

**SUGÁRZÓ SZÉPSÉG – URÁNÜVEGEK
A MAGYAR NEMZETI MÚZEUM GYŰJTEMÉNYÉBEN
RADIATING BEAUTY – URANIUM GLASSES IN THE COLLECTION OF
THE HUNGARIAN NATIONAL MUSEUM***

RIDOVICS Anna¹; BAJNÓCZI Bernadett^{2,3}; MARÓTI Boglárka⁴ & KASZTOVSZKY Zsolt⁴

¹Magyar Nemzeti Múzeum, 1088 Budapest, Múzeum krt. 14-16., anna.ridovics@gmail.com

²ELKH Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, 1112 Budaörsi út 45.,
bajnoczy.bernadett@csfk.org

³CSFK, MTA Kiváló Kutatóhely, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 15-17.

⁴ELKH Energiatudományi Kutatóközpont (EK, MTA Kiváló Kutatóhely), 1121 Budapest,
Konkoly-Thege Miklós út 29-33., maroti.boglarka@ek-cer.hu, kasztovszky.zsolt@ek-cer.hu

Ennek a tanulmánynak az előzménye egy hasonló címmel megjelent múzeumi blog volt 2021 tavaszán. Tóth Máriától (Totytól) kértem, hogy ajánljon nekem magyar nyelvű tudományos szakirodalmat az uránüvegekről. Nem talált. Biztatott, hogy akkor kell egy ilyet írni. Totyival a habán kerámiák OTKA konzorciális kutatási programjának (A magyarországi köz- és magángyűjteményekben fellelhető habán kerámiák művészettörténeti és archeometriai kutatása, számítógépes adatbázis és szakkatalógus elkészítése, 2010-2015) kapcsán kerültem közelebbi kapcsolatba. Több közös publikációnk is őrzi ennek az eredményét. A Magyar Képzőművészeti Egyetemen is együtt tanítottuk a szilikát szakirány restaurátor hallgatóit, együtt örültünk a sikereiknek. A Magyar Nemzeti Múzeum honlapján megjelent blogszöveg létrejötténél még Totyi is ott bábáskodott.

Ezt az írást az ő emlékének ajánljuk.

(Ridovics Anna)

Abstract

Four commemorative cups and two pieces from each three sets of drinking glasses, in total ten objects made of uranium glass were examined from the Glass and Ceramics Collection I of the Hungarian National Museum. The objects were selected for analysis with the help of an UV lamp, because due to their uranyl content these are fluorescent when illuminated in this way. The chemical composition of the glass objects was determined non-destructively with two types of handheld X-ray fluorescence (XRF) spectrometers. Their dose rate and γ and β activity were determined using a certified gamma dose rate meter and a surface contamination monitor, respectively.

The thick-walled, coloured commemorative cups made of homogeneous glass show the characteristics of the 19th-century Czech glass art according to their chemical composition, style and production technology. These were made of high-quality potassium-calcium glass. To achieve a stronger green colour, copper was also added to the glass of three cups in addition to uranium. The thin-walled liquor and wine glasses consist of two – coloured and colourless – glass types, and were made in the territory of the Austro-Hungarian Monarchy at the end of the 19th century and the beginning of the 20th century. Their green cups are coloured with uranium and copper. These are high-quality, bright, mostly potassium-calcium glasses, and one group of wine glasses is made of lead-potassium glass.

* How to cite this paper: RIDOVICS, A.; BAJNÓCZI, B.; MARÓTI, B. & KASZTOVSZKY, Zs., (2022): Sugárzó szépség – uránüvegek a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményében / Radiating beauty – uranium glasses in the collection of the Hungarian National Museum (in Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely* XIX/2 189–208.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2022-014](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2022-014)

The uranium concentrations of the objects are between 0.06–0.1 weight% (0.07–0.1 weight% U_3O_8) and 0.5–0.6 weight% (0.6–0.7 weight% U_3O_8). The corresponding dose rates were found to be between 105 ± 5 and 65 ± 5 nSv/h at a distance of 10 cm from objects, and between 150 ± 10 and 70 ± 5 nSv/h near the surface of objects, respectively. The dose rates are proportional with the uranium concentrations in the examined objects with minor uncertainties. The measured dose rates do not exceed the maximum detectable natural background radiation level in Hungary. The cumulative dose rates do not cause any health risks for the museum staff and for the visitors.

Kivonat

A Magyar Nemzeti Múzeum Üveg- és Kerámiagyűjtemény I. raktárában őrzött műtárgyak közül tíz, uránüvegből készült tárgyat vizsgáltunk: négy emlékpoharat és három pohárkészlet két-két darabját. UV lámpa segítségével választottuk ki a tárgyakat, mert a bennük lévő urániltartalom miatt így megvilágítva fluoreszkálnak. Az üvegtárgyak kémiai összetételét roncsolásmentesen, kétféle kézi röntgenfluoreszcens (XRF) spektrométerrel határoztuk meg, sugárzásukat hitelesített gammadózis teljesítmény-mérővel, valamint γ - és β -sugárzás detektálására alkalmas felületi szennyezettség-mérővel.

A vastag falú, anyagában színezett, egyféle homogén üvegű emlékpoharak az anyagösszetétel és a stíluskritikai, készítőtechnikai jellemzők szerint a 19. századi cseh üvegművesség felé mutatnak. Jó minőségű kálium-kalcium üvegekből készültek, az erősebb zöld szín eléréséhez az urán mellett réz is adagoltak három pohár üvegéhez. A vékony falú, kétféle, színes és színtelen üvegű likőrös- és borospoharak az Osztrák-Magyar Monarchia területén készültek a 19. század végén, 20. század elején. Zöld kelyhük uránnal és rézzel színezett. Szintén jó minőségű, ragyogó, többségében kálium-kalcium üvegek, a borospoharak egy csoportja pedig ólom-kálium üvegből készült.

A tárgyak uránkoncentrációja 0,06–0,1 tömeg% (0,07–0,1 tömeg% U_3O_8) és 0,5–0,6 tömeg% (0,6–0,7 tömeg% U_3O_8) közötti. Az urántól és leányelemeitől származó dózisteljesítmények mért értékei 105 ± 5 és 65 ± 5 nSv/h köztiek (a tárgytól 10 cm távolságra), ill. 150 ± 10 és 70 ± 5 nSv/h köztiek (a tárgyak felszínének közelében). A dózisteljesítmény kisebb ingadozásokkal egyenesen arányos uránkoncentrációval a vizsgált tárgyakban. A mért értékek egyik esetben sem haladják meg a Magyarországon mérhető természetes háttérsugárzás dózisteljesítményének maximális értékeit. A mért dózisteljesítmények összeadódva sem jelentenek sugáregészségügyi kockázatot a tárgyakkal foglalkozó szakemberek és a látogatók számára.

KEYWORDS: URANIUM GLASS, XRF, DOSE RATE, FLUORESCENCE, ANNAGRÜN, ANNAGELB

KULCSSZAVAK: URÁNÜVEG, XRF, DÓZISTELJESÍTMÉNY, FLUORESzkÁLÁS, ANNAGRÜN, ANNAGELB

Bevezetés

Az urán alkalmazása az üvegek színezésénél

A 19. században különösen kedvelték az anyagában színezett üveget. A biedermeier enteriőrök látványos díszei voltak a tarka, változatos emlékpoharak, palackos fürdőkúra ivókészletek. Közöttük sejtelmesen ragyogtak a csillogó zöldes-sárgás uránüvegek.

Az uránt 1789-ben Martin Heinrich Klaproth (1743–1817) német gyógyszerész-vegyész mutatta ki (Brenni 2007). Az új anyagot a nyolc évvel korábban, 1781-ben felfedezett Uránusz bolygó nyomán nevezte el. Az uránit (urán-oxid, UO_2) kívül fényes acélszürkés, feketés, belül barnászöröses ásvány, tömeges változata az uránszurokérc (UO_2 és UO_3 keveréke). Az egyik legrégebben ismert lelőhelye a csehországi Joachimsthal (Jáchymov). Klaproth ebből az ércből nyerte ki a sárga nátrium-uranát uránsót, amiből fekete por formában urán-oxidot állított elő. A tiszta fémuránt 1841-ben Eugene Melchior Peligot

(1811–1890) francia kémikus különítette el először (Brenni 2007).

Az urán-oxid kiváló üvegszínező hatásáról már egy 1817-es angliai munka (C. S. Gilbert: *An Historical Survey of The Country of Cornwall*) is említést tesz, mely szerint – az adagolás arányától függően – sárga, barna, almazöld vagy smaragdzöld árnyalat érhető el vele (Lole 1995). Széleskörű népszerűségét a cseh-német üvegművesség képviselői alapozták meg. Franz Anton Riedel (1786-1844) elsők között kezdte meg az uránüvegek gyártását az 1830-as években Antonínovban, a történeti Csehország területén (Langhamer 2003, 71). Unokaöccse, egyben veje, Josef Riedel (1816-1894) segítségével két élénk, ragyogó színű üvegtípust fejlesztettek ki, amelyeket a regényes történet szerint Franz Anna lányának (más forrás szerint lányainak) tiszteletére az *Annagelb* (annasárga) és *Annagrün* (annazöld) vagy *Eleanorengrün* (eleonórazöld) nevet kapták. Ekkor már Angliában és Franciaországban is készítettek hasonló, látványos kanárisárga tárgyakat (*canary*

glass, verre canari). Felfigyeltek az urános üveg zöldessárga kettős színváltó, dikroikus tulajdonságára, arra, hogy a különböző hullámhosszú fénysugarakat másként téríti el. Ezt jelzi másik francia elnevezése is: *verre dichroïde* (Brenni 2007). A jeles angol üvegekészítő, Apsley Pellat (1763–1826) kaméleonüvegeként írt róla 1849-ben (*Curiosities in Glass making*, London). Azt is megjegyezte, hogy a lemenő nap sugaránál e tárgyak körvonalai titokzatosan felderengenek, de a gyertyafénynél ezt a jelenséget nem lehet megfigyelni (Lole 1995).

Az urán jelenléte ultraibolya fénnel, úgynevezett "fekete fénnel" jeleníthető meg. A sejtelmes fluoreszkálását az üvegekben lévő urán-oxid uranilionja (UO_2^{2+}) okozza, ami a napfényben is jelenlévő, emberi szem számára láthatatlan ultraibolya sugarak hatására sárga és zöld fényt bocsát ki (Lopes et al. 2008). A 19. század vége óta az UV fény mesterségesen előállítható. Ezért az uránüvegből készült tárgyak azonosításához és vizsgálatához az UV lámpák remek segítséget nyújtanak.

