

Copper finds from the Ljubljansko barje (Ljubljana Moor) - a contribution to the study of prehistoric metallurgy*

Neva TRAMPUŽ OREL and David J. HEATH

Izvleček

Z analizami ICP-AES smo določili sestavo kovine v skupini eneolitskih bakrenih predmetov z Ljubljanskega barja. Predmeti izvirajo s prazgodovinskih kolišč pri Igu in iz struge reke Ljubljanice. Gradivo je okvirno datirano v 4. in 3. tisočletje pr. n. št. Rezultati analiz so pokazali, da so vsi predmeti iz bakra, vendar z različnim vzorcem nečistoč, ki se razlikuje glede na koncentracijska razmerja arzena, antimona, niklja, srebra in svinca. Pokazalo se je, da je za večino izdelkov značilen baker z dominantnim antimonom, le dva izdelka sta iz bakra z dominantnim arzenom. Vsi predmeti vsebujejo tudi svinec in srebro kot sledna elementa. Rezultati so pokazali smiselnost razvrstitve bakrenih predmetov v tipe bakra, ki so jih s pomočjo multivariante analize določili v novejših nemških raziskavah.

Ključne besede: Slovenija, Ljubljansko barje, eneolitik, kolišča, bakrene najdbe, sestava kovine, analize ICP-AES

Abstract

The metal composition of a group of eneolithic copper artefacts from the Ljubljansko barje (Ljubljana Moor) was determined by ICP-AES analysis. Half of the finds come from nineteenth century excavations of prehistoric pile dwellings at Ig and the remaining objects were found on the bed of the River Ljubljanica in the twentieth century. The material has been approximately dated to the fourth and third millennia BC. Analysis showed that all the objects are made of copper with various impurity patterns differing in terms of the concentration ratios of arsenic, antimony, nickel, silver and lead. The majority of the artefacts are of a copper type with dominant antimony, copper with dominant arsenic was found only in two artefacts. All artefacts also contain lead and silver as trace elements. The results showed that the classification of the metal composition into the copper types that have been identified in the recent German research by means of multivariate analysis was reasonable.

Keywords: Slovenia, Ljubljansko barje (Ljubljana Moor), Copper Age, pile dwellings, copper objects, metal composition, ICP-AES analyses

INTRODUCTION

The Ljubljansko barje, located in the southern part of the Ljubljana basin, once was Europe's most southerly high bog, with the Ljubljanica river flowing through its central part from Vrhnika towards Ljubljana. It became famous in Central European archaeology in the second half of the nineteenth century, when between 1875-1877 Dragotin Dežman excavated the first prehistoric pile dwellings north of the present village of Ig. A considerably larger number of settlements were found during later investigations, from the oldest dating to the first half of the 5th millennium BC

to the last at the beginning of the 2nd millennium BC (at the end of the Early Bronze Age), when, as the plain became gradually swamp, settlement moved to the dry margins.¹

Dežman already recognised the importance of the pile dwellings at Ig as well as the copper artefacts and associated metallurgical implements discovered there. He reported his research currently in the professional journals of the time, but unfortunately he never published the entire material and his excavation notes. An extensive selection of the material only became available to a wider professional audience after the middle of the twentieth century (Korošec, Korošec 1969),

* This study is dedicated to Biba Teržan, researcher, mentor, generous colleague and a true friend on the occasion of her important life-jubilee.

¹ Velušček 2004e.



Fig. 1: Clay implements for melting copper and casting artefacts from Dežman's pile dwellings at Ig on the Ljubljansko barje: (from left) crucibles, two part moulds for shaft-hole axes, moulds for flat axes, cylindrical and conical nozzles for blowing-pipes and air-bellows (photo: T. Lauko).

Sl. 1: Glineni pripomočki za taljenje bakra in ulivanje izdelkov z Dežmanovih kolišč pri Igu na Ljubljanskem barju: (z leve) talilne posode, dvodelni kalupi za uhate sekire, kalupi za ploščate sekire, valjasti in stožčasti nastavki za cevi in mehove za vpihavanje zraka (foto: T. Lauko).

since when the copper artefacts and metallurgical material have been the subject of frequent mention. The fact that the material was without stratigraphic data was overcome by new research. Careful comparative studies of the pottery from Dežman's and other pile dwellings (Parzinger 1983), investigation of new related pile dwellings and, above all, the use of scientific methods have enabled more precise dating of pile dwellings as well as raised new chronological questions (Velušček, Čufar 2003; Velušček 2004a). It is thus generally believed today that Dežman excavated pile dwellings from different periods, most belonging to the late Eneolithic, or the third millennium BC, within the framework of the Vučedol culture. This also applies to the metallurgical material as well as to the copper artefacts (Velušček 2004e). The surprising number of metallurgical devices, the excellent state of preservation and persuasive technological evidence of Dežman's metallurgical material which surpasses all similar finds discovered later, both on the Ljubljansko barje and elsewhere in Slovenia, still remains unique and worth new treatment (*fig. 1*).

This study deals with the metal composition of seven copper artefacts from Dežman's pile dwell-

ings by Ig and seven copper artefacts from the Ljubljana, which were found by chance during work on the riverbed or deliberately collected by amateur divers. We added the latter in order to increase the number of finds analysed, which is relatively small and therefore not the most suitable for statistical processing. The chemical composition of the majority of the copper artefacts from Ig, and some from the Ljubljana, was already investigated more than forty years ago within the framework of the Stuttgart project SAM.² The results of these first spectral analyses were performed by the OES method and are still relatively often referred to, although rarely commented.³ It was for this reason that we decided on re-analysis using a more recent method (ICP-AES), since we wished to supplement data on the content of trace elements (arsenic, antimony, nickel and silver, and we also added lead). On the basis of the new, more accurate impurity pattern we tried

² SAM (2/3, 1968): Studien zu den Anfängen der Metallurgie (2/3, 1968) = Junghans, Sangmeister, Schröder 1968), 10-13, 56-57).

³ Šinkovec 1995, 32 ff; Primas 1996, 102; Durman 1983, 51, 54; Velušček, Greif 1998, 41.

Table 1: Chemical composition of copper artefacts from the Ljubljansko barje (ICP-AES analyses). Analyses numbers (1–14) correspond to the object numbers in *plate 1*. Analyses numbers from the SAM project are cited (SAM 2/3, 1968, 10–13, 56–57) and adjusted (paralleled) to actual analyses numbers: SAM 1060 = 5, SAM 1064 = 6, SAM 2483 = 7, SAM 1053 = 8, SAM 1055 = 9, SAM 1050 = 10, SAM 1054 = 11, SAM 1045 = 12, SAM 1047 = 13, SAM 1069 = 14. With the exception of two private finds (an. 1 and 2) all objects are kept by the National Museum of Slovenia in Ljubljana.

Tab. 1: Kemijska sestava bakrenih izdelkov z Ljubljanskega barja (ICP-AES analize). Številke analiz (1–14) odgovarjajo številkam predmetov na *tabli 1*. Navedene so številke analiz iz prve objave (SAM 2/3, 1968, 10–13, 56–57) in usklajene s številkami sedanjih analiz: SAM 1060 = 5, SAM 1064 = 6, SAM 2483 = 7, SAM 1053 = 8, SAM 1055 = 9, SAM 1050 = 10, SAM 1054 = 11, SAM 1045 = 12, SAM 1047 = 13, SAM 1069 = 14. Vse predmete razen zasebnih najdb (št. 1 in 2) hrani Narodni muzej Slovenije v Ljubljani.

An. No. Št. an.	Inv. No. Inv. št.	Object Predmet	Site Najdišče	Elements % Elementi %										
				Cu	Sn	Pb	As	Ni	Sb	Co	Bi	Ag	Fe	Zn
1	ZN 141/1	axe/sekira	Ljubljana	95	0,007	0,010	2,390	0,019	0,060	0,0010	<0,003	0,021	0,0040	<0,01
2	ZN 140/1	axe/sekira	Ljubljana	100	<0,004	<0,009	0,440	0,009	<0,006	<0,0005	<0,003	0,033	0,0020	<0,01
3	V 195	axe/sekira	Ljubljana	99	<0,004	0,020	0,042	<0,002	0,329	<0,0005	<0,003	0,295	<0,0003	<0,01
4	B 5948	axe/sekira	Ljubljana	99	<0,004	0,045	0,019	0,008	0,156	<0,0005	<0,003	0,064	<0,0003	<0,01
5	P 6390	axe/sekira	Ljubljana	99	0,026	0,335	0,010	<0,002	0,010	<0,0005	0,019	0,350	<0,0003	<0,01
6	B 4776	axe/sekira	Ig	99	0,013	0,327	<0,008	0,014	0,172	<0,0005	<0,003	0,046	<0,0003	0,02
7	B 5947	axe/sekira	Ljubljana	98	<0,004	0,077	0,015	0,007	0,225	<0,0005	0,028	0,063	<0,0003	<0,01
8	B 4777	dagg./bod.	Ig	96	<0,004	0,025	0,011	0,011	0,015	<0,0005	<0,003	0,065	<0,0003	<0,01
9	B 4778	dagg./bod.	Ig	97	<0,004	0,333	0,007	0,005	0,013	<0,0005	<0,003	0,166	<0,0003	<0,01
10	B 4780	dagg./bod.	Ig	97	<0,004	0,049	0,009	0,028	0,008	<0,0005	<0,003	0,078	<0,0003	<0,01
11	B 4779	dagg./bod.	Ig	97	<0,004	0,075	<0,008	0,012	0,132	<0,0005	0,011	0,078	<0,0003	<0,01
12	B 4784	awl/šilo	Ig	98	<0,004	0,019	0,006	0,009	0,084	<0,0005	<0,003	0,056	<0,0003	<0,01
13	B 4786	awl/šilo	Ig	98	0,017	0,054	0,014	0,010	0,072	<0,0005	<0,003	0,063	<0,0003	<0,01
14	B 5921	awl/šilo	Ljubljana	99	0,021	0,124	<0,008	0,014	0,018	<0,0005	<0,003	0,203	<0,0003	<0,01

to place the copper from the Ljubljansko barje in the classification of copper types elaborated in recent years for Europe (Krause 2003).

