

# A BUDAPESTI NEUTRON CENTRUM RÉSZVÉTELE AZ EURÓPAI ÖRÖKSÉGTUDOMÁNYI KUTATÁSOKBAN

## PARTICIPATION OF THE BUDAPEST NEUTRON CENTRE IN THE EUROPEAN HERITAGE SCIENCE PROJECTS\*

KASZTOVSZKY Zsolt<sup>1</sup>; SZENTMIKLÓSI László<sup>1</sup>; KIS Zoltán<sup>1</sup>; SZILÁGYI Veronika<sup>1</sup>;  
MARÓTI Boglárka<sup>1</sup>; HARSÁNYI Ildikó<sup>1</sup>; BELGYA Tamás<sup>1</sup>; GMÉLING Katalin<sup>1</sup>;  
BAJNOK Katalin<sup>2</sup>; LEN Adél<sup>1,2</sup>; KÁLI György<sup>1,2</sup>; KOVÁCS Imre<sup>2</sup>;  
SZÓKEFALVI-NAGY Zoltán<sup>2</sup>; ROSTA László<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Energiatudományi Kutatóközpont, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

<sup>2</sup>Wigner Fizikai Kutatóközpont, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

E-mail: [kasztovszky.zsolt@energia.mta.hu](mailto:kasztovszky.zsolt@energia.mta.hu)

### Abstract

*Since 2000, first time in the EU 5th Framework, the Budapest Neutron Centre offers the possibility for European researchers to apply for beamtime for their own research, in the frame of the NMI3 project. The European Community has launched the first user access program in Heritage Science, called LABS TECH in 2001. Hungary did not participate in LABS TECH and the subsequent EU-ARTECH program, yet. From 2006 to 2010, the PGAA laboratory has participated in the ANCIENT CHARM project, which aimed to develop a new method to be applied in Heritage Science. From 2009 onwards, within the CHARISMA, IPERION CH and IPERION HS projects, researchers of Heritage Science can apply for access to various large facilities, such as the Budapest Neutron Centre. According to the plans, an integrated European Research Infrastructure for Heritage Science (E-RIHS) will start to operate from 2022. Currently, the preparation for its normal operation is running. Hungary expressed its commitment to take part in the future European Heritage Science activity.*

### Kivonat

*A Budapesti Neutron Centrum 2000-től, az EU 5. Keretprogramjától kezdve lehetőséget nyújt az európai kutatóknak, hogy az NMI3 projekt keretében egyes kísérleti berendezések mérési idejére pályázzanak saját kutatási témákkal, köztük alkalmanként örökségtudományi tárgyú mérési tervekkel. Az Európai Közösség 2001-ben indított először kifejezetten örökségtudományi tárgyú projektet, LABS TECH néven. Ebben, és a következő EU-ARTECH programban Magyarország még nem működött közre. A BNC PGAA laboratóriuma 2006 és 2010 között részt vett az ANCIENT CHARM módszerfejlesztési projektben. 2009-től kezdve a CHARISMA, IPERION CH és IPERION HS projektek örökségtudományi kutatásokban nyújtanak hozzáférési lehetőséget nagyberendezésekhez, köztük a BNC mérőhelyeihez. A tervek szerint 2022-től indul az E-RIHS integrált európai kutatási infrastruktúra, amely működésének az előkészítése zajlik most. Magyarország részt vesz az előkészítésben, és kifejezte szándékát az európai örökségtudományi hálózatban való részvétel iránt.*

KEYWORDS: NMI3, ANCIENT CHARM, CHARISMA, IPERION CH, IPERION HS, E-RIHS

KULCSSZAVAK: NMI3, ANCIENT CHARM, CHARISMA, IPERION CH, IPERION HS, E-RIHS

### Bevezetés

Kulturális örökségünk tárgyi emlékeinek természettudományos vizsgálata – hagyományos elnevezéssel archeometria, napjainkban örökségtudomány – évtizedek óta Európa és a világ kiemelt kutatási irányai között szerepel, egyike a H2020 Grand Challenges prioritásainak.

