti, kako se grobne najdbe z razmeroma jasnimi datacijami vključujejo v dosedanje shemo, ki je vzpostavljena predvsem na velikem številu analiz predmetov iz depojev kulture žarnih grobišč.

Pri izbiri gradiva za analizo pa smo si zastavljali tudi druga vprašanja. Na podlagi najdiščnih okoliščin smo predvidevali, da bi lahko nekateri bronasti odlomki, ki so bili del ene grobne celote, pripadali istim predmetom. A ker so stične ploskve med posameznimi odlomki v nekaterih primerih tako poškodovane, da jih ni mogoče nedvomno sestaviti, smo pri izbranih kosih to želeli preveriti tudi z analizo kemijske sestave. To velja za dele ovratnic iz groba 30 z Gračiča pod Brinjevo goro in tudi z grobišča v Mariboru, za dele ovratnice in zapestnic iz groba 31 s Pobrežja ter morda tudi zapestnice iz gomile 38 na Habakuku pod Poštelo¹². Nadalje smo raziskovali sestavo podobnih predmetov, ki so bili najdeni v paru oz. skupaj v enem grobu. Takšni so odlomka dveh pseudo-tordiranih ovratnic iz groba 31 z Gračiča pod Brinjevo goro, ki sta bili spojeni s spojko in par masivnih zapestnic iz planega groba 5 na Habakuku.¹³

the procedure already employed in the analysis of the Slovenian hoard finds⁵.

The analysis involved 21 objects or fragments from graves (*app. 1*) that fall into two chronological groups. The first group comprises items from the Urnfield culture graves of the Ruše group: Grave 29 of the Ruše II cemetery (2)⁶, Maribor – Mladinska ulica (1)⁷, Grave 31 at Pobrežje, (5, 6 and 7)⁸, Graves 30 (4) and 31 (3)⁹ from Gračič below Brinjeva gora. The second group consists of Early Iron Age objects from the cemeteries associated with the fortified settlement on Poštela: flat Grave 5 (8, 9) and Tumulus 38 (12, 13) on the Habakuk plateau (Lepa Ravna)¹⁰ and goods from Tumulus 14 at Pivola (10, 11)¹¹. The burial rite in both periods was cremation of the deceased in their costume, which means that the goods are frequently fragmented and fire damaged.

The results of the chemical analyses were first compared with those of the analyses performed previously. The comparison showed that the chemical composition had a chronological dimension too, i.e. differed from period to period. With this in mind, we proceeded to verify how the grave goods with relatively clear dates fall into the current chronological framework mainly based on the numerous analyses of the hoard finds from the Urnfield culture period.

The choice of objects for analysis was also guided by other considerations. The archaeological context in some cases indicated that certain bronze fragments from the same grave may have formed part of single objects, but the fractures were damaged beyond positive reconstruction. We performed chemical analysis to verify this possibility on select fragments: torque fragments from Grave 30 at Gračič and the cemetery in Maribor, torque and bracelet fragments from Grave 31 at Pobrežje and bracelet fragments from Tumulus 38 at Habakuk below Poštela¹². We also examined the composition of similar objects found in pairs or together in a single grave: two fragments of two pseudo-twisted torques from Grave 31 at Gračič below Brinjeva gora that were fastened together with a clamp and a pair of solid bracelets from flat Grave 5 at Habakuk.¹³

⁵ Trampuž Orel et al. 1996, 169–170.

⁶ Pahič 1957, T. 11: 2.

⁷ Müller-Karpe 1959, T. 118: 48.

⁸ Pahič 1972, T. 6: 14, 15, 17.

⁹ Glej tu Koprivnik, Gračič, T. 11: 10; 12: 1.

¹⁰ Teržan 1990, T. 56: 1–2; 61: 3.

¹¹ Glej tukaj: Strmčnik Gulič, Teržan, T. 16: 2, 13.

¹² Müller-Karpe 1959, T. 118; Pahič 1972, T. 6: 14, 15, 17; Teržan 1990, T. 61: 3.

¹³ Teržan 1990, T. 56: 1–2; glej tu Koprivnik, Gračič, T. 12: 1.

⁵ Trampuž Orel et al. 1996, 169–170.

⁶ Pahič 1957, Pl. 11: 2.

⁷ Müller-Karpe 1959, Pl. 118: 48.

⁸ Pahič 1972, Pl. 6: 14, 15, 17.

⁹ See here Koprivnik, Gračič, Pls. 11: 10; 12: 1.

¹⁰ Teržan 1990, Pls. 56: 1–2; 61: 3.

¹¹ See here Strmčnik Gulič, Teržan, Pl. 16: 2, 13.

¹² Müller-Karpe 1959, Pl. 118; Pahič 1972, Pl. 6: 14, 15, 17; Teržan 1990, Pl. 61: 3.

¹³ Teržan 1990, Pl. 56: 1–2; see here Koprivnik, Gračič, Pl. 12: 1.

REZULTATI

Rezultati kemijskih analiz vzorčenih primerkov so prikazani v *pril. 1*. Rezultate, ki na podlagi arheoloških indecev in podobne kemijske sestave pripadajo istemu predmetu, smo združili. Tako smo v nadaljnjih korakih raziskave med seboj primerjali rezultate analiz 13 predmetov. Za predmete, ki so sestavljeni iz več kosov, v nadaljnji obdelavi uporabljamo povprečne vsebnosti elementov, ki so izračunane iz rezultatov analiz pripadajočih odlomkov.

Natančnejši pogled na *pril. 1* razkrije, da seštevke vsebnosti vseh analiziranih elementov pri nobenem predmetu ne doseže 100 %. Pri manjših odstopanjih (± 2 %) to ni tako problematično, pri naših analizah pa je v dveh primerih seštevke zgolj okrog 76 %, kar kaže na določene probleme v postopku od vzorčenja do analize. Še enkrat bi poudarili, da gre pri vseh predmetih za relativno drobne kose, ki so bili najdeni v žganih grobovih, kar pomeni, da so bili skupaj s pokojnikom sežgani v ognju, ki doseže tudi preko 700 stopinj Celzija. To povzroči v kovini poškodbe, ki jih postdepozicijski procesi v zemlji še dodatno poslabšajo. Tako se pri odvzemu vzorcev velikokrat soočamo z izredno poroznimi predmeti, ki so tudi v notranjosti korodirani. Običajno takih predmetov ne vzorčimo, saj so rezultati analiz nezanesljivi, ker zaradi drobnih zrn iz vzorca ne moremo odstraniti oksidiranih delcev in nečistoč. Tako vzorec kontaminirajo tudi elementi, katerih vsebnosti ne merimo (O, C, Ca), ker jih v zlitini ni oz. so prisotni v zanemarljivih količinah, zato jih tudi pri seštevku ne moremo upoštevati. V naši raziskavi smo analize korodiranih vzorcev kljub vsemu upoštevali, saj so analize predmetov iz grobov redke, zato jih je vredno zajeti. Morda zakonitosti, ki se kažejo pri metalurških procesih, veljajo tudi pri sežigu predmetov in se zato nekatera razmerja med elementi v zlitini bistveno ne spremenijo.¹⁴

Za zanesljivo statistično obdelavo je 13 predmetov razmeroma malo, vendar se tudi pri takšnem številu že lahko pokažejo določene značilnosti, ki so pogojene tehnološko in/ali kronološko. Obdelava analiz je v večji meri osredotočena na elemente, ki so na podlagi dosedanjih raziskav pokazali vzorce, ki omogočajo verodostojno razlago.

Kositer

Vsi predmeti so bronasti, kar pomeni, da imamo opraviti z zlitinami. Analize so pokazale, da gre predvsem za zlitine bakra in kositra, v enem primeru (11) pa lahko domnevamo tudi dodajanje svinca, s čimer se bomo ukvarjali v nadaljevanju.