New drawings of the analysed metal finds are published here, because the approach to drawing archaeological objects has been significantly improved from both design and content points of view since the first publication of this material.⁴ In order to provide a more authentic presentation of the quantity and preservation of the metallurgical devices, photographs of this material have been added.

EXPERIMENTAL METHOD

Fourteen samples were analysed by the method of inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES). The results of the analyses are shown in *table 1*. A Perkin Elmer simultaneous spectrometer, model OPTIMA 3100 RL, was used for the analyses. The elements analysed were copper (Cu), tin (Sn), lead (Pb), arsenic (As),

nickel (Ni), antimony (Sb), cobalt (Co), bismuth (Bi), silver (Ag), iron (Fe) and zinc (Zn). The full sampling methodology, experimental procedure, instrumental conditions, spectral lines and limits of detection for each element of interest are published elsewhere.⁵

Some of these artefacts were analysed within the framework of the SAM project. The analyses were repeated mainly because the higher sensitivity and accuracy of the modern ICP-AES method allows the identification of a significantly lower content of some trace elements that do not appear in the first publication. The corresponding analysis numbers of the SAM project without results have been added to our analyses in *table 1*. The concentration ratios of individual elements are shown graphically (*fig. 2*). Some of the artefacts could not be re-analysed because the available surface of the object is unsuitable for taking a sample.

⁴ I would like to thank my colleague Ida Murgelj (National Museum of Slovenia) for the new drawings.

⁵ Trampuž Orel, Heath, Hudnik 1996, Trampuž Orel et al. 2004, 205–206. All samples were analysed by Z. Torkar and supervised by Dr. A. Kocijan and T. Drglin MSc at the Institute for Metals and Technology, Ljubljana, Slovenia; we also thank D. Hren MSc for his assistance.

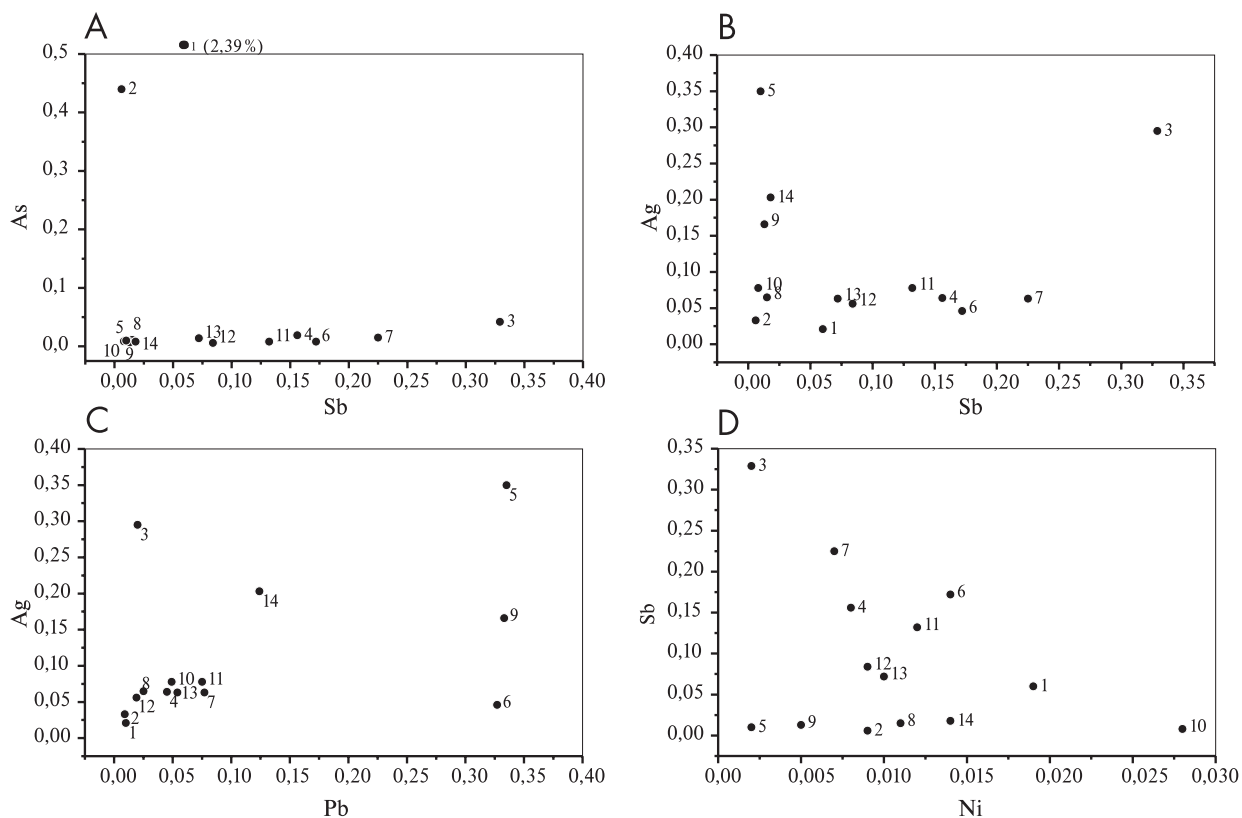


Fig. 2A-D: Metal composition of artefacts from the Ljubljansko barje shown in diagrams of element ratios As/Sb (A); Ag/Sb (B); Ag/Pb (C) and Sb/Ni (D).

Sl. 2A-D: Sestava kovine v izdelkih z Ljubljanskega barja, prikazana v diagramih elementnih razmerij As/Sb (A); Ag/Sb (B); Ag/Pb (C) in Sb/Ni (D).

ARCHAEOLOGICAL INTERPRETATION

The fourteen copper artefacts analysed consist of an axe, four daggers and two awls from Dežman's pile dwellings at Ig, and six axes and one awl from the Ljublanica river (*pl. 1*). The finds have already been published and, despite the lack of relevant stratigraphic data, adequately defined chronologically.⁶

Two small, slender axes (*pl. 1*: 1,2) are the most recent finds discovered during diving in the Ljublanica close to the Hočevarica eneolithic pile dwelling. Typologically, both axes are small flat axes of the Alheim type.⁷ They have been classified to the earlier horizon of copper finds and metallurgical implements in Slovenia, which places them in the fourth millennium BC. They probably belonged to the nearby pile dwelling, whose construction timber and seeds from the

cultural layer have been absolutely dated to the 36th century BC on the basis of radiocarbon and dendrochronological analyses (Velušček 2004a; Velušček 2004b).

The remaining five axes are larger and thicker, but similarly belong to flat axes with enlarged blade (*pl. 1*: 3-7). Three of them fit well into the Alheim type in terms of the typical shape. It is interesting that two of the axes from the Ljublanica (*pl. 1*: 4-5) are identical to the axe from Dežman's pile dwellings at Ig (*pl. 1*: 6), from where clay moulds for casting Alheim axes are also known, as has already been noted several times.⁸ The axes belong to the late Eneolithic, the 3rd millennium BC, or the later horizon associated with the Vučedol culture (Velušček, Greif 1998). The larger and narrower axe from the Ljublanica (*pl. 1*: 3) differs from them in terms of shape, but similar specimens have been found among Alheim type axes in Austria.⁹ Axes of this type are common in Central Europe,

⁶ Velušček 2004c, 55, fig. 3.1.35 and 3.1.36; Korošec, Korošec 1969, pl. 105: 1,2,6,7-9,11,13; Šinkovec 1995, 33-35, 118, pl. 2: 6-9, pl. 35: 237 and Šinkovec 1996, 146.

⁷ There are similar examples, e.g., from the Unterach pile dwelling settlement, Mayer 1977, pl. 115: 1-3.

⁸ Korošec, Korošec 1969, pl. 103: 4-6; pl. 104: 4,9; Mayer 1977, 58; Šinkovec 1996, 130-131.