Az „örökségtudomány”, angolul „Heritage Science” egy új keletű fogalom:

([https://en.wikipedia.org/wiki/Heritage\\_science](https://en.wikipedia.org/wiki/Heritage_science)).

Egy olyan interdiszciplináris tudományterületet jelent, amely a humán, a természet- és a mérnöki tudományok eredményeit használja fel.

\* How to cite this paper: KASZTOVSZKY Zs. et al., (2020): A Budapesti Neutron Centrum részvétele az európai örökségtudományi kutatásokban / Participation of the Budapest Neutron Centre in the European Heritage Science projects, *Archeometriai Műhely* **XVII/1** 87–92.

Fő célkitűzése, kulturális és természeti örökségünk megértése, gondozásának és fenntartható hasznosításának biztosítása. Segíti a múzeumi szakemberek, konzervátorok, restaurátorok, régészek munkáját. Szűkebb értelemben kulturális örökségünk tárgyi emlékeinek természettudományos vizsgálatát jelenti.

Az Európai Közösség 2001-ben, az 5. Keretprogramban indított először kifejezetten örökségtudományi tárgyú tematikus projektet, LABS TECH néven. Ebben a projektben Franciaország, Németország, Olaszország, Portugália, Egyesült Királyság, Görögország, valamint az Amerikai Egyesült Államok 11 partner intézete vett részt. A LABS TECH folytatásaként, a 6. Keretprogramban 2004-től 2009-ig futott az EU-ARTECH projekt, olasz, görög, brit és német partnerekkel. Mindkét projekt fő feladata volt, hogy integrálja az örökségtudomány területén kutatásokat végző, ún. nagyberendezéseket (kutatóreaktorokat, spallációs neutronforrásokat, részecskegyorsítókat) üzemeltető vezető európai intézetek munkáját, ill. a kutatók számára hozzáférést biztosítson a kutatási eszközökhöz, valamint az azokhoz kapcsolódó műszaki és természettudományos szaktudáshoz. Az első két örökségtudományi projektben magyar kutatóintézet nem vett részt. A LABS TECH és az EU-ARTECH programokról bővebben az alábbi oldalakon lehet olvasni:

<https://cordis.europa.eu/project/rcn/53831/factsheet/en> és  
<https://cordis.europa.eu/project/rcn/73812/factsheet/en>

### **Az NMI3 projekt (2000-2013)**

A Budapesti Neutron Centrum (BNC) az MTA Csillebérci Telephelyén konzorciumban működő kutatási infrastruktúra. Kezdetben az MTA Atomenergiái Kutatóintézet, Szilárdtestfizikai Kutatóintézet, Izotópkutató Intézet és a Részecske-és Magfizikai Kutatóintézet alkották. 2012-től, az akadémiai átszervezések következtében a tagintézetek az Energiatudományi Kutatóközpont és a Wigner Fizikai Kutatóközpont lettek. 2000 és 2013 között a BNC sikeresen bekapcsolódott az Európai Unió 5., 6. és 7. Keretprogram alatt futó NMI3 (a.m. Integrated Infrastructure Initiative for Neutron Scattering and Muon Spectroscopy) projektjébe, amely keretében változatos, nem feltétlenül örökségtudományi tárgyú kutatási területeken biztosítottunk hozzáférést a neutronos berendezéseinkhez.

