

VÁLASZ

Dr. Bajnóczi Bernadett, Ph.D-nek

„A prompt-gamma aktivációs analízis alkalmazása szilikát anyagú régészeti leletek és nyersanyagaik eredetének meghatározására” című,

az MTA doktora fokozat elnyerésére benyújtott értekezésem bírálatára

Az értekezéssel kapcsolatban feltett kérdések megválaszolása előtt szeretném megköszönni Dr. Bajnóczi Bernadettnek az értekezésem alapos áttanulmányozását, és a bírálat elkészítését. Köszönöm, és elfogadom a bírálónak a dolgozattal kapcsolatos kritikai megjegyzéseit. Ugyancsak szeretném megköszönni az opponensemnek az értekezésben szereplő eredmények elismerését.

A bírálatban megfogalmazott kérdésekre és megjegyzésekre azok sorrendjében válaszolok.

- **Megjegyzés:** „*«Az archeometriai kutatások során mindig szem előtt kell tartani, hogy egy analitikai módszer roncsolásmentes volta az örökségtudományi szakember számára legtöbbször nagyobb jelentőségű, mint egyéb jellemzői, pl. kimutatási határai, gyorsasága vagy a költsége.» - Ezzel a kijelentéssel némileg vitatkoznék, nem feltétlenül igaz, anyag- és kérdésfüggő. Esetenként csak a roncsolásos, azaz mintavétellel járó módszerek adnak megfelelő, a kérdést feltevő régész, művészettörténész, restaurátor számára használható eredményt.»*

Válasz:

Egyetértek a bírálóval, a kifogásolt mondatot valóban helyesebb lenne az alábbiak szerint átfogalmazni. „Az archeometria kutatások során törekedni kell a roncsolásmentes vizsgálatok végzésére, amelyeknek fontos kritériuma, hogy elkerüljük a műtárgyak vizsgálatok általi károsítását. Esetenként azonban csak a roncsolásos, azaz mintavétellel járó módszerek adnak megfelelő, a régész, művészettörténész, restaurátor számára használható eredményt.” Egyetértek azzal is, hogy a roncsolásos vagy roncsolásmentes vizsgálati módszer megválasztása anyag- és kérdésfüggő, minden konkrét esetben mérlegelni kell.

- **Megjegyzés:** „... a 2.3 fejezetet (az archeometriában leggyakrabban alkalmazott egyéb analitikai módszerek áttekintését) rövidnek és némiképp felületesnek éreztem, pl. az FTIR-t és különösen a Raman spektroszkópiát nemcsak szerves anyagra és ásványi eredetű festékanyagra, hanem kerámiára, üvegre-mázra, ásványi berakásokra is alkalmazzák; a mikroszkópos módszereket (OM, TEM, SEM) pedig éppen csak megemlíti.”

Válasz:

Az archeometriában alkalmazott analitikai módszerek – akár csupán a szervesetlen analitikai módszerek – ennél teljesebb körű bemutatására, részben terjedelmi megfontolások miatt nem törekedtem. Az értekezés témája a PGAA alkalmazása szilikát anyagú régészeti leletek vizsgálata, ezért igyekeztem csak az adott kutatásokhoz kapcsolódó, esetenként saját kutatócsoportunk által is alkalmazott módszereket röviden, gyakorlatilag felhasználói szinten bemutatni.

- **Megjegyzés:** „Hasonlóan a 2.4 fejezet (Főkomponens Analízis (PCA)) szintén rövid lett.”

Válasz:

Jogos az észrevétel. A főkomponens-analízis (PCA) ismertetését szintén csupán felhasználói szemmel igyekeztem megírni, egyetérték azonban azzal az észrevétellel, hogy ennél részletesebb ismertetésre van szükség. A PCA részletesebb ismertetését Homonnay Zoltán professzor úrnak adott válaszok között írtam le.

- **Megjegyzés:** „A 3.12. ábra alapján csak két koreai és négy japán mintát mértek – mennyire reprezentatív mintaszám ez? Mivel a két koreai minta eléggé eltér egymástól.”