⁹ There are similar examples, e.g., from the Attersee lake and pile dwelling, Mayer 1977, pl. 11: 142,143.

and a fairly wide time span is cited for them, the 4th and 3rd millennium BC. They mostly originate from lakeside settlements of the Mondsee group in Austria. They belong to the wider circle of flat, not very thick axes of trapezoid shape, which also appear in western and northern Europe as far as Spain and Denmark, and in the east extend to the Ukraine or northern Pontic region.¹⁰ The Griča type axe from the Ljubljana (*pl. I: 7*) is commonest in the late Eneolithic in Bosnia.¹¹

Of the six daggers from the pile dwellings at Ig, four are presented here. Three of them are tanged daggers (*pl. I: 8–10*) of type B according to Primas (1996). She reports of more numerous specimens not only on the Ljubljansko barje and in Greece, but mainly further to the east, in the region between the Dnieper and the Carpathians.¹² Similar daggers, related in terms of shape, are also known from western Europe, mainly from the Atlantic coast of France and the Iberian peninsula, where specimens from Almeria on the Mediterranean coast are very similar to the artefacts from Ig. There are occasional specimens of a distant variant of such daggers in southern England, but there are similar specimens from northern Italy (Remedello type) and Hungary.¹³ The fourth dagger (*pl. I: 11*) is of leaf shape, without a tang and with a central rib, similar to a dagger of the Šebastovce type from Slovakia. Daggers of this type are located in the region of the Lažňany group in eastern Slovakia, and their distribution increases towards the east.¹⁴

Only three of the awls have been treated: two with a rhomboid enlargement below the top from the pile dwellings at Ig (*pl. I: 12,13*) and one from the Ljubljana with a chisel-shaped tip (*pl. I: 14*). Similar awls have been found in the west of Slovenia in the Trentino (Italy) and in the Iberian peninsula, but also in the east in Trakia.¹⁵

RESULTS AND DISCUSSION

Knowledge of the beginnings of metallurgy in Europe for the moment relies mainly on systematic chemical analysis of a large number of copper artefacts from the earliest period; from the Neolithic to the Middle Bronze Age inclusive. Mainly because of extensive German projects from the second half

of the 20th century, which include material from a wide area of Central Europe, between northern Italy, the Carpathians and the Baltic, the data base was increased to approximately 27,000 analyses.¹⁶ The classification of so much data using multivariate analysis was carried out by Pernicka (1995), who proceeded from approaches that other researchers had used before him (Junghans et al. 1968; Rychner 1995). In determining copper groups, he took into account the impurities arsenic, antimony, silver, nickel and bismuth, which he arranged in order of decreasing absolute concentrations in particular compositional combinations. Using multivariate processing of the results, he chose 21 metallic groups (clusters), which in terms of the concentration ratios of impurities reflect five types of metallic copper (but not ore). Krause (2003) linked the results with an archaeological interpretation of the material, which showed that the copper types are chronologically significant and concentrated in specific geographic regions. He thus showed that three types of copper, antimony (type IV), arsenic (type V) and pure copper (type III) are only characteristic of the Neolithic or at least predominate in this period, while copper of the Fahlerz type (types I and II) is more characteristic of the Early Bronze Age and later periods.

In order to provide an easier overview, the metal composition of the artefacts, except in the analyses (*tab. 1*), is also presented in the form of concentration ratios As/Sb, Ag/Sb, Ag/Pb and Sb/Ni (*fig. 2*). It is clear from these that, except for samples 1 and 2, which differ in terms of a high level of arsenic (As 0.4 and 2.4 %), the majority of the samples show a relatively small quantity of arsenic (As < 0.05 %) and independence from the increasing content of antimony. There is a higher antimony content (Sb 0.13–0.33 %) in five samples (3, 4, 6, 7, 11). A considerable number of the samples (3, 5, 9, 14) have a relatively high silver content (Ag 0.20–0.35 %), which is comparable in samples 5, 9 and 14 with the lead content (Pb 0.12–0.33 %). This does not apply to sample 6 (Pb 0.33 %) which, despite higher lead, has a low silver content (Ag 0.05 %). Nickel is present in very low concentrations in the majority of samples (up to 0.01 %) or only as a trace. It is only higher in sample 10 (Ni 0.028 %).

As is clear from the analyses, the copper from the Ljubljansko barje contains a low impurity concentration, often only present on the trace level, which in any case differs from sample to sample. It

¹⁰ Mayer 1977, 53 ff.

¹¹ Žeravica 1993, 59 ff.

¹² Primas 1996, 97 ff, fig. 7.7: 1,2,6–7,10–12.

¹³ Gerloff 1975, 5, 38.

¹⁴ Vladár 1974, 3 ff, pl. 1: 2.

¹⁵ Perini 1972, 17, fig. 10: 140–141; Primas 1976, 88.

¹⁶ For the project see Krause 2003, 16 ff.

Table 2: Impurity compositional pattern of arsenic, antimony, nickel and silver in copper artefacts from the Ljubljansko barje (according to Krause 2003, 90, Fig. 40).

Tab. 2: Vzorci sestave nečistoč arzena, antimona, niklja in srebra v bakrenih izdelkih z Ljubljanskega barja (prirejeno po Krauseju 2003, 90, sl. 40).

An. No. Št. an.	Inv. No. Inv. št.	Object Predmet	Site Najdišče	Impurity pattern comp. Vzorci sestave nečistoč
1	ZN 141/1	axe/sekira	Ljubljana	As>Sb>Ag>Ni
2	ZN 140/1	axe/sekira	Ljubljana	As>Ag>(Ni/Sb)
3	V 195	axe/sekira	Ljubljana	Sb>Ag>As>(Ni)
4	B 5948	axe/sekira	Ljubljana	Sb>Ag>As>(Ni)
5	P 6390	axe/sekira	Ljubljana	Ag>As/Sb>(Ni)
6	B 4776	axe/sekira	Ig	Sb>Ag>Ni>(As)
7	B 5947	axe/sekira	Ljubljana	Sb>Ag>As>(Ni)
8	B 4777	dagger/bodalo	Ig	Ag>Sb>As/Ni
9	B 4778	dagger/bodalo	Ig	Ag>Sb>(As>Ni)
10	B 4780	dagger/bodalo	Ig	Ag>Ni>(As/Sb)
11	B 4779	dagger/bodalo	Ig	Sb>Ag>Ni>(As)
12	B 4784	awl/šilo	Ig	Ag>Sb>(Ni/As)
13	B 4786	awl/šilo	Ig	Sb>Ag>As>Ni
14	B 5921	awl/šilo	Ljubljana	Ag>Sb>Ni>(As)

therefore seemed reasonable to identify the impurities and to classify the samples into suitable metallic groups and copper types in Europe. Compositional schemes of impurities were first made in terms of the concentration ratios of arsenic, antimony, nickel and silver, arranged by decreasing order (tab. 2). The absolute content of these elements in each of the 14 artefacts was then compared with average values of the same elements in each of 21 European groups,¹⁷ weighted to maximum correspondence. We succeeded in classifying the samples into six European groups, respectively three copper types (fig. 3). Samples 1 and 2 were placed in groups Cl. 34-3 and 20, which correspond to arsenic copper (type V). Samples 3, 4, 6-8 and 11-14 were placed in group Cl.34-7 and 11, corresponding to antimony copper (type IV). Samples 5 and 9 do not correspond to any of the 21 groups in terms of elemental compositions, being distinguished by a fairly significant silver content, together with a substantial content of lead. They were therefore provisionally (they have a very low concentration of As and Sb) classified as pure copper (type III), to which sample 10 also belongs. It is also clear from comparison of individual elements that the arsenic in these artefacts is for the most part higher than the average European level, antimony is close to the average, and silver and nickel are lower. These artefacts are also characterised by a relatively high presence of lead, which perhaps indicates a regional particularity of the copper.

If the frequency of appearance of individual types of copper is compared, it is clear that arsenic copper (V) only appears in the two oldest axes from the Ljubljana by Hočevarica (tab. 2: 1,2; pl. 1: 1,2).¹⁸ This type of copper with a high arsenic content is most widespread on the Iberian peninsula, but appears in smaller concentrations over a wide area of Europe, including the Carpathian basin.¹⁹

The level of arsenic in the two axes (2.39 % and 0.44 %) raises the question of a possible alloy. Scientists today are sceptical about the deliberate use of copper with arsenic, or copper naturally polluted with arsenic in relation to artefacts from the Eneolithic with small quantities of arsenic (up to 4 %), because the mechanical advantages and different colour of such copper are insufficiently noticeable (Northover 1989, Rovira 2006). A small number of metallographic studies of copper axes also show that metallurgists at that time gave precedence to the mechanical working of artefacts, mainly forging, and not to the choice of copper, because it seems that the effect of arsenic in making the copper harder was not easily recognised (Kienlin et al. 2006).

Among the other artefacts from the pile dwellings at Ig and from the Ljubljana, antimony copper (IV) predominates, which is possible to recognise in the majority of the artefacts (in four axes, tab. 2: 3,4,6,7, in two daggers and three

¹⁷ Krause 2003, 91 ff, fig. 41.

¹⁸ The axes were also analysed by the XRF method, see Milić 2004, 73, tab. 3.5.1.

¹⁹ Krause 2003, 129.

