

**A fémművesség termékeinek és technológiájának elterjedése
a Kárpát-medencében Kr.e. 5000 és 3000 között**
(The spread of the products and technology of metallurgy
in the Carpathian Basin between 5000 and 3000 BC)

Vezető kutató: Siklósi Zsuzsanna

Résztvevő kutatók: Bajnóczi Bernadett, Mozgai Viktória, M. Virág Zsuzsanna

NKFI FK 124260

Záróbeszámoló

Kutatási projektünkben a mai Magyarország területéről származó, az első réztárgyak megjelenésétől – a késő neolitikumtól (Kr.e. 4900-4500) – a késő rézkor végéig (Kr.e. 3000/2800) tartó időszak réztárgyainak átfogó, hiánypótló elemzését terveztük. A Kárpát-medence földrajzi helyzeténél fogva fontos összekötő kapocs Délkelet- és Közép-Európa között. Valószínűleg jelentős szerepet játszott a fémművesség technológiájának elterjedésében is (Kalicz, 1992; Renfrew, 1984; Scharl, 2016; Strahm and Hauptmann, 2009), azonban mindezidáig nem készültek olyan átfogó ólomizotópos és kémiai összetételi méréssorozatok a magyarországi neolitikus és rézkori réztárgyakon, amelyek hozzájárulhattak volna a tárgyak nyersanyagának származási helyének meghatározásához. Jóllehet a mai Magyarország területén kevés a potenciális rézércforrás, a környező területeken számos, részben régészetileg is jól kutatott rézércforrás és fémművességi központ ismert. Ezek közé tartoznak a mai Szerbia területén a Vinča-kultúra lelőhelyei több rézércbányával (Antonović, 2016; Jovanović, 1982; Pernicka et al., 1993; Radivojević et al., 2021), a mai Bulgária területén a Kodzadermen-Gumelnița-Karanovo VI komplexum lelőhelyei (Gale et al., 2003, 2000, 1991; Krauss et al., 2020; Pernicka et al., 1997; Stos-Gale et al., 1998) és kisebb mértékben a mai Szlovákia területén az Északnyugati-Kárpátok forrásai, feltehetően a Luda-nice vagy Furchenstich kerámia-kultúrájának lelőhelyeivel (Modarressi-Tehrani et al., 2016; Modarressi-Tehrani and Garner, 2014; Schreiner, 2007; Schreiner et al., 2012; Struhár et al., 2023; Zachar et al., 2023) és az Alpok forrásai (Artioli et al., 2016, 2015; Frank and Pernicka, 2012; Höppner et al., 2005; Lutz and Pernicka, 2013). Ezzel szemben, bár a régészeti szakirodalom potenciális rézércforrásként említ több magyarországi és romániai területet (Kalicz, 1992; Radivojević and Roberts, 2021), ezekről egyáltalán nem vagy alig készültek ólomizotópos mérések (Bugaj et al., 2019).

Éppen ezért kutatási projektünkben a potenciális, egyelőre alig kutatott rézércforrások (Mátra, Rudabánya, Mecsek, Bihar, Bánát), valamint a magyarországi késő neolitikus és rézkori réztárgyak átfogó ólomizotópos és kémiai összetételi mérését tűztük ki célul annak érdekében, hogy részletesebben megértsük a fémművesség elterjedésének dinamikáját és a hazai régészeti leletanyagot is be tudjuk kapcsolni a nemzetközi hálózatba. Ehhez kulcsfontosságú volt a vizsgált tárgyak pontos keltezése, ezért ötven AMS mérést végeztünk. Kutatásunkat öt fő kérdés köré szerveztük (Siklósi et al., 2017), a következőkben ezek mentén mutatjuk be a projekt eredményeit.

1. Honnan származott a Kárpát-medencei rézleletek nyersanyaga?

Összesen (a tervezett 70 helyett) 110 régészeti tárgyon és 51 geológiai rézérc mintán végeztünk ólomizotópos és kémiai összetételi méréseket. A projekt során készült ólomizotópos, kémiai összetételi és radiokarbon méréseket a szakcikkek mellett egy online, szabadon hozzáférhető, térképes adatbázisban is publikáljuk (Siklósi et al. 2024a).

A régészeti minták reprezentatív sorozatot alkotva lefedik a késő neolitikumtól a késő rézkorig terjedő időszakot (Kr.e. 5000-3000). A geológiai minták elemzésével karakterizálni tudtuk a Mecsek, Mátra és Rudabánya, valamint a romániai Bihar és Bánát környékén lévő rézércforrásokat (Siklósi et al. 2024a, 2024b). Az északkelet-magyarországi források ólomizotóposan egymáshoz, és az Északnyugat-Kárpátok forrásaihoz rendkívül hasonlóak, azokkal szignifikáns átfedésben vannak. A bihari és bánáti források ezektől elkülönülnek, részben a szerbiai forrásokkal vannak átfedésben. E források ólomizotópos karakterizálását további mérésekkel érdemes pontosítani.