Az uránt többnyire sárga uránsó (nátrium-uránát, $Na_2U_2O_7 \cdot 6H_2O$) formában használták pigmentként, mely könnyen feloldódott a szilikátüveges mátrixban az üvegolvadék melegítése folyamán. De alkalmaztak még más vegyületeket is, például $K_2U_2O_7$, $(NH_4)_2U_2O_7$ (Lopes et al. 2008). A zöld szín eléréséhez réz-szulfátot adagoltak hozzá. Az urán-oxidot az 1860-as évektől kerámiamázak (sárga és fekete) színezésére is használták (Strahan 2001).

Az urán radioaktivitását Antoine Henri Becquerel (1852–1908) fedezte fel Párizsban, 1896-ban (Brenni 2007). Mérgező hatásáról már korábban is voltak ismeretek, de csak az 1890-es években kezdődtek el a viták az urán felhasználásának lehetséges egészségügyi veszélyeiről (Strahan 2001). Ekkor már ipari alkalmazását is szigorúan szabályozták, de az üveg- és kerámiamunkák gyártásánál továbbra is igen kedvelt volt. Változatos tárgytipusok születtek az uránüveg különleges anyagából: bizsuk, gyöngyök, nyakláncok, gombok, parfümös üvegek, asztali készletek, poharak, palackok, tálak, gyertyatartók, lámpák és még sok minden más.

A 19. század végére, az 1880-as évektől az urántartalmú pigment Európa szerte, sőt világszerte elterjedt. Egyaránt használták a századforduló idején a francia Art Nouveau művészei, Émile Gallé, a Daum fivérek, René Lalique és az amerikai Tiffany (Strahan 2001). Nemcsak művészi dísz tárgyak, emléktárgyak, ékszerek készültek uránüvegből, hanem reprezentatív asztali étkezészetek, pohárkészletek is.

Az Art Deco korszakában, az 1920-as–30-as években is kedvelték ezt az üvegtípust. A nagyobb művészi értéket képviselő igényes darabok kézi megmunkálású csiszolt dekorációval készültek, ugyanakkor népszerűek voltak a sorozatban gyártható, olcsóbb préselt uránüvegből készült változatok is, főképp Amerikában, már az 1880-as évektől (Strahan 2001; Brenni 2007). Az uránt végül az 1940-es években, haditechnikai felhasználása miatt vonták ki a szabadpiaci forgalomból, ekkor megszűnt az uránüveg gyártása (Strahan 2001; Brenni 2007). Az urán dúsítása során megmaradó melléktermék az ún. szegényített urán, aminek a fajlagos radioaktivitása mintegy 40%-kal kisebb. Ezt 1959-től még ismét be lehetett szerezni egy ideig és a Homer Laughlin China Company 1972-ig gyártott is uránüveget (Strahan 2001).

Napjainkban az uránnak, mint a nukleáris energia fűtőanyaga, stratégiai jelentősége van. A különleges uránüvegek iránti érdeklődés azonban továbbra is megmaradt, kiváltképp a magángyűjtők körében. E tárgyak a régiségkereskedések és aukciók keresett darabjai ma is. Az utóbbi években a múzeumi berkekben is nagyobb figyelem irányult ezekre a tárgyakra (Strahan 2001; Lopes et al. 2008). A budapesti Iparművészeti Múzeum 2016-os *Színekre hangolva* tárlatán látványos egységet képviseltek a szemet gyönyörködtető uránüvegek. A bécsi Volkskunde Museum 2019-ben rendezett kiállítást *ANNAGELB UND ELEONORENGRÜN. Die Faszination des Uranglases* címmel.

Uránüvegek a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményében

Kíváncsiak voltunk, hogy vajon a Magyar Nemzeti Múzeum Üveg- és Kerámiagyűjteménye I. raktárában őrzött műtárgyak között hány uránüveg van, és mérhető-e ezek radioaktivitása a sugárvédelemben rutinszerűen használt ellenőrző műszerekkel. Kutatásunk egyik célja volt azt megbecsülni, hogy az urántartalmú üvegtárgyak jelentenek-e bármiféle sugáregészségügyi kockázatot a tárgyakkal dolgozó szakemberek és a kiállított tárgyakat megtekintő közönség számára. Az uránüvegből készült tárgyak azonosításához egyszerű hordozható, kézi UV lámpát használtunk (Cashtech 16. 4W UV-A, 365 nm). Kiválasztottuk azokat az üvegeket, amelyek a sötét raktárban UV lámpával megvilágítva fluoreszkáltak. Négy emlékpohár (1. ltsz. 1963.132 ivókúra pohár, 2. ltsz. 1981.108 fedeles fülespohár, 3. ltsz. 1969.203 harang alakú díszpohár, 4. ltsz. 1981.102 talpas kehely), valamint három pohárkészlet darabjai, melyekből kettőt-kettőt mértünk meg később (5-6. ltsz. 1978.8.2 és ltsz. 1978.8.5 likőröspoharak, 7-8. ltsz. 1997.2.4 és ltsz. 1997.2.5 borospoharak, 9-10. ltsz. 1961.2059.1 és ltsz. 1961.2059.2 borospoharak), hívta így fel magára a figyelmet.



1. ábra: Harang alakú üvegpohár, cseh, 1830-50 k. (MNM ltsz. 1969.203) a) lámpafénynél, b) UV fénynél (fotók: Jaksity Iván)

Fig. 1.: Bell-shaped glass cup, Bohemia, c. 1830-50 (MNM inv. no. 1969.203) a) in lamplight, b) in UV light (photos: Iván Jaksity)



2. ábra: Fedeles fülespohár, cseh, 1830-50 k. (MNM ltsz. 1981.108) a) lámpafénynél, b) UV fénynél, c) pohár alja lámpafénynél, d) pohár alja UV fénynél (fotók: Jaksity Iván)

Fig. 2.: Cup with handle and lid, Bohemia, c. 1830-50 (MNM inv. no. 1981.108) a) in lamplight, b) in UV light, c) base of cup in lamplight, d) base of cup in UV light (photos: Iván Jaksity)



3. ábra.: Bordázott ivókúra pohár, cseh, 1830-60 k. (MNM ltsz. 1963.132) a) lámpafénynél, b) UV fénynél (fotók: Jaksity Iván):

Fig. 3.: Fluted spa cup for mineral water, Bohemia, c. 1830-50 (MNM inv. no. 1963.132) a) in lamplight, b) in UV light (photos: Iván Jaksity)

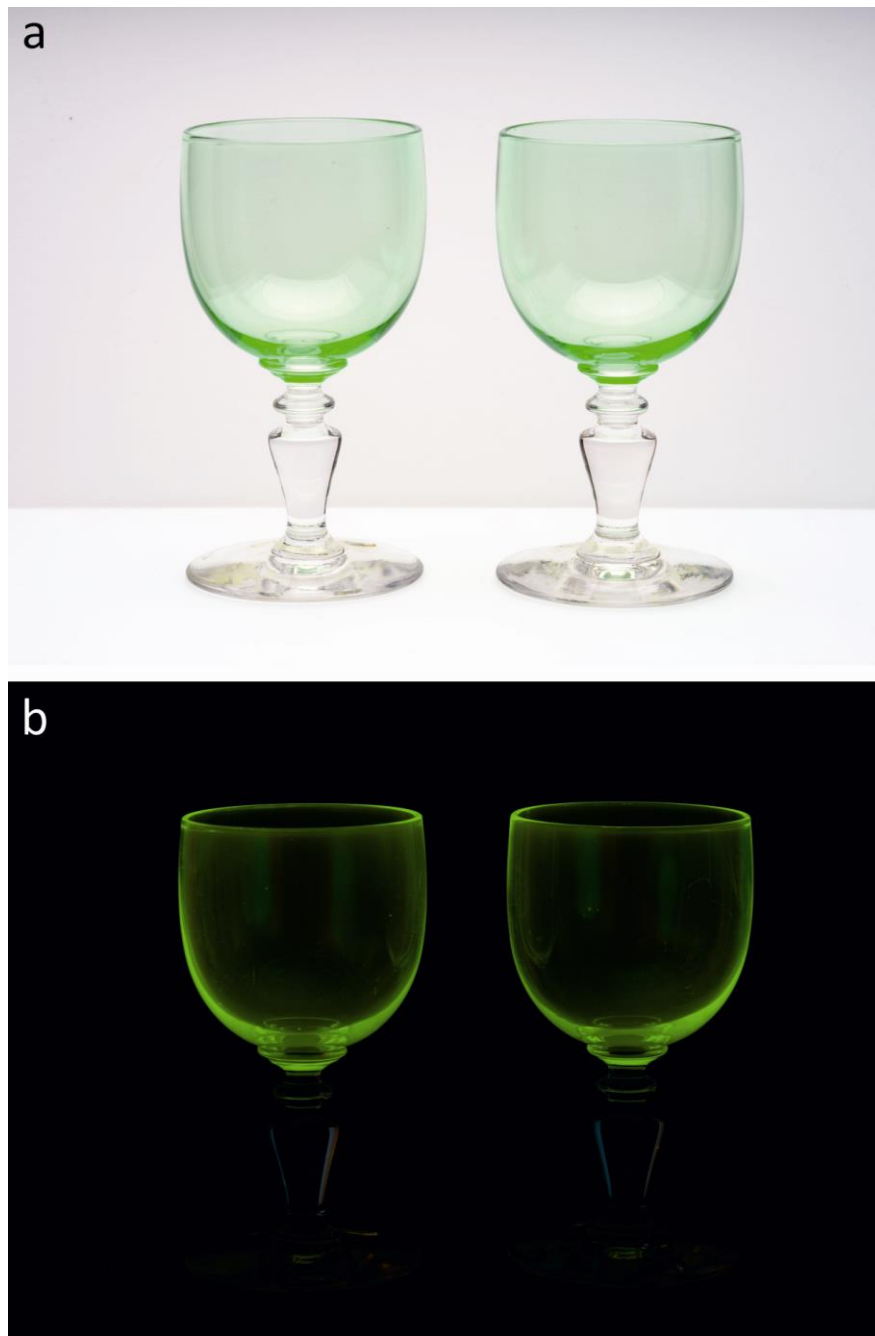


4. ábra: Talpas, tölcseres kehely, cseh?, 19. század? (MNM ltsz. 1981.102) a) lámpafénynél, b) UV fénynél (fotók: Jaksity Iván):

Fig. 4.: Goblet, Bohemia?, 19th century? (MNM inv. no. 1981.102) a) in lamplight, b) in UV light (photos: Iván Jaksity)

Két tárgy nagyon enyhe fluoreszcenciát mutatott (ltsz. 1983.119 sárga pácos csiszolt pohár és ltsz. 1985.13.1 kék üvegszállal díszített szintelen üvegű palack), mivel a későbbi XRF mérések nem találtak bennük kimutatható mennyiségű uránt, e darabokkal a továbbiakban nem foglalkozunk. A négy emlék pohár anyagában színezett, egyféle üvegből készült: három zöld (1. ltsz. 1963.132 ivókúra pohár, 2. ltsz. 1981.108 fedeles füles pohár,

3. ltsz. 1969.203 harang alakú dísz pohár), egy pedig sárgászöld színű (ltsz. 1981.102 talpas kehely). A likőrös- (ltsz. 1978.8.2 és 1978.8.5) és a borospoharak (ltsz. 1997.2.4 és 1997.2.5; ltsz. 1961.2059.1 és 1961.2059.2) megformálásához kétfajta üveget használtak fel, az anyagában színezett zöld kelyhet szintelen üvegű, kerek talpú szár tartja.