RESULTS

The results of the chemical analyses are shown in *app. 1*. Some have been joined due to the archaeological context indicating the pieces formed a single artefact and due similar chemical composition, which narrowed the items to be compared to 13. For the objects composed of several pieces, we used the average element contents.

A more detailed look at *app. 1* reveals that the sum of element contents never reached 100%. This does not pose a great problem for minor deviations (± 2 %). In contrast, the sum for two objects is around 76%, which indicates problems in the process of sampling and analysing. It should be stressed that the sampled pieces are relatively small and recovered from cremation burials, i.e. exposed to temperatures possibly exceeding 700°C. This damages the metal, which the post-depositional processes make even worse, often producing highly porous artefacts that are corroded through. Such artefacts are usually not sampled as the inability to remove the oxidised particles and impurities due to very small grains makes for unreliable analysis results. The sample may also be contaminated by elements not measured (O, C, Ca), because they are either absent in the alloy or only present in negligible amounts and cannot be taken into account in the sum. Given that chemical analyses of grave goods are rare, however, we decided to include the results for the corroded samples as well; it is possible that the laws governing metallurgic processes also apply when exposing finished objects to fire, leaving some element ratios in the alloy largely unchanged¹⁴.

Thirteen objects represent a small sample for statistical analysis, though sufficient to indicate certain characteristics tied either to technology or dating. The processing of the analysis results largely focuses on the elements that have been proven in previous analyses to enable a reasonable interpretation.

Tin

All analysed objects are of bronze, i.e. made of copper alloys. Analyses have shown they are primarily alloys of copper and tin, in one example (11) we may presume the addition of lead.

Copper is a relatively soft metal with a high melting point. The addition of tin lowers its melting point, on the one hand, and makes the alloy harder and hence more suitable for working, tool production in particular, on the other. The archaeometric research of the hoard finds from Slovenia has shown that founders from Ha A onwards used alloys with

¹⁴ Pernicka 1999, 164–165.

¹⁴ Pernicka 1999, 164–165.

Slika 1. Pogostnost vsebnosti kositra v analiziranih predmetih.

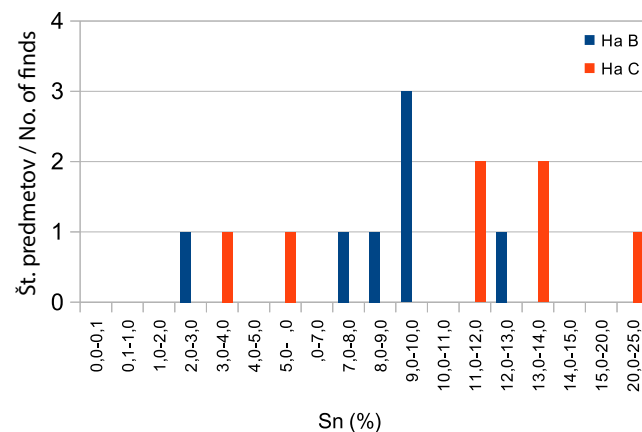
Figure 1. Tin content in the analysed objects.

Baker je relativno mehka kovina z visokim tališčem. Z dodajanjem kositra se na eni strani zniža tališče zlitine, nova kovina pa je trša in zato primernejša predvsem za izdelavo orodij. Arheometrične raziskave slovenskih depojskih najdb so pokazale, da so na našem prostoru livarji že v Ha A obdobju uporabljali zlitine z različno vsebnostjo kositra, odvisno od tega, kakšni uporabi so bili namenjeni predmeti, ki so jih izdelovali¹⁵. Takih razlik v primeru analiziranih predmetov iz grobov ni bilo pričakovati, saj gre večinoma za nakit oz. predmete, ki so služili kot okras, trdota pa ni lastnost, ki bi bila pri teh predmetih odločujoča.

Analize so pokazale, da predmeti vsebujejo med 2 in 24 % kositra (*sl. 1*). Povprečno vsebnost (9,94 %) bi lahko vzporejali s trendom, ki se kaže tudi pri analizah slovenskih Ha B depojev.¹⁶ Vendar je taka hitra primerjava lahko neprimerna in zavajajoča, saj večina analiziranih predmetov iz tega obdobja prihaja iz depoja Kanalski vrh. Ta je tako po svoji sestavi kot tudi po kemijski sliki predmetov specifičen, najdišče pa ob tem leži v ne le geografsko, temveč tudi kulturno nekoliko oddaljenem prostoru.¹⁷ Poleg tega so naši predmeti razdeljeni v dve časovni skupini. Če bi prvo zaradi pripadnosti istemu časovnemu horizontu (Ha B) še lahko vzporejali z depojskimi najdbami, pa je druga že toliko mlajša, da lahko predvidevamo spremembe pri prenosu metalurškega znanja na eni strani in trgovskih stikov na drugi.

Če naše analizirane predmete kronološko razdelimo, vidimo, da večji del predmetov iz Ha B (*sl. 1: modra*) vsebuje med 7,6 % in 9,3 % kositra. Odstopata le gladka tanka ovratnica iz groba 30 z Gračiča (4), z vsebnostjo 2,57 % in gladka, a bolj masivna ovratnica iz groba 29 iz Ruš II (2), ki vsebuje 12,31 % kositra. Prav slednja izstopa tudi po vsebnosti svinca (1,42 %), saj noben od drugih predmetov iz tega obdobja ne presega 1 %.

Predmeti, ki jih datiramo od prehodnega obdobja Ha B3/C1 (oz. Ha C0) naprej (*sl. 1: rdeča, označeno kot Ha C*), kažejo precej drugačno sliko.¹⁸ Pri večini vsebnost kositra presega 11 %. Ob tem le glavič meča (10) in jermenski razdelilec konjske opreme (11) iz groba bojavnika iz gomile 14 kažeta nižjo vsebnost kositra (*pril. 1: 10–11*).



varying degrees of tin, depending on the intended function of their products¹⁵. We could not expect such differences for the objects in this analysis, which are predominantly pieces of jewellery or decorative items where hardness is not a decisive factor.

Analyses have shown that the objects contained between 2 and 24% of tin (*fig. 1*). The average content (9.94%) is similar to that observed in the Slovenian Ha B hoards¹⁶, though such comparison could be unsuitable and misleading as most of the analysed objects from this period come from the Kanalski vrh hoard. Both in the array of forms and their chemical composition, this hoard is specific and also different in its geographic and cultural attribution¹⁷. The objects of our analysis are attributable to two chronological groups; while the first one dates to the same phase (Ha B) and may still be compared with the hoard finds, the second one is later to the point that we may presume changes in the transfer of metallurgic knowhow and in the trade links.

Chronologically, most of the objects from Ha B (*fig. 1: blue*) contain between 7.6% and 9.3% of tin with the exception of the plain thin torque from Grave 30 at Gračič (4) with 2.57% and a plain but thicker torque from Grave 29 at Ruše II (2) with 12.31% of tin. The latter also stands out in its lead content (1.42%), as all other objects of the period contain below 1% of lead.

The items dating from the Ha B3/C1 (oz. Ha C0) transition period onwards (*fig. 1: red, marked as Ha C*) show a considerably different picture¹⁸. Most exceed 11% in tin content, with the exception of the sword pommel (10) and horse gear strap distributor (11) from the warrior grave in Tumulus 14 at Pivola (*app. 1: 10–11*).

¹⁵ Trampuž Orel et al. 1996, 182–187; Trampuž Orel et al. 2016, 304–308.

¹⁶ Trampuž Orel et al. 1996, Tab. 6; sl. 1; Trampuž Orel et al. 2016, 308–311.