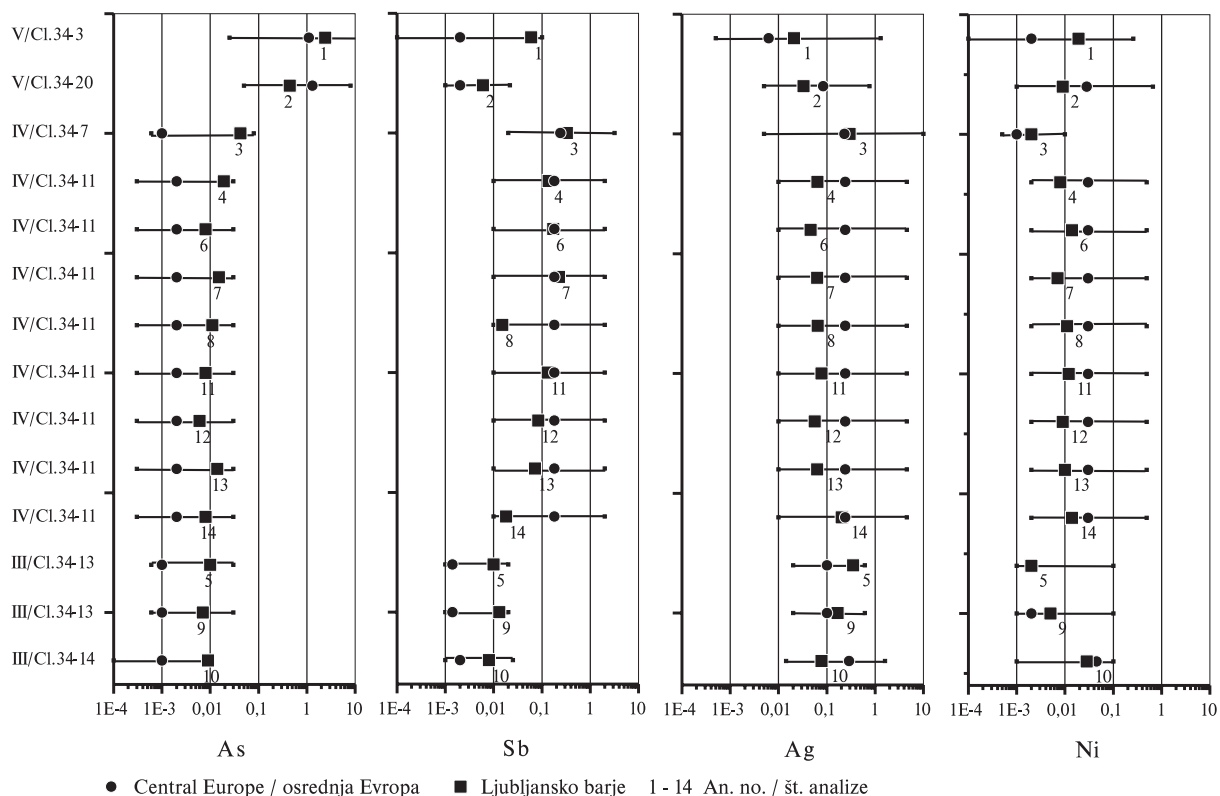


Fig. 3: Absolute values of arsenic, antimony, silver and nickel in 14 copper artefacts from the Ljubljansko barje compared with average values in artefacts from Central Europe and classification of Ljubljana artefacts to various copper types (according to Krause 2003, 91, Fig. 41).

Sl. 3: Primerjava absolutnih vsebnosti elementov arzena, antimona, srebra in niklja v 14 bakrenih izdelkih z Ljubljanskega barja s povprečnimi vsebnostmi v izdelkih iz osrednje Evrope ter razporeditev ljubljanskih izdelkov v različne tipe bakra (prirejeno po Krauseju 2003, 91, sl. 41).

awls, *tab. 2*: 8, 11–14). The single axe of the Griča type (*tab. 2*: 7) thus also belongs to this type of copper irrespective of the different, regionally limited distribution of other axes of Alheim type. The use of antimony copper with a higher content of antimony and silver, namely, is common in Central and Southeast Europe, especially between the Eastern Alps and the western edge of the Carpathians and is more typical of products from the Eneolithic than from the Early Bronze Age. Pure copper (III) can perhaps be ascribed to one of the axes from the Ljubljana (*tab. 2*: 5) and two daggers from Ig (*tab. 2*: 9, 10). This copper most often appears in artefacts from the Carpathian basin, from where it spreads towards the western Alpine area.²⁰ There are no indications of the Fahlerz type copper with high arsenic and antimony concentrations (type II) among the artefacts in question. R. Krause, on the other hand, did find it. It is possible to recognize Ig on his distribution maps with artefacts made of

the Fahlerz type of copper (Krause 2004, 156, fig. 123 and 120–122) while this site is missing on the map with artefacts from the antimony type of copper (*id.*, 149, fig. 113). The reason for such a decision is not clearly evidenced. In our opinion, Fahlerz copper cannot be seen in the first Stuttgart analyses from the SAM project (see the analysis numbers in *tab. 1*) if he relied upon them. However, our view seems also in accordance with the chronological position of the finds which were identified as Late Eneolithic, while Fahlerz copper is more characteristic of the Early Bronze Age.

Despite the fact that we succeeded in classifying the artefacts from the Ljubljansko barje into some copper groups typical of the wider European area, the question still remains open of the possible use of local ore, to which researchers of eneolithic metallurgy on the Ljubljansko barje incline.²¹ Our research encountered specific differences in the

²⁰ Krause 2003, 122 ff., fig. 83, fig. 86.

²¹ Durman 1983; Velušček, Greif 1998, 46; Velušček 2004b, 298, 302.

metal composition in comparison with European metal groups, such as higher lead and/or antimony and silver in individual artefacts and a slightly higher concentration of arsenic in all the artefacts analysed. The question of the exploitation of local ore is thus relevant, although it goes beyond the scope of this study. It is therefore necessary to wait for the results of lead isotope analyses of local ore and copper in artefacts which, in combination with the trace element content, enable better differentiation among various ore sources (Pernicka 1999). Our research was restricted to determining the relationships among concentrations of trace elements in artefacts, and analyses of local ore are currently still in progress.²² It is thus not possible to say any more about the origin of the copper from the Ljubljansko barje. We are also aware that future comparative analysis of copper artefacts and the composition of local ore may not give positive results for the Copper age, since possible later mining activities may have removed all remains of the then ore layers. The oldest metallurgical remains from the Ljubljansko barje from the fourth millennium are unfortunately still too modest to prove the exploitation of local ore, even though they are analytically extremely well processed.²³ In contrast, metallurgical instruments from the 3rd millennium convincingly demonstrate the flowering of copper metallurgy on the Ljubljansko barje, above all metal melting and perhaps even ore smelting. However, there is still a crucial lack of copper slag, which would directly prove that copper was obtained on the Ljubljansko barje.

CONCLUSION

The main reason for the incompleteness and deficiency of our conclusions is the relatively modest number of middle and late eneolithic artefacts in Slovenia that have been so far analysed. Statistically reliable data are not currently available on the frequency and average content of trace elements in copper from Slovenia. Therefore firm conclusions about differences from copper in other parts of Europe cannot be made, nor about local particularities of copper in the artefacts studied.

The arsenic type of copper thus only appears in the two oldest axes from the Ljubljana from the middle of the 4th millennium BC. In addition

to a difference in the type of copper there is also a chronological difference. The type of copper which is most often found in analysed artefacts from the Ljubljansko barje is antimony copper. It appears in the majority of artefacts connected with the period of the Vučedol culture in the 3rd millennium BC. This copper type is most widespread in the area between the western edge of the Carpathians and the Eastern Alps, which corresponds to strong archaeological links that settlements on the Ljubljansko barje show with settlements in the lower Danube region. One of the metallurgically important links is the two-part mould for a shaft-hole axe (*fig. 1*). Its appearance in the Balkans and the Carpathian basin in the second half of the 3rd millennium is linked with a new dissemination of copper metallurgy and a new technique of casting from Anatolia to the central part of Europe.²⁴ The two-part moulds and numerous implements for melting copper convincingly demonstrate the appearance of the new metallurgical technique also in the Ljubljansko barje (*fig. 1*). They identify the pile dwellings in Ig as an important metallurgical location and very likely a starting point for ore prospectors, incomers from the middle Danube basin in search of copper ore in the eastern Alps and in the pre-Alpine regions in the 3rd millennium BC.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Slovenian Research Agency for financial support to the research program P 6-0283. For computer processing of the results we are grateful to Ivan Jerman, a researcher at the Institute of Chemistry in Ljubljana.

Translation: Martin Creegen

²² R. Urankar is researching ore within the context of his doctoral thesis at the University of Ljubljana, Slovenia.

²³ Šmit, Nečemer 1998 and 2004.

²⁴ Parzinger 1993, 350.

