

## *Spektrometrične analize kovinskih predmetov s slovenskih prazgodovinskih najdišč*

Izvor najpomembnejših surovin, način njihovega pridobivanja, predelovanja in prenašanja, kemična sestava surovine in izdelkov ter njihovo razširjanje so temeljna vprašanja, na katera arheologija išče odgovore, ko proučuje kako kulturo ali človeško skupnost. Pri tem posebno prazgodovinska arheologija vedno bolj uporablja različne naravoslovne metode, ki ji s svojimi tehničnimi in znanstvenimi lastnostmi pomagajo dopolniti pomanjkljive arheološke podatke. Uporaba naravoslovnih metod je še posebno koristna pri raziskavah anorganskih snovi, kot so kovina, kamen, glina, steklo in druge, kjer rezultati rabijo kot temelj za ugotavljanje, kako so obdelovali materiale in od kod je izvirala surovina. Pa tudi naravoslovne raziskave organskih snovi, kot so rastlinska in živalska vlakna, pelod, les, jantar in smola, bistveno dopolnjujejo sliko prazgodovinskih obdobj.

Prav raziskave prazgodovinskih kovin imajo v Evropi že lepo tradicijo. Najbolj pogosto so analizirali bakrene in bronaste predmete iz obeh istoimenskih obdobj, številne pa so tudi analize izdelkov iz zlata, srebra in železa. Največji sklop načrtno zastavljenih analiz so opravili v obdobju med 30. in 70. leti tega stoletja, ko je v Evropi delovala mreža med seboj povezanih laboratorijev. Analizirali so približno 60.000 bakrenih in 4500 zlatih predmetov ter na tisoče keramičnih najdb, vse z namenom, da bi ugotovili kemično sestavo izdelkov in izvor surovine. Uporabljenih je bilo več metod, izmed katerih sta se nevtronska aktivacijska analiza (NAA) in fluorescenca rentgenskih žarkov (XRF) pokazali primerni predvsem za predmete iz dragocenih kovin (zlato in srebro), ker sta nedestruktivni. Vendar žal tudi nista dovolj natančni. Pri analizi bakrenih in bronastih predmetov pa so najbolj pogosto uporabljali optično emisijsko spektroskopijo (OES), ki je destruktivna, vendar bistveno bolj natančna metoda.

V prvem obdobju raziskav, ki se je začelo v zgodnjih tridesetih letih, so bili vodilni laboratoriji na Dunaju, v Halleju in v Stockholmu<sup>1</sup>. V naslednjem obdobju, po letu 1947, sta prevzela vodilno vlogo laboratorija na Dunaju in v Stuttgartu.<sup>2</sup> Osrednji cilj dunajske ekipe je bil, poiskati izvor rude, pri čemer v analizah niso podajali absolutne količine elementov v številkah, ampak so le označili njihovo navzočnost, odsotnost ali sled, zaradi česar so njihovi rezultati neuporabni za primerjavo.<sup>3</sup>

Stuttgartska ekipa pa je združevala analize glede na različna razmerja petih glavnih elementov (niklja, bizmuta, arzena, antimona in srebra) in poskušala na podlagi teh skupin določiti regionalne skupine bakrenih izdelkov in s tem posredno tudi lokalne vire surovine<sup>4</sup>. Veliko delo, ki so ga opravili ti laboratoriji, pa kljub odlični analitični metodi ni dalo dokončnega odgovora o izvoru kovinskih izdelkov. Rezultati obeh laboratorijev so bili deležni kritične ocene in revizije (Coghlan 1978; Pernicka 1987). Posebno pri stuttgartskem projektu kritika ni bila namenjena samim analizam, katerih natančnost je bila celo preverjena in potrjena (Pernicka 1984), ampak interpretaciji rezultatov. Pokazalo se je, da večine ustvarjenih skupin ni mogoče zanesljivo razporediti niti v času niti v prostoru in zato tudi ni utemeljeno določanje izvora surovine in širjenja izdelkov<sup>5</sup>. Pokazalo pa se je tudi, da sestava kovine ni odvisna le od sestave rude, za katero so pomembni tudi njen položaj v kamnini in vremenski dejavniki, ampak tudi od metalurških postopkov, s katerimi obdelujejo kovino na poti od rudnika do končnega izdelka v livarjevih rokah (Craddock, Giunlia-Mair 1988).