A kutatóreaktorokból kivezetett neutronnyalábokkal keltett kölcsönhatásokat felhasználó analitikai módszerek közös jellemzője, hogy a neutronok által keltett magreakciók általában nem okoznak semmilyen észlelhető változást a mintán. Továbbá, a vizsgált objektum szinte korlátozás nélkül behelyezhető a neutronnyalába, nincs

szükség mintavételre. Ezek a tulajdonságok kiválóan alkalmassá teszik a neutronos módszereket értékes, egyedi darabok, pld. régészeti leletek, vagy más, a természeti- és kulturális örökségünk részét képező tárgyak vizsgálatára. A mérések segítségével részben a vizsgált minták elemösszetételét, részben a szerkezetét tudjuk meghatározni roncsolásmentes módon. Ezt felismerve, a 2000-es évek elejétől egyre több örökségtudományi tárgyú mérési pályázatot fogadtunk, kezdetben az MTA Izotópkutató Intézet (2012-től az MTA Energiatudományi Kutatóközpont) által üzemeltetett prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA), majd az MTA Szilárdtestfizikai Kutatóintézet (2012-től MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont) által üzemeltetett kismögű neutronszórás (SANS) és repülési idő-neutrondiffrakciós (TOF-ND) berendezéseknél is. A Keretprogramok által nyújtott lehetőségeket kihasználva, többek között Lengyelországból, Németországból, Romániából érkeztek örökségtudománnyal foglalkozó felhasználók a BNC-hez, többen közülük visszatérő vendégként, végeredményül nemegyszer többéves sikeres együttműködést alapozva meg (Kasztovszky et al. 2005a, Kasztovszky et al. 2005b, Zöldföldi et al. 2004).

### **Az ANCIENT CHARM projekt (2006-2010)**

A hazai és az európai együttműködések tapasztalatainak és sikereinek köszönhetően az akkori Izotópkutató Intézet PGAA laboratóriumát meghívták, hogy csatlakozzon a 2006 és 2010 között a 6. Keretprogramban zajló ANCIENT CHARM (a.m. Analysis by Neutron resonant Capture Imaging and other Emerging Neutron Techniques: new Cultural Heritage and Archaeological Research Methods) projekthez (Kasztovszky & Belgya 2006a). Az ANCIENT CHARM egy, az archeometriában alkalmazandó módszertani fejlesztéseket célzó kutatási projekt volt. Fő célkitűzése volt egy, az ismert neutronos technikákat továbbfejlesztő, az archeometriában alkalmazható, a képalkotást, az elemanalitikára és a szerkezetvizsgálatot integráló módszer kidolgozása. A projekt koordinátora a milánói Università degli Studi di Milano-Bicocca volt, további résztvevők voltak: a római Università degli Studi di Roma Tor Vergata, a bonni Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität, a Kölni Egyetem, a Delfti Műszaki Egyetem, a Leideni Egyetem, a geeli Institute for Reference Materials and Measurements in Geel, a didcoti Central Laboratory of the Research Councils (ISIS), valamint Magyarországról a Magyar Nemzeti Múzeum és az MTA Izotópkutató Intézet. A projekt során a Budapesti Neutron Centrumban megépítettük az ún. NIPS-NORMA berendezést, amelyet azóta rutinszerűen alkalmazunk a neutronos képalkotást és

elemanalízist egyesítő ún. PGAI-NT mérésekre, többek között örökségtudományi kutatásokban (Kasztovszky & Belgya 2006b, Belgya et al. 2008). Az ANCIENT CHARM projektről az Európai Közösség hivatalos oldalán olvashatók további részletek:

<https://cordis.europa.eu/project/rcn/81178/factsheet/en>

### ***A CHARISMA és IPERION CH projektek (2009-2014 és 2015-2019)***

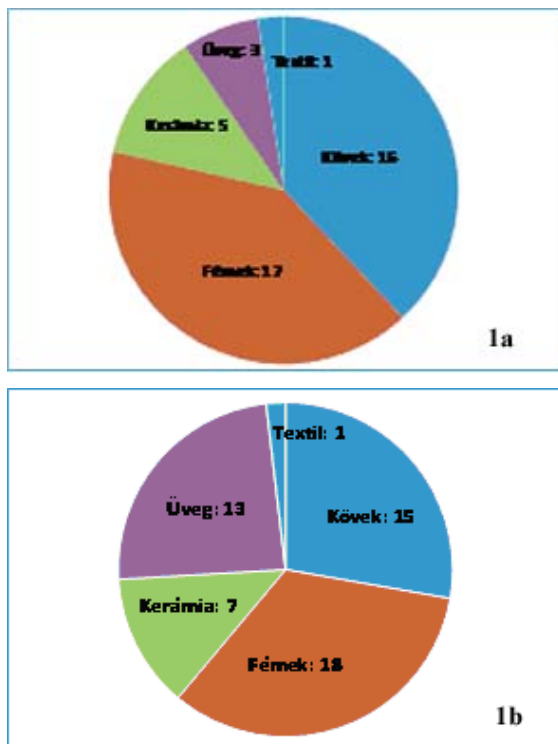
A CHARISMA (a.m. Cultural Heritage Advanced Research Infrastructures: Synergy for a Multidisciplinary Approach to Conservation / Restoration) volt az első olyan kizárólagosan örökségtudományi témájú, európai kutatóknak mérési lehetőséget biztosító program, amelynek magyar kutatóintézet is tagja volt. A 2009 és 2014 között zajló CHARISMA programban 11 ország 21 intézete vett részt, a koordinátor intézmény a Perugiai Egyetem volt. A projekt a korábbi EU-ARTECH projekt továbbfejlesztéseként működött. A nemzetközi mobilitási lehetőséget három „platformon” keresztül lehetett igénybe venni. Az ún. ARCHLAB platform hozzáférést biztosított a kutatók számára nagy európai múzeumok (pld. a Prado, Louvre, National Gallery, Opificio delle Pietre Dure, Rijksmuseum) archívumaihoz. A MOLAB platformon keresztül mobil laboratóriumi szolgáltatásra lehetett pályázni, amely keretében a szolgáltató laboratóriumok hordozható, többnyire teherautóval szállított műszerparkjukkal helyhez kötött kulturális emlékeket (épületeket, nagyobb festményeket, szobrokat, vagy régészeti ásatások helyszínét) tudtak vizsgálni. Végezetül, az ún. FIXLAB platformon keresztül a kutatók a legmodernebb európai nagyberendezések műszereihez, mérőrendszereihez nyújthattak be pályázatot vizsgálatokra, amennyiben a vizsgálandó anyag szállítása megoldható volt. A CHARISMA projekt FIXLAB platformjában négy európai nagyberendezés vett részt szolgáltatóként. A párizsi Louvre laboratóriuma, az AGLAE már a korábbi hasonló „access-programoknak” is fontos szereplője volt. Ebben a laborban főleg lineáris gyorsítóra telepített ionnyaláb-analitikai berendezések működnek. A FIXLAB másik francia tagja a SOLEIL szinkrotronnál üzemelő IPANEMA laboratórium, amely különböző, szinkrotron-sugárzásra alapuló elemanalitikai és szerkezetvizsgáló módszert állít az örökségtudomány szolgálatába. A FIXLAB közösség két új magyar tagja a debreceni Atomki ionnyaláb-analitikai laborja – amely kutatói szintén több évtizedes örökségtudományi tapasztalattal rendelkezik –, valamint a Budapesti Neutron Centrum, a korábban már említett berendezéseivel. Az európai örökségtudományi projektek során ez volt az első lehetőség, hogy neutronos technikákat is választhattak a felhasználók. A CHARISMA,

majd később az IPERION CH projektek tudományos eredményei bebizonyították, hogy a különböző vizsgálati módszerek együttes, egymást kiegészítő alkalmazásai jelentősen javítják a kutatás hatékonyságát. Az „access programok” igénybevételének általános szabálya, hogy a hosszabb-rövidebb kutatási projektekre kutatási tervet kell benyújtani, amelyet nemzetközi bizottság bírál. A sikeres pályázatok kiválasztása szigorúan szakmai alapon történik. A nyertes pályázók egyeztetnek a mérési lehetőséget kínáló laborral, akik a szabad kapacitásuk függvényében fogadják a vendégkutatót. Fontos megjegyezni, hogy ezeknek a projekteknek a keretében egy adott nagyberendezéshez a saját országa kutatói nem adhatnak be mérési pályázatot, mivel ezek a projektek kifejezetten a tagországok közötti együttműködést és kutatói mobilitást hivatottak támogatni.