- DURMAN, A. 1983, Metalurgija vučedolskog kulturnog kompleksa. – *Opuscula Archaeologica* 8, 1–87.
- GERLOFF, S. 1975, *The Early Bronze Age Daggers in Great Britain*. – *Prähistorische Bronzefunde* 6/2.
- JUNGANS, S., E. SANGMEISTER and M. SCHRÖDER 1968, *Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas*. – *Studien zu den Anfängen der Metallurgie* 2/3.
- KIENLIN, T. L., E. BISCHOFF and H. OPIELKA 2006, Copper and bronze during the Eneolithic and Early Bronze Age: a metallographic examination of axes from the Northalpine region. – *Archaeometry* 48/3, 453–468.
- KOROŠEC, P. and J. Korošec 1969, *Najdbe s količarskih nasebin pri Igu na Ljubljanskem barju / Fundgut der Pfahlbausiedlungen bei Ig am Laibacher Moor*. – *Arheološki katalogi Slovenije* 3.
- KRAUSE, R. 2003, *Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee*. – *Vorgeschichtliche Forschungen* 24.
- MAYER, E. F. 1977, *Die Äxte und Beile in Österreich*. – *Prähistorische Bronzefunde* 9/9.
- MILIĆ, Z. 2004, *Analiza sestave dveh sekir iz Ljublanice pri Hočevarici / Analysis of the composition of two axes from the Ljubljana near Hočevarica*. – In: A. Velušček (ed.) 2004d, 72–74.
- NORTHOVER, J. P. 1989, Properties and Use of Arsenic-Copper Alloys. – In: A. Hauptmann, E. Pernicka, G. A. Wagner (eds.), *Archäometallurgie der Alten Welt / Old World Archaeometallurgy*. – *Der Anschnitt, Beiheft* 7, 111–118.
- PARZINGER, H. 1984, Die Stellung der Uferrandsiedlungen bei Ljubljana im äneolithischen und frühbronzezeitlichen Kultursystem der mittleren Donauländer. – *Arheološki vestnik* 35, 13–75.
- PARZINGER, H. 1993, *Studien zur Chronologie und Kulturgeschichte der Jungstein-, Kupfer- und Frühbronzezeit zwischen Karpaten und mittleren Taurus*. – *Römisch-Germanische Forschungen* 52.
- PERINI, R. 1972, Il deposito secondario n. 3 dei Montesi di Serio. – *Preistoria Alpina* 8, 7ss.
- PERNICKA, E. 1995, Gewinnung und Verbreitung der Metalle in prähistorischer Zeit. – *Jahrbuch der Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz* 37 (1990), 21–129.
- PERNICKA, E. 1999, Trace Element Fingerprinting of Ancient Copper: A Guide to Technology or Provenance? – In: S. M. Young, A. M. Pollard, P. Budd, R. A. Ixer (eds.), *Metals in Antiquity*. – *BAR. International Series* 792, 163–171.
- PRIMAS, M. 1996, *Velika Gruda 1*. – *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 32.
- ROVIRA, S. 2006, Archaeometallurgy in Sardinia: from the point of view of the Iberian Peninsula. – *Instrumentum* 24, 37–39.
- RYCHNER, V. 1995, *Arsenic, nickel et antimoine. Une approche de la métallurgie du Bronze moyen et final en Suisse par l'analyse spectrométrique 1–2*. – *Cahiers d'archéologie romande* 63.
- ŠINKOVEC, I. 1995, Katalog posameznih kovinskih najdb bakrene in bronaste dobe/ Catalogue of Individual Metal Finds from the Eneolithic and Bronze Ages. – In: B. Teržan, Teržan (ed.) 1995, 29–127.
- ŠINKOVEC, I. 1996, Posamezne kovinske najdbe bakrene in bronaste dobe/ Individual Metal Finds from the Eneolithic and Bronze Ages. – In: B. Teržan (ed.) 1996, 125–163.
- ŠMIT, Ž. 2004, Preiskava eneolitskih metalurških sledov s Hočevarice z metodo PIXE / Investigation of copper metallurgy at Hočevarica using the PIXE method. – In: A. Velušček (ed.) 2004d, 69–71.
- ŠMIT, Ž. and M. NEČEMER 1998, Sledovi metalurške dejavnosti na keramičnih fragmentih / Traces of metallurgic activity on clay fragments. – *Arheološki vestnik* 49, 55–61.
- TERŽAN, B. (ed.) 1995, *Depojske in posamezne najdbe bakrene in bronaste dobe na Slovenskem 1 / Hoards and Individual Metal Finds from the Eneolithic and Bronze Ages in Slovenia 1*. Katalogi in monografije 29.
- TERŽAN, B. (ed.) 1996, *Depojske in posamezne kovinske najdbe bakrene in bronaste dobe na Slovenskem 2 / Hoards and Individual Metal Finds from the Eneolithic and Bronze Ages in Slovenia 2*. Katalogi in monografije 30.
- TRAMPUŽ OREL, N., D. J. HEATH and V. HUDNIK 1996, Spektrometrične raziskave depojskih najdb pozne bronaste dobe / Spectrometric Research of the Late Bronze Age Hoard Finds. – In: B. Teržan (ed.) 1996, 165–242.
- TRAMPUŽ OREL, N., T. DRGLIN, R. URANKAR and B. OREL 2004, Inductively coupled plasma – atomic emission spectroscopy analyses of the Peggau hoard. – In: A. Weihs, *Der Urnenfelderzeitliche Depotfund von Peggau (Steiermark)*, *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 114, 203–227.
- VELUŠČEK, A. 2004a, Interpretacija rezultatov absolutnega datiranja Hočevarice in absolutno datiranje horizonta keramike z brazdastim vrezom (HKBV) v Sloveniji / Interpretation of the results of absolute dating at Hočevarica and of the horizon of pottery with furrowed incisions (HKBV) in Slovenia. – In: A. Velušček (ed.) 2004d, 290–295.
- VELUŠČEK, A. 2004b, Hočevarica in začetki uporabe bakra v Sloveniji / Hočevarica and the onset of copper use in Slovenia. – In: A. Velušček (ed.) 2004d, 297–304.
- VELUŠČEK, A. 2004c, Terenske raziskave, stratigrafija in najdbe / Field research, stratigraphy and the material finds. – In: A. Velušček (ed.) 2004d, 33–55.
- VELUŠČEK, A. (ed.) 2004d, *Hočevarica – eneolitsko kolišče na Ljubljanskem barju / Hočevarica – an eneolithic pile dwelling in the Ljubljansko barje*. – *Opera Instituti Archaeologici Sloveniae* 8, 2004.
- VELUŠČEK, A. 2004e, Past and present lake-dwelling studies in Slovenia. – In: F. Menotti (ed.), *Living on the lake in prehistoric Europe*, 69–82, New York.
- VELUŠČEK, A. and K. ČUFAR 2003, Založnica pri Kamniku pod Krimom na Ljubljanskem barju – nasebina kulture Somogyvár-Vinkovci / Založnica near Kamnik pod Krimom on the Ljubljansko barje (Ljubljana Moor) – a settlement of the Somogyvár-Vinkovci Culture. – *Arheološki vestnik* 54, 123–158.
- VELUŠČEK, A. and T. GREIF 1998, Taličnik in livarski kalup z Maharskega prekopa / Crucible and casting mould from Maharski prekop on the Ljubljana moor. – *Arheološki vestnik* 49, 31–53.
- VLADÁR, J. 1974, *Die Dolche in der Slowakei*. – *Prähistorische Bronzefunde* 6/3.
- ŽERAVICA, Z. 1993, *Äxte und Beile aus Dalmatien und anderen Teilen Kroatiens, Montenegro, Bosnien und Herzegowina*. – *Prähistorische Bronzefunde* 9/18.

Bakrene najdbe z Ljubljanskega barja – prispevek k študijam prazgodovinske metalurgije

UVOD

Ljubljansko barje z reko Ljubljanico, ki teče po njegovem osrednjem delu od Vrhnike proti Ljubljani, leži v južnem delu Ljubljanske kotline. V srednjeevropski arheologiji je zaslovelo v drugi polovici 19. stoletja, ko je Dragotin Dežman med leti 1875–1877 izkopal severno od današnjega naselja Igu prva prazgodovinska kolišča. V poznejših raziskavah je bilo ugotovljeno še precej večje število naselbin, od najstarejših iz prve polovice 5. tisočletja pr. n. št. pa do zadnjih konec zgodnje bronaste dobe (začetek 2. tisočletja pr. n. št.), ko se je poselitev zaradi naraščajoče zamočvirjenosti ravnine prestavila na suho obrobje.¹

Pomen kolišč na Igu in tam odkritih bakrenih izdelkov ter spremljajočih metalurških pripomočkov je pravilno ocenil že Dežman, ki je o svojih raziskavah tekoče poročal v tedanjih strokovnih glasilih, celotnega gradiva z zapisi izkopavanja pa žal ni nikoli objavil. Obsežen izbor gradiva je postal dostopen širšim strokovnim krogom šele po sredi 20. stoletja (Korošec, Korošec 1969), od tedaj so tudi bakreni izdelki in metalurško gradivo deležni pogostih omemb. Moteče dejstvo, da je gradivo ostalo brez stratigrafskih podatkov, so presegle novejšje raziskave. Natančne primerjalne študije keramike z Dežmanovih in drugih kolišč (Parzinger 1983), raziskave novih sorodnih kolišč in predvsem uporaba naravoslovnih metod odpirajo možnosti za natančnejše datacije nastanka kolišč, a tudi nova kronološka vprašanja (Velušček, Čufar 2003; Velušček 2004a). Tako danes velja mnenje, da je Dežman odkopal več časovno različnih kolišč, od katerih večina sodi v pozni eneolitik v okvir 3. tisočletja pr. n. št. in v kontekst vučedolske kulture, tako tudi metalurški del gradiva z bakrenimi izdelki vred (Velušček 2004e). V primerjavi z vsemi podobnimi pozneje odkritimi najdbami iz starejših in mlajših kovinskih obdobj, tako na Ljubljanskem barju kot tudi drugod po Sloveniji, ostaja Dežmanovo metalurško gradivo zaradi prepričljive tehnološke izpovednosti, presenetljive količine pripomočkov in odlične ohranjenosti še vedno edinstveno in vredno novih obdelav (*sl. 1*).