¹⁷ Trampuž Orel, Heath 2001.

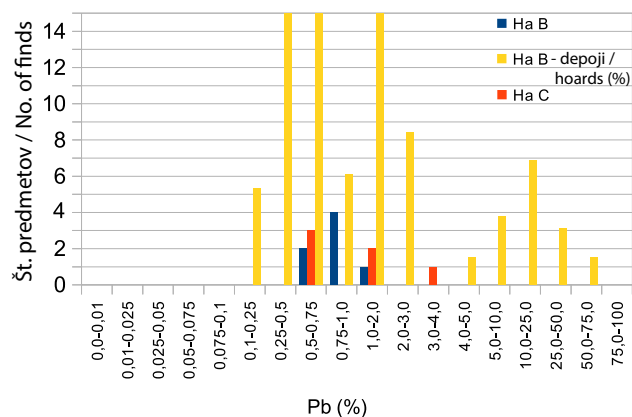
¹⁸ Opomniti velja, da so prav analize teh predmetov lahko nekoliko vprašljive, saj analiza vseh elementov pri več predmetih ne doseže niti 90 % (glej *pril. 1*).

¹⁵ Trampuž Orel et al. 1996, 182–187; Trampuž Orel et al. 2016, 304–308.

¹⁶ Trampuž Orel et al. 1996, Tab. 6; fig. 1; Trampuž Orel et al. 2016, 308–311.

¹⁷ Trampuž Orel, Heath 2001.

¹⁸ We should note that the analyses of these objects may be questionable as the sum of all elements for some of the artefacts is below 90% (see *app. 1*).



Svinec

Poleg kositra je tudi svinec za livarje pomembna kovina, ki so jo bakru dodajali zaradi zmanjšanja tališča zlitine. S tem je bilo ravnanje z litino lažje, vliвали so lahko oblikovno zahtevnejše predmete. Vendar pa ni povsem gotovo, da je bil svinec vselej dodan namerano, saj v rudi bakrove minerale velikokrat spremljajo tudi svinčevi. Ker je torej svinec v manjših količinah skoraj vedno prisoten v bakrovih zlitinah, je meja med naravnim in namensko dodanim svincem v zlitini pogosto težko ugotoviti. V našem primeru večina predmetov vsebuje do 1,5 % svinca. Ob tem bi lahko dodali še, da so starejši predmeti (sl. 2: modra) vsi vsebovali svinec v nizki količini, medtem ko so zlitini mlajših predmetov (sl. 2: rdeča) v nekaterih primerih svinec morda dodajali. Najbolj odstopa jermenski razdelilec konjske opreme, kar morda govori o tem, da gre za importa in torej izdelka drugega metalurškega kroga.

Glede na število analiziranih predmetov je rezultate težko vzporejati z analizami depojskih najdb (sl. 2: rumena; zaradi velike razlike v številu analiziranih predmetov so rezultati teh predstavljeni v odstotkih), kljub temu pa se le zdi, da gre za podobno sliko vsebnosti kot pri predmetih iz Ha B depojev, kar lahko sklepamo na podlagi odsotnosti najdb z najnižjimi vsebnostmi svinca (pod 0,1 %).

Železo

Količina železa v zlitini je odvisna predvsem od tehnologije pridobivanja surovega bakra¹⁹. Sodi torej med sledne prvine, ki ne kažejo na izvor bakrove rude, temveč na razvojno stopnjo tehnološkega postopka. V povprečju predmeti vsebujejo 0,11 % železa, vsebnosti pa se gibljejo med 0,02 in 0,5 % (glej sl. 3), kar je podobno kot pri slovenskih depojskih najdbah²⁰. Med analiziranimi predmeti ni nobenega, pri katerem bi vsebnost presegala 0,5 %. Tovrstni predmeti se v slovenskih depojskih najdbah sicer pojavljajo v manjšem

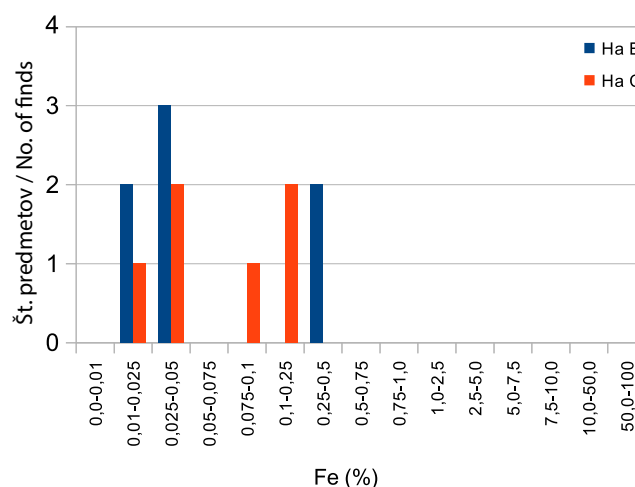
Lead

This was another important metal for founders. It was added to copper to lower the melting point of the alloy and thus facilitate handling and casting of more elaborate forms. In small amounts, lead is consistently present in copper alloys as copper minerals are often associated with those of lead in the ore; it is thus often difficult to tell whether the lead in a copper alloy was naturally present or intentionally added. Most objects in our analysis contain up to 1.5% of lead. The early items (fig. 2: blue) all have low lead content, while lead in some late objects (fig. 2: red) may have been added to the alloy. This is particularly true of the horse gear strap distributor, which may suggest it is an import, i.e. product of a different metallurgic circle.

Because the number of analysed items is so low, it is also difficult to compare them to the results for the hoard finds (fig. 2: yellow; results are given in percent because of the great difference in the number of objects analysed), though the absence of items with the lowest lead content (below 0.1%) does suggest a similar picture as with the Ha B hoards.

Iron

Iron content in the alloy mainly depends on the technology of extracting raw copper¹⁹. It is one of the trace elements that indicate not the origin of the copper ore, but rather the stage of technological development. The analysed objects show 0.11% iron content on average, with values ranging from 0.02 to 0.5% (see fig. 3), which is similar to those of the Slovenian hoard finds²⁰. The analysed objects include none with higher than 0.5% iron content. In hoards, such items are present in small numbers, which may be why they are absent in our analyses that involves a considerably smaller sample.



Slika 2. Pogostnost vsebnosti svinca v analiziranih predmetih. **Figure 2.** Lead content in the analysed objects.

Slika 3. Pogostnost vsebnosti železa v analiziranih predmetih. **Figure 3.** Iron content in the analysed objects.

¹⁹ Pernicka 1999, 165–166.

²⁰ Trampuž Orel et al. 1996, Tab. 14; sl. 8.

¹⁹ Pernicka 1999, 165–166.

²⁰ Trampuž Orel et al. 1996, Tab. 14; fig. 8.

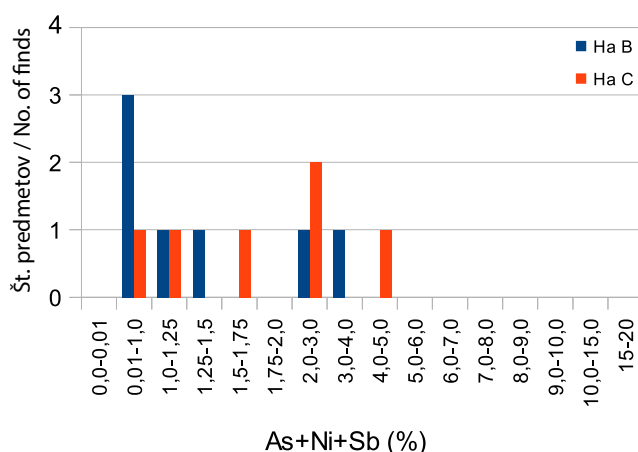
deležu, ki pa v našem primeru morda ni zaznaven zaradi premajhnega števila opravljenih analiz.