A CHARISMA projekt az eredeti négy év futamidőn túl egy év hosszabbítási lehetőséget nyert. Ezalatt a Budapesti Neutron Centrumban közel 40, jellemzően 3-4 napos, akár több technikát is igénybe vevő rövid mérési projektet bonyolítottunk le, összesen mintegy 300 „műszernapot” szolgáltattunk. Természetesen a mérési projektek a BNC részéről nem csupán a neutronok vagy a protonok szolgáltatását jelentik, hanem az örökségtudományi szaktudás és tapasztalat hozzáadását is. A BNC-ben PGAA, TOF-ND, SANS és PIXE módszereket alkalmazva, elsősorban köeszközök, kerámiák, fémek, üvegek nyersanyag-eredetét (provenienciáját) vizsgáló kutatásokban vettünk részt. A mérések megoszlását a vizsgált minták anyaga szerint az **1a ábra** mutatja. A CHARISMA projektről az Európai Közösség hivatalos oldalán található további információ:

<https://cordis.europa.eu/project/rcn/92569/factsheet/en>

A sikeres program lényegében változatlan folytatása volt a 2015 és 2019 között a Horizon 2020 keretében zajló IPERION CH (a.m. Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Cultural Heritage) projekt, amelyben a BNC a korábbiakhoz hasonló feladatokat vállalt. A CHARISMA projektben igénybe vehető berendezéseken kívül a BNC a felújított neutronaktivációs analitikai (NAA) és neutronradiográfias laboratóriumok kapacitásának egy részét is elérhetővé tette a pályázók számára. Ez a projekt fél év hosszabbítással, 2019-ben zárult. A projekt során összességében 54 mérési feladatban 280 „műszernapot” szolgáltattunk. Az elvégzett mérések megoszlását a vizsgált anyagtípusok szerinti **1b ábra** mutatja.



**1a-b ábra:** A CHARISMA (a) és az IPERION CH (b) projektekben a Budapesti Neutron Centrumhoz benyújtott mérési pályázatok száma a vizsgált anyag típusok szerint

**Fig. 1a-b:** Number of the submitted proposals to the Budapest Neutron Centre according to the investigated material, within the CHARISMA (a) and the IPERION CH (b) projects

Az IPERION CH projektről az Európai Közösség hivatalos oldalán található további információ: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/198068/factsheet/en>. A CHARISMA és az IPERION CH keretében a BNC-be érkező vendégkutatók munkahelyének országokénti megoszlását az **1. táblázat** mutatja. Az elvégzett mérésekből számos fontos, a méréseket végző kollégákkal közösen jegyzett publikáció született (többek között Mödler et al. 2013, Rehren et al. 2013, Abraham et al. 2014, Watkinson et al. 2014, Corsi et al. 2015, Zacharias et al. 2018).

### **Az IPERION HS és E-RIHS projektek (2020- )**

A korábbi sikerek hatására 2020-ban elnyertük az IPERION HS (a.m. Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Heritage Science) projektet is, amely az utolsó, a korábbi elvek szerint támogatást nyújtó „access program”, az előző IPERION CH-től azonban néhány lényeges dologban eltér. Jelentősen megnőtt a projektben részt vevő, „szolgáltató” intézmények száma: 21 európai ország és az Egyesült Államok is részt vesz.