5. ábra: Talpas borospoharak, Osztrák-Magyar Monarchia, 19. század vége (MNM ltsz. 1961.2059.1-2) a) lámpafénynél, b) UV fényénél (fotók: Jaksity Iván)

Fig. 5.: Wine cups, Austro-Hungarian Monarchy, end of 19th century (MNM inv. no. 1961.2059.1-2) a) in lamplight, b) in UV light (photos: Iván Jaksity)

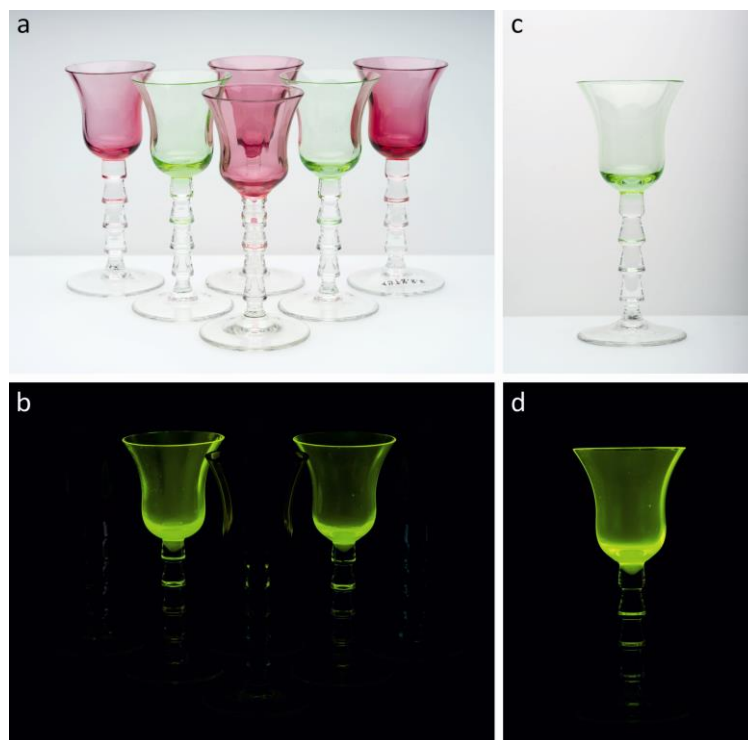
Formaadása, díszítőtechnikája alapján a négy emlékpohár nagy valószínűséggel a cseh üvegművesség termékei közé sorolható. A három zöld színű példány a 19. század első felére, közepére datálható. A biedermeier korszak idején (1820-1860) a csiszolt, hámozott, vésett, gazdagon megmunkált, fűvott vastag falú cseh üvegpoharak nagy sikert arattak. Különösen a fürdőhelyeken vásárolták ezeket szívesen az odalátogatók. Később a vitrinek polcait díszítették, felidézve a régi

élményeket. A harang alakú, fazettált üvegpohár (ltsz. 1969.203, magasság: 12,5 cm; szájátmérő: 9 cm) felfelé enyhén szélesedik, és alul kissé öblösödik (**1. ábra**). Relief aranyozású virágos, leveles indák dekorálják, a talprészen is széles aranycsík felett finom eleganciával vékonyan festett, aranszínű ívsor vonul körbe. A fazettált, fedeles fülespohár (ltsz. 1981.108, magasság: 15,5 cm; szájátmérő: 9 cm) vastagabb, különleges formájú, ovális és indázó motívumú csiszolattal



6. ábra: Talpas borospoharak festett arany dekorral, Budapest?, 1880-90 k. (MNM ltsz. 1997.2.1-6) a) készlet lámpafénynél, b) készlet UV fénynél, c) lámpafénynél, d) UV fénynél (fotók: Jaksity Iván)

Fig. 6.: Wine glasses with painted golden decoration, Budapest?, c. 1880-90 (MNM inv. no. 1997.2.1-6) a) service in lamplight, b) service in UV light, c) in lamplight, d) in UV light (photos: Iván Jaksity)



7. ábra: Talpas likőröspoharak, Osztrák-Magyar Monarchia, 20. század eleje (MNM ltsz. 1978.8.1-6) a) készlet lámpafénynél, b) készlet UV fénynél, c) lámpafénynél, d) UV fénynél (fotók: Jaksity Iván)

Fig. 7.: Liqueur glasses, Austro-Hungarian Monarchy, beginning of 20th century (MNM inv. no. 1978.8.1-6) a) service in lamplight, b) service in UV light, c) in lamplight, d) in UV light (photos: Iván Jaksity)

(2. ábra). Talprésze is gazdagon kiképzett, alján gondosan kialakított aprólékos, hálós gyémántmetszésű csiszolt díszítmény. Ez akkor látszik, ha felemelik a poharat. Fedele nyolc lapra csiszolt, lapos nyolcoldalú fogógombbal.

Történeti értéke miatt különösen becses számunkra az a lapos, ovaloid aljú, domborúan bordázott ivókúra pohár (Itsz. 1963.132, magasság: 10 cm, száj: 9 cm x 6 cm, alj: 5,5 cm x 4 cm), amelyre medalionba tulajdonosa nevét vésték: *Emilie* (3. ábra). Mácsai Csernovics Emília (Arad, 1819 – Budapest, 1909) az 1848-49-es szabadságharc hős tábornokának, az Aradon vértanúságot szenvedett Damjanich Jánosnak volt a felesége. 1847-ben kötöttek házasságot, mindössze két közös év adatott számukra. Az özvegyen maradt fiatalasszony többé nem ment férjhez. Tevékeny életet élt, ápolta az aradi mártírok emlékét, jótékonyági akciót szervezett az özvegyek, árvák megsegítésére. 1861-ben megalapította a Magyar Gazdaasszonyok Egyesületét. A talpas, tölcséres kehely (Itsz. 1981.102, magasság: 13,7 cm; szájmérete: 8,9 cm) vastag falú anyaga átlátszó sárgászöld üveg (4. ábra). Formája kevésbé jellegzetes, datálása bizonytalanabb. Talpa kerek, aljának külső pereme mentén fogaskerek-szerű cikk-cakkos díszítmény. Vaskos szára hét lapra csiszolt. Kelyhét közepen jobbra hajló, hosszúkásra formált levelek övezik.

Reprezentatív asztali pohárkészleteket is gyártottak uránüvegből. A vékony falú, fúvott, kecses üvegekelyhekhez szintelen üvegből készült mindhárom múzeumi készlet esetében a talpas szár. A német Rómer pohár cuppáját idéző kerekded kelyhű borospohár kedvelt forma volt a 19. század végén. Az egyik típusból csak két darab van (Itsz. 1961.2059.1-2, magasság: 11,5 cm, szájmérete: 6 cm, talpmérete: 6,2 cm), száruk baluszter alakú, csiszolt (5. ábra). Az arany szegélyfestéssel díszített példányok (Itsz.1997.2.1-6, magasság: 12,5 cm, szájmérete: 5,7 cm, talpmérete: 6,5 cm) szára többszörösen tagolt, két korong motívum fogja közre a gömbös nóduszt (6. ábra). Nagyon hasonló készletet (Itsz. 53.401.1-6) őriz az Iparművészeti Múzeum, amely a talpa aljára festett monogram szerint a Giergl Henrik alapította cég műhelyében készült 1880-90 táján. Az osztrák szecessziós üvegművészet eleganciája, formavilága jellemzi a színekkel játszó likőröspoharakat, amelyek már a 20. század elejének termékei (Itsz. 1978.8.1-6, magasság: 11,1 cm; szájmérete: 4,6 cm) (7. ábra). A talpas, körkörös tagolt száron ülő harang alakú kelyhek zöld, illetve lilás árnyalatúak. Az UV megvilágításnál készült felvételen jól látható, hogy csak a zöld üveg fluoreszkál (7. ábra). A likőröskészlet Vázsonyi Vilmos (született Weiszfeld Vilmos) (1868–1926) ügyvéd, újságíró, politikus hagyatékával került a Magyar Nemzeti Múzeumba. Vázsonyi a Polgári Demokrata Párt egyik alapítója volt 1900-ban.

Több alkalommal is megválasztották őt a budapesti Terézváros országgyűlési képviselőjévé, 1917-ben és 1918-ban Magyarország igazságügyi minisztere volt.

Vizsgálati módszerek

Kézi XRF vizsgálat

Az üvegtárgyak kémiai összetételét roncsolásmentesen, kézi röntgenfluoreszcens (XRF) spektrométerrel határoztuk meg, XRF módszert használtuk más uránüvegek méréséhez is (pl. mikro-EDXRF, Lopes et al. 2008). A vizsgálatához – elsősorban az urán mennyiségének pontos meghatározása céljából – kétféle kézi készüléket használtunk: SPECTRO xSORT Combi és Bruker Tracer 5g típusút. Analitikai paraméterek:

- SPECTRO xSORT Combi készülék: 15–50 kV, 21–50 μ A, Rh-anód, SDD detektor, környezeti (Environmental) gyári kalibráció, 3 mm átmérőjű mérési terület, 60 másodperc mérési idő, az urán kimutatási határa ~10 ppm,

- Bruker Tracer 5g készülék: 8–50 kV, Rh-anód (4 W), nagy felületű szilícium sodródetektor (large area SDD), geológiai (GeoExploration) gyári kalibráció, 8 mm átmérőjű mérési terület, 45–60 másodperc mérési idő, az urán kimutatási határa ~10 ppm.