Pričujoča študija tako obravnava sestavo kovine v sedmih bakrenih predmetih z Dežmanovih kolišč pri Igu in v sedmih bakrenih predmetih iz Ljubljanske, ki so bili naključno najdeni ob delih v rečni strugi ali pa namerno nabrani z amaterskim potapljanjem. Zadnje smo dodali, da bi povečali število obravnavanih najdb, ki je razmeroma majhno in zato ne najbolj primerno za statistično obdelavo. Kemijska sestava večine bakrenih izdelkov Iga in nekaterih iz Ljubljanske je bila sicer preiskana že pred več kot štirimi desetletji v okviru stuttgartskega projekta SAM,² rezultati teh prvih spektralnih analiz, opravljenih z metodo OES, pa so še vedno razmeroma pogosto citirani, vendar redko komentirani.³ Prav zato smo se odločili za ponovitev analiz z uporabo novejše metode (ICP-AES). Želeli smo namreč izpopolniti podatke o vsebnostih slednih elementov (arzena, antimona, niklja in srebra, dodali smo tudi svinec) in na podlagi novega, natančnejšega vzorca nečistoč umestiti baker z Ljubljanskega barja v novejšje razvrstitve tipov bakra, izdelane v preteklih letih za Evropo (Krause 2003).

Odločili smo se tudi za objavo novih risb analiziranega kovinskega gradiva, ker je pristop k risanju kovinskih predmetov v primerjavi s prvo objavo tega gradiva danes bistveno izpopolnjen tako z oblikovnega kot tudi vsebinskega stališča.⁴ Zaradi pristnejše predstave o množini in ohranjenosti metalurških pripomočkov smo dodali tudi fotografijo tega gradiva.

EKSPERIMENTALNA METODA

Z metodo induktivno sklopljene plazme atomske emisijske spektroskopije (ICP-AES) smo analizirali 14 vzorcev gradiva, rezultati analiz so predstavljeni v *tabeli 1*. Za analize je bil uporabljen simultani spektrometer firme Perkin Elmer, model OPTIMA 3100 RL. Analizirani elementi so bili baker (Cu), kositer (Sn), svinec (Pb), arzen (As), nikelj (Ni), antimon (Sb), kobalt (Co), bizmut (Bi), srebro (Ag), železo (Fe) in cink (Zn). Postopki odvzema in priprave vzorcev, analitski postopki ter meje detekcije, natančnost metode in standardni referenčni materiali so bili že večkrat objavljeni in jih na tem mestu ne navajamo ponovno.⁵

Nekateri od teh predmetov so bili analizirani, kot je bilo že omenjeno, v okviru projekta SAM, vendar smo analize ponovili predvsem zato, ker nam izboljšana občutljivost in natančnost sodobne metode ICP-AES dovoljuje določanje bistveno nižjih vsebnosti nekaterih slednih elementov, ki jih ni v prvi objavi. Našim analizam v *tabeli 1* smo dodali ustrezne številke analiz SAM brez rezultatov. Medsebojna razmerja koncentracij posameznih elementov smo prikazali grafično (*sl. 2*). Nekaterih predmetov nismo mogli ponovno analizirati, ker je razpoložljiva površina predmeta neprimerna za odvzem vzorca.

ARHEOLOŠKA OPREDELITEV

Obravnavanih štirinajst bakrenih predmetov izvira z Dežmanovih kolišč na Igu – to so sekira, štiri bodala ter dve šili, in iz Ljubljanske – šest sekir ter eno šilo (*t. 1*). Vse gradivo je bilo že objavljeno in kljub pomanjkanju ustreznih stratigrafskih podatkov kronološko ustrezno opredeljeno.⁶

Majhni in drobni sekirici (*t. 1: 1,2*) sta novejši najdbi, najdeni ob potapljanju v Ljubljani v bližini eneolitskega kolišča Hočevarica. Tipološko obe sekirici sodita med majhne ploščate sekire tipa Altheim.⁷ Opredeljeni sta bili v starejši horizont bakrenih najdb in metalurških pripomočkov v Sloveniji, ki ga Velušček postavlja v 4. tisočletje pr. n. št. Verjetno je na zgodnjo opredelitev sekiric vplivala njihova verjetna pripadnost bližnjemu kolišču, katerega stavbni les in semenje iz kulturne plasti je bilo absolutno datirano na podlagi radiokarbonskih in dendrokronoloških analiz v 36. stoletje pr. n. št. (Velušček 2004a; Velušček 2004b).

⁴ Za nove risbe gre zahvala požrtvovalni sodelavki Idi Murgelj (Narodni muzej Slovenije).

⁵ Trampuž Orel, Heath, Hudnik 1996, Trampuž Orel et al. 2004, 205–206. Vse vzorce je analizirala Z. Torkar pod nadzorom dr. A. Kocijan in mag. T. Drglin na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana, Slovenija; za pomoč se zahvaljujemo tudi mag. D. Hrenu.

⁶ Velušček 2004c, 55, sl. 3.1.35 in 3.1.36; Korošec, Korošec 1969, t. 105: 1,2,6,7–9,11,13; Šinkovec 1995, 33–35, 118, t. 2: 6–9, t. 35: 237 in Šinkovec 1996, 146.

⁷ Podobni primerki so znani npr. iz koliščarske naselbine Unterach (Mayer 1977, t. 115: 1–3).

* Članek je posvečen Bibi Teržan, raziskovalki, mentorici, nesebični kolegici in iskreni prijateljici, ob njenem preteklem pomembnem življenjskem jubileju.

¹ Velušček 2004e.

² SAM (2/3, 1968): Studien zu den Anfängen der Metallurgie (2/3, 1968) = Junghans, Sangmeister, Schröder (1968), 10–13, 56–57).

³ Šinkovec 1995, 32 ss; Primas 1996, 102; Durman 1983, 51, 54; Velušček, Greif 1998, 41.

Ostalih pet sekir je večjih in debelejših, vendar prav tako sodijo med ploščate sekire s spodaj razširjenim rezilom (*t. I: 3-7*). Tri od njih se po značilni obliki dobro uvrščajo v tip Altheim. Zanimivo je, da sta dve iz Ljubljanice (*t. I: 4,5*) identični sekiri z Dežmanovega kolišča na Igu (*t. I: 6*), od koder so znani tudi glineni kalupi za izdelavo sekir tipa Altheim, na kar je bilo že večkrat opozorjeno.⁸ Sekire sodijo v pozni eneolitik, v 3. tisočletje pr. n. št. oziroma v mlajši horizont bakrenih najdb, ki se povezuje z vučedolsko kulturo (Velušček, Greif 1998). Po obliki od njih odstopa pa ena iz ožja sekira iz Ljubljanice (*t. I: 3*), vendar podobne primerke prav tako najdemo med sekirami tipa Altheim v Avstriji.⁹ Sekire tega tipa so sicer pogoste v srednji Evropi, zanje se navaja precej širok časovni razpon pojavljanja, 4. in 3. tisočletje pr. n. št. Največ jih je iz obrežnih jezerskih naselbin skupine Mondsee v Avstriji. Sodiijo v večji krog ploščatih, ne preveč debelih sekir trapezne oblike, ki se pojavljajo tudi v zahodni in severni Evropi do Španije in Danske, na vzhodu pa segajo do Ukrajine oziroma severnopontskega območja.¹⁰ Sekira iz Ljubljanice tipa Griča (*t. I: 7*) je najbolj pogosta v poznem eneolitiku v Bosni.¹¹

Od šestih bodal s kolišč na Igu na tem mestu predstavljamo štiri. Tri od teh s trnastim nastavkom (*t. I: 8-10*) so po Primasovi (1996) bodala tipa B, med katerimi vidi številnejše primerke razen na Ljubljanskem barju in v Grčiji predvsem bolj na vzhodu, na področju med Dnjeprom in Karpati.¹² Podobna bodala, ki so po obliki sorodna, so znana tudi iz zahodne Evrope, predvsem z Iberskega polotoka, kjer so primerki iz Almerie na sredozemski obali zelo podobni izdelkom z Iga, in z atlantske obale Francije. V južni Angliji so redki primerki oddaljenih variant takih bodal, pač pa so podobni primerki iz severne Italije (tip Remedello) in na Madžarskem.¹³ Četrto bodalo (*t. I: 11*) je lamelne oblike, brez trnatega nastavka in z rebrom po sredini, podobno bodalu tipa Šebastovce iz Slovaške. Bodala te vrste ležijo na območju skupine Lažňany v vzhodni Slovaški, njihova razširjenost pa narašča proti vzhodu.¹⁴

Od šil so obravnavana le tri – dve s kolišča na Igu z rombično razširitvijo pod vrhom (*t. I: 12,13*) in eno iz Ljubljanice z dletastim zaključkom (*t. I: 14*). Podobna šila so znana s Tridentinskega, z Iberskega polotoka pa tudi na vzhodu v Trakiji.¹⁵