Válasz:

Az észrevétel jogos. Egy szülői látogatást követő ad-hoc együttműködés keretében végeztük el japán és koreai geológiai obszidián minták összehasonlító PGAA elemzését. Összesen 3 db, a kínai-észak-koreai határ közelében lévő Baekdusan nyersanyaglelőhelyről származó mintát kaptunk vizsgálatra (lásd a jelen értekezés 3.8.c. ábra térképét, valamint a Jwa, Y-J. et al. Journal of Archaeological Science: Reports 20 (2018) 374–381. cikk 1. táblázatát.) A térképen látható, hogy a Baekdusan térségben több obszidián lelőhely található, arról nem volt információnk,

hogya vizsgált 3 minta konkrétan melyik lelőhelyről származik. Jelen politikai viszonyok között további mintagyűjtés problémás lenne.

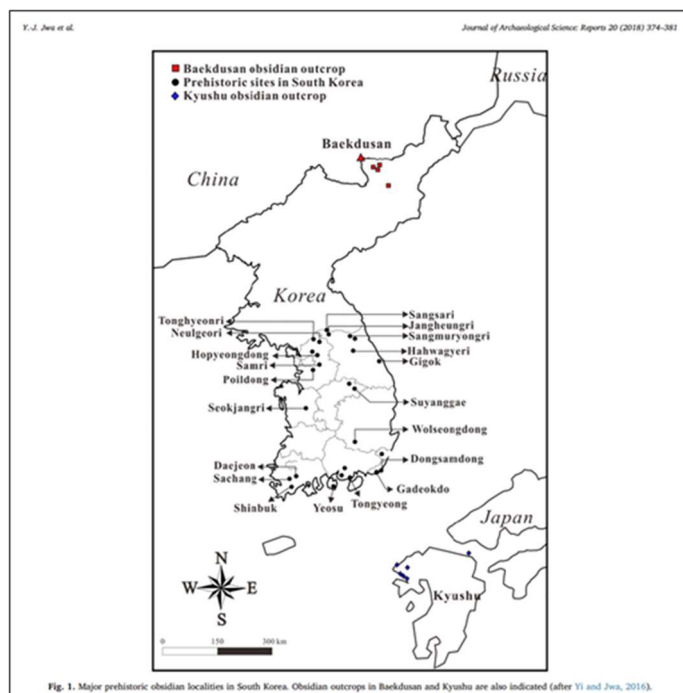


Table 1
The results of the PGAA measurements. Major oxides are shown in wt%, but B, Cl, Nd, Sm and Gd in ppm.