Arzen, nikelj in antimon

Bakrove rude imajo različno mineralno sestavo, bakrove minerale pa spremljajo še drugi kovinski minerali. Pri taljenju rude tako v zlitino preidejo tudi druge kovine, ki so sestavni del bakrovega minerala (npr. v tetraedritu, tenantitu). Če ne gre za polimetalno rudišče, je količina spremljajočih mineralov relativno majhna. Zato govorimo o nečistočah v bakru, ki lahko kažejo na uporabljeno vrsto rude.

Pogostnost seštevka glavnih nečistoč je prikazana na *sl. 4*. Pri slovenskih depojskih najdbah je v Ha A obdobju bolj pogosta vsebnost do 2 % nečistoč, v Ha B obdobju pa je bolj pogosta vsebnost nad 2 %. Poleg tega v Ha A obdobju najvišja vsebnost nečistoč ne presega 6 %²¹. Tudi pri naših analizah grobnih pridatkov najvišja vsebnost nečistoč ne presega 6 %, vendar pa je zlasti pri mlajših predmetih (*sl. 4: rdeča*) nekoliko bolj pogosta nad 2 %.

Slika 4. Pogostnost seštevka nečistoč v analiziranih predmetih.
Figure 4. Total impurity content in the analysed objects.



Na podlagi razmerij med vsebnostmi arzena, niklja in antimona lahko predmete razdelimo v sedem skupin oz. tipov bakra (glej *sl. 5*), ki so bile opredeljene pri študiji švicarskih predmetov iz različnih časovnih obdobj²². Na enak način so bile analizirane tudi slovenske depojske najdbe.²³ Kljub relativno majhnemu številu analiziranih predmetov se kaže podobnost s kemično sestavo slovenskih depojskih najdb iz Ha B obdobja, kjer prevladuje baker z največjo vsebnostjo antimona (tipa 5 in 6). Zaenkrat je težko predvideti, kakšna ruda je bila uporabljena pri izdelavi teh predmetov. Zaradi nizke vsebnosti nečistoč je baker videti razmeroma čist, kljub temu pa se kažejo vzorci razmerij med elementi, ki bi lahko bili pokazatelji določene rude, če že ne samega rudišča. Žal se vzorec nečistoč v predmetih iz grobov

Arsenic, nickel and antimony

Copper ores come in a variety of mineral compositions, with copper minerals associated with other metal minerals. Smelting introduces other metals into the alloy, which are component parts of the copper mineral (e.g. in tetrahedrite, tennantite). The quantity of these associated minerals is relatively small (unless we are dealing with a polymetal ore deposit) and these impurities may indicate the type of ore.

The total impurity content is shown in *fig. 4*. For the Slovenian hoard finds, the impurities content of up to 2% is more common for Ha A and above 2% for Ha B, while the maximum impurities content does not exceed 6% in Ha A²¹. The impurities content in the grave goods also does not exceed 6%, though it is slightly more commonly above 2% in particular for the later objects (*fig. 4: red*).

The ratios between the arsenic, nickel and antimony contents allow us to distinguish between seven groups of objects or types of copper (see *fig. 5*) as determined in the study of Swiss artefacts from different periods²². The Slovenian hoard finds were analysed using this same criterion²³. In spite of their low number, the analysed grave goods show a similar chemical composition as the Ha B hoard finds, where copper with maximum antimony content predominates (Types 5 and 6). It is as yet difficult to surmise as to what kind of ore was used in the production of these items. Because of its low impurities content, copper appears relatively pure, though certain patterns of impurities ratios might point to a particular ore, if not the ore deposit. Unfortunately, the pattern of impurities in the grave goods corresponds with none of the ore combinations proposed for the Kanalski vrh hoard²⁴, which is chronologically relatively close, but distant in terms of geographical and cultural attribution. This might also suggest that the raw material used in the production of the grave goods in Pohorsko Podravje region comes from a different source than that for the items from Kanalski vrh.

Most of the objects dated to Ha B contain around 1% of impurities, with the average value slightly below 1%. Again standing out are the plain thin torque from Grave 30 at Gračič (4), with 3.50%, and the plain but thicker torque from Grave 29 of the Ruše II cemetery (2) with 2.04%. The former is also the

²¹ Trampuž Orel et al. 1996, 207, *sl. 14*.

²² Rychner, Kläntschli 1995, II, 134.

²³ Trampuž Orel et al. 1996, *sl. 12*; Trampuž Orel et al. 2016, 304–336.

²¹ Trampuž Orel et al. 1996, 207, *fig. 14*.

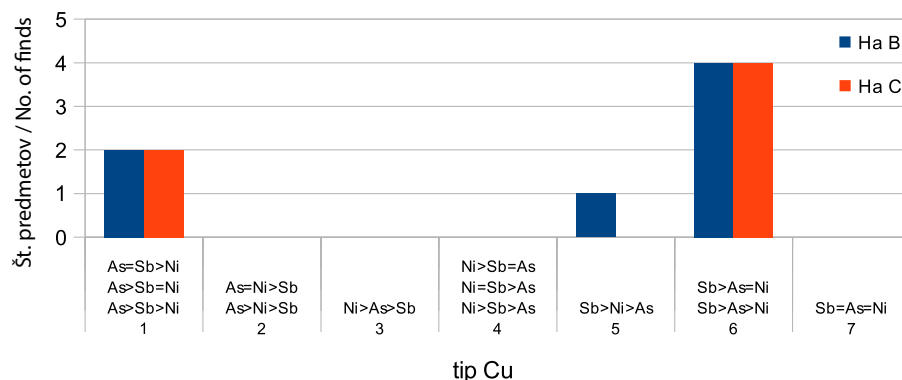
²² Rychner, Kläntschli 1995, II, 134.

²³ Trampuž Orel et al. 1996, *fig. 12*; Trampuž Orel et al. 2016, 304–336.