**1. táblázat:** A CHARISMA és az IPERION CH projektekben a Budapesti Neutron Centrumhoz benyújtott mérési pályázatok száma a pályázók munkahelyének az országa szerint

**Table 1.:** Number of the submitted proposals to the Budapest Neutron Centre according to the countries of the proposers' affiliation

|                    | CHARISMA | IPERION CH |
|--------------------|----------|------------|
| Ausztria           | 3        | 1          |
| Bulgária           | 1        | -          |
| Csehország         | -        | 1          |
| Egyesült Királyság | 8        | 7          |
| Franciaország      | 2        | 2          |
| Görögország        | 3        | 1          |
| Horvátország       | -        | 2          |
| Lengyelország      | 2        | 4          |
| Németország        | 4        | 3          |
| Olaszország        | 9        | 10         |
| Portugália         | 2        | 5          |
| Románia            | 9        | 16         |
| Szerbia            | 1        | -          |
| Szlovénia          | -        | 2          |

Az előzőekben említett három fő platformon túlmenően az ún. DIGILAB-on keresztül lehet pályázni a múzeumok, kutatóhelyek digitális kutatási adatbázisaihoz való hozzáférésre. A projekttagok kapcsolata korábbiaktól eltérően hálózatszerű, azaz egy-egy országot képviselő intézethez (nemzeti csomópont) több más intézet is társul. Magyarországot a debreceni Atomki képviseli, hozzá társul ún. „linked third party”-ként az Energiatudományi Kutatóközpont és a Wigner Fizikai Kutatóközpont. A projekt hivatalosan 2020. április 1-jén indult, a koronavírus járvány miatt az egyes munkacsoportok eddig csupán on-line megbeszéléseket tartottak. A felhasználók a mérésidőkre 2020 nyaratól pályázhatnak, a korábbiakhoz hasonló módon. A mérési pályázatokat egy nemzetközi bizottság bírálja, rangsorolja, majd a nyertes pályázatok végrehajtásának idejéről a mérést végző laboratórium és a pályázó kutató egyeztetnek. Reményeink szerint 2021 elején kezdhetjük meg az



IPERION HS keretében benyújtott pályázatok mérését.

Az IPERION HS projektet követően megváltozik az Európai Közösség filozófiája a nemzetközi kutatások támogatását illetően. A European Research Infrastructure for Heritage Science (E-RIHS) 2016 óta önálló kutatási infrastruktúráként szerepel az „ESFRI Roadmap”-en, amelynek célja, hogy az örökségtudományi kutatók részére „in-kind” alapon működő, hosszútávon fenntartható, integrált hozzáférést biztosítson az európai kutatócentrumokhoz, az ott elérhető berendezésekhez, adatbázisokhoz és szakértelemhez. Az E-RIHS hálózathoz való csatlakozás fő kritériuma a szakmai kiválóság és kompetencia. Az E-RIHS kialakításának jelenleg egy előkészítő fázisa zajlik (E-RIHS PP), amelyben az Atomki vezetésével az EK, a Wigner FK és a Magyar Nemzeti Múzeum vesz részt, egymással konzorciumot alkotva. Az E-RIHS PP honlapja: <http://www.e-rihs.eu/>. A távlati cél nemzeti kutatási központok európai hálózatának a létrehozása. Magyarország kinyilvánította hosszú távú elkötelezettségét az európai örökségtudományi kutatásokban való részvétel mellett. Az E-RIHS hálózathoz csatlakozó tagországok a tervek szerint nemzeti jövedelmükkel arányosan hozzájárulnak a hálózat működéséhez, a kutatóközpontok pedig részben önerőből („in-kind”) vesznek részt a szakmai munkában. Az E-RIHS kutatási infrastruktúra tervezett indulása 2022.

### Irodalom

ABRAHAM, E.; BESSOU, M.; ZIEGLÉ, A.; HERVÉ, M.-C.; SZENTMIKLÓSI, L.; KASZTOVSZKY, ZS.; KIS, Z. & MENU, M. (2014): Terahertz, X-ray and neutron computed tomography of an Eighteenth Dynasty Egyptian sealed pottery. *Applied Physics A* 963–972.