Az egyes elemekhez tartozó koncentrációértékek mindkét berendezés esetében jelentősen meghaladták az analitikai szórás háromszorosát, így a szórásértékeket nem tüntettük fel.

Az anyagában színezett, egyféle homogén üvegű poharakat (Itsz. 1963.132 ivókúra pohár, Itsz. 1981.132 fedeles pohár, Itsz. 1969.203 harang alakú díszpohár, Itsz. 1981.102 talpas kehely) kettő-négy ponton mértük meg. A pohárkészletekből két-két darab mérésére került sor. Ezeknél a vegyes üvegű tárgyaknál (Itsz. 1997.2.4 és 1997.2.5 borospoharak, Itsz. 1978.8.2 és 1978.8.5 likőröspoharak, Itsz. 1961.2059.1 és 1961.2059.2 borospoharak) elemeztük a fluoreszkáló kelyhet és a nem fluoreszkáló talpat, egy-egy pont mérési eredményét közöljük.

Dózisteljesítmény mérése

A Magyar Nemzeti Múzeum raktárában két hordozható műszerrel mértük az uránüveg tárgyak sugárzását: Autocont felületi szennyezettségmérővel, amely γ - és β -sugárzás detektálására alkalmas, valamint Thermo Scientific FH 40G-L 10 dózismérővel. A Thermo Scientific műszer széles dózistartományban (10 nSv/h–100 mSv/h) 30 keV–4,4 MeV energiájú γ -sugárzás detektálására alkalmas. A raktárhelyiség teremrészének háttér dózisteljesítménye: 65–70 nSv/h. Dózisteljesítmény a szekrény csukott üvegtája előtt: 75–90 nSv/h. Dózisteljesítmény nyitott üvegtájonál: 95–

1. táblázat: Az üvegtárgyak kétféle (SPECTRO xSORT Combi és Bruker Tracer 5g) kézi XRF spektrométerrel mért kémiai összetétele (tömeg%, oxidban megadva, <kh: kimutatási határ alatt).

Table 1.: Chemical composition of the glass objects analysed with two handheld XRF spectrometers (SPECTRO xSORT Combi and Bruker Tracer 5g). The concentrations are listed as weight percent in oxide form, <kh stands for below detection limit.

Tárgy	XRF mérés helye	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CuO	PbO	As ₂ O ₃	P ₂ O ₅	U ₃ O ₈	K ₂ O/CaO
SPECTRO xSORT Combi készülék										
ltsz. 1963.132 ivókúra pohár	Emilie felirat	14,66	4,25	0,022	0,43	0,007	0,38	<kh	0,31	3,45
	pohár pereme	17,54	4,76	<kh	0,45	0,004	0,48	<kh	+	3,69
ltsz. 1981.108 fedeles fülespohár	pohár oldala	15,40	7,12	<kh	0,37	0,007	0,67	<kh	0,59	2,16
	fedél	13,80	6,19	<kh	0,35	0,006	0,63	<kh	0,55	2,23
ltsz. 1969.203 harang alakú díszpohár	pohár oldala	6,88	2,71	0,041	0,42	0,005	0,004	1,25	0,58	2,54
	pohár talpa	13,47	2,80	0,036	0,43	0,002	0,003	1,54	0,60	4,81
ltsz. 1981.102 talpas kehely	kehely oldala	14,83	15,44	0,020	0,004	0,002	0,22	<kh	0,44	0,96
	kehely talpa	15,42	15,77	0,018	0,002	0,001	0,22	<kh	0,43	0,98
ltsz. 1997.2.4 borospohár	kehely	6,17	2,94	<kh	2,12	0,70	0,27	<kh	0,46	2,10
	talp	17,57	7,18	0,003	<kh	1,29	0,10	<kh	<kh	2,45
ltsz. 1997.2.5 borospohár	kehely	11,00	5,4	<kh	2,29	0,75	0,31	<kh	0,52	2,03
	talp	15,41	6,80	<kh	<kh	1,40	0,13	<kh	<kh	2,27
ltsz. 1978.8.2 likőröspohár	kehely	3,89	5,20	0,029	0,014	0,16	<kh	<kh	0,14	0,75
	talp	10,96	6,59	0,028	<kh	<kh	0,002	<kh	<kh	1,66
ltsz. 1978.8.5 likőröspohár	kehely	3,54	4,71	0,034	0,015	0,16	<kh	<kh	0,17	0,75
	talp	10,47	6,13	0,027	<kh	<kh	0,001	<kh	<kh	1,71
ltsz. 1961.2059.1 borospohár	kehely	4,91	0,04	<kh	+	19,85	7,21*	<kh	0,61**	-
	talp	7,66	<kh	<kh	<kh	21,72	7,79*	<kh	0,13**	-
ltsz. 1961.2059.2 borospohár	kehely	2,64	0,02	<kh	+	19,45	6,75*	<kh	0,56**	-
	talp	7,60	<kh	<kh	<kh	21,65	7,73*	<kh	0,17**	-
Bruker Tracer 5g készülék										
ltsz. 1963.132 ivókúra pohár	Emilie felirat	9,6	2,8	0,031	0,36	0,004	0,37	<kh	0,12	3,4
	perem	9,3	2,7	0,025	0,34	0,004	0,40	<kh	0,16	3,4
	talp	6,2	2,4	0,030	0,32	0,003	0,45	<kh	0,44	2,6
	borda	7,5	2,4	0,022	0,33	<kh	0,36	<kh	0,21	3,1
ltsz. 1981.108 fedeles fülespohár	oldal	14,0	5,6	0,03	0,29	0,0051	0,59	<kh	0,25	2,5
	fül	14,2	5,8	0,034	0,29	0,0079	0,63	<kh	0,22	2,4
	fedél, homorú	13,4	5,5	0,027	0,3	0,0068	0,61	<kh	0,32	2,4
ltsz. 1969.203 harang alakú díszpohár	oldal	8,4	2,6	0,024	0,34	0,004	0,03	0,60	0,75	3,2
	aranydíszítés	6,1	2,0	0,06	0,26	0,54	1,06***	0,91	0,66	3,1
ltsz. 1981.102 talpas kehely	talp, homorú	8,3	5,7	0,018	0,003	<kh	0,2	<kh	0,37	1,5
	talp felülről	4,8	3,6	0,011	0,001	<kh	0,18	<kh	0,47	1,3
	perem	7,3	5,1	0,016	0,002	<kh	0,17	<kh	0,39	1,4
	üvegtest középen	6,9	4,8	0,015	0,003	<kh	0,17	<kh	0,38	1,4
ltsz. 1997.2.4 borospohár	kehely oldala	11,2	4,7	0,025	0,4	0,89	0,33	<kh	0,3	2,4
	talp	8,3	3,6	0,013	<kh	1,3	0,18	<kh	<kh	2,3

1. táblázat, folyt.**Table 1. cont.**

Tárgy	XRF mérés helye	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CuO	PbO	As ₂ O ₃	P ₂ O ₅	U ₃ O ₈	K ₂ O/ CaO
Bruker Tracer 5g készülék (folyt.)										
Itsz. 1997.2.5 borospohár	kehely oldala	12,0	5,0	0,027	0,39	0,84	0,33	<kh	0,2	2,4
	talp	10,5	4,5	0,015	<kh	1,4	0,19	<kh	<kh	2,3
Itsz. 1978.8.2 likőröspohár	kehely oldala	3,3	4,4	0,038	0,015	+	<kh	<kh	0,07	0,8
Itsz. 1978.8.5 likőröspohár	kehely oldala	3,3	5,2	0,038	0,016	0,19	<kh	<kh	0,09	0,6
	talp	4,4	3,3	0,014	<kh	<kh	<kh	<kh	<kh	1,3
Itsz. 1961.2059.1 borospohár	kehely oldala	2,8	0,37	0,015	0,08	37	16***	<kh	0,07	7,6
	talp	1,4	0,2	0,01	<kh	43	8,2***	<kh	<kh	7,0
Itsz. 1961.2059.2 borospohár	kehely oldala	2,8	0,37	0,015	0,08	37	16***	<kh	0,07	7,6

+: SPECTRO: a Itsz. 1963.132 ivókúra pohár peremének spektrumában megjelennek az urán La1 (13,61 keV), Lβ2 (16,42 keV) és Lβ1 (17,22 keV) vonalai, valamint a Itsz. 1961.2059.1 és 2 borospoharak kelyhének spektrumában megjelenik a réz Kα1 (8,046 keV) vonala, de a készülék egyik esetben sem számolt koncentrációt; Bruker: a Itsz. 1978.8.2 likőröspohár spektrumában az ólom L vonalai látszódnak, de a készülék nem számolt koncentrációt

*: az arzén a Kβ1 vonala (11,72 keV) alapján jelen van a Itsz. 1961.2059.1 és 2 borospoharak üvegének spektrumában, azonban az üveg nagy ólomtartalma miatt a készülék irreálisan nagy arzénkoncentrációt számol, mivel az ólom La1 vonala (10,55 keV) átfed az arzén Kα1 (10,54 keV) vonalával

** : az ólom Lβ1 vonala (12,61 keV) a Itsz. 1961.2059.1 és 2 borospoharak üvegének nagy ólomtartalma miatt széles, ami befolyásolhatja az urán La1 (13,61 keV) vonal alapján számolt koncentrációját, azaz a készülék a valós uránkoncentrációnál többet számol; jöllehet a készülék számolt uránkoncentrációt a borospoharak talpában, a spektrumokban az urán jellemző vonalai (La1 (13,61 keV), Lβ2 (16,42 keV), Lβ1 (17,22 keV)) nem jelennek meg

***: az arzén mennyiségét a készülék ezeknél a méréseknél felülbecsüli az arzén Kα1 (10,54 keV) és az ólom La1 (10,55 keV) vonalának átlapolása miatt

100 nSv/h. Az üvegek dózisteljesítményét két pozícióban mértük: 10 centiméternyi távolságból és tárgyak felszínénél közvetlen közelről.