A régóta élő toposzt, miszerint a délkelet-dunántúli késő neolitikum rézgazdagsága a helyi, mecseki malachit használatának köszönhető, a Mecsekből származó minták, valamint késő neolitikus malachit- és réztárgyak összehasonlításával teszteltük. Ez alapján egyértelműen elvethető a mecseki források használata (Siklósi et al. 2024b). A délkelet-dunántúli késő neolitikus malachit- és réztárgyak vizsgálata alapján kétféle technológiával – a malachit kőként való faragása és nagy tisztaságú réz olvasztása – egyidejűleg készültek azonos forrásból származó nyersanyagból ékszerek, melyek gyakran egy-egy szett részét képezték. E tárgyak nyersanyagának forrását az átfedésben lévő ólomizotóp-összetétel miatt rendkívül nehéz volt lokalizálni. Valószínűleg több balkáni forrásból származhattak, melyek között bulgáriai, esetleg bihari források is lehettek. Egyelőre nem zárhatjuk ki teljes bizonyossággal sem az északkelet-magyarországi, sem az Északnyugati-Kárpátokban lévő források használatát, bár ez a régészeti adatok figyelembe vételével nem valószínű.

A Dunántúl (pl. Magyaregres-Varga-Bonyi ároktól keletre (Siklósi et al., 2022)) és Budapest környékének kora rézkorból származó réztárgyak vagy az Északnyugati-Kárpátokban lévő vagy az északkelet-magyarországi forrásokból származhatnak (M. Virág et al. in prep.). Ezzel szemben az egykorú alföldi lelőhelyeken elsősorban balkáni, esetleg bihari vagy bánáti forrásokból származó tárgyak kerültek elő.

A középső rézkorra (Kr.e. 4000/3900-3650) nagyrészt eltűntek a balkáni forrásokból származó tárgyak, az Északnyugati-Kárpátokból vagy Északkelet-Magyarországról származó nyersanyagok használata vált uralkodóvá.

A késő rézkorra (Kr.e. 3650-2800) a középső rézkorban használt források folyamatos kiaknázása, esetleg a korábbi tárgyak újraolvasztása jellemző (Siklósi et al. in prep.).

2. Volt-e összefüggés a rézleletek tipológiai változásai és az új nyersanyagforrások használatának kezdete között?

Kalicz Nándor korábban a korai réztárgyak tipológiai elemzése és a régészeti kultúrák kulturális kapcsolatai alapján vetette fel azt, hogy az alföldi kora és középső rézkori réztárgyak a balkáni fémművességi kör, míg az egykorú dunántúli tárgyak a közép-európai fémművességi kör termékei lennének. Ez utóbbiak készítési központját a kelet-alpi területekre feltételezte (Kalicz, 1992, 1982). Vizsgálatai eredményeink alátámasztják azt, hogy a szemüvegspirális csüngők, nagyméretű spirális karperecek és a Dunántúlon előkerült laposbalták, Crestur típusú balta nyersanyaga valószínűleg az Északnyugati-Kárpátok területéről vagy északkelet-magyarországi forrásokból származhat (M. Virág et al. in prep.). Ezzel szemben az alföldi Jászladány-típusú ellentett élű csákányok, Širia-típusú fokosok, lapos balták, kisebb ékszerek nyersanyaga elsősorban balkáni forrásokból származik (Siklósi and Szilágyi, 2019). Ebből az is következik, hogy Kalicz N. feltevésével szemben a közép-európai fémművességi kör központja nagy valószínűséggel az Északnyugati-Kárpátok területén lehetett (Siklósi et al., 2023, 2022).

Nem egyértelmű a középső rézkori (Vinča-típusú) laposbalták nyersanyagának eredete és az új típus megjelenése közti összefüggés. Kalicz N. ezeket a kelet-alpi fémművességi kör termékeinek tartotta (Kalicz, 1992). Két ilyen tárgyat vizsgáltunk, az egyik balkáni, míg a másik nyersanyaga valószínűleg

szlovákiai vagy északkelet-magyarországi forrásból származhat. A középső rézkori olvasztótégelyekben található salakmaradványok vizsgálata egyrészt az Alföld és a Dunántúl eltérő kapcsolati hálózatát, másrészt a közelebbi forrásokból származó nyersanyagok felhasználását erősítette meg.

A tipológiai változás és a nyersanyagforrások változása közti esetleges összefüggés kiemelten fontossá válik a késő rézkor kezdetével, amikor a rézgazdagság visszaesése különösen látványos. Ezt a mennyiségi és minőségi visszaesést régóta igyekszik megmagyarázni a régészeti kutatás. A lehetséges magyarázatok között egyaránt felmerült a könnyen hozzáférhető rézércforrások kimerülése (Powell et al., 2017) és a réz mint presztízsnyersanyag jelentéktelenné válása is (Bondár, 2023, 2019). E kérdés megválaszolásához annyiban járulnak hozzá eredményeink, hogy a középső és késő rézkor között a kiaknázott források kontinuitását tudtuk kimutatni. Ez kétféleképpen magyarázható: vagy továbbra is hozzáférhetőek voltak a korábban használt források, vagy a korábbi tárgyakat olvasztották újra (Siklósi et al. in prep.). A réztárgyak újraolvasztásának lehetősége régóta foglalkoztatja a kutatást (Pernicka, 2014), azonban a nagytisztaságú réznyersanyag használata miatt ennek kimutatása a rézkorra vonatkozóan egyelőre nem járt sikerrel.