Raziskave so torej krenile v dve smeri. V eni še naprej iščejo izvor rude in sledove najstarejše metalurške dejavnosti. Dosedanjim analitskim metodam se je namreč pridružila tudi analiza svinčevih izotopov, ki morda obeta potrditev izvora bakrove rude. Izkazalo se je namreč, da večina bakrovih rud vsebuje majne količine svinca v obliki treh svinčevih izotopov, ki so med seboj v določenem razmerju. To razmerje je enako v vsej rudi enega rudišča, ker ni odvisno od sprememb zaradi vremenskih okoliščin, razlikuje pa se od razmerja v drugem rudišču. Ohrani se tudi še pri prvem taljenju rude, počasi pa se izgublja pri nadaljnjih pretaljevanjih kovine. Zato je razumljivo, da so tovrstne analize najbolj uspešne prav pri rudi, pri surovcih in pri prvi "generaciji" predmetov. Arheometalurške raziskave, ki potekajo že od začetkov 80. let na območju Balkana<sup>6</sup>, Egeje in vzhodnega Sredozemlja (Pernicka 1987; Gale, Stos-Gale 1989; Pernicka in dr. 1984), so prav zaradi tega osredotočene na bakreno in zgodnjo bronasto dobo, saj je tudi predmetov še razmeroma malo in pretaljevanje je redko.

Druga smer raziskav pa se posveča, kot smo že omenili, predvsem metalurškimi postopki, ki so povezani s

pridobivanjem in predelavo kovine - to je taljenje, legiranje, vlivanje in končna toplotna ter mehanska obdelava predmeta - in od katerih je neposredno odvisna navzočnost nekaterih elementov v surovcih in zlitinah. Z ugotavljanjem vrste in količine teh elementov, ki ga omogočajo spektrometrične metode, in s poznavanjem temeljnih zakonitosti metalurških postopkov (kjer je potrebno tudi eksperimentalno delo), je mogoče z določeno zanesljivostjo sklepati na raven tehnološkega znanja livarjev v posameznih arheoloških obdobjih. Z raziskavami na tem področju se ukvarja predvsem angleška šola, če jo lahko tako imenujemo, iz katere prihajajo številčne arheometalurške študije<sup>7</sup>, raziskave iberske in britanske bronastodobne metalurgije (Craddock 1978; Rothenberg, Blanco-Freijeiro 1981) ter metalurgije Bližnjega vzhoda<sup>8</sup>; predvsem pa se ukvarjajo tudi z eksperimentalno metalurgijo (Teylecot in dr. 1978).

Naše arheološko gradivo so do zdaj analizirali le v omejenem obsegu. Vsaj kar zadeva kemične analize kovin, je bil vzrok gotovo pomanjkanje denarja in s tem povezano majhno zanimanje domačega naravoslovja za sodelovanje. Za spektrometrične metode so namreč potrebne izredno drage aparature, za nekatere celo reaktor, zato je razumljivo, da so analize drage. Da so nekatere analize kljub temu opravili, gre pripisati osebnim stikom, dobri volji in iznajdljivosti posameznikov. Redke so naredili v domačih laboratorijih, večina izvira iz prej omenjenih evropskih projektov. Ker so zaenkrat še maloštevilne, bomo v pregledu upoštevali vse objavljene analize kovin razen železa<sup>9</sup>, ne glede na arheološko obdobje.