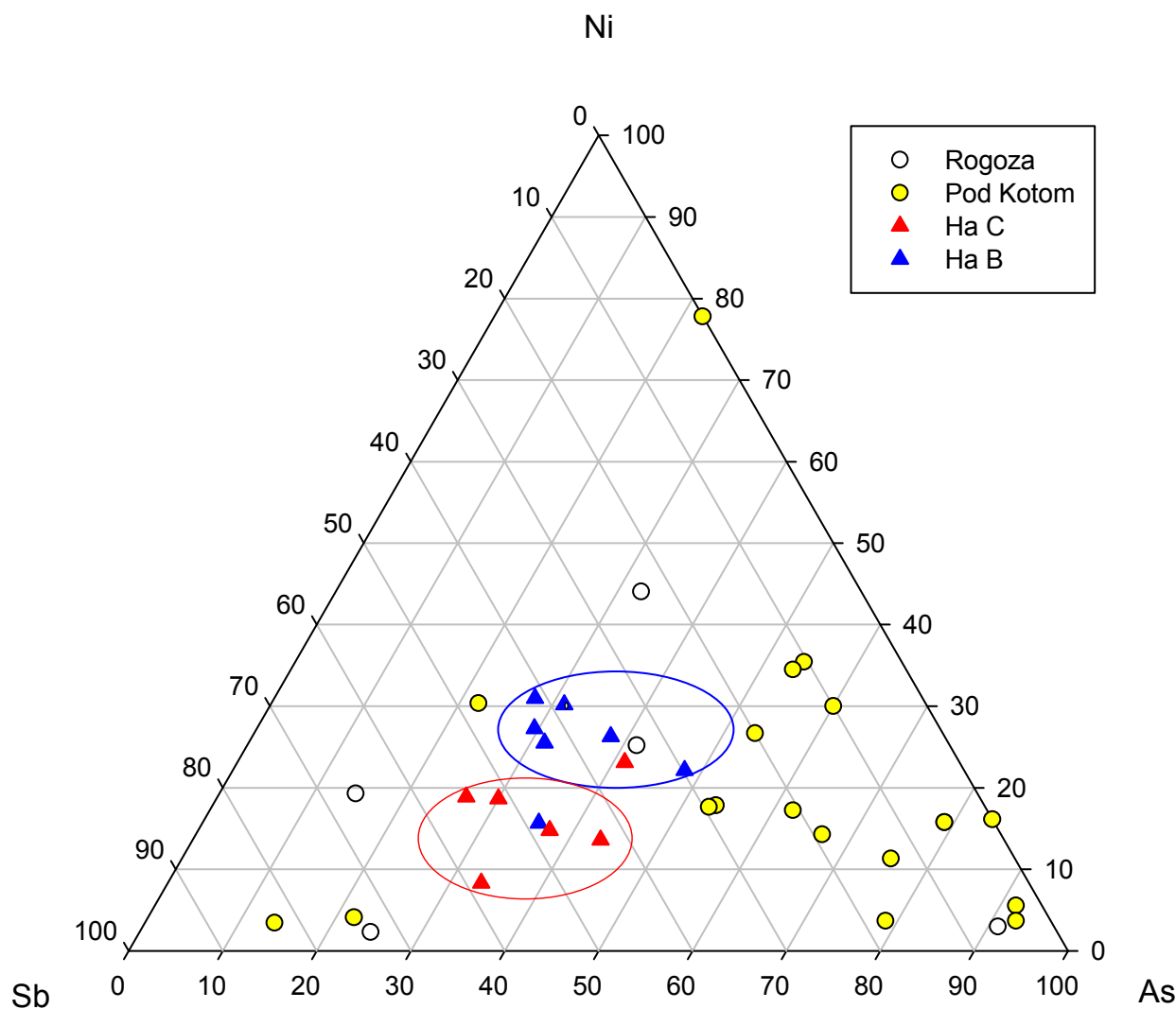
²⁴ Trampuž Orel, Heath 2001, 153, *fig. 11*.

ne ujema z nobeno od predlaganih kombinacij rud v depolu s Kanalskega vrha²⁴, ki je sicer časovno relativno blizu, hkrati pa geografsko in kulturno mogoče preveč oddaljen. Iz tega lahko sklepamo, da surovina za izdelavo predmetov iz podravske grobov prihaja od drugod kot surovina za predmete s Kanalskega vrha.

Večina predmetov, datiranih v Ha B, vsebuje okoli 1 % nečistoč, povprečje pa je nekoliko nižje. Ponovno izstopata le gladka tanka ovratnica iz groba 30 z Gračiča pod Brinjevo goro (4), z vsebnostjo 3,50 %, in gladka, a bolj masivna ovratnica iz



Slika 5. Pogostnost tipov bakra v analiziranih predmetih (tipi bakra po Rychner, Kläntschi 1995).
Figure 5. Types of copper in the analysed objects (copper types after Rychner, Kläntschi 1995).



Slika 6. Primerjava analiziranih grobnih pridatkov iz Pohorskega Podravja z izbranimi najdišči vzhodne Slovenije.
Figure 6. Comparison between the analysed grave goods from the Pohorsko Podravje region with finds from select sites in eastern Slovenia.

groba 29 iz Ruš II (2) z 2,04 %. Ob tem je ovratnica z Gračiča pod Brinjevo goro tudi edini predmet izmed vseh vzorčenih predmetov, ki je bila izdelana iz bakra tipa 5, bakra z vodilnim antimonom, ki mu sledi nikelj. V tip bakra 1 z vodilnim arsenom pa sodita ovratnica iz Mladinske ulice v Mariboru (1) in ena od zapestnic iz groba 31 na Pobrežju (7; *pril.* 1: 8).

Pri predmetih, odkritih v grobovih okoli Pošte, je povprečje vsebnosti nečistoč nekoliko višje, najbolj pa ponovno izstopa jermenski razdelilec konjske opreme (11), ki vsebuje 4,13 % nečistoč. Po razmerjih med nečistočami izstopata dela zapestnic

only of the analysed objects made of Type 5 copper, i.e. copper with leading antimony followed by nickel. The torque from Mladinska ulica in Maribor (1) and one of the bracelets from Grave 31 at Pobrežje (7; *app.* 1: 8) belong to Type 1 copper with leading arsenic.

The items recovered from the graves around Pošta show a slightly higher average impurities content, with the horse gear strap distributor (11) again standing apart most, containing 4.13% of impurities. Standing out in the impurities ratio are the bracelet pieces from Tumulus 38 at Habakuk below Pošta (12 and 13), which belong to Type 1 copper due to the prevailing arsenic (*fig.* 5).

²⁴ Trampuž Orel, Heath 2001, 153, sl. 11.

iz gomile 38 na Habakuku pod Poštelo (**12 in 13**), ki zaradi prevladujočega arzena sodita v tip bakra 1 (*sl.* 5).

Bolj natančen vpogled v razmerja med nečistočami nudi graf na *sl.* 6, kjer so poleg analiz grobnih pridatkov (modri trikotniki – starejši predmeti Ha B, rdeči trikotniki – mlajši predmeti Ha C) predstavljene tudi analize predmetov z naselja Rogoza pri Mariboru (prazni krožci) iz obdobja Ha A²⁵ in depoja z najdišča Pod Kotom - jug pri Murski Soboti (rumeni krožci), ki sodi na prehod stopnje Ha A in Ha B²⁶.

Kljub majhnemu številu analiz se kažejo razlike med mlajšimi in starejšimi grobnimi pridatki, ki jih lahko razdelimo v dve skupini (*sl.* 6: *modra in rdeča*). Poleg tega se obe skupini močno ločita od analiz z najdišča Pod Kotom - jug pri Murski Soboti, kjer med nečistočami večinoma prevladuje arzen, kar kaže na uporabo povsem drugega vira surovine za izdelavo predmetov. Ob tem so vrednosti vzorcev z Rogoze široko razsejane po grafu, kar kaže na uporabo široke palete surovin.

ZAKLJUČEK

Kot je bilo omenjeno že uvodoma, gre pri pričujoči raziskavi za pilotno študijo, ki naj bi pokazala potencial in smiselnost nadaljnjih raziskav. Analiza je bila narejena na le 21 bronastih kosih, ki smo jih tudi na osnovi analize lahko združili v 13 predmetov. Rezultati analiz nekaterih predmetov so zaradi nizke skupne vsote analiziranih elementov lahko vprašljivi, kljub vsemu pa lahko predstavimo nekaj zanimivih dognanj, ki bi jih bilo smiselno upoštevati in pretresti v bodočih obsežnejših študijah.

Eden od problemov je zagotovo izdelava zlitin. Pri tem gre za namerno dodajanje kositra in svinca. Vsebnost kositra ni problematična, saj se v bakrovih rudiščih običajno pojavlja zgolj v sledovih. Drugače je pri svincu, kjer se pogosto postavlja vprašanje mejne vsebnosti, nad katero lahko z gotovostjo trdimo, da gre za namerno dodan svinec, saj je pri izkoriščanju polimetalnih rudišč ta meja lahko tudi precej visoka. Ob tem pa je potrebna previdnost tudi pri razlagi visokih vsebnosti, ko se svinec namreč ne vgradi v kristalno mrežo zlitine, temveč se združuje v kapljice. V teh primerih zlitina ni homogena, posledično pa ni homogen niti vzorec. Tako visokih vsebnosti svinca v naši študiji sicer ni bilo, vendar pa bi lahko vsebnost nad 2 % poleg namernega dodajanja svinca morda pomenila tudi uporabo drugega vira surovine, tj. izkoriščanje katerega od polimetalnih rudišč.