3. Hogyan illeszthetők be a Kárpát-medence rézkori rézleletei a Délkelet- és Közép-Európa közötti társadalmi hálózatokba?

A projektben elvégzett ólomizotópos, kémiai összetételi és radiokarbon mérések alapján világosan kirajzolódik a Kárpát-medence összekötő szerepe. Ez leginkább a késő neolitikum és a kora rézkor idején szembeötlő.

Ahhoz, hogy a vizsgált réztárgyakat pontosan keltezni tudjuk ötven AMS mérést végeztettünk a projekt keretében. Arra törekedtünk, hogy a zárt kontextusból származó malachit- és réztárgyak esetében ugyanabból a kontextusból, lehetőleg összefüggő (emberi vagy állati) vázrészből származzon a radiokarbon minta. Ez leginkább a temetkezések esetében volt lehetséges, azonban a településekről származó réztárgyak esetében gyakran egyáltalán nem állt rendelkezésre radiokarbon keltezésre alkalmas minta ugyanabból az objektumból. Így ezekben az esetekben a teljes lelőhely keltezésére törekedtünk. Két fontos lelőhelyet, Zalavár-Mekenyét és Zalavár-Basaszigetet nem tudtuk radiokarbon mérésekkel keltezni az arra alkalmas minták hiánya miatt.

A radiokarbon keltezés kulcsfontosságú volt a Ludanice, Furchenstich és Protoboleráz kontextusból származó tárgyak esetében, mivel ezek eddig rendkívül kisszámú radiokarbon méréssel voltak keltezve. A projekt eredményeinek köszönhetően a Dunántúl és Budapest térségére vonatkozóan is fel tudjuk vázolni a kora és középső rézkori anyagi kultúra időbeli változását.

A késő neolitikus malachit- és rézmelléklettel rendelkező temetkezések keltezése alapján egyértelműen azt látjuk, hogy ezek nagyobb mennyiségben csak a korszak második felében, nagyjából Kr.e. 4700-tól kezdődően jelentek meg (Siklósi et al. 2024b), egyidejűleg a réztárgyak alföldi megjelenésével (Siklósi et al., 2015).

4. Milyen társadalmi interakciók rekonstruálhatók a rézleletek nyersanyagforrásaiból? Hogyan modellezhetjük a fémművesség termékeinek és technológiájának elterjedését?

A késő neolitikus alföldi és dunántúli réztárgyak egyértelműen egy közös, nagytávolságú csererendszer részei lehettek. Ez a tárgyak kontextusát és használatát figyelembe véve távolsági presztízscsererendszer lehetett. Részben ez folytatódott a következő korszakban, a kora rézkorban is, amikor az alföldi

réztárgyak továbbra is presztízstárgyakként értelmezhetők, és nagyrészt továbbra is a balkáni területekről származhattak. Ugyanakkor jelentős különbség, hogy ebben az időszakban indulhatott meg az Északnyugati-Kárpátok területén egy új fémművességi központ termelése, amely saját nyersanyagforrásokra alapozottan alakította ki új, a balkáni körtől különböző, önálló tárgytípusait. A balkáni típusoktól eltérően – melyek egészen az Északi-tengerig és Nyugat-Európaig eljutottak – e fémművességi központ önálló típusainak – a szemüvegspirális csüngők, nagyméretű spirálisan tekercselt karperecek, eltérő hosszúságú spirális csövecskék – elterjedése a közép-európai területekre szorítkozik. A magyaregresi kincs előkerülésével és vizsgálatával egyértelműen ehhez a körhöz sorolhatjuk a Dunántúl területét is (Hornok and Kiss, 2017; Siklósi et al., 2022).

Az Alföld és a Dunántúl kettőssége mellett az ország északi területén rajzolódik ki egy olyan interakciós zóna, amely összekötő kapcsot jelenthet a balkáni és közép-európai súlypontú területek között.

A projekt jelentős új eredménye az, hogy már a kora rézkortól (Kr.e. 4350-4000/3900) számolhatunk helyi fémművességgel az Észak-Dunántúl és Budapest térségében, esetleg Északkelet-Magyarországon. A jelenleg rendelkezésre álló radiokarbon adatok egyelőre nem teszik lehetővé, hogy ezen az időszakon belül pontosabban keltezzük a helyi fémművesség nyomait. A jövőben érdemes még további radiokarbon mérésekkel pontosítani ezeket.