V okviru programa spektroskopskih analiz laboratorija v Halleju so analizirali štiri surovce iz poznobronastodobnega depoja Črmošnjice in en surovec iz sočasnega depoja Jurka vas<sup>10</sup>. V okviru stuttgartskih analiz pa so analizirali več kot 40 različnih bakrenih<sup>11</sup> in večino naših zlatih prazgodovinskih predmetov<sup>12</sup>.

Leta 1979 dobimo prve domače spektrografske analize. Znova so bili analizirani nekateri izmed predmetov v depojih Črmošnjice in Udje - skupaj osem predmetov (Kosta in dr. 1979). Uporabili so kombinacijo elektrolize, voltametričnih metod in NAA, določili so deset elementov. Analizo lahko imamo predvsem za dokaz, da je bilo naše naravoslovje tedaj usposobljeno za oprav-

ljanje nejsodobnejših analiz - njeni rezultati pa so za primerjave neuporabni, ker so objavljeni brez inventarnih številok predmetov.

Leta 1982 je bila analizirana skupina sedemnajstih različnih kovinskih predmetov (večinoma nakit), dve kovinski kaplji iz talilnega lončka in trije vzorci železove žilindre s Pristave na Bledu, z Dlesc pri Bodeščah in iz neimenovanega prazgodovinskega najdišča (Šmit 1982). Predmeti so bili izbrani iz treh različnih obdobj (antičnega, zgodnjerednjeveškega in slovanskega) in iz dveh virov (naselbine in grobišča) z namenom, da bi ugotovili morebitno zvezo med vsebino talilnega lončka in izdelki. Uporabili so metodo fluorescenc rentgenskih žarkov (FRF - PIXE), ki je nedestruktivna, vendar pa analiza zajame le plitvo površino predmeta. Zato sklepamo o sestavi kovine le s približno 10-odstotno mersko natančnostjo. Analiza je pokazala, da sestava zlitin ni značilna za posamezno od omenjenih obdobj, da se ravna po metalurških pravilih, vsaj kar zadeva vsebnosti svinca, in da se razlikuje od sestave kapelj v lončku. Seveda pa je bilo analiziranih predmetov premalo in izbrani so bili iz preveč različnih kontekstov, da bi to omogočalo kakršnekoli širše sklepe, česar se je zavedal tudi avtor.

Z enako metodo so analizirali tudi skupino malih in velikih noriških srebrnikov iz Celja in iz depojske novčene najdbe iz Bevk (Šmit, Kos 1984) z namenom, da bi ugotovili vzroke za razlike v težnem razmerju istovrstnih novcev iz dveh kovnic, Celja in Magdalenske gore na Koroškem. Rezultati so pokazali povprečno vsebnost srebra v malih vzhodnonoriških srebrnikih iz Celja, vendar z rezervo glede na omejene možnosti uporabljene metode pri določanju celotne sestave zlitine.

Leta 1988 se je začel na pobudo Oddelka za arheologijo ljubljanske fakultete prvi domači dolgoročni načrt analiz prazgodovinskih kovin. Vodita ga Arheološki oddelek Narodnega muzeja in laboratorij za analizo kemijo Kemijskega inštituta Boris Kidrič v Ljubljani. Tudi te analize izvajajo z optično emisijsko spektroskopijo, in sicer po metodi ICP (Inductively Coupled Plasma). Z omenjeno metodo je mogoče razmeroma preprosto in hitro določiti veliko število elementov hkrati (približno 70), pri čemer zadostuje razmeroma majhen vzorec (50 mg ali manj). Metoda omogoča odkrivanje elementov, ki se pojavljajo v velikih koncentracijah (do 10-odstotnih),