El	Baekdusan obsidians						Kyushu obsidians											
	Baekdu		NK-1		NK-10		Hario		K 10-A		K 10-C		K 14 I-A		K15-2		K 16	
	Conc.	Rel. unc./%	Conc.	Rel. unc./%	Conc.	Rel. unc./%	Conc.	Rel. unc./%	Conc.	Rel. unc./%	Conc.	Rel. unc./%	Conc.	Rel. unc./%	Conc.	Rel. unc./%	Conc.	Rel. unc./%
SiO ₂	71.1	0.6	74.8	0.5	74.8	0.5	74.9	0.5	61.9	0.8	74.8	0.5	73.9	0.5	74.1	0.5	73.2	0.6
TiO ₂	0.296	3.3	0.100	3.2	0.106	3.1	0.037	4.0	0.953	2.6	0.054	3.8	0.089	3.2	0.042	3.9	0.044	3.7
Al ₂ O ₃	10.0	2.2	12.9	1.8	12.8	1.9	13.2	1.8	16.8	1.7	12.8	1.8	13.5	1.8	14.0	1.8	15.1	1.8
Fe ₂ O ₃ (t)	5.80	2.4	1.54	2.9	1.55	3.0	1.06	3.1	5.94	2.7	1.11	3.7	1.50	3.0	1.16	3.1	1.18	3.0
MnO	0.118	2.3	0.040	3.1	0.038	2.8	0.048	3.4	0.126	2.8	0.038	3.2	0.055	3.5	0.046	3.5	0.051	3.8
MgO	< Q.L.		< Q.L.		< Q.L.		< Q.L.		1.79	8.0	< Q.L.		< Q.L.		< Q.L.		< Q.L.	
CaO	0.39	5.0	0.49	4.0	0.49	5.0	0.61	4.0	4.28	2.6	0.62	4.0	0.87	4.0	0.67	4.0	0.19	5.0
Na ₂ O	6.73	1.6	4.75	1.8	4.77	1.8	4.08	2.4	4.74	2.3	4.23	2.4	4.44	2.4	3.41	2.2	2.25	2.6
K ₂ O	4.83	2.1	5.11	1.9	5.25	1.9	4.85	1.9	2.73	1.9	4.58	1.9	4.49	2.6	4.73	2.8	4.70	1.9
H ₂ O	0.35	3.2	0.22	3.8	0.16	6.0	1.12	1.8	0.68	1.5	1.65	1.4	1.11	1.6	1.77	1.4	3.23	1.4
B	17.7	1.3	13.5	1.5	13.2	1.5	90.9	1.5	18.7	1.2	43.5	1.4	42.8	1.4	82.8	1.4	45.1	1.4
Cl	3600	2.0	1100	2.0	1090	2.0	690	2.0	410	2.0	710	2.0	580	2.0	640	2.0	50	2.0
Nd	< Q.L.		60.6	6.0	67.7	7.0	21.8	8.0	44.0	7.0	36.3	9.0	27.8	11.	24.3	10.	< Q.L.	
Sm	25.7	1.8	8.4	2.1	8.3	2.1	2.3	2.8	4.0	2.3	2.2	3.3	2.4	2.5	2.2	2.2	1.7	2.3
Gd	29	8.0	10	22.	10	4.0	3	7.0	5	6.0	3	6.0	3	8.0	3	7.0	3	6.0

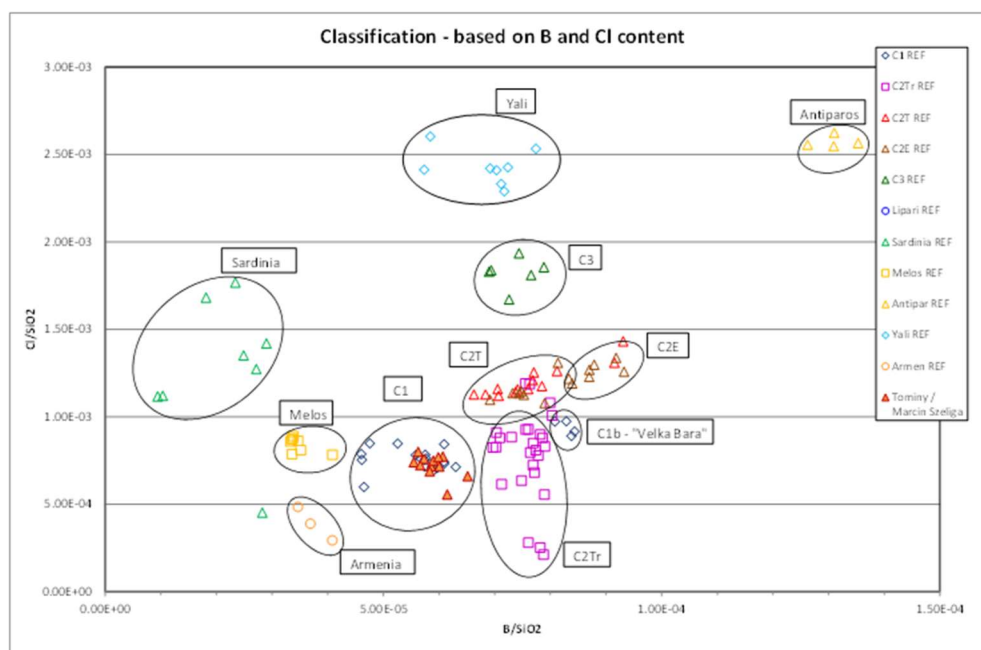
- **Megjegyzés:** „A Tominy, lengyelországi magkövek miből készültek?”