Északkelet-Magyarország területéről egyelőre az egyetlen, a kora rézkor időszakából származó, és a fémművesség technológiájának ismeretére utaló lelet, a Tiszapolgár-Basatanya 59. sírból előkerült kis-méretű rézöntecs. Ennek nyersanyaga valószínűleg a mai Bulgária területéről, Stara Zagora térségéből (Ai Bunarról) származik.

Korábban egyáltalán nem ismertünk fújtatókat a magyarországi kora és középső rézkor idejéből, azonban a projekt keretében több lelőhely leletanyagában is azonosítottuk ezeket. Ezek mindegyike – Győr-Szabadrétdomb (M. Virág and Figler, 2007), Budapest-Dobogókő u. 3. és 5., Budapest-Csúcshegy-Harsánylejtő – a Ludanice-Balaton-Lasinja-komplexum települése volt (M. Virág et al. in prep.). Ezek a leletek egyértelműen jelzik, hogy nemcsak a Ludanice-komplexum Északnyugati-Kárpátok területén lévő, hegyvidéki, a forrásterületekhez közeli lelőhelyein folyt fémművesség, hanem már a forrásoktól kissé távolabbi területeken is lehettek másodlagos feldolgozó műhelyek. A komplexum más lelőhelyeiről rendelkezésre álló réztárgyak elemzése alapján ezek mindegyikének nyersanyaga az Északnyugati-Kárpátok vagy Északkelet-Magyarország területéről származik, így azzal számolhatunk, hogy a fémművesség technológiájának tudása erről a területről jutott a mai Magyarország, forrásoktól távolabb eső lelőhelyeire. Ezzel éles ellentétben áll az Alföld területe, ahol a technológiai tudás megjelenésének nyomait a basatanyai 59. síron kívül egyelőre nem látjuk. Ebből a szempontból lényeges lett volna a szeged-szilléri – bár kontextus nélküli – kincs vizsgálata, amelyre nem kaptunk engedélyt.

A magyaregresi kincs vizsgálatának lehetősége egy újabb szempont, a készítési technika vizsgálatát tette lehetővé. Annak köszönhetően, hogy a kincs egy fejjel lefelé fordított fazékban került deponálásra, viszonylag zárt, védett közegben, kitűnő, kevésbé korrodált állapotban maradt fenn (Hornok and Kiss, 2017). Így Horváth Eszter mikroszkóposan vizsgálni tudta a tárgyak felületén és néhány esetben a törésfelületükön látható készítési nyomokat. Ez alapján egy egységes készítési technológiát rekonstruált, mely során a nagyobb tárgyak – szemüvegspirális csüngők, spirális karperecek – készítéséhez vékony rézlemezeket kalapáltak, helyeztek egymásra, azokat feltekerték, majd a kívánt formára hajlították. Ezt az alapelvet követték a kisebb tárgyak – gyöngyök és spirálisan tekercselt csövecskék – készítése során is, ahol azonban csak egy-egy rézhuzalt vagy lapot tekertek fel (Siklósi et al., 2022). A tárgyak korrodált állapota miatt ehhez hasonló részletes megfigyelésre más tárgyak esetében nem volt lehetőségünk. A szakirodalomban is kevés a hasonló kutatás. A lengyelországi hasonló, késő rézkori karperecek (Kowalski et al., 2019) ehhez hasonló technikával készülhettek (Siklósi et al., 2022). Ez alapvetően

eltérő a bulgáriai durankulaki temető karperecein megfigyelt készítési technikától (Dimitrov, 2002), így – habár szélesebbkörű összehasonlító elemzésekre lenne szükség – ezek az eredmények megerősítik az Északnyugati-Kárpátok területén lévő fémművességi központ önállóságát.

A késő neolitikumban kizárólag nagytisztaságú rézércből (max. 1 ppm Sb, 10 ppm As, 10 ppm Ag) készítettek réztárgyakat, alapvetően ez a technológia folytatódott a kora rézkorban is. Ugyanakkor a kora rézkorban jelentek meg elsőként kissé nagyobb arzén- és/vagy antimontartalmú tárgyak, amelyek más típusú nyersanyag használatára utalnak. A tárgyak egy kisebb csoportja kifejezetten nagy arzéntartalommal rendelkezik (0,6-5 tömeg% As), ezek fakóércből készülhettek. A kora rézkorban Tiszavalk-Kenderföldök 29. sír karperece és Rákóczipfalva-Bivaly-tó 1/C 140/152. sírjából származó tör (Siklósi and Szilágyi, 2019) voltak ilyen tárgyak, azonban a középső és késő rézkorban már számos ilyen találunk. Ilyenek a Budapest-Növény utca Furchenstich településen, valamint Gölle és Büssü között szórványként előkerült Vinča-típusú laposbalták, Tiszalúc-Sarkadról, Tikos-Nyárfásról és Sármellék-Égenföldről előkerült kések, egy ár Budapest-Pusztakúti útról, valamint egy tör Sármellék-Égenföldről és egy karperec Balatonlelléről.