The graph in *fig.* 6 offers a more detailed insight into the ratios between impurities. In addition to the grave goods (blue triangles – Ha B objects, red triangles – Ha C objects), it also shows the analysed objects from the Ha A settlement at Rogoza near Maribor (white circles)²⁵ and the hoard from Pod Kotom - jug near Murska Sobota (yellow circles), the latter dating to the Ha A/B transition²⁶.

In spite of the small number, the results show differences between late and early grave goods (*fig.* 6: *blue and red*). Both groups differ considerably from the analysed objects from Pod Kotom - jug near Murska Sobota, where primarily arsenic predominates among the impurities and indicates the use of a different source of raw material. The values for the analysed objects from Rogoza are scattered across the graph, indicating a wide variety of raw materials.

CONCLUSION

Our analyses of the chemical composition of select objects are a pilot study aimed at emphasising the potential and usefulness of such research in the future. The analysis involved 21 bronze pieces, some of which were deemed conjoining, hence the results pertain to only 13 artefacts. Some results yielded very low total sums of analysed elements and are therefore questionable, but nevertheless interesting and should be considered in the future, more comprehensive studies.

The study addressed several issues. One is the production of alloys with the intentional addition of tin and lead. Tin content is not problematic, as the metal usually only appears in copper ore deposits as a trace element. In contrast, lead content often raises questions pertaining to the minimum lead content above which we can be certain that lead was added intentionally. Lead content can be quite high when exploiting polymetal ore deposits, while we should also be careful in interpreting high lead content when the metal joins into droplets rather than being built into the crystal lattice of the alloy. Such alloy is not homogeneous and neither is the analysed sample. We did not come across very high lead content in our analyses, though the content above 2% might already signify intentional addition of lead, but also the exploitation of a polymetal ore deposit.

²⁵ Črešnar 2009, 52–56.

²⁶ Jereb 2009; Trampuž Orel, Urankar 2009.

²⁵ Črešnar 2009, 52–56.

²⁶ Jereb 2009; Trampuž Orel, Urankar 2009.

Omenjali smo že problem seštevka vsebnosti vseh analiziranih elementov, ki so v nekaj primerih (2, 8, 9, 12, 13) odločno prenizki. To povezujemo z močno korodiranostjo predmetov tudi v notranjosti, ki je posledica izpostavljenosti visokim temperaturam pri sežigu, stanje pa poslabšajo še postdepozicijski procesi. V takih primerih je težko odvzeti primeren vzorec, ker so kovinski delci kontaminirani z oksidnim prahom, ki ga je zelo težko odstraniti. Kljub temu se v analizah kažeta dve značilnosti, na kateri bi morali biti pri analizah tovrstnih najdb v nadalje morda pozorni. Najprej lahko opazimo, da večina problematičnih analiz pripada predmetom iz mlajšega obdobja (Ha C). Naslednje opažanje se nanaša na vsebnost kositra, ki ga nekateri predmeti vsebujejo več kot 11 %. Ob predpostavki, da se razmerja v kovini zaradi sežiga niso spremenila, lahko računsko povečamo vsebnosti elementov do optimalnega seštevka (100 %). Takrat se pokaže, da so vsebnosti kositra v teh predmetih še občutno višje. Nadaljnje raziskave bodo boljša osnova za pravilnejšo razlago, zaenkrat pa kaže, da so mlajši predmeti vsebovali več kositra, ki je verjetno pri sežigu problematičen zaradi svojega nizkega tališča (232 °C), kar bi se lahko odražalo tudi na kakovosti vzorca.

Zelo pomemben del tovrstnih raziskav je tudi ugotavljanje povezav med predmeti s pomočjo enakih oz. podobnih zlitin, ki jih kažejo rezultati kemijskih analiz. V nekaterih primerih (1, 3, 4, 6, 7) je bilo analiziranih več kosov istega predmeta, za nadaljnjo obdelavo smo vzeli povprečje analiz. Manjše razlike v vsebnosti so opazne že znotraj rezultatov analiz istega predmeta, kar je na eni strani posledica analizne napake in na drugi strani homogenosti predmeta/vzorca. Zato tudi ne moremo pričakovati popolnega ujemanja rezultatov med različnimi predmeti. Kljub temu pa je očitno ujemanje v sestavi zlitine med predmeti iz gr. 31 s Pobrežja. Gre za ovratnico (5) in dve zapestnici (6 in 7), pri čemer se zlasti pri slednjih kaže skoraj popolno ujemanje. Tem predmetom ima zelo podobno zlitino tudi ovratnica iz Maribora (1). Glede na podobnosti lahko s precej veliko verjetnostjo ugotovimo, da so bili predmeti s Pobrežja narejeni sočasno (isti vliv), medtem ko se ovratnica iz Maribora toliko razlikuje, tako da verjetno ne gre za istočasno izdelan predmet. Morda bi lahko šlo za uporabo istega vira za surovino, morda celo istega mojstra in isto surovino (surovec, ingot) kot za izdelavo nakita iz groba 31 iz Pobrežja, a takšna predpostavka za sedaj ostaja hipoteza.

Iskanje podobnih zlitin je v primeru naše študije opozorilo še na en problem. Gre za določevanje tipov bakra na podlagi razmerij med nečistočami (As,

The analysis also revealed the problem of the total sum of all analysed elements, which is decidedly too low in some cases (2, 8, 9, 12, 13). This is linked to the heavy corrosion of the objects in their interior, which is the result of exposure to high temperatures during cremation and subsequent post-depositional processes. With such artefacts, it is difficult to take a suitable sample as the metal pieces are contaminated with oxide dust that is notoriously hard to remove. Having said that, the analysis results have revealed two characteristics that are nevertheless worth noting. Firstly, most of the 'problematic' results belong to late artefacts (Ha C), and secondly, some artefacts have tin content above 11%. Presuming that cremation did not affect element ratios in the metal, it is possible to increase the element content to the optimal sum (100%) by calculation; this produces a considerably higher tin content. Further research will certainly bring more solid evidence, while the currently available evidence indicates that later artefacts contained more tin, which may be problematic during cremation due to its low melting point (232°C).

A very important issue in the chemical composition analyses is establishing the connections between the artefacts of the same or similar alloys. We analysed several pieces (1, 3, 4, 6, 7) of the same objects and used the average values for further analyses. The results show differences in element contents, albeit minor, which might be the result of mistakes during analysis or of a poor homogeneity of the artefact sample. If results differ for the same artefacts, it is all the more unrealistic to expect complete correspondence of results between different artefacts. Having said that, we noticed a close similarity in the composition of the alloy used for the torque (5) and two bracelets (6 and 7) from Grave 31 at Pobrežje, particularly for the two bracelets that show an almost perfect match. A very similar alloy is that used for the torque from Maribor (1). The similarities show that the objects from Pobrežje were highly likely made simultaneously (same casting), while the torque from Maribor may have been made of the raw material from the same source, possibly even by the same master and the same piece of raw material (billet, ingot).

The search for similar alloys highlighted another problem. It pertains to determining the types of copper based on the ratios between impurities (As, Ni, Sb) as calculated using strict mathematical rules that do not take into account the tolerances of the analytical technique and even less the condition of the sample. For example, the results for the goods from the above mentioned Grave 31 show the

Ni, Sb), ki se drži strogih matematičnih pravil, ki pa ne upoštevajo toleranc analitske tehnike, še manj stanja vzorca. Tako se pri predmetih iz prej omenjenega groba 31 s Pobrežja pokaže, da sta ovratnica (5) in zapestnica (6) izdelani iz bakra tipa 6, zapestnica (7) pa iz bakra tipa 1. Razlike med nečistočami pa so realno tako majhne, da že manjša nehomogenost vzorca lahko kaže na povsem drug tip bakra, s tem pa predmete na silo ločuje.