kot tudi v zelo majhnih koncentracijah (do 0,991-odstotnih) - sledovih. Temelji na dejstvu, da vsak od elementov katerekoli anorganske snovi (v našem primeru kovine) oddaja ali sprejema svetlobo, če ga k temu spodbudimo. Oddana svetloba je specifična za vsak posamezen element, njen zapis, ki se kaže v obliki spektralnih črt, pa se imenuje spekter. Položaj črte ali več črt v spektru pove vrsto elementa; če hočemo določiti količino elementa, pa je treba spekter primerjati s spektrom standardne zlitine znane sestave. Kot spodbujevalce svetlobe uporabljajo različne vire, v preteklih letih se je zelo uveljavilo vzbujanje sevanja v plazmi (ICPS), ki je zmanjšalo nekatere motnje v metodi OES, tako da jo tudi danes uvrščajo med najbolj perspektivne metode za analizo arheoloških kovin (Pernicka 1984). Tudi mi smo izbrali za raziskavo poznobronastodobne depojske najdbe z območja Slovenije, ker ponujajo nekatere prednosti pri obdelavi. So sklenjene celote z velikim številom istovrstnih predmetov, ki izvirajo iz bolj ali manj omejenega časovnega obdobja. Mogoče jih je tudi primerjati z gradivom sosednjih območij, ki je bilo v določenem obsegu že analizirano (npr. Sangmeister 1973). Ker smo imeli za analize na voljo metodo ICPS, smo usmerili raziskovanje v ugotavljanje tehnoloških postopkov pri pridobivanju in obdelavi kovine, da bi ugotovili raven tehnološkega znanja na južnovzhodnoalspkem prostoru v pozni bronasti dobi. Na podlagi dobljenih rezultatov in primerjav s sosednjimi območji pa lahko razširimo raziskavo tudi v ugotavljanje morebitnih trgovskih in drugačnih povezav med temi prostori.

Do danes je bilo analiziranih 324 predmetov in surovcev iz depojev Črmošnjice, Udje, Jurka vas in Debeli vrh nad Predgradom. Analize zajemajo dvanajst elementov (Cu, Ag, Mn, Bi, Co, Fe, Ni, Pb, Sb, Sn ter Zn), od katerih obravnavamo predvsem kositer (Sn), svinec (Pb) in železo (Fe). Načeloma analiziramo vse predmete posameznega depoja, pri obdelavi rezultatov pa smo se omejili na najštevilnejše predmetne skupine v naših depojih, srpe in sekire, ker jih je mogoče bolj statistično obdelati. Posebej obravnavamo surovce, ki jih imamo za mogoče, ne pa tudi obvezen vir surovine, iz katere bi bili lahko narejeni predmeti znotraj posameznega depoja. Svoje analize smo seveda takoj preverili z analizami iz Halleja in ugotovili, da se razlikujejo le v desetinkah odstotkov, s čimer je potrjena točnost obojih analiz. To

pa je tudi edina korist, kajti naše analize so zajele veliko več predmetov kot vse prejšnje, posegle pa so tudi v drugo časovno obdobje kot stuttgartske. Naj navedem le v ilustracijo - v primeru Črmošnjic je razmerje analiziranih surovcev v Halleju in v našem prijektu 4:13 v korist zdajšnjih analiz.