A korábbi régészeti szakirodalom a Mondsee-kultúrához és a kelet-alpi forrásokhoz kötötte az arzén-rézről készült tárgyak készítését (Bondár, 2019), azonban az újabb és a szlovákiai tárgyak ólomizotópos mérései alapján ezek forrását inkább az Északnyugat-Kárpátok területére tehetjük (Novotná, 1955; Schreiner, 2007). Ugyanakkor a fenti tárgyak között olyanokat is találunk, amelyek nyersanyaga az ólomizotópos mérések alapján a Bánát, Bihar vagy a mai Bulgária területéről származhat.

Elsősorban az ólomizotópos, kisebb arányban a kémiai összetételi mérések alapján meghatároztuk, hogy melyek lehettek a vizsgált magyarországi malachit- és réztárgyak nyersanyagának lehetséges forrásterületei. Ahhoz, hogy az egykori kommunikációs útvonalakat az egykori valósághoz jobban közelítve rekonstruálni tudjuk, Faragó Norbert részvételével térinformatikai elemzéseket végeztünk. Ennek során digitális terepmodell, a talajtípusok és a vízhálózat figyelembevételével a bányaterületek és a tárgyak régészeti lelőhelye közötti legkisebb költségű útvonal (least-cost paths (Herzog, 2014)) kiszámítását végeztük el (Faragó and Siklósi in prep.). Számolunk azzal, hogy a tárgyak lelőhelyein egykor élt közösségek valószínűleg nem álltak közvetlen kapcsolatban a bányaterületekkel, hanem a két területet összekötő útvonal mentén számos további, egykorú település közösségével fenntartott kapcsolat láncolatán keresztül jutottak el ezek a tárgyak a végső deponálási helyükre. Éppen ezért ez a módszer kitűnően alkalmas arra, hogy a szakirodalomban hozzáférhető, egykorú tárgyak anyagvizsgálatának eredményei, valamint az ismert egykorú régészeti lelőhelyek földrajzi helyzete alapján egy, a térbe illesztett, interakciós hálózatot rekonstruáljunk. A modellezés során két igen jelentős kihívással szembesültünk. Egyrészt az egykori vízhálózat rekonstruálása makroregionális léptékben alapvető jelentőségű volt, hiszen a Duna és mellékfolyóinak szabályozása előtt – főképpen a Kárpát-medencében – a maitól lényegileg eltérő vízrajzi körülményekkel számolhatunk. Az igen kiterjedt árterületek, mocsaras, lápos vidéken nagyterjedésű átjárhatatlan területeikkel jelentősen meghatározták az egykori közlekedési útvonalakat. Másrészt, ekkora léptékben – a Fekete-tengertől az Északi-Kárpátokig tartó területen – és ilyen pontosság mellett a legkisebb költségű útvonal térinformatikai kiszámítása jóval meghaladja egy személyi számítógép kapacitását. Ezért szükségessé vált az Eötvös Loránd Tudományegyetem ATLASZ szuperszámítógépének alkalmazása. Az egyes útvonalak rekonstruálása még folyamatban van, a jelenleg már elkészült térinformatikai elemzéseink alapján a legkisebb költségű útvonalak elsődlegesen a folyók lehettek. Figyelembe véve, hogy az általunk vizsgált időszak nagy része a kerék és a kocsis feltalálását, valamint a lovaglás megjelenését megelőzi, így a kisebb csónakkal járható vízi útvonalak a szárazföldi gyaloglásnál jóval gyorsabb közlekedést tehettek lehetővé.

5. Hogyan értelmezhetjük a rézleletek társadalmi szerepét az egyes korszakokban társadalomrégészeti szempontból?

A késő neolitikum idején egyértelműen presztízstárgyak voltak a malachit- és rézékszerek (Siklósi et al. 2024b). Erre következtethetünk az alföldi kora rézkor temetkezéseinek elemzése alapján is. Ugyanakkor a magyaregresi kincs tárgyainak értékelése során arra a következtetésre jutottunk, hogy a kincset alkotó tárgyak valószínűleg egy vagy két egyén státuszának kifejezésére szolgálhattak (Siklósi et al., 2022). A presztízs- és státusztárgyak közti különbséget nem csak egy-egy lelőhely tárgyainak elemzése során láthatjuk, hanem az egyes tárgytípusok elterjedése és használata között is.

A középső rézkortól kezdve tapasztalhatjuk nagyobb mennyiségben azt, hogy a réztárgyak között jelentősen csökken az ékszerek, reprezentációra használt tárgyak száma és növekszik a kifejezetten használati és használati nyomokkal rendelkező tárgyak száma. Ez a réztárgyak szociális szerepének, megítélésének egyértelmű jele, mely valószínűleg szorosan összekapcsolódik a fémművesség technológiájának elterjedésével.