Predmeti iz grobov ruške žarnogrobiščne skupine odstopajo tako po povprečni vsebnosti kositra kot po vsebnosti nečistoč od mlajših predmetov iz zgodnje faze starejše železne dobe iz okolice Poštela. Pri slednjih je opazno tudi povečanje vsebnosti kositra. Med žarnogrobišnimi predmeti, ki najbolj izstopajo od povprečja, sta gladki ovratnici iz groba 30 z Gračiča pod Brinjevo goro (4) in iz groba 29 iz Ruš II (2). Njuna posebnost se kaže v odstopajočih vsebnostih kositra, povečani vsebnosti nečistoč, pri tisti iz Ruš II (2) pa tudi nekoliko povečani vsebnosti svinca.

Tudi razmerje med nečistočami (As, Ni, Sb) kaže razlike med starejšimi in mlajšimi predmeti, kar bi lahko razlagali bodisi z uporabo različnih virov bakra bodisi se razmerja spremenijo z dodajanjem večje količine kositra, ki je zanje značilno. Na *sl. 6* je edini modri trikotnik, ki se nahaja znotraj rdeče elipse, ki označuje predmete obdobja Ha C, ponovno že omenjena ovratnica iz groba 29 iz Ruš II (2), ki ima med predmeti iz obdobja Ha B najvišjo vsebnost kositra.

Zanimiva se zdi tudi podobnost zlitin v času Ha B, ki smo ga ugotovili pri predmetih iz grobov na Pobrežju in na Mladinski ulici v Mariboru, kar morda celo kaže, da je ta prostor z izdelki oskrbovala ena delavnica, ali pa so surovine pridobivali iz istega vira.

Za postavljanje nekaterih drugih bolj kompleksnih vprašanj, kot na primer, ali lahko ločujemo predmete domače izdelave in najverjetnejše tuje provenience, je ta pionirska študija še mnogo preskromna. Zanimiva se sicer zdi nizka vsebnost kositra pri glaviču meča tipa Mindelheim, ki je značilno orožje veljakov zahodne halštatske kulture med vzhodno Francijo in Češko ter se le redko pojavi na prostoru južno od Alp, in konjskem razdelilcu t. i. trako-kimerijskega tipa²⁷, a je primerjalnih podatkov za širšo primerjavo v tem trenutku še premalo.

torque (5) and the bracelet (6) to be made of Type 6 copper, the bracelet (7) from Type 1 copper. However, the differences between impurities content are in reality so small that even a minor inhomogeneity of the sample may give a completely different type of copper, thus suggesting differences that are not based in reality.

The goods from the graves of the Ruše Urnfield culture groups stand apart from the later objects attributable to the early phase of the Early Iron Age found in the Poštela area in both the average tin content and the impurities content. The later objects also show increased tin content. Of the Urnfield culture goods, the plain torques from Grave 30 at Gračič below Brinjeva gora (4) and Grave 29 of the Ruše II cemetery (2) most stand out from the average values, showing different tin content and increased impurities content, the items from Ruše II (2) also slightly elevated lead content.

The ratio between impurities (As, Ni, Sb) also reveals differences between early and late artefacts, which could be interpreted as the use of different sources of copper or as ratios changing with the addition of large quantities of tin that characterise them. The only blue triangle in *fig. 6*, inside the red ellipse marking Ha C artefacts, is the already mentioned torque from Grave 29 at Ruše II (2), which has the highest tin values among the artefacts dating to Ha B.

Another interesting observation is the similarity of the alloys used in Ha B, already established for the grave goods from Pobrežje and Mladinska ulica in Maribor. This similarity may point to either a single workshop supplying the whole area or the same source providing the required raw material.

More complex questions, such as the possibility of distinguishing objects of local production from those of foreign provenance, must await more comprehensive research. On that note, it is worth mentioning the low tin content in the pommel of the Mindelheim type sword, which is a characteristic weapon of the dignitaries of the West Hallstatt culture between France and the Czech Republic and only rarely appears south of the Alps, and the low tin content in the horse gear strap distributor of the Thraco-Cimmerian type²⁷, which for now lack comparative data to attempt a wider discussion on the topic.

²⁷ Glej tu Teržan, Poštela, kronologija.

²⁷ See here Teržan, Poštela, Chronology.

Priloga 1. Kemijska sestava bronastih predmetov (Okrajšave: < l. d. – pod mejo detekcije; St. dev. – standardna deviacija).

Appendix 1. Chemical composition of bronze objects (Abbreviations: < l. d. – below detection limit; St. dev. – standard deviation).