Korábbi kutatások során összefüggést találtak a béta és gamma aktivitás, valamint a tárgyak urántartalma között (Lopes et al. 2008). A tárgyakon ezért a hitelesített gammadózis teljesítmény-méréseken kívül egy hordozható felületi szennyezettség mérővel is végeztünk vizsgálatokat. Az AutoCont (PCM 86) típusú mérőműszert felületeken levő béta és/vagy gamma szennyezés felderítésére fejlesztették ki. Az AutoCont előnye, hogy sokkal érzékenyebb, viszont a sugárzás mértékét önkényes egységben (cps, *a.m.* counts per second, másodpercenkénti beütés) jelzi, dózis mérésére nem alkalmas. A mindennapi gyakorlatban ezt a műszert használjuk a laborban a besugárzott minták aktivitásának gyors ellenőrzésére. A készülék nagyfelületű Geiger-Müller (GM) számlálóval rendelkezik, gyors elemzést tesz lehetővé és különösen érzékeny a lágy betasugárzásra:

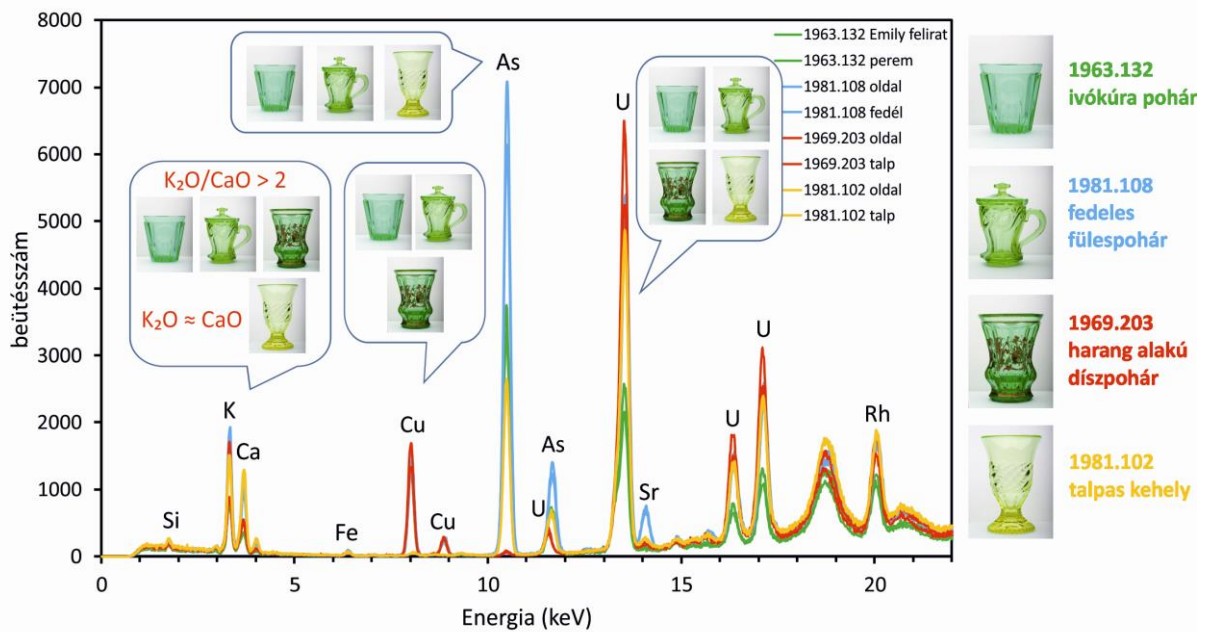
https://www.iki.kfki.hu/services/products/autocont_hu.shtml;
https://www.iki.kfki.hu/about_us/doc/IKI_promo.pdf.

Minden mérést azonos geometriában, a tárgyak felszínétől 5 centiméterre végeztünk.

Az XRF vizsgálatok eredménye**Az uránüvegek kémiai összetétele**

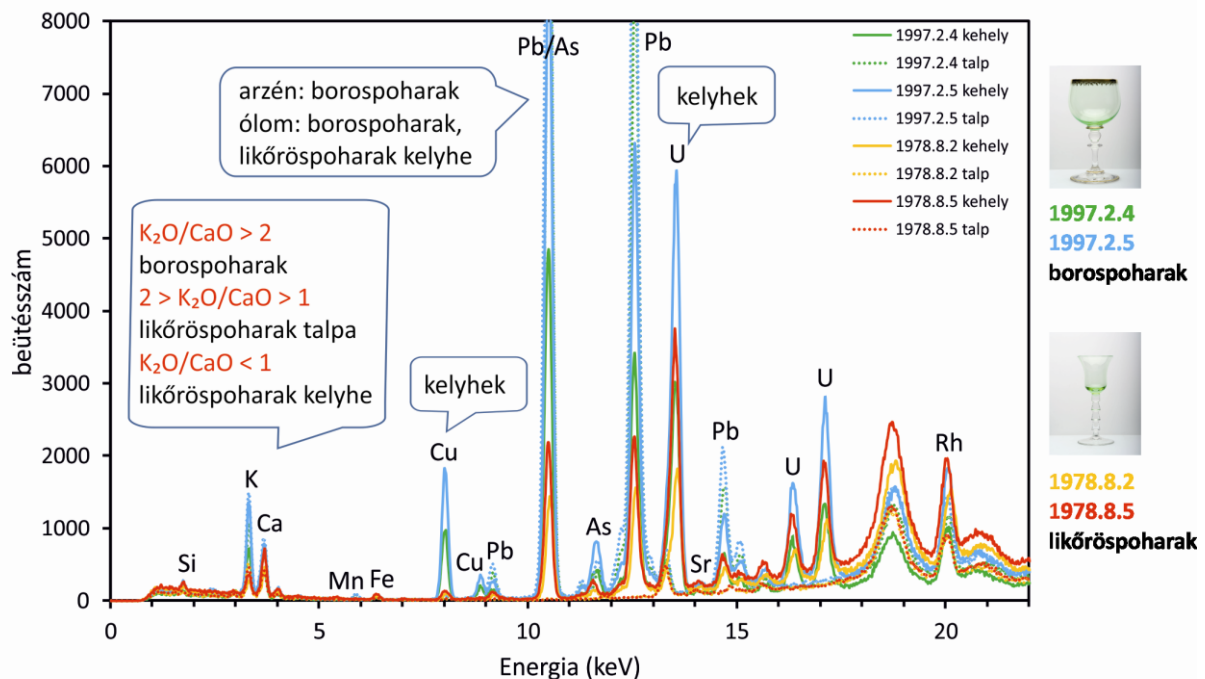
A kézi XRF vizsgálat nem alkalmas a nátrium és esetünkben a magnézium kimutatására, a vizsgált üvegek típusa mégis meghatározható a kémiai összetételük, a kálium ill. az ólom, mint fő folyósító jelenléte alapján. A vizsgált üvegtárgyak két csoportra oszthatók (**1. táblázat**):

1. *Kálium-kalcium* üvegből készültek az anyagukban színezett, egyféle homogén üvegű tárgyak (Itsz. 1963.132 ivókúra pohár, Itsz. 1981.108 fedeles fülespohár, Itsz. 1969.203 harang alakú díszpohár, Itsz. 1981.102 talpas kehely), valamint a vegyes üvegűek közül az egyik borospohár típus (Itsz. 1997.2.4 és 1997.2.5) és a likőröspoharak (Itsz. 1978.8.2 és 1978.8.5). Az üvegekben a K₂O mennyisége 3,5 és 17,5 tömeg% (SPECTRO) ill. 3,3 és 14,2 tömeg% (Bruker) közti, a CaO mennyisége 2,7 és 7,1 tömeg% (SPECTRO) ill. 2,0 és 5,8 tömeg% (Bruker) közti (**1. táblázat**). Kivételt képez a Itsz. 1981.102 sárgászöld színű talpas kehely, amelynek a SPECTRO készülékkel mérve kiugróan nagyobb, 15,4–15,8 tömeg% a CaO tartalma (**1. táblázat**). A K₂O/CaO arány alapján a



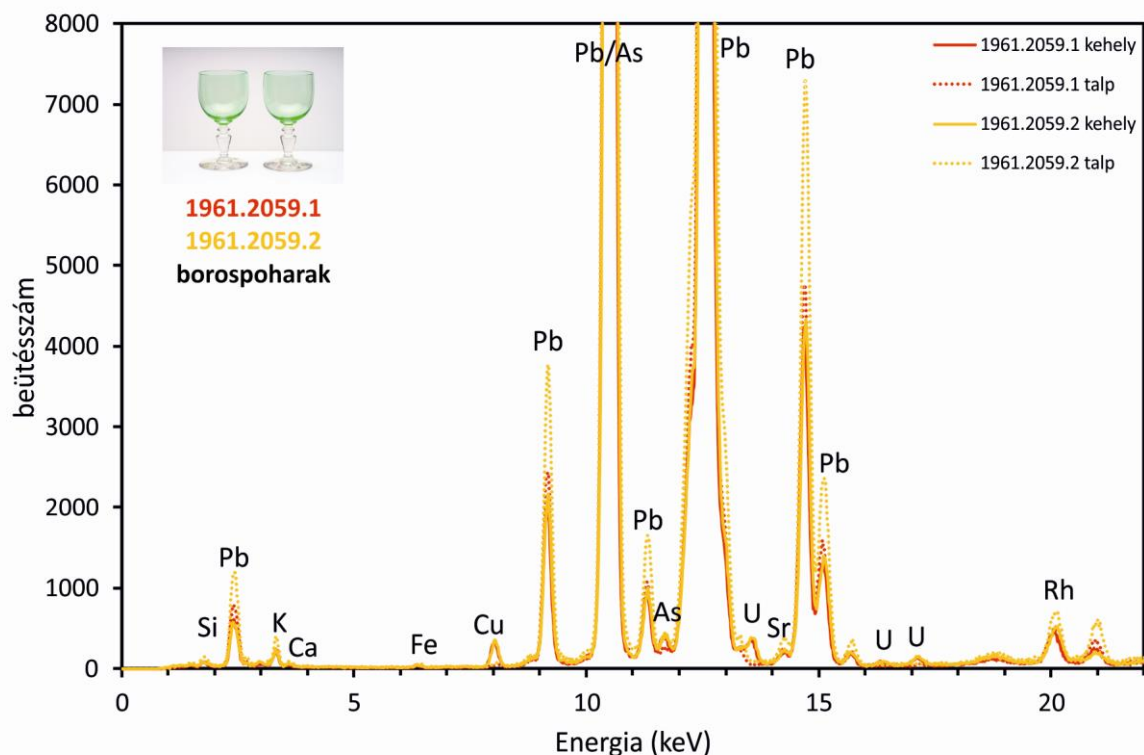
8. ábra: Az anyagában színezett, homogén üvegek (ltsz. 1963.132 ivókúra pohár, ltsz. 1981.132 fedeles pohár, ltsz. 1969.203 harang alakú díszpohár, ltsz. 1981.102 talpas kehely) XRF spektruma (SPECTRO xSORT Combi XRF készülék, a Rh az XRF anódjából származik)