Irodalom

- Antonović, D., 2016. Alter Kupferbergbau auf dem Balkan, in: Dietz, U.L., Jockenhövel, A. (Eds.), 50 Jahre „Prähistorische Bronzefunde“. Bilanz Und Perspektiven. Beiträge Zum Internationalen Kolloquium Vom 24. Bis 26. September 2014 in Mainz, Prähistorische Bronzefunde. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, pp. 33–51.
- Artioli, G., Angelini, I., Nimis, P., Villa, I.M., 2016. A lead-isotope database of copper ores from the Southeastern Alps: A tool for the investigation of prehistoric copper metallurgy. *J Archaeol Sci* 75, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.09.005>
- Artioli, G., Angelini, I., Tecchiati, U., Pedrotti, A., 2015. Eneolithic copper smelting slags in the Eastern Alps: Local patterns of metallurgical exploitation in the Copper Age. *J Archaeol Sci* 63, 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.08.013>
- Bondár, M., 2023. The paradigm shift in the later fourth millennium BC. Why did life change in the Middle Copper Age in the heartland of the Carpathian Basin? *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 74, 1–21. <https://doi.org/10.1556/072.2023.00001>
- Bondár, M., 2019. A késő rézkori fémművesség magyarországi emlékei. *Archaeolingua*, Budapest.
- Bugaj, U., Nejbert, K., Ilnicki, S., Wieceński, P., Onyszczyk, T., Garbacz, H., Włodarczak, P., 2019. Copper sulphosalts in early metallurgy (2600–1900 BC) – chemical-mineralogical investigation of artefacts from southern Poland. *Geological Quarterly* 63, 302–318. <https://doi.org/10.7306/gq.1473>
- Dimitrov, K., 2002. Die Metallfunde aus den Gräberfeldern von Durankulak, in: Todorova, H. (Ed.), Durankulak, Band II. Die Prähistorischen Gräberfelder von Durankulak. Teil 1. Sofia, pp. 127–158.
- Frank, C., Pernicka, E., 2012. Copper Artefacts of the Mondsee group and their possible sources, in: Midgley, M.S., Sanders, J. (Eds.), Lake Dwellings after Robert Munro. Proceedings from the Munro International Seminar: The Lake Dwellings of Europe 22nd and 23rd October 2010, University of Edinburgh. Sidestone Press, Leiden, pp. 113–138.
- Gale, N.H., Stos-Gale, Z.A., Lilov, P., Dimitrov, M., Todorov, T., 1991. Recent studies of Eneolithic copper ores and artefacts in Bulgaria, in: Eluère, C., Mohen, J.P. (Eds.), La Découverte Du Métal. Picard, Paris, pp. 49–75.

- Gale, N.H., Stos-Gale, Z.A., Radouncheva, A., Ivanov, I., Lilov, P., Todorov, T., Panayotov, I., 2000. Early Metallurgy in Bulgaria. *Annuary of Department of Archaeology* 4–5, 102–168.
- Gale, N.H., Stos-Gale, Z.A., Raduncheva, A., Panayotov, I., Ivanov, I., Lilov, P., Todorov, T., 2003. Early Metallurgy in Bulgaria, in: Craddock, P., Lang, J. (Eds.), *Mining and Metal Production through the Ages*. The British Museum Press, London, pp. 122–173.
- Herzog, I., 2014. Least-cost Paths – Some Methodological Issues. *Internet Archaeology*. <https://doi.org/10.11141/ia.36.5>
- Höppner, B., Bartelheim, M., Huijsmans, M., Krauss, R., Martinek, K.-P., Pernicka, E., Schwab, R., 2005. Prehistoric copper production in the Inn valley (Austria), and the earliest copper in Central Europe. *Archaeometry* 47, 293–315. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2005.00203.x>
- Hornok, P., Kiss, P., 2017. A Balaton-Lasinja-kultúra települése és kincslelete Magyaregresen. A settlement and a copper hoard of the Balaton-Lasinja culture at Magyaregres. *Archaeologiai Értesítő* 142, 239–253. <https://doi.org/10.1556/0208.2017.142.9>
- Jovanović, B., 1982. Rudna Glava. Najstarije rudarstvo bakra na Centralnom Balkanu. Rudna Glava. Die älteste Kupferbergbau im Zentralbalkan. Muzej rudarstva i metalurgije – Arheološki institut, Bor–Beograd.
- Kalicz, N., 1992. A legkorábbi fémleletek Délkelet-Európában és a Kárpát-medencében az i. e. 6-5. évezredben. The oldest metal finds in Southeastern Europe and the Carpathian Basin from the 6th to 5th Millenia BC. *Archaeologiai Értesítő* 119, 3–13.
- Kalicz, N., 1982. A Balaton-Lasinja kultúra történeti kérdései és fémleletei. The historical problems of the Balaton-Lasinja culture and its metal finds. *Archaeologiai Értesítő* 109, 3–17.
- Kowalski, Ł., Adamczak, K., Garbacz-Klempka, A., Degryse, P., Stos-Gale, Z., Kozicka, M., Chudziak, W., Krzyszowski, A., Jedynak, A., 2019. Back to the Eneolithic: Exploring the Rudki-type ornaments from Poland. *Archaeol Anthropol Sci* 11, 4355–4377. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00825-4>
- Krauss, R., Pernicka, E., Kunze, R., Dimitrov, K., Leshtakov, P. (Eds.), 2020. Prehistoric mining and metallurgy at the Southeast Bulgarian Black Sea coast. Tübingen University Press, Tübingen. <http://dx.doi.org/10.15496/publikation-51192>
- Lutz, J., Pernicka, E., 2013. Prehistoric copper from the Eastern Alps. *Open Journal of Archaeometry* 1, 25. <https://doi.org/10.4081/arc.2013.e25>
- Modarressi-Tehrani, D., Garner, J., 2014. New Approaches on Mining Activities in the Slovakian Ore Mountains, in: Labuda, J., Matejková, A. (Eds.), *Argenti Fodina*. Slovenské Banské Múzeum, Banská Štiavnica, pp. 45–57.
- Modarressi-Tehrani, D., Garner, J., Kvietok, M., 2016. Copper Production in the Slovak Ore Mountains – New Approaches Introduction, in: Körlin, G., Prange, M., Stöllner, T., Yalçın, Ü. (Eds.), *From Bright Ores to Shiny Metals. Festschrift for Andreas Hauptmann on the Occasion of 40 Years Research in Archaeometallurgy and Archaeometry, Der Anschnitt. Beiheft*. Verlag Marie Leidorf GmbH, Bochum, pp. 109–123.
- M. Virág, Z., Figler, A., 2007. Data on the settlement history of the Late Lengyel period of Transdanubia on the basis of two sites from the Kisalföld (Small Hungarian Plain) (A preliminary evaluation of the sites Győr-Szabadrétdomb and Mosonszentminklós-Pálmajor), in: Kozłowski, J.K., Raczky, P.