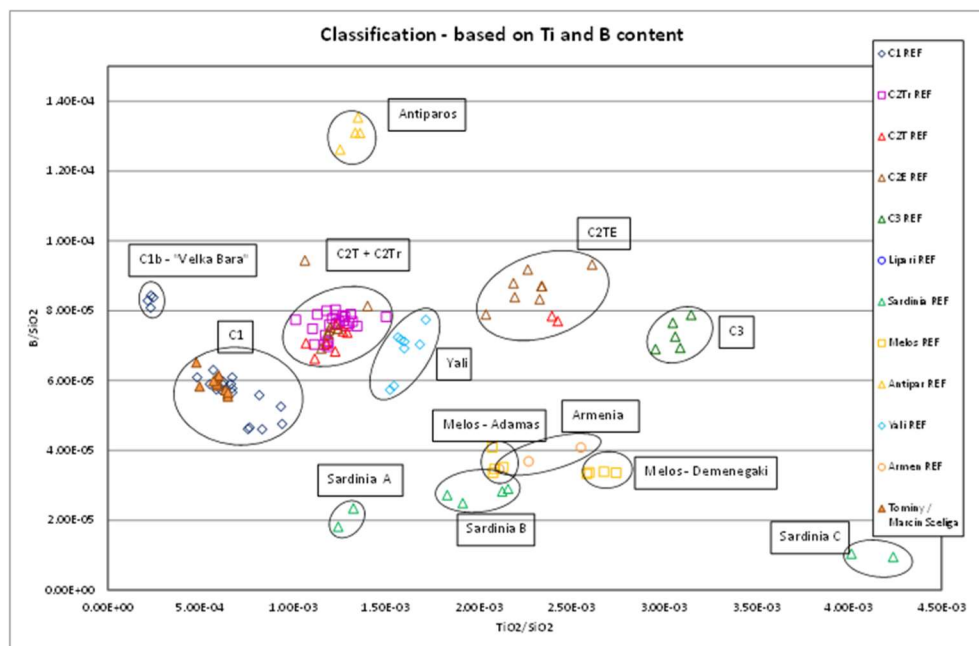
Válasz:

A PGAA mérések szerint (B-CI tartalom, valamint B-Ti tartalom alapján) a Tominyból származó magkövek egyértelműen C1 (kárpáti 1, „szlovák”) típusúak.

Lásd: Szeliga, M., Kasztovszky, Zs., Osipowicz, G., & Szilágyi, V.: Obsidian in the Early Neolithic of the Upper Vistula basin: origin, processing, distribution and use - a case study from Tominy (southern Poland), *Præhistorische Zeitschrift*, 96(1) (2021) 19–43.

<http://doi.org/10.1515/pz-2021-0014>





- **Megjegyzés:** „A Szépművészet Múzeum Antik Gyűjteményének egyik gemmája afganisztáni lápisz lazulinak, a másik nem lápisz lazulinak bizonyult. Az utóbbit tökéletlenül megolvasztott (üvegszerű) kvarcnak vagy üvegolvadékkal összeragasztott kvarcpornak gondolja. Kár, hogy az értekezésben nincs a tárgyról fotó és több információ. Mindenesetre megolvasztott kvarcnak nem gondolnám, mert az nem magyarázza meg a PGAA-val kimutatott Na, Co, Cu tartalmat. Valószínűleg inkább a második opció, azaz fajansz az anyaga.”

Válasz:

A szóban forgó két gemmát (leltári szám 2009.53.A és 51.876) Dr. Dági Mariann, a Szépművészeti Múzeum főmuzeológusa 2013-ban egy eseti megkeresés alkalmával hozta a laborunkba. A PGAA mérések elsődleges célja annak eldöntése volt, hogy mindkét gemma lápisz lazuliból készült-e. Az értekezés írásakor csupán az eredeti lápisznak bizonyult „varázsgemmáról” találtam fotót a Szépművészeti Múzeum honlapján, a másik tárgyról nem állt rendelkezésemre fotó.



<https://www.szepmuveszeti.hu/mutargyak/23397/>

Egyetértek a megállapítással, és köszönöm a kiegészítést, hogy a második tárgy Na, Co, ill. Cu-tartalma nem valószínűsíti, hogy megolvasztott kvarcból készült, valószínűbb, hogy fajansz a vizsgált műtárgy anyaga.