Fig. 8.: XRF spectra of the coloured, homogenous glass objects (inv. no. 1963.132 fluted spa cup for mineral water, inv. no. 1981.132 cup with handle and lid, inv. no. 1969.203 bell-shaped cup, inv. no. 1981.102 goblet) (SPECTRO xSORT Combi XRF spectrometer, Rh line derives from the anode)



9. ábra: A kétfajta üvegből készült, kálium-kalcium üvegű tárgyak (ltsz. 1997.2.4 és 1997.2.5 borospoharak, ltsz. 1978.8.2 és 1978.8.5 likőröspoharak) XRF spektruma (SPECTRO xSORT Combi XRF készülék, a Rh az XRF anódjából származik)

Fig. 9.: XRF spectra of the mixed-glass objects made of potassium-calcium glass (inv. no. 1997.2.4 and 1997.2.5 wine glasses, inv. no. 1978.8.2 and 1978.8.5 liqueur glasses) (SPECTRO xSORT Combi XRF spectrometer, Rh line derives from the anode)



10. ábra: A kétfajta üvegből készült, ólom-kálium üvegű tárgyak (ltsz. 1961.2059.1 és 1961.2059.2 borospoharak) XRF spektruma (SPECTRO xSORT Combi XRF készülék, a Rh az XRF anódjából származik)

Fig. 10.: XRF spectra of the mixed-glass objects made of lead-potassium glass (inv. no. 1961.2059.1 and 1961.2059.2 wine glasses) (SPECTRO xSORT Combi XRF spectrometer, Rh line derives from the anode)

vizsgált üvegtárgyakat tovább osztályozhatjuk (**8. és 9. ábrák**):

i) $K_2O/CaO > 2$: a K_2O koncentrációja legalább kétszerese a CaO koncentrációjának három anyagában színezett üvegtárgyban (ltsz. 1963.132 ivókúra pohár, ltsz. 1981.108 fedeles fülespohár, ltsz. 1969.203 harang alakú díszpohár), valamint két, vegyes üvegű tárgy talpában és kelyhében (ltsz. 1997.2.4 és 1997.2.5 borospoharak) mind a Spectro, mind a Bruker készülékekkel mért adatok esetében,

ii) $2 > K_2O/CaO > 1$: a K_2O koncentrációja kismértékben meghaladja a CaO -ét a ltsz. 1978.8.2 és a ltsz. 1978.8.5 likőröspoharak talpában, valamint a Bruker készülékekkel mért adatok szerint a ltsz. 1981.102 sárgászöld színű talpas kehelyben,

iii) $K_2O/CaO \approx 1$: a K_2O és a CaO koncentrációja körülbelül azonos a ltsz. 1981.102 sárgászöld színű talpas kehelyben a SPECTRO készülékekkel mért koncentrációadatok alapján (míg a Bruker készülékekkel mért adatok alapján a ii) kategóriába esik),

A ltsz. 1978.8.2 és a ltsz. 1978.8.5 likőröspoharak kelyhében a K_2O/CaO arány kisebb, mint 1, azaz a CaO koncentrációja meghaladja K_2O -jét mind a Spectro, mind a Bruker készülékekkel mért adatok

esetében. A K_2O kis koncentrációja (3,5–3,9 tömeg% (SPECTRO) ill. 3,3 tömeg% (Bruker)) miatt elképzelhető, hogy a kelyhek üvege nátriumot is tartalmaz, amit az XRF készülék nem detektál. Bizonyos azonban, hogy a likőröspoharak talpa eltérő összetételű, K-dús üvegből készült (ld. feljebb).

2. *Ólom-kálium üvegből készült a borospoharak másik típusa* (ltsz. 1961.2059.1-2). A poharak mindkét részében (kehely és talp) az ólom a fő folyósító 19,5–21,7 tömeg% (SPECTRO) ill. 37–43 tömeg% (Bruker) PbO mennyiségben. Emellett 2,6–7,7 tömeg% (SPECTRO) ill. 1,4–2,8 tömeg% (Bruker) K_2O -t is tartalmaznak (**1. táblázat, 10. ábra**).

Kálium-kalcium üveg a középkor (13. század vége – 14. század eleje) óta készült a cseh üvegműhelyekben, a kálium fő forrása kezdetben a fahamu volt, idővel a hamuszír, a salétrom és a borkő lett (Cílová & Woitsch 2012; Pánová et al. 2020). Fahamuval készült üveget a középkortól a modern korig (a 19. század közepéig) gyártottak, a modern időkben gyengébb minőségű üvegek készítésére használták (Zlámalová Cílová et al. 2021). A cseh üvegműhelyekben gyártott fahamu üveg összetétele kismértékben eltért a szomszédos német területeken 1000-1400 között gyártott

fahamu és 1300-1600 között gyártott fahamu-mész üvegektől. A cseh üveg átlagos SiO_2 tartalma nagyobb és átlagos P_2O_5 tartalma kisebb (58,2 tömeg% SiO_2 , 1,2 tömeg% P_2O_5) volt, mint a német üvegé (48,9 tömeg% SiO_2 , 2,19 tömeg% P_2O_5 fahamu üvegben; 51,3 tömeg% SiO_2 , 4,58 tömeg% P_2O_5 késői fahamu-mész üvegben) (Wedepohl & Simon 2010; Cílová & Woitsch 2012). Az átlagos $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ arány szintén eltért: míg a német fahamu üvegben 1, a késői német fahamu-mész üvegben viszont jóval kisebb (0,3), mint a cseh fahamu üvegben (~1) (Wedepohl & Simon 2010; Cílová & Woitsch 2012). A cseh fahamu üvegben a $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ arány idővel a CaO javára eltolódott (Cílová & Woitsch 2012), a modern, gyengébb minőségű, zöldes színű fahamu üvegekben az arány 0,6-ig csökkent (Zlámalová Cílová et al. 2021). A 17. század végétől új üvegtípusok jelentek meg: a cseh kristályüveg és a krétaüveg (Kunicki-Goldfinger et al. 2003, 2005; Kunicki-Goldfinger 2020). A jobb minőségű, drágább kristályüveg nyersanyagai a kvarc, kréta, salétrom (esetenként hamuzsírral kombinálva), arzén(-oxid), bórax, borkő, valamint idővel a minium (ólomoxid), míg a gyengébb minőségű, olcsóbb krétaüveget homokból, krétából, hamuzsíról (részben salétrommal helyettesítve), arzén(-oxid)ból, mangánoxidból, borkőből, miniumból és esetenként glaubersóbból készítették (Kunicki-Goldfinger et al. 2003, 2005; Kunicki-Goldfinger 2020; Zlámalová Cílová et al. 2021). Mindkét üvegtípusban a K_2O van túlsúlyban a CaO -hoz képest (Kunicki-Goldfinger 2020), amit alátámaszt például a prágai vár területén előkerült 17-18. századi szintelen kristályüvegek összetétele (70–75 tömeg% SiO_2 , 12,6–15,9 tömeg% K_2O , 8,6–11,4 tömeg% CaO , 0,3–0,7 tömeg% Na_2O , $\leq 0,11$ tömeg% P_2O_5 , 0,44–1,33 tömeg% As_2O_3 , Křížová et al. 2018). A vizsgált kálium-kalcium üvegek többségére szintén a kálium túlsúlya jellemző, egyedül a ltsz. 1981.102 sárga színű talpas kehely kapcsán bizonytalan a $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ arány, mivel csak az egyik XRF készülékkel (Bruker) mért koncentrációadatok alapján több a K_2O , mint a CaO koncentráció. Procházka et al. (2009) SEM-EDX elemzés alapján ugyanúgy kálium dominanciáját mutatta ki zöld és sárga színű cseh uránüvegekben [sárga üveg (gyártó: Klášterský Mlýn): 73,45 tömeg% SiO_2 , 10,3 tömeg% K_2O , 6,9 tömeg% CaO , 5,48 tömeg% Na_2O , 0,72 tömeg% Al_2O_3 , 0,05 tömeg% MgO , $< 0,01$ tömeg% P_2O_5 ; zöld üveg (gyártó: Kristianov): 74,34 tömeg% SiO_2 , 15,53 tömeg% K_2O , 3,17 tömeg% CaO , 2,03 tömeg% P_2O_5 , 0,62 tömeg% Na_2O , 0,38 tömeg% Al_2O_3 , 0,24 tömeg% MgO].

Az általunk vizsgált üvegtárgyak közül a ltsz. 1969.203 harang alakú díszpohárban kimutattuk a

foszfor jelenlétét (1,3–1,5 tömeg% P_2O_5 (SPECTRO) ill. 0,60–0,91 tömeg% P_2O_5 (Bruker)). Foszfor jelenléte az üvegben utalhat fahamu használatára, mivel a fahamu több százalék mennyiségben tartalmaz foszfort, míg a fahamából kilúgozással előállított hamuzsírban és az abból készült üvegben már jóval kisebb mennyiségben van jelen (max. 0,3 tömeg% P_2O_5 a hamuzsíról készült üvegben, Stern & Gerber 2004, 2009; Cílová & Woitsch 2012). Hasonlóan kevés vagy nem kimutatható a foszfor a kristályüvegben (pl. a prágai vár területén feltárt fahamu üvegben 0,7–2 tömeg% P_2O_5 , hamuzsíról készült üvegben 0,15–0,24 tömeg% P_2O_5 , kristályüvegben max. 0,11 tömeg% P_2O_5 , Křížová et al. 2018). A fahamura jellemző egyéb elemek, pl. bárium, stroncium és magnézium (Wedepohl & Simon 2010) koncentrációja megerősítheti a fahamu felhasználását a díszpohár üvegéhez, ezek kimutatása további kémiai elemzést igényel.