Od opravljenih analiz so bile obdelane analize depojev Črmošnjice in Udje (Trampuž Orel in dr., v tisku). Splošna ugotovitev prvih raziskav je, da so bili vsi pregledani kovinski izdelki narejeni iz kositrnega bronu in da so bili namerno, ne naključno legirani. Na to nas navaja dejstvo, da je povprečna vsebnost kositra pri obeh depojih različna v funkcionalno različnih predmetih. Tako imata posoda in meč iz Črmošnjic veliko kositra (9,90 odstotka in 8,16 odstotka) kot sekire (5,14 odstotka) in srpi, ki ga imajo najmanj (3,09 odstotka). Podobno razmerje je tudi pri predmetih iz Udja. To si razlagamo z lastnostjo kositra, ki povečuje trdoto bronu, vendar hkrati zmanjšuje njegovo zmožnost raztezanja. Sklepamo, da je livar zavestno dodal najmanj kositra v leguro, namenjeno srpu, da bi ohranil razteznost bronu, potrebno pri klepanju. Kajti srpu je treba, če ga uporabljamo, brusiti rezilo, in sicer izmenoma s klepanjem, kadar je rob že preveč top in debel. Če bi bil bron trd, kakor je pri meču in sekiri, bi kovanja ne prenesel in bi se lomil. Če primerjamo svoj podatek o kositru z analizami bronastih izdelkov pozne bronaste dobe iz Anglije (Craddock 1978), se naše ugotovitve razlikujejo. Tam so ugotovili enako povprečno vsebnost kositra v različnih predmetih (9,13 odstotka), zaradi česar predpostavljajo, da je bila velika večina predmetov izdelana s pretaljevanjem. Za surovce iz obeh naših depojev pa je mogoče reči, da so iz razmeroma čistega bakra in da so produkt prvega taljenja rude. To sklepamo po čistosti bakra in po njihovi značilni obliki narobe poveznjene skodelice, ki so jo prevzeli po obliki jame v talilni peči, v katero se je iztekala kovina. Povečana vsebnost železa (pri Črmošnjicah npr. 2,16 odstotka), ki ga ruda sicer nikoli ne vsebuje v takšni količini, pa kaže na naprednejši postopek taljenja (Craddock 1980), pri katerem so z nameranim dodajanjem kremenčevega peska in železove rude povečevali nastajanje žlindre. Železo je nato med večurnim taljenjem teklo iz žlindre, ki se je nabirala nad kovino, v baker, ki se je nabiral na dnu talilne jame.

Na koncu naj omenim, da obstaja še vrsta drugih fizikalno - kemijskih metod, ki jih je mogoče uporabiti v arheologiji. Spoznavanju načina obdelave kovinskega predmeta rabijo metalografske analize, s katerimi ugotavljajo spremembe, nastale zaradi toplotnih in mehanskih učinkov (npr. pri vlišanju, kovanju itn.). S to metodo pa ni mogoče natančno ugotoviti elementarne sestave kovine niti izvora rude. Metalografsko so pregledali izbrane kovinske predmete iz prazgodovinske naselbine v Ormožu (Peteršič-Čobal 1989).

Med metodami, ki se uporabljajo za študij organskih snovi, kot so jantar, smola, ostanki hrane in podobno, sta infrardeča (IRS) in jedrska magnetna spektroskopija (NMR). Tudi s tega področja imamo nekaj posamičnih domačih analiz. Pregledali so smolo na nekaterih žarah z grobišča na dvorišču SAZU v Ljubljani (Hadži, Cvek 1977; Puč 1977) in smolo s sulične konice iz okoliša na Maharskem prekopu (Orel, Hadži 1978). Za obe se je pokazalo, da sta bili skuhanji iz brezovega lubja. Za to je bilo potrebno določeno tehnološko znanje, ki na primer ni potrebno pri lesni smoli, ker ta lahko nastane tudi le kot stranski proizvod kurjenja ali oglarjenja. Analizirali pa so tudi nekaj jantarja iz dolenskih halštatskih grobov in iz depojske najdbe Debeli vrh nad Podgradom (Hadži, Orel 1978), ki je bil v obeh primerih baltski in je v primeru debelovrškega depoja rabil tudi kot dodaten morebiten argument za stike med Pribaltikom in obalo severnega Jadrana v pozni bronasti dobi (Teržan 1984).

Pri podrobnejši opredelitvi površinskih lastnosti organskih snovi, kot so na primer vlakna rastlinskega in živalskega izvora, pa uporabljajo preprostejše in cenejše metode, med katere sodita tudi elektronska (SEM) in optična mikroskopija. Tudi na tem področju imamo nekaj domačih analiz, ki so jih izvedli na Inštitutu za tekstilno tehnologijo v Ljubljani, vendar niso objavljene.