- **Megjegyzés:** „[Az üvegek archeometriai vizsgálata c. fejezetben] ...még így is találtam némi hiányosságot és pontatlanságot. A növényi hamus üvegeknél „tengeri” növények hamujának használatáról ír, de ezek a sótűrő növények inkább tengerparton, szikes (sós) tavak partján, felsivatagi területen nőnek (ld. Barkoudah & Henderson 2006, *J. Glass Studies*, 48, 297-321.). „

Válasz: Egyetértek, „tengeri növények” helyett helyesebb lett volna „tengerparti, sótűrő növényeket” írni.

- **Megjegyzés:** „Az üvegek színezése kapcsán hiányoltam a színező/homályosító pigmentek megemlítését, pl. a sárga és fehér szín kapcsán, jöllehet később említi az ólom-antimonátot. A 6.3. ábrán a Na_2O és K_2O helyesen hálózatomódosító, a CaO és MgO stabilizáló szerepű, nem hálózataalkotó. Megjegyzendő, hogy egy elem geokémiaailag fő-, mellék- vagy nyomelem-e, nem egységes, üvegtípusonként változhat.”

Válasz: Egyetértek, köszönöm a kiegészítést és a pontosítást.

- **Kérdés:** „[Az értekezés] ...végén érdemes lett volna táblázatos formában is bemutatni az előnyöket és hátrányokat. Kérem, ezeket fejtsse ki bővebben.”

Válasz:

Egyetérttek a Bírálóval abban, hogy érdemes a PGAA módszer előnyeit és hátrányait még egyszer összefoglalni az értekezés végén. Nem törekedtem azonban a táblázatos formára, mivel bizonyos tulajdonságok egyformán jelenthetnek előnyt és hátrányt is.

A PGAA előnyei	A PGAA hátrányai
<p>roncsolásmentes – megj.: ez gyakorlati szempontból igaz, a magátalakulások száma a mérés során $\sim 10^{10}$ nagyságrendű. Az indukált radioaktivitás kicsi, és gyorsan „lecseng”. → A tárgy visszaadható a múzeumnak.</p> <p>Nem igényel mintavételt, mintaelőkészítést. Tetszőlegesen nagy tárgy behelyezhető a neutronnyaládba.</p>	<p>Ezzel szemben a vizsgálatokhoz szükséges neutronok előállítása költséges. A kutatóreaktor, spallációs forrás, neutrongenerátor vagy izotópos neutronforrás üzemeltetése különleges biztonsági, sugárvédelmi figyelmet igényel.</p>
<p>A mérés eredménye a besugárzott max. néhány cm³ térfogatról kapott átlagos adat, az esetlegesen eltérő összetételű felszín adatai nem különíthetők el. A PGAA-ra használt neutronnyaláb minimális mérete néhány mm², ez korlátozza az elem térképezés térbeli felbontását.</p>	<p>Feladattól függően ugyanez lehet a módszer hátránya is, ha egy eltérő anyagi minőségű felületi részről szeretnénk összetétel adatot kapni. Ilyenkor kiegészítő módszerek (XRF, PIXE) alkalmazása ajánlott.</p>
<p>A PGAA elsősorban a (geokémiai) fő összetevők mennyiségi kimutatására alkalmas. Ezen kívül néhány – más módszerekkel rosszul mérhető – mellék- és nyomelem (H, B, Cl, Ti), Sm, Gd is jól mérhető.</p>	<p>Egyéb, a geokémiában diagnosztikus nyomelemek, pl. Rb, Sr, Y, Zr, Cs, Ba, La, további ritkaföldfémek általában a kimutatási határ alatt vannak.</p>

	A PGAA a többi modern analitikai módszerhez (pl. ICP-MS) viszonyítva lassú , általában min. 1+1 óra egy minta mérése + kiértékelése. Bár automata mintaváltó alkalmazásával a sorozatmérés megoldható, a kiértékelés szakember közreműködését igényli.
	Mivel a világon csak néhány PGAA berendezés működik, a laborok közötti összemérés, tapasztalatcsere lehetősége korlátozott.