REZULTATI Z RAZPRAVO

Poznavanje začetkov metalurgije v Evropi zaenkrat sloni večinoma na sistematičnih kemijskih analizah velikega števila bakrenih izdelkov iz najstarejših obdobij – od neolitika pa do vključno srednje bronaste dobe. Predvsem zaradi obsežnih nemških projektov iz druge polovice 20. stoletja, ki so zajeli gradivo z obširnih območij centralne Evrope med severno Italijo, Karpati in Baltikom, se je podatkovna baza povečala na približno 27000 analiz.¹⁶ Razvrstitev tako velikega števila podatkov je z uporabo multivariantne analize izvedel Pernicka (1995), pri čemer je izhajal iz pristopov, ki so jih pred tem že uporabili drugi raziskovalci (Junghans et al. 1968; Rychner 1995). Pri določanju bakrovih skupin je upošteval nečistoče arzen, antimon, srebro, nikelj in bizmut, ki jih je razporedil po velikostnem redu absolutnih vsebnosti v določene kompozicijske sheme. Z multivariantno

obdelavo rezultatov je izbral 21 kovinskih skupin (klastrov), ki glede na razmerja koncentracij nečistoč odražajo pet tipov kovinskega bakra (ne pa rud). Rezultate je Krause (2003) povezal z arheološko interpretacijo gradiva, ki je pokazala, da so vrste bakra kronološko pomembne in skoncentrirane na določenih geografskih območjih. Tako se je izkazalo, da so trije tipi bakra – antimonov (tip IV), arzenov (tip V) in čisti baker (tip III) značilni samo za neolitik ali pa vsaj prevladujejo v tem obdobju, medtem ko je baker vrste Fahlerz (tip I in II) bolj značilen za zgodnjo bronasto dobo in poznejša obdobja. Zaradi lažjega pregleda predstavljamo kovinsko sestavo naših predmetov razen v analizah (*tab. 1*) tudi v obliki koncentracijskih razmerij As/Sb, Ag/Sb, Ag/Pb in Sb/Ni (*sl. 2*). Iz teh je razvidno, da razen vzorcev 1 in 2, ki izstopata zaradi visokega arzena (As 0,4-2,4 %), večina vzorcev kaže relativno majhno vsebnost arzena (As < 0,05 %) in neodvisnost od rastoče vsebnosti antimona. Višji antimon (Sb 0,13-0,33 %) je prisoten kar v petih vzorcih (3, 4, 6, 7, 11). Precej vzorcev (3, 5, 9, 14) ima relativno visoko vsebnost srebra (Ag od 0,20-0,35 %), ki je v vzorcih 5, 9 in 14 sorazmerna vsebnosti svinca (Pb od 0,12-0,33 %). To pa ne velja za vzorec 6 (Pb 0,33 %), ki ima kljub višjemu svincu nizko vsebnost srebra (Ag 0,05 %). Nikelj je v večini vzorcev prisoten v zelo nizkih koncentracijah (do 0,01 %) oziroma le kot sled, višji je samo v vzorcu 10 (Ni 0,028 %).

Kot je razvidno iz analiz, vsebuje baker z Ljubljanskega barja nizke koncentracije nečistoč, večkrat prisotne le na ravni sledov, ki pa se od vzorca do vzorca vseeno razlikujejo. Zato se je zdela smiselna določitev vzorcev nečistoč in njihova uvrstitev v ustrezne kovinske skupine in tipe bakra v Evropi. Najprej so bili izdelani vzorci sestave nečistoč glede na medsebojna razmerja absolutnih vsebnosti arzena, antimona, niklja in srebra, razporejenih po velikostnem redu (*tab. 2*). Nato smo absolutne vsebnosti navedenih elementov v vsakem od naših 14 predmetov primerjali s povprečnimi vsebnostmi istih elementov v vsaki od 21 evropskih skupin,¹⁷ pri čemer smo težili k čim večjemu ujemanju. Vzorce nam je uspelo razvrstiti v šest evropskih skupin oziroma v tri tipe bakra (*sl. 3*). Vzorca 1 in 2 sta bila uvrščena v skupini, ki ustrežata arzenovemu bakru (tip V/cluster 34-3 in 20). Vzorci 3, 4, 6-8, 11-14 so bili uvrščeni v skupini, ki pripadata antimonovemu bakru (tip IV/cluster 34-7 in 11). Vzorca 5 in 9 po vsebnosti elementov ne ustrežata nobeni od 21 skupin, odlikujeta pa se po precejšnji vsebnosti srebra, ki ga spremlja tudi znatna vsebnost svinca. Zato smo ju pogojno (imata zelo nizke koncentracije As in Sb) uvrstili med čisti baker (tip III/cluster 34-13), kamor lahko sodi tudi vzorec 10 (tip III/cluster 34-14). Iz primerjav posameznih elementov je tudi razvidno, da je arzen v vseh naših predmetih večinoma višji od povprečnega evropskega, antimon je blizu povprečnemu, srebro in nikelj pa sta manjša. Značilna za naše predmete je tudi relativno večja prisotnost svinca, ki morda kaže na regionalno posebnost bakra.

Če primerjamo pogostnost nastopanja posameznih vrst bakra, je očitno, da arzenov baker (V) nastopa le v dveh najstarejših sekirah iz Ljubljanice pri Hočevarici (*tab. 2: 1,2; t. I: 1,2*).¹⁸ Ta tip bakra z visokim arzenom je najbolj razširjen na Iberskem polotoku, v manjših koncentracijah pa se pojavlja na širokih območjih Evrope, tudi v Karpatski kotlini.¹⁹ Višina arzena v obeh sekirah (2,39 % in 0,44 %) vzbuja vprašanje o morebitni zlitini. Raziskovalci so danes skeptični do namerne uporabe bakra z arzenom oziroma bakra, naravno onesnaženega z arzenom, ko gre za izdelke iz eneolitika z majhno količino arzena (do 4 %), ker mehanske prednosti in drugačna barva takega bakra niso dovolj opazne (Northover 1989, Rovira 2006). Tudi redke metalografske preiskave bakrenih sekir ka-

⁸ Korošec, Korošec 1969, t. 103: 4-6; t. 104: 4,9; Mayer 1977, 58; Šinkovec 1996, 130-131.

⁹ Podobni primerki so npr. iz jezera in kolišča Attersee (Mayer 1977, t. 11: 142.143).

¹⁰ Mayer 1977, 53 ss.

¹¹ Žeravica 1993, 59 ss.

¹² Primas 1996, 97 ss, sl. 7.7: 1,2,6-7,10-12.

¹³ Gerloff 1975, 5, 38.

¹⁴ Vladár 1974, 3 ss, t. 1: 2.

¹⁵ Perini 1972, 17, sl. 10: 140-141; Primas 1976, 88.

¹⁶ Za nemške projekte gl. Krause 2003, 16 ss.

¹⁷ Krause 2003, 91 ss, sl. 41.

¹⁸ Sekirici sta bili analizirani tudi z metodo XRF, gl. Milić 2004, 73, tab. 3.5.1.

¹⁹ Krause 2003, 129.

žejo, da so tedanji metalurgi dajali prednost mehanski obdelavi predmetov, predvsem kovanju, in ne izbiri bakra, ker se zdi, da vpliva arzena na večjo trdoto bakra niso zlahka prepoznali (Kienlin et al. 2006).

Med ostalimi izdelki s kolišč in iz Ljubljane prevladuje antimonov baker (IV), ki ga je mogoče prepoznati v večini predmetov (v štirih sekirah: *tab. 2: 3,4,6,7*; v dveh bodalih in treh šilih: *tab. 2: 8,11-14*). Tako pripada temu tipu bakra tudi sekira tipa Griča (*tab. 2: 7*), čeprav ima drugačno, regionalno omejeno razprostranjenost od ostalih sekir, ki pripadajo tipu Altheim. Uporaba antimonovega bakra z višjo vsebnostjo antimona in srebra je namreč pogosta v osrednji in jugovzhodni Evropi, posebej med Vzhodnimi Alpami in zahodnim robom Karpatov, in je bolj značilna za izdelke iz eneolitika kot iz zgodnje bronzaste dobe.

Čistemu bakru (III) bi morda lahko pripisali eno od sekir iz Ljubljane (*tab. 2: 5*) in dve bodali z Iga (*tab. 2: 9,10*). Ta baker se najbolj pogosto pojavlja v izdelkih Karpatske kotline, od koder se širi proti zahodnoalpskemu prostoru.²⁰ Vsekakor med obravnavanimi predmeti ne vidimo indicev za baker tipa Fahlerz (tip II) z visokim arzenom in antimonom. Nasprotno pa ga je v ljubljanskih izdelkih prepoznal R. Krause; na kartah razprostranjenosti je namreč mogoče najti med najdišči z izdelki iz bakra Fahlerz tudi Ig (Krause 2004, 156, sl. 123, pa tudi 120-122), medtem ko ga ni na karti z izdelki iz antimonovega bakra (id., 149, sl. 113). Iz objave ni eksplicitno razviden razlog, ki je vodil avtorja k taki odločitvi. Tudi če bi se oprl na prve stuttgartske analize gradiva z Iga iz projekta SAM (gl. številke analiz na *tab. 1*), v njih po našem mnenju ni mogoče videti bakra vrste Fahlerz. Vsekakor je tako mnenje tudi v skladu s kronološko pozicijo gradiva, ki je bilo opredeljeno v pozni eneolitik, medtem ko uporaba Fahlerza velja kot bolj značilna za zgodnjo bronasto dobo.