Mindhárom zöld, anyagában színezett, homogén üvegű tárgynál (ltsz. 1963.132 ivókúra pohár, ltsz. 1981.108 fedeles fülespohár és ltsz. 1963.203 harang alakú díszpohár) a zöld színt az urán mellett réz adagolásával érték el (0,35–0,45 tömeg% CuO (SPECTRO) ill. 0,26–0,36 tömeg% CuO (Bruker)) (8. ábra, 1. táblázat). Hasonlóan rézzel színezték a ltsz. 1997.2.4 és 1997.2.5 borospoharak zöldes színű kelyhét (2,1–2,3 tömeg% CuO (SPECTRO) ill. 0,4 tömeg% CuO (Bruker)), és kis mennyiségben a ltsz. 1978.8.2 és 1978.8.5 likőröspoharak kelyhét is (0,014–0,015 tömeg% CuO (SPECTRO) ill. 0,015–0,016 tömeg% CuO (Bruker)) (9. ábra). Az ólomüveg anyagú borospoharak (ltsz. 1961.2059.1-2) zöld színű kelyheinek spektrumában szintén megjelenik a színezéshez használt réz, a Bruker készülékkel 0,08 tömeg% CuO -t mértünk (10. ábra, 1. táblázat). A rezet réz-szulfát formájában adagolhatták az üveghez (Weyl 2016).

A kálium-kalcium üvegű tárgyak közül hatban mutattunk ki arzént: a ltsz. 1963.132 ivókúra pohárban, a ltsz. 1981.108 fedeles fülespohárban, ltsz. 1969.203 harang alakú díszpohárban, a ltsz. 1981.102 sárgászöld színű talpas kehelyben és a ltsz. 1997.2.4 és 1997.2.5 borospoharak talpában és kelyhében (0,1–0,7 tömeg% As_2O_3 (SPECTRO) ill. 0,17–1,06 tömeg% As_2O_3 (Bruker)) (8. és 9. ábrák, 1. táblázat). Az ólom-kálium üveg anyagú borospoharak (ltsz. 1961.2059.1-2) kelyheinek és a talpainak XRF spektrumában szintén megjelenik az arzén vonala (10. ábra). Arzén(-oxid) a kristályüveg és a krétaüveg összetevői között egyaránt szerepel (ld. feljebb). Az arzén hozzáadása két okból történhetett. Egyrészt tisztítóanyagként, ún. derítőszerként adják az üveghez oxid formában (Hujová & Vernerová 2007a). Arzén (0,1–

2. táblázat: Dózisteljesítmény 10 cm távolságra és a tárgy felszínének közelében, valamint a üvegtárgyak kétféle (SPECTRO xSORT Combi és Bruker Tracer 5g) kézi XRF készülékekkel mért uránkoncentrációja. Az utolsó oszlopban szereplő béta és gamma aktivitást tájékoztató mérések végzésére szolgáló AutoCont G-M számlálóval végeztük.

Table 2.: Dose rate quantities at a distance of 10 cm and close to the surface of the glass objects, as well as their uranium concentrations (in weight percent) detected with two different handheld XRF spectrometers (SPECTRO xSORT Combi and Bruker Tracer 5g). The (informative) beta and gamma activity values in the last column were determined with an AutoCont G-M counter.

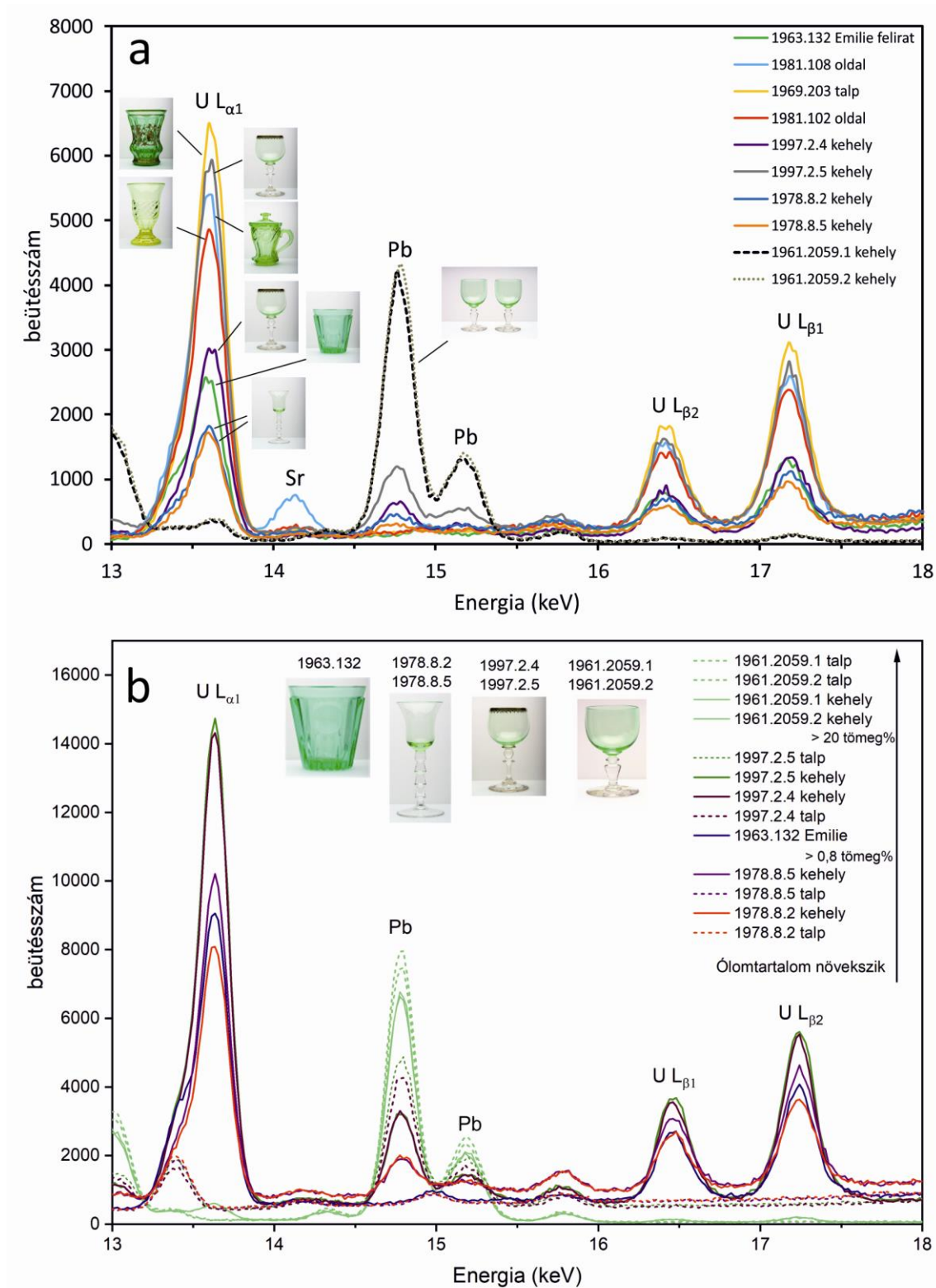
Tárgy	Dózisteljesítmény 10 cm távolságra (nSv/h)	Dózisteljesítmény a felszín közelében (nSv/h)	Urán (tömeg%) (SPECTRO xSORT Combi készülék)	Urán (tömeg%) (Bruker Tracer 5g készülék)	Béta és gamma aktivitás 5 cm távolságra (cps)
Itsz. 1963.132 ivókúra pohár	85±5	105±5	0,26	0,10-0,37	47±3
Itsz. 1981.108 fedeles fülespohár	105±5	150±10	0,46-0,50	0,19-0,27	80±2
Itsz. 1969.203 harang alakú díszpohár	90±5	110±10	0,50-0,51	0,56-0,64	90±3
Itsz. 1981.102 talpas kehely	65±5	70±5	0,37-0,38	0,31-0,40	60±6
Itsz. 1997.2.4 borospohár	-	-	0,39	0,25	9,8±0,5
Itsz. 1997.2.5 borospohár	70±5	75±5	0,45	0,17	33±3
Itsz. 1978.8.2 likőröspohár	80±5	95±5	0,12	0,06-0,08	6,2±0,3
Itsz. 1978.8.5 likőröspohár	-	-	0,14	0,08	7±0,3
Itsz. 1961.2059.1 borospohár	-	-	0,52*	0,06	9,8±0,5
Itsz. 1961.2059.2 borospohár	-	-	0,48*	0,06	9,7±0,5

*: az ólom Lβ1 vonala (12,61 keV) az üveg nagy ólomtartalma miatt széles, ami befolyásolhatja az urán La1 (13,61 keV) vonal alapján számolt koncentrációját, azaz a készülék a valós uránkoncentrációnál többet számol

1 tömeg% As₂O₃) jelenlétében az üvegolvadékban nagyobb méretű buborékok képződnek, amelyek könnyebben eltávoznak az olvadékból, így az üveg hamarabb válik buborékmentessé (tisztulási folyamat; Hujová & Vernerová 2007a,b). Emellett az arzént szintelenítőként is alkalmazzák (pl.

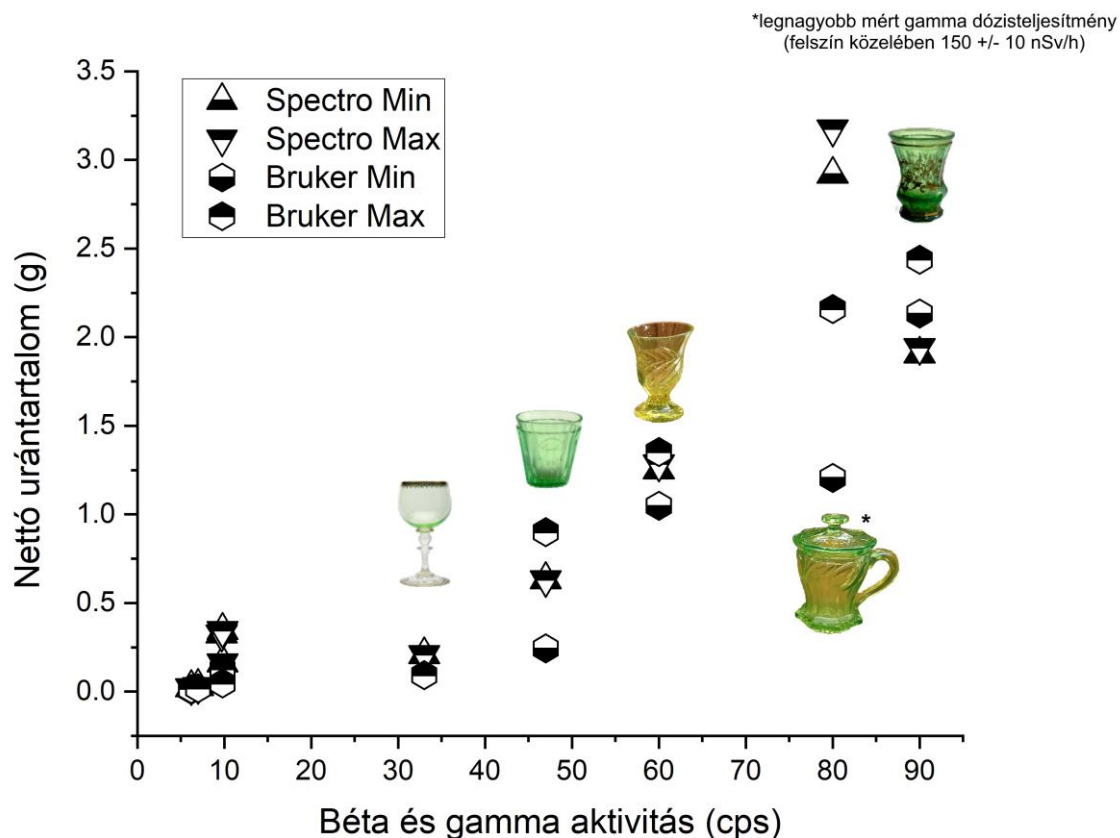
velencei üvegekben használták a 17. század végétől, Verità 2021).