- (Eds.), *The Lengyel, Polgár and Related Cultures in the Middle/Late Neolithic in Central Europe*. The Polish Academy of Arts and Sciences and Eötvös Loránd University Institute of Archaeological Sciences, Kraków–Budapest, pp. 345–364.
- Novotná, M., 1955. Medené nástroje problém najstaršej ťažby medi na Slovensku – Kupfergeräte und das Problem der ältesten Kupfergewinnung in der Slowakei. *Slovenská Archeológia* 3, 70–100.
- Pernicka, E., 2014. Provenance Determination of Archaeological Metal Objects, in: Roberts, B.W., Thornton, C.P. (Eds.), *Archaeometallurgy in Global Perspective*. Springer, New York, NY, pp. 239–268.
- Pernicka, E., Begemann, F., Schmitt-Strecker, S., Todorova, H., Kuleff, I., 1997. Prehistoric copper in Bulgaria: Its composition and provenance. *Eurasia Antiqua* 3, 41–180.
- Pernicka, E., Begemann, F., Schmitt-Strecker, S., Wagner, G.A., 1993. Eneolithic and Early Bronze Age copper artefacts from the Balkans and their relation to Serbian copper ores. *Praehistorische Zeitschrift* 68, 1–54. <https://doi.org/10.1515/prhz.1993.68.1.1>
- Powell, W., Mathur, R., Bankoff, H.A., Mason, A., Bulatović, A., Filipović, V., Godfrey, L., 2017. Digging deeper: Insights into metallurgical transitions in European prehistory through copper isotopes. *J Archaeol Sci* 88, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.06.012>
- Radivojević, M., Rehren, T., Pernicka, E., 2021. Metallurgical knowledge and networks of supply in the 5th millennium BC Balkans: Belovode and Pločnik in their regional context, in: Radivojević, M., Roberts, B.W., Maric, M., Kuzmanović-Cvetković, J., Rehren, T. (Eds.), *The Rise of Metallurgy in Eurasia*. Archaeopress, Oxford, pp. 484–527. <https://doi.org/10.32028/9781803270425>
- Radivojević, M., Roberts, B.W., 2021. Early Balkan Metallurgy: Origins, Evolution and Society, 6200–3700 BC, *Journal of World Prehistory* 34: 195–278. <https://doi.org/10.1007/s10963-021-09155-7>
- Renfrew, C., 1984. The anatomy of innovation, in: Renfrew, C. (Ed.), *Approaches to Social Archaeology*. Edinburgh University Press, Edinburgh, pp. 390–418.
- Scharl, S., 2016. Patterns of innovation transfer and the spread of copper metallurgy to central Europe. *Eur J Archaeol* 19, 215–244. <https://doi.org/10.1080/14619571.2016.1147313>
- Schreiner, M., 2007. Erzlagerstätten im Hronal, Slowakei. Genese und prähistorische Nutzung, *Forschungen zur Archäometrie und Altertumswissenschaft*. Verlag Marie Leidorf GmbH, Rahden/Westf.
- Schreiner, M., Heyd, V., Pernicka, E., 2012. Kupferzeitliches Metall in der Westslowakei. Kov z doby medenej na západnom Slovensku, in: Kujovský, R., Mitáš, V. (Eds.), *Václav Furmánek a Doba Bronzová. Zborník k Sedemdesiatym Narodeninám*, *Archaeologica Slovaca Monographiae Communicationes*. Archeologický ústav SAV, Nitra, pp. 355–366.
- Siklósi, Zs., Horváth, E., Villa, I.M., Nisi, S., Mozgai, V., Bajnóczi, B., Csippán, P., Hornok, P., Kiss, P., 2022. The provenance of the raw material and the manufacturing technology of copper artefacts from the Copper Age hoard from Magyaregres, Hungary. *PLoS One* 17, e0278116. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0278116>
- Siklósi, Zs., M. Virág, Zs., Mozgai, V., Bajnóczi, B., 2017. The spread of the products and technology of metallurgy in the Carpathian Basin between 5000 and 3000 BC – Current questions. *Dissertationes Archaeologicae* 5, 67–82.