BLANCE, B., 1971. *Die Anfänge der Metallurgie auf der Iberischen Halbinsel. Studien zu den Anfängen der Metallurgie* (SAM) 4.

COGLAN, J., HERBERT H., 1978. Some Aspect of the Study of Prehistoric Non-ferrous Metallurgy. *Festschr. f. R. Pittioni II*, 28-39.

COLES, J., HARDING, A., 1979. *The Bronze Age in Europe*.

CRADDOCK, P., 1978. Deliberate Alloying in the Atlantic Bronze Age, v *The Origins of Metallurgy in Atlantic Europe, Proc. of 5<sup>th</sup> Atlantic Colloquium*, Dublin, 369-385.

CRADDOCK, P., 1989. The composition of copper produced at the ancient smelting camps in the Wadi Timna, Israel. *Brit. Mus. Occasional Paper 20*, 165-175.

CRADDOCK, P., GIUMLIA-MAIR, A. R., 1988. Problems and Possibilities for Provenancing Bronzes by Chemical Composition, v *Bronzeworking Centres of Western Asia c. 1000-539 B. C.*, 317 ss.

GALE, N. H., STOS-GALE, Z. A., 1989. Bronze Age Archaeometallurgy of the Mediterranean: The Impact of Lead Isotope Studies, v *Archaeological terranean: The Impact of Lead Isotope Studies, v Archaeological Chemistry IV*, 159-198.

HADŽI, D., CVEK, F., 1976. Smolni kit in premaz za žare. *AV 27*, 128. 134.

HADŽI, D., OREL, B., 1978. Spektrometrične raziskave izvora jantarja in smol iz prazgodovinskih najdišč na Slovenskem. *Vest. slov. kem. dr. 25/1*, 51-62.

HARTMANN, A., 1970. Prähistorische Goldfunde aus Europa. *SAM 3*.

HARTMANN, A., 1982. Prähistorische Goldfunde aus Europa. *SAM 5*.

HÄRKE, H., 1978. Probleme der optischen Emissionsspektralanalyse in der Urgeschichtsforschung. *Prähist. Zeitschrift 53*, 165-276.

JUNGHANS, S., SANGMEISTER, E., SCHRÖDER, M., 1960. Metallanalysen kupferzeitlicher und frühbronzezeitlicher Bodenfunde aus Europa, *SAM 1*.

JUNGHANS, S., SANGMEISTER, E., SCHRÖDER, M., 1968; 1974. Kupfer und Bronze in der frühen metallzeit Europas, *SAM 2/1-3; SAM 2/4*.

KOSTA, L., PIHLAR, B., SMODIŠ, B., 1979. Trace elements as indicators of the origin of ancient alloys from Slovene finds. *Vestn. slov. kem. dr. 26/3*, 249-259.

OREL, B., HADŽI, D., 1978. Opredelitev smole na sulični osti iz okoliša o Maharskem prekopu. *Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji VI*, 101-102.

OTTO, H., WITTER, W., 1952. *Handbuch der ältesten vorgeschichtlichen Metallurgie in Mitteleuropa*.

PERNICKA, E., 1984. Instrumentelle Multi-Elementanalyse archäologischer Kupfer- und Bronzeartefakte: ein Methodenvergleich. *JhbRGZM 31*, 517-531.

PERNICKA, E., 1987. Erzlagerstätten in der Ägäis und ihre Ausbeutung im Altertum: geochemische Untersuchungen zur Herkunftsbestimmung archäologischer Metallobjekte. *JhbRGZM 34/2*, 607-714.

PERNICKA, E., SEELIGER, T. C., WAGNER, G. B., BEGEMANN, F., SCHMITT-STRECKER, S., EIBNER, C., ÖZTUNALY, Ö., BARANYI, I., 1984. Archäometallurgische Untersuchungen in Nordwestanatolien. *JhbRGZM 31*, 533-599.