- **Kérdés:** *„Az eddigi tapasztalatai alapján milyen tárgyakra és milyen régészeti kérdések megválaszolására ajánlja, vagy nem ajánlja a PGAA-t? Elsősorban nem az értekezésben részletesen tárgyalt/vizsgált példákra/tárgyakra (köeszközök, féldrágakő/lápisz lazuli, üveg) gondolva, hanem más jellegűekre (kerámia, fém, stb.). Pl. a PGAA mennyire alkalmazható kerámia- vagy fémelemek nyersanyagának eredetmeghatározásában?”*

Válasz: A budapesti PGAA berendezés archeometriai alkalmazásai lehetőségeinek feltérképezése során, nagyjából 1997 és 2002 között a szilikát anyagú régészeti anyagok mellett megvizsgáltuk a módszer alkalmazhatóságát pl. kerámiák, fémek (bronz, ezüst, arany, vas), márvány, valamint csont mintákra is. A kezdeti próbálkozásokat követően a kerámiák vizsgálatát laborunkban Szilágyi Veronika, régészeti fémek vizsgálatát Maróti Boglárka folytatta részletesebben, mindketten ilyen témákból írták PhD-értekezésüket.

Kerámia vizsgálatoknál a PGAA kiegészítő információt adhat a kerámia alapanyagának (az agyagnak) átlagos „tömbi” összetételéről, de mivel a kerámia egy meglehetősen összetett anyag, amely az agyagmátrix mellett pl. ún. soványító anyagot is tartalmaz, a kerámiák provenienciavizsgálatához elengedhetetlen a polarizációs mikroszkópos elemzés, valamint a több nyomelemet, többek között a teljes ritkaföldfém-sort magába foglaló geokémiai elemzés (NAA).

Lásd még:

Kasztovszky, Zs.: Application of Prompt Gamma Activation Analysis to investigate archaeological ceramics, Archeometriai Műhely, (<http://www.ace.hu/am/>) 2007, IV. 2 pp. 49-54.

Szilágyi, V., Gyarmati, J., Tóth, M., Taubald, H., Balla, M., Kasztovszky, Zs., Szakmány, Gy.: Petro-mineralogy and geochemistry as tools of provenance analysis on archaeological pottery: Study of Inka Period ceramics from Paria, Bolivia, Journal of South American Earth Sciences 36 (2012) 1-17

Kutatásaink szerint **a PGAA alkalmas a régészeti fémek közül a bronzok, ill. rézötvözetek** főösszetevőinek (Cu, Sn, Pb, Zn, As, Sb) mennyiségi meghatározására, amennyiben a réz melletti egyéb összetevő mennyisége eléri a néhány tömeg%-ot.

Lásd még:

Maróti, B.: Non-destructive analysis of metals and alloys using prompt gamma activation analysis and complementary methods, Ph.D értekezés, ELTE 2018.

Maróti, B., Révay, Zs., Szentmiklósi, L., Kleszcz, K., Párkányi, D., Belgya, T.: Benchmarking PGAA, in-beam NAA, reactor-NAA and handheld XRF spectrometry for the element analysis of archeological bronzes, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 317, (2018) 1151–1163.

PGAA-val elvileg lehetséges Cu-Ag ötvözetek, ill. Au-Ag ötvözetek ötvözőinek mennyiségi meghatározása is, de az Ag és Au PGAA-spektrumok bonyolultsága, nagy „csúcssűrűsége”, gyakori csúcsátlapolások miatt a spektrumok kiértékelése igen körülményes.

Lásd még:

Kasztovszky, Zs, Révay, Zs., Belgya, T., Molnár, G. L.: Non-destructive analysis of metals by prompt-gamma activation analysis at the Budapest Research Reactor, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 244, No.2 (2000) 379-382

Sándor, Zs., Tölgyesi, S., Gresits, I., Kasztovszky, Zs.: Determination of the alloying elements in ancient silver coins by X-ray fluorescence, J. Radioanal. and Nucl. Chem. 254 2 (2002) 283-288.