- Siklósi, Zs., Prange, M., Kalicz, N., Raczky, P., 2015. New Data on the Provenance of Early Copper Finds from the Great Hungarian Plain, in: Hansen, S., Raczky, P., Anders, A., Reingruber, A. (Eds.), Neolithic and Copper Age between the Carpathians and the Aegean Sea. Chronologies and Technologies from the 6th to the 4th Millennium BCE. International Workshop Budapest 2012, Archäologie in Eurasien. Habelt Verlag, Bonn, pp. 57–92.
- Siklósi, Zs., Szilágyi, M., 2019. New data on the provenance of copper finds from the Early-Middle Copper Age of the Great Hungarian Plain. *Archaeol Anthropol Sci* 11, 5275–5285. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00867-8>
- Siklósi, Zs., Villa, I.M., Nisi, 2023. The provenance of a forgotten Copper Age spectacle spiral pendant, in: Király, A. (Ed.), From Tea Leaves to Leaf-Shaped Tools, Litikum Könyvtár - Litikum Books. Lithic Research Roundtable Institute of Archaeological Sciences, ELTE Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary, Budapest, pp. 297–311.
- Stos-Gale, Z.A., Gale, N.H., Annets, N., Todorov, T., Lilov, P., Raduncheva, A., Panayotov, I., 1998. Lead Isotope Data from the Isotrace Laboratory, Oxford: Archaeometry Data Base 5, Ores from Bulgaria. *Archaeometry* 40, 217–226. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1998.tb00834.x>
- Strahm, C., Hauptmann, A., 2009. The Metallurgical Developmental Phases in the Old World, in: Kienlin, T.L., Roberts, B.W. (Eds.), Metals and Societies. Studies in Honour of Barbara S. Ottaway, Universitätsforschungen Zur Prähistorischen Archäologie. Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn, pp. 116–128.
- Struhár, V., Zachar, T., Bartík, J., 2023. Najstaršie doklady hutnenia medi na Slovensku. *Pamatky Múzea* 3–17.
- Zachar, T., Bartík, J., Struhár, V., Ozdín, D., Pašteka, R., Nývltová Fišáková, M., David, W., 2023. Early Copper Age settlement with evidence of copper smelting metallurgy from Horná Mičiná (Central Slovakia). *Zborník slovenského národného múzea* 117, 7–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.55015/CTQL8512>

Megjelenés alatt és előkészületben lévő publikációk:

- Faragó, N. and Siklósi, Zs. in prep. Multidisciplinary modelling the routes between the copper ore sources and Neolithic and Copper Age sites. Előkészületben
- M. Virág, Zs., Villa, I. M., Nisi, S., Bajnóczi, B., Mozgai V., Kraus, D., Szilas, G., Tóth, F. M., Siklósi, Zs. in prep. The beginning of copper metallurgy in the Copper Age of the Carpathian Basin – New data on the provenance of Early and Middle Copper Age copper finds from Western and Central Hungary. kézirat
- Siklósi, Zs., Faragó, N., Villa, I. M., Nisi, S., Bajnóczi, B., Mozgai, V., M. Virág, Zs. 2024a. Database for lead isotope and chemical composition analysis of prehistoric artefacts and copper ore sources of the Carpathian Basin. <https://prehistcopper.elte.hu/application/copperinnov>. <https://doi.org/10.21862/B2J8K5L0M>
- Siklósi, Zs., Oszás, A., Bajnóczi, B., Villa, I. M., Nisi, S., Mozgai, V., M. Virág, Zs. 2024b. The myth of Mecsek malachite used in the Late Neolithic Carpathian Basin – The provenance of Late Neolithic copper artefacts from Southeastern Transdanubia. Kézirat leadva az Archaeological and Anthropological Sciences folyóiratba.

Siklósi, Zs., Bondár, M., Villa, I. M., Nisi, S., Bajnóczi, B., Mozgai V., M. Virág, Zs. in prep. The provenance of the Middle and Late Copper Age copper artefacts of the Carpathian Basin. Előkészületben