PETERŠIČ-ČOBAL, M., 1989. Metalografska preiskava bronastih prazgodovinskih predmetov iz Ormoža. *AV 39-40*, 323-332.

PITTONI, R., 1959. *Arch. Austriaca 26*, 67-95.

PITTONI, R., 1980. *Urzeit I/2*.

PUŠ, J., 1977. Premazi in smolnati kit na prazgodovinskih posodah. *AV 27*, 124-127.

ROTHENBERG, B., BLANCO-FREIJEIRO, A., 1981. *Studies in Ancient Mining and Metallurgy in South-west Spain*.

SANGMEISTER, E., 1973. Die Bronzen des Fundhorizontes von Opályi. Ergebnisse der spektralanalytischen Untersuchungen v. A. Mozsolics, *Bronze- und Goldfunde des Karpatenbeckens*, 215-249.

ŠMIT, Ž., 1982. Analiza kovinskih predmetov s prostorsko vzbujenimi rentgenskimi žarki. *AV 33*, 191-196.

ŠMIT, Ž., KOS, B., 1984. Elemental Analysis of Celtic Coins. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B3*, 416-418.

TERŽAN, B., 1984. O jantarju z debelega vrha nad Predgradom. *AV 35*, 110-118.

TYLECOT, R. F., BOYDELL, P. J., 1978. Experiments on Copper Smelting v Chalcolithic Copper Smelting, *Archaeo-Metallurgy 1*, IAMS, London.

TRAMPUŽ OREL, N., MILIČ, Z., HUDNIK, V., OREL, B., ICP-AES chemical analysis of metals from Late Bronze Age hoards in Slovenia, *Archaeometry*, v tisku.

#### Opombe

(1) Za analize iz Halleja in dober pregled starejših raziskav ter literature glej Otto in Witter 1952.

(2) Za pregled mlajših raziskav in literature glej Harke 1978.

(3) Za dunajski projekt glej Pittoni 1959 (in naslednje številke revije *Arch. Austriaca*) ter Pittoni 1980.

(4) Za stuttgartske analize bakra glej Junghans in dr. 1960, 1968, 1974, Blance 1971; za analize zlata glej Hartmann 1970, 1982.

(5) Na kratko o rezultatih stuttgartskega projekta glej Coles, Harding 1979, 18, op. 23.

(6) O raziskavah bakrovih rudišč in izdelkov so bili podani referati na mednarodnem simpoziju Starodavno rudarstvo in metalurgija v JV Evropi v Donjem Milanovcu od 20.-25. maja 1990.

(7) O arheometalurški tematiki glej *Aspects of Early Metallurgy*, *Brit. Mus. Occasional Paper 17*, 1980.

(8) Najnovejši izsledki s tega področja bodo izšli v zborniku IAMS (Institute for Archaeometallurgical Studies, London): *The Ancient Metallurgy of Copper, Researches in the Arabah, 2* (v tisku).

(9) Raziskave železa obsegajo posebno področje, več o tem glej Meterc J., Sledovi prazgodovinskega rudarstva in železarstva v Triglavskem pogorju, 1989 (dipl. naloga, neobj.).

(10) Otto in Witter 1952, 204, 206.

(11) Za analize bakrenih predmetov z Ljubljanskega barja (Dežmanova kolišča na Igu, Ig-Studenec in Lavrica), iz Ljubljane (Dermastjeva zbirka) in Malega grabna v Ljubljani, Kamnika, Šmartnega v Tuhinjski dolini, Ihana, Palovč, Dolnjega Zemona, Pirana, Zagorja, Šempetra pri Gorici in Čepnega glej SAM 2/3, 1968, s. 10-13, 56-57, 142-143; za gradivo iz Maribora pa SAM 1 1960, s. 119, 153.

(12) Za analize zlatih predmetov iz Celja, Libne, Malenc, Podzemlja, Stične in Šmarjete glej SAM 3, 1970, s. 65, 67, 68.

*Neva Trampuž Orel*