Čeprav smo uspeli uvrstiti predmete z Ljubljanskega barja v nekatere bakrove skupine, ki so značilne za večja območja Evrope, pa še vedno ostaja odprto vprašanje morebitne uporabe domače rude, ki so ji naklonjeni raziskovalci eneolitske metalurgije na Ljubljanskem barju.²¹ Naša raziskava je naletela na določena odstopanja v sestavi kovine v primerjavi z evropskimi kovinskimi skupinami, kot je npr. višji svinec in/ali antimon ter srebro v posamičnih predmetih in rahlo višje koncentracije arzena v vseh naših predmetih. Problem izkoriščanja lokalne rude je torej aktualen, vendar prerašča obseg te študije. Tako je potrebno počakati na rezultate analiz svinčevih izotopov domače rude in bakra v predmetih, ki v kombinaciji z vsebnostjo slednjih elementov omogočajo boljše razlikovanje med različnimi rudnimi viri (Pernicka 1999). Zato v naši raziskavi, v kateri smo se omejili le na določevanje razmerij med koncentracijami slednjih elementov v predmetih, analize domačih rud pa so trenutno še v delu,²² ni mogoče povedati kaj več o izvoru bakra z Ljubljanskega barja. Zavedamo se tudi, da bodoče primerjalne analize med bakrenimi predmeti in sestavo lokalne rude morda ne bodo dale pozitivnega rezultata za bakreno dobo, saj je morebitna poznejša rudarska dejavnost lahko odstranila vse ostanke tedanje rudne plasti. Najstarejši metalurški ostanki z Ljubljanskega barja iz 4. tisočletja pr. n. št. so žal še preveč skromni, da bi dokazali izkoriščanje domače rude, čeprav so analitsko odlično obdelani.²³ Nasprotno metalurški pripomočki iz 3. tisočletja prepričljivo dokazujejo razcvet metalurgije na Ljubljanskem barju, predvsem taljenje kovine in ulivanje, morda tudi taljenje rude. Vendar še vedno ostaja pereče pomanjkanje

bakrove žilindre, ki bi lahko neposredno dokazala pridobivanje bakra na Ljubljanskem barju.

ZAKLJUČEK

Glavni razlog za nepopolnost in pomanjkljivost naših zaključkov je relativno skromno število analiziranih predmetov iz srednjega in poznega eneolitika v Sloveniji. Zaenkrat ni na voljo statistično zanesljivih podatkov o pogostosti in povprečni vsebnosti slednjih elementov v našem bakru, zato se izmika možnost trdnih zaključkov o razlikah do bakra iz ostalih predelov Evrope in s tem o lokalnih posebnostih bakra v naših izdelkih.

Tako se arzenov tip bakra pojavlja le v dveh najstarejših sekirah iz Ljubljane iz sredine 4. tisočletja pr. n. št. in poleg razlike v vrsti bakra predstavlja tudi kronološko razliko. Tip bakra, ki je najbolj pogost v analiziranih izdelkih z Ljubljanskega barja, pa je antimonov baker. Pojavlja se v večini predmetov, ki se navezujejo na čas vučedolske kulture v 3. tisočletju pr. n. št. Ta tip bakra je sicer najbolj razširjen na območju med zahodnim robom Karpatov in Vzhodnimi Alpami, kar se ujema z izrazitimi arheološkimi povezavami, ki jih v obdobju pozne bakrene dobe kažejo naselbine na Ljubljanskem barju do naselbin panonskega Podonavja. Na metalurškem področju pa razen skupnega tipa bakra predstavljajo pomembno povezavo tudi dvodelni kalupi za uhate sekire. Njihov pojav na Balkanu in v Karpatski kotlini v sredini 3. tisočletja se povezuje s širitvijo metalurgije bakra in predvsem nove tehnike ulivanja iz Anatolije v osrednje predele Evrope.²⁴ Dvodelni kalupi kakor tudi številni pripomočki za taljenje bakra prepričljivo dokazujejo pojav nove metalurške tehnike tudi na Ljubljanskem barju (*sl. 1*). Kolišča pri Igu opredeljujejo kot pomembno postojanko kovinarjev in zelo verjetno izhodiščno točko rudosledcev, prišlekov iz srednjega Podonavja, ki so iskali bakrovo rudo v vzhodnoalpskem in predalpskem območju v 3. tisočletju pr. n. št.

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeva Agenciji za raziskovalno dejavnost Slovenije (ARRS), ki je finančno omogočila raziskave programa P 6-0283. Za računalniško obdelavo rezultatov se zahvaljujeva dipl. ing. Ivanu Jermanu, raziskovalcu na Kemijskem inštitutu v Ljubljani.

Neva Trampuž Orel
Narodni muzej Slovenije
Prešernova 20
SI-1000 Ljubljana
neva.trampuz@nms.si

David J. Heath
Mednarodni center za kemijske študije
Vegova 4
SI-1000 Ljubljana
david.heath@icds.si

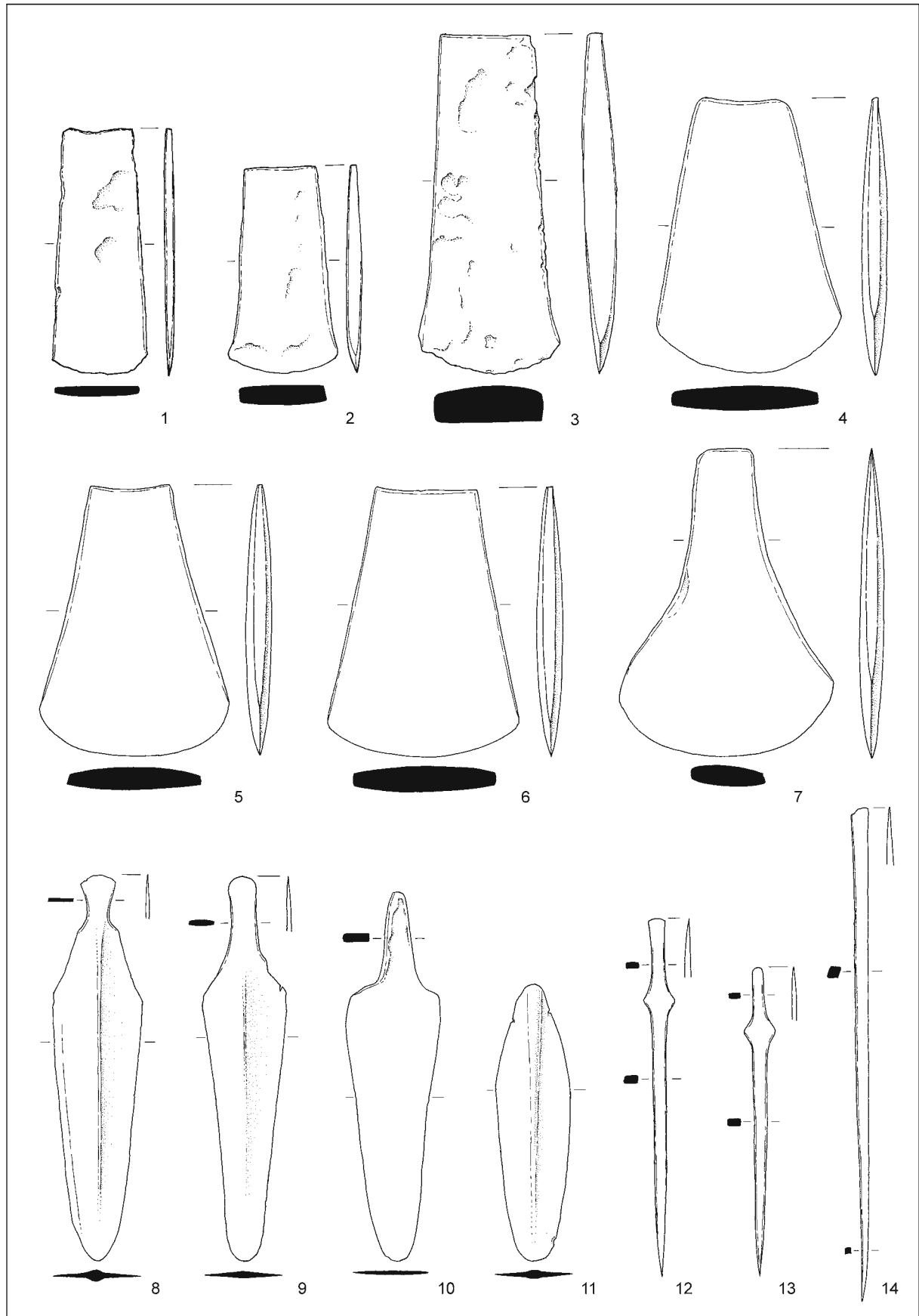
²⁰ Krause 2003, 122 ss, sl. 83, 86.

²¹ Durman 1983, Velušček, Greif 1998, 46; Velušček 2004b, 297 ss.

²² Raziskave rud trenutno izvaja R. Urankar, dipl. arheolog, v okviru svoje doktorske disertacije.

²³ Šmit, Nečemer 1998; Šmit 2004.

²⁴ Parzinger 1993, 350.



Pl. 1: Ljubljana 1-5, 7, 14; Ig 6, 8-13. All copper. Scale = 1:2 (drawing: I. Murgelj).
 T. 1: Ljubljana 1-5, 7, 14; Ig 6, 8-13. Vse baker. M. = 1:2 (risba: I. Murgelj).