Kasztovszky, Zs., Panczyk, E., Fedorowicz, W., Révay, Zs., Sartowska, B.: Comparative archaeometrical study of Roman silver coins by prompt gamma activation analysis and SEM-EDX, J. Radioanal. and Nucl. Chem. 265, No. 2 (2005) 193-199.

Archeometallurgiában gyakran felmerülő kérdés a **régészeti vastárgyak szén-, ill. foszfor- és kéntartalmának a meghatározása**. Elvileg mind a C, mind a P és S mérhető PGAA-val, neutronbefogási hatáskeresztmetszetük azonban nagyon kicsi, ill. kicsi (0,0035 barn, ill. 0,172 barn és 0,534 barn). Ezért a gyakorlatban vasminták szén- foszfor- és kéntartalma csak néhány m/m% felett határozható meg, ami a legtöbb esetben nem elegendő régészeti kérdések megválaszolásához.

A PGAA archeometriai alkalmazásainak a kezdetén (2005-ben) kísérleti jelleggel mértünk **régészeti márványbányákból** származó nyersanyagokat. Tapasztalatunk szerint márványlelőhelyek azonosításához szükséges ujjenyomat-szerű nyomelemek (pl. Fe, Mn, Sr, Cd, V, Y, La, Ce, Yb, U) kimutatására a PGAA nem elég érzékeny.

Lásd:

Vasiliki, A. et al.: Geochemical and petrographic investigation of the provenance of white marble decorative elements from the Roman Villa Armira in south-eastern Bulgaria, Archaeological and Anthropological Sciences (2022) 14:229
<https://doi.org/10.1007/s12520-022-01699-9>

Szintén a PGAA archeometriai alkalmazásai kezdetén kísérleti jelleggel mértünk porított **csontmintákat**, többek között egy fosszilis dinoszauruszcsont mintát, egy IAEA csont referenciamintát, valamint 2022-ben az IPERION projekt keretében elefántcsontból készült régészeti tárgyakat (későneolitikumi idolk Portugáliából). Azt találtuk, hogy PGAA-val a fosszilis csont főösszetevői (**H, C, N, O, P, Ca**) mellett **B, Na, Mg, Si, S, Cl, K, Mn, Fe** is kimutatható. További, a csontok bioarcheológiájában fontos nyomelemek (pl. Ba, Sr, Cu, Hg, V, Zn, Pb, As, F, Se, Br) a PGAA kimutatási határai alatti koncentrációkban fordulnak elő. A fenti nyomelemek mérésére a „kvázi-roncsolásmentes” lézerablációs ICP-MS (LA-ICP-MS) technika a megfelelő.

Lásd:

Simpson, R. et al., Historical overview and new directions in bioarchaeological trace element analysis: a review, *Archaeological and Anthropological Sciences* (2021) 13: 24
<https://doi.org/10.1007/s12520-020-01262-4>

- **Formai értékelés:** „... néhol az ábrákon a feliratok kicsik, a jelek nehezen kivehető-
elkülöníthetők”

Válasz:

Valóban, elkövettem azt a hibát, hogy nem ellenőriztem, hogy egy, a monitoron jól látható
ábra hogyan jelenik meg nyomtatásban.

- „Az irodalomjegyzék nem elég gondos, sőt zavaros. Furcsa volt számomra, hogy a szövegben
másként hivatkozik a cikkekre, mint az irodalomlistában.”

Válasz:


Azt az elvet igyekeztem követni, hogy egy többszerzős irodalomra a szövegben (Első Szerző
et al. ÉVSZÁMa, b,...) hivatkozom, az irodalomjegyzékben pedig az (Első Szerző ÉVSZÁMa,
b,..) jelölés szerint rendezem a hivatkozásokat.

- „Számos hivatkozott cikk nem szerepel az irodalomjegyzékben, ill. vica versa, az
irodalomlistában szerepel, de a szövegben nem hivatkozik rá.”

Válasz:

Sajnos a legnagyobb gondosság ellenére is előfordulnak másolási hibák az egyes
szövegrészek áthelyezése, átszerkesztése során.

Budapest, 2024. július 5.


Kasztovszky Zsolt
tudományos főmunkatárs