Št. anal./ Anal. No.	Inv. št./ Inv. No.	Predmet/ Object	Najdišče/ Site	Data-cija/ Dating	Vsebnost [%]/Content [%]												Vsota/ Sum	Vsota/ Sum	Tip/ Type
					Cu	Sn	Pb	As	Ni	Sb	Co	Bi	Ag	Fe	Mn	Zn	Total	As+Ni+Sb	Cu
1	PMM 1142a	ovratnica/ torque	Maribor	HaB	87,31	8,99	0,93	0,54	0,22	0,28	0,13	0,01	0,13	0,09	< l. d.	0,01	98,64	1,04	
	PMM 1142b	ovratnica/ torque	Maribor	HaB	84,92	9,29	0,88	0,39	0,20	0,28	0,13	0,01	0,14	0,03	< l. d.	0,01	96,28	0,87	
	PMM 1142c	ovratnica/ torque	Maribor	HaB	85,62	9,22	0,88	0,46	0,22	0,30	0,13	0,01	0,13	0,03	< l. d.	0,01	97,01	0,98	
	Povprečje/Average				85,95	9,17	0,90	0,46	0,21	0,29	0,13	0,01	0,13	0,05	< l. d.	0,01	97,31	0,96	1
	St. dev.				1,23	0,16	0,03	0,08	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03		0,00	1,21	0,09	
2	PMM A 1380	ovratnica/ torque	Ruše II, gr. 29	HaB	64,81	12,31	1,42	0,73	0,32	0,99	0,08	0,01	0,48	0,04	< l. d.	0,02	81,21	2,04	6
3	PMM A 1934a	ovratnica/ torque	Brinjeva gora, gr. 31	HaB	87,93	7,63	0,76	0,30	0,21	0,37	0,08	< l. d.	0,13	0,51	< l. d.	0,01	97,93	0,88	
	PMM A 1934b	ovratnica/ torque	Brinjeva gora, gr. 31	HaB	88,79	7,66	0,60	0,33	0,30	0,49	0,08	< l. d.	0,16	0,11	< l. d.	0,01	98,53	1,12	
	Povprečje/Average				88,36	7,65	0,68	0,32	0,26	0,43	0,08	< l. d.	0,15	0,31	< l. d.	0,01	98,23	1,00	6
	St. dev.				0,61	0,02	0,11	0,02	0,06	0,08	0,00		0,02	0,28		0,00	0,42	0,17	
4	PMM A 1916a	ovratnica/ torque	Brinjeva gora, gr. 30	HaB	90,08	2,67	0,53	0,75	1,10	1,43	0,24	< l. d.	0,32	0,30	< l. d.	0,03	97,45	3,28	
	PMM A 1916b	ovratnica/ torque	Brinjeva gora, gr. 30	HaB	90,83	2,39	0,42	1,01	1,07	1,39	0,23	< l. d.	0,30	0,25	< l. d.	0,03	97,92	3,47	
	PMM A 1916c	ovratnica/ torque	Brinjeva gora, gr. 30	HaB	88,05	2,64	0,57	1,15	1,08	1,51	0,24	0,03	0,33	0,29	< l. d.	0,03	95,92	3,74	
	Povprečje/Average				89,65	2,57	0,51	0,97	1,08	1,44	0,24	0,03	0,32	0,28	< l. d.	0,03	97,10	3,50	5
	St. dev.				1,44	0,15	0,08	0,20	0,02	0,06	0,01		0,02	0,03		0,00	1,05	0,23	
5	PMM A 1044	ovratnica/ torque	Pobrežje, gr. 31	HaB2-3	85,07	8,69	0,85	0,26	0,24	0,38	0,09	< l. d.	0,13	0,02	< l. d.	< l. d.	95,73	0,88	6
6	PMM A 1046a	zapestnica/ bracelet	Pobrežje, gr. 31	HaB2-3	85,75	8,96	0,94	0,27	0,28	0,34	0,11	< l. d.	0,13	0,04	< l. d.	< l. d.	96,82	0,89	
	PMM A 1046b	zapestnica/ bracelet	Pobrežje, gr. 31	HaB2-3	82,87	9,31	0,96	0,33	0,30	0,40	0,11	< l. d.	0,14	0,03	< l. d.	< l. d.	94,45	1,03	
	Povprečje/Average				84,31	9,14	0,95	0,30	0,29	0,37	0,11	< l. d.	0,14	0,04	< l. d.	< l. d.	95,64	0,96	6
	St. dev.				2,04	0,25	0,01	0,04	0,01	0,04	0,00		0,01	0,01			1,68	0,10	
7	PMM A 1048a	zapestnica/ bracelet	Pobrežje, gr. 31	HaB2-3	83,77	9,13	0,96	0,39	0,27	0,35	0,11	< l. d.	0,14	0,02	< l. d.	< l. d.	95,14	1,01	
	PMM A 1048b	zapestnica/ bracelet	Pobrežje, gr. 31	HaB2-3	83,95	9,07	0,95	0,42	0,28	0,38	0,11	< l. d.	0,13	0,02	< l. d.	< l. d.	95,31	1,08	
	PMM A 1048c	zapestnica/ bracelet	Pobrežje, gr. 31	HaB2-3	84,78	9,16	1,00	0,38	0,27	0,38	0,11	0,02	0,13	0,02	< l. d.	< l. d.	96,25	1,03	
	Povprečje/Average				84,17	9,12	0,97	0,40	0,27	0,37	0,11	0,02	0,13	0,02	< l. d.	< l. d.	95,57	1,04	1
	St. dev.				0,54	0,05	0,03	0,02	0,01	0,02	0,00		0,01	0,00			0,60	0,04	
8	PMM A 5379	zapestnica/ bracelet	Habakuk, gr. 5	HaB3/ HaC1	77,54	11,20	0,58	0,43	0,17	0,55	0,03	0,02	0,22	0,02	< l. d.	0,02	90,78	1,15	6
9	PMM A 5380	zapestnica/ bracelet	Habakuk, gr. 5	HaB3/ HaC1	60,46	13,53	0,52	0,32	0,08	0,56	0,01	0,06	0,24	0,04	< l. d.	0,03	75,85	0,96	6
10	PM Maribor s.n.	glavič meča/ sword pommel	Pivola, gomila 14	HaC1	89,29	5,69	0,67	0,63	0,45	1,30	0,01	< l. d.	0,19	0,05	< l. d.	0,01	98,29	2,38	6
11	PM Maribor s.n.	razdelilec/ strap distributor	Pivola, gomila 14	HaC1	85,79	3,10	3,04	1,24	0,77	2,12	0,03	< l. d.	0,69	0,30	< l. d.	0,02	97,10	4,13	6
12	PMM 2125a	zapestnica/ bracelet	Habakuk, gomila 38	HaC(2)	48,24	23,45	1,44	0,99	0,31	0,98	< l. d.	0,04	0,85	0,08	< l. d.	0,01	76,39	2,28	1
13	PMM 2125b	zapestnica/ bracelet	Habakuk, gomila 38	HaC(2)	72,86	13,63	1,19	0,66	0,37	0,57	0,02	< l. d.	0,39	0,13	< l. d.	0,06	89,88	1,60	1

LITERATURA / REFERENCES

Črešnar M. 2009

Rogoza pri Mariboru in njeno mesto v bronasti in starejši železni dobi Podravja. – Doktorska disertacija / Ph. D. thesis, Oddelek za arheologijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani (neobjavljena / unpublished).

Črešnar M. 2010

New research on the Urnfeld period of Eastern Slovenia. A case study of Rogoza near Maribor / Nova spoznanja o pozni bronasti dobi vzhodne Slovenije na primeru naselja Rogoza pri Mariboru – *Arheološki vestnik* 61, 7–119.

Jereb M. 2009

Poznobronastodobni depo. – V/In: I. Šavel, *Pod Kotom-jug pri Krogu*, Arheologija na avtocestah Slovenije 7, Ljubljana, 151–153.

Pernicka E. 1999

Trace Element Fingerprinting of Ancient Copper: A Guide to Technology or Provenance? – V/In: S. M. M. Young, A. Mark Pollard, P. Budd, R. A. Ixer (ur./ eds.), *Metals in Antiquity*, BAR International Series 792, Oxford, 163–171.

Rychner, V., Kläntzsch N. 1995

Arsenic, nickel et antimoine. Une approche de la metallurgie du Bronze moyen et final en Suisse par l'analyse spectrometrique I-II. – Cahiers arch. Romande 63–64, Lausanne.

Teržan B. (ur./ed.) 1996

Depojske in posamezne kovinske najdbe bakrene in bronaste dobe na Slovenskem II / Hoards and Individual Metal Finds from the Eneolithic and Bronze Ages in Slovenia II. – Katalogi in monografije 30, Ljubljana.

Trampuž Orel N., Heath D. J. 2001

Depo Kanalski Vrh – študija o metalurškem znanju in kovinah na začetku 1. tisočletja pr. n. št. – *Arheološki vestnik* 52, 143–165.

Trampuž Orel N., Heath D. J., Hudnik V. 1996

Spektrometrične raziskave depojskih najdb pozne bronaste dobe / Spectrometric Research of the Late Bronze Age Hoard Finds. – V: B. Teržan (ur./ed.), *Depojske in posamezne kovinske najdbe bakrene in bronaste dobe na Slovenskem II / Hoards and Individual Metal Finds from the Eneolithic and Bronze Ages in Slovenia II*, Katalogi in monografije 30, Ljubljana, 165–242.

Trampuž Orel N., Heath D. J., Orel B. 2016

Kemijska sestava bronastih predmetov iz depoja v Mušji jami pri Škocjanu / Chemical composition of bronze objects in the hoard from Mušja jama near Škocjan. – V/In: B. Teržan, E. Borgna, P. Turk (ur./eds.), *Depo iz Mušje jame pri Škocjanu na Krasu / Il ripostiglio della Grotta delle Mosche presso San Canziano del Carso*, Katalogi in monografije 42, Ljubljana, 301–343.

Trampuž Orel N., Urankar R. 2009

Kemijska sestava predmetov iz poznobronastodobne depojske najdbe Pod Kotom. – V/In: I. Šavel, *Pod Kotom-jug pri Krogu*, Arheologija na avtocestah Slovenije 7, Ljubljana, 153–157.

Urankar, R. 2012

Arheometrične raziskave kovinskih izdelkov in polizdelkov iz bronaste dobe ter rude na Slovenskem. – Doktorska disertacija / Ph. D. thesis, Oddelek za arheologijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani (neobjavljena / unpublished).