BELGYA, T.; KIS, Z.; SZENTMIKLÓSI, L.; KASZTOVSZKY, Zs.; KUDEJOVA, P.; SCHULZE, R.; MATERNA, T.; FESTA, G. & CAROPPI, P. A., the Ancient Charm Collaboration (2008): First elemental imaging experiments on a combined PGAI and NT setup at the Budapest Research Reactor. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 278/3 751–754.

CORSI, J.; MARÓTI, B.; RE, A.; KASZTOVSZKY, ZS.; SZENTMIKLÓSI, L.; TORBÁGYI, M.; AGOSTINO, A.; ANGELICI, D. & ALLEGRETTI, S. (2015): Compositional analysis of a historical collection of Cisalpine Gaul's coins kept at the Hungarian National Museum. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 30/3 730–737.

KASZTOVSZKY, Zs.; KUNICKI-GOLDFINGER, J.; DZIERŻANOWSKI, P.; NAWROLSKA, G. & WAWRZYŃIAK, P. (2005): Történelmi üvegek

roncsolásmentes vizsgálata prompt gamma aktivációs analízissel és elektron-mikroszondával. *Archeometriai Műhely* II/1 48–56.

KASZTOVSZKY, Zs.; PANCZYK, E.; FEDOROWICZ, W.; RÉVAY, Zs. & SARTOWSKA, B. (2005): Comparative archaeometrical study of Roman silver coins by prompt gamma activation analysis and SEM-EDX. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 265/2 193–199.

KASZTOVSZKY, Zs. & BELGYA, T. (2006a): Non-Destructive Investigations of Cultural Heritage Objects with Guided Neutrons: The Ancient Charm Collaboration. *Archeometriai Műhely* III/1 12–17.

KASZTOVSZKY, Zs. & BELGYA, T. (2006b): From PGAA to PGAI: from bulk analysis to elemental mapping. *Archeometriai Műhely* III/2 16–21.

MÖDLINGER, M.; PICCARDO, P.; KASZTOVSZKY, Zs.; KOVÁCS, I.; SZŐKEFALVI-NAGY, Z.; KÁLI, Gy. & SZILÁGYI, V. (2013): Archaeometallurgical characterization of the earliest European metal helmets. *Materials Characterization* 79 22–36.

REHREN, T.; BELGYA, T.; JAMBON, A.; KÁLI, Gy.; KASZTOVSZKY, Zs.; KIS, Z.; KOVÁCS, I.; MARÓTI, B.; MARTINÓN-TORRES, M.; MINIACI, G.; PIGOTT, V. C.; RADIVOJEVIC, M.; ROSTA, L.; SZENTMIKLÓSI, L. & SZŐKEFALVI-NAGY, Z. (2013): 5,000 years old Egyptian iron beads made from hammered meteoritic iron. *Journal of Archaeological Science* 40 4785–4792.

WATKINSON, D.; RIMMER, M.; KASZTOVSZKY, Zs.; KIS, Z.; MARÓTI, B.; SZENTMIKLÓSI, L. (2014): The use of neutron analysis techniques for detecting the concentration and distribution of chloride ions in archaeological iron. *Archaeometry* 56/5 841–859.

ZACHARIAS, N.; KAPAROU, M.; OIKONOMOU, A. & KASZTOVSZKY, Zs. (2018): Mycenaean glass from the Argolid, Peloponnese, Greece: A technological and provenance study. *Microchemical Journal* 141 404–417.

ZÖLDFÖLDI, J.; KASZTOVSZKY, Zs.; MIHÁLY, J. & RICHTER, S. (2004): Honnan származik a lápisz lazuli? Roncsolásmentes eredetvizsgálat prompt gamma aktivációs analízis segítségével. *Archeometriai Műhely* I/1 16–22.