Négy kálium-kalcium üvegből készült tárgyban mutattunk ki kevés ólmot mindkét XRF készülékekkel (**9. ábra, 1. táblázat**): a Itsz. 1997.2.4 és 1997.2.5



11. ábra: Az urán fő vonalának ($U L_{\alpha 1}$ 13,61 keV-nél) relatív intenzitása az anyagában színezett és a vegyesüvegű tárgyak XRF spektrumában a) SPECTRO xSORT Combi készülékkel mérve, b) Bruker Tracer 5g XRF készülékkel mérve

Fig. 11.: The relative intensity of the most intensive uranium line ($U L_{\alpha 1}$ at 13.61 keV) in the XRF spectra of the coloured, homogeneous glass and the mixed-glass objects measured using a) SPECTRO xSORT Combi and b) Bruker Tracer 5g XRF spectrometers



12. ábra: A tárgyak nettó urántartalma (a két XRF készülékkel mért uránkoncentráció alapján a tárgyak tömegét figyelembe véve számolt mennyiség) és a béta + gamma aktivitás (cps) közötti összefüggés

Fig. 12.: Correlation between the beta and gamma activity (cps) and the net uranium content of the objects, calculated based on the masses of the objects and the uranium concentration determined using two handheld XRF spectrometers

borospoharak talpában és kelyhében (0,7–1,4 tömeg% PbO (SPECTRO) ill. 0,8–1,4 tömeg% PbO (Bruker)) és a ltsz. 1978.8.2 és 1978.8.5 likőröspoharak kelyhében (0,16 tömeg% PbO (SPECTRO) ill. 0,19 tömeg% PbO (Bruker)). A ltsz. 1969.203 harang alakú díszpohárban a Bruker készülék 0,54 tömeg% PbO-t mért (**1. táblázat**). Továbbá stroncium vonala jelenik meg a ltsz. 1981.108 fedeles fülespohár spektrumában (**8. ábra**), valamint mangán vonala a ltsz. 1997.2.5 borospohár talpának spektrumában (**9. ábra**).

Az uránüvegek urántartalma

Az UV fényben fluoreszkáló üvegekben, azaz a négy, anyagában színezett, homogén üvegű pohárban és a vegyesüvegű tárgyak kelyhében igazoltuk urán jelenlétét (**1-2. táblázat, 8-11. ábra**). Mindkét XRF készülékkel a legnagyobb uránkoncentrációt a ltsz. 1969.203 harang alakú díszpohárban mértünk: 0,50–0,51 tömeg% U (0,58–0,60 tömeg% U_3O_8) (SPECTRO), ill. 0,56–0,64 tömeg% U (0,66–0,75 tömeg% U_3O_8)

(Bruker). A legkevesebb uránt a ltsz. 1978.8.2 és a ltsz. 1978.8.5 likőröspoharak kelyhében mértünk: 0,12–0,14 tömeg% U (0,14–0,17 tömeg% U_3O_8) (SPECTRO), ill. 0,06–0,08 tömeg% U (0,07–0,09 tömeg% U_3O_8) (Bruker).

A többi kálium-kalcium üvegű tárgy e két szélsőérték között helyezkedik el, és a két XRF készülékkel nagyságrendileg hasonló uránkoncentrációt mértünk az egyes tárgyakban. A legnagyobb koncentrációkülönbséget a ltsz. 1981.108 fedeles fülespohárban (0,46–0,50 tömeg% U (0,55–0,59 tömeg% U_3O_8) (SPECTRO), ill. 0,19–0,27 tömeg% U (0,22–0,32 tömeg% U_3O_8) (Bruker)) és a ltsz. 1997.2.5 borospohárban (0,45 tömeg% U (0,52 tömeg% U_3O_8) (SPECTRO) ill. 0,17 tömeg% U (0,2 tömeg% U_3O_8) (Bruker)) kaptuk (**2. táblázat, 11-12. ábra**).

Az ólom-kálium üvegek (ltsz. 1961.2059.1-2 borospoharak) kelyhében 0,06 tömeg% uránt (0,07 tömeg% U_3O_8) mértünk a Bruker készülékkel,

míg a SPECTRO készülék 0,48–0,52 tömeg% uránt (0,56–0,61 tömeg% U_3O_8) mutatott ki (**1-2. táblázat**). A SPECTRO készülékkel a nem fluoreszkáló talpakban is mértünk uránkoncentrációt (0,11–0,14 tömeg% U). Míg a kelyhek spektrumában megjelennek, a talpak spektrumában nem jelennek meg az urán vonalai ($L\alpha_1$ (13,61 keV), $L\beta_2$ (16,42 keV), $L\beta_1$ (17,22 keV)) (**10. ábra**). Az ólom $L\beta_1$ vonala (12,61 keV) az üveg nagy ólomtartalma miatt széles, ami befolyásolhatja az urán $L\alpha_1$ (13,61 keV) vonal alapján számolt koncentrációját, így a kelyhek pontos uránkoncentrációja a SPECTRO készülékkel nem adható meg.

A vizsgált tárgyakban mért urántartalom nagyságrendileg megfelel az irodalomban közölt adatoknak. A színes uránüvegek általában 0,5–4 tömeg% urán-oxidot (UO_2) tartalmaznak (Volf 1984). Történelmi üvegekben szintén a néhány százalékos uránkoncentráció a jellemző (Kunicki-Goldfinger 2018). Lopes et al. (2008) mikro-EDXRF módszerrel tizenhárom szoda-mész-szilikát típusú uránüvegben 0,14–1,4 tömeg% U_3O_8 tartalmat mértek. Fajfar et al. (2013) a Szlovéniai Nemzeti Múzeum gyűjteményéből PIXE-PIGE módszerrel a 19. század második feléből és a 20. század elejéről származó sárga-zöld uránüvegek összetételét határozták meg: a feltehetően cseh és szlovén műhelyekben kálium-kalcium üvegből készült tizenkét tárgy 0,06–0,632 tömeg% urán-oxidot (UO_2) tartalmazott. 19. századi–20. század eleji, különböző színű (sárga, zöldalabástrom, (fakó)zöld és kékeszöld) cseh uránüvegek urántartalmáról Procházka közölt adatokat. Gamma- és alfa-spektrometriával, valamint elektron-mikroszondás vizsgálattal mért uránkoncentrációk 0,088 és 0,68 tömeg% köztinek adódtak, a sárga üvegben kissé nagyobb koncentrációkkal a (fakó)zöldhöz képest (Procházka et al. 2002, Procházka 2007, Procházka et al. 2009).

A XRF vizsgálatok összegzése

A vastag falú, anyagában színezett, egyféle transzparens üvegből készült emlék poharak az anyagösszetételük és a stíluskritikai, készítéstechnikai jellemzőik szerint a 19. századi cseh üvegművesség felé mutatnak. Jó minőségű kálium-kalciumüvegek. Ez az üvegtípus a csiszolásra különösen alkalmas. A sárgászöld üveg színezésére uránt használtak, az erősebb zöld szín eléréséhez rezet is adagoltak a három vastag falú zöldpohárhoz. A sárgászöldtalpas kehelykészítési helyének, datálásának meghatározása bizonytalanabb. A vékonyfalú likőrös-és borospoharak az Osztrák-Magyar Monarchia területén készültek a 19. század végén, 20. század elején. Szintén jó minőségű, ragyogó, többségében kálium-kalcium üvegek. Kelyhük uránnal és rézzel színezett, csillogó, transzparens, a borospoharak

egyik csoportja és a likőröspoharak kelyhe ólmot is tartalmaz. A borospoharak másik csoportja ólom-kálium üvegből készült.

Sugáregészségügyi megfontolások

Az uránnak a természetben három fő izotópja fordul elő (^{238}U , ^{235}U és ^{234}U), mindegyikük radioaktív, azaz atommagjuk bizonyos idő elteltével spontán módon más atommaggá alakul át. Az ^{238}U a leggyakoribb, ez teszi ki a kinyert urán 99,28 százalékát, az ^{235}U 0,71 százalékos mennyiség, és csupán 0,01 százalék az ^{234}U aránya. Az urán bomlása során alfa-, béta- és gamma-sugarakat – közös néven ionizáló sugárzást – bocsát ki (Strahan 2001; Lopes et al. 2008). Az ionizáló sugárzás a környezetének energiát ad át, amelynek mértékét az egységnyi tömeg által közölt energia mennyiségével, az ún. elnyelt dózissal fejezzük ki:

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm}$$

Az elnyelt dózis mértékegysége a Gray [Gy].

$$1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Az ionizáló sugárzás kölcsönhatásba léphet az élő szervezet sejtjeivel, és elsősorban a sejtmagban lévő genetikai állományt károsíthatja – a sugárzás fajtájától függően különböző mértékben. Az élő (emberi) szervezet különböző szövetei eltérő mértékben reagálnak az ionizáló sugárzás hatására. Az egyes sugárzástípusok különböző szervekre gyakorolt együttes biológiai hatását a teljes emberi szervezetre az ún. effektív dózissal mérjük.

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

ahol $D_{T,R}$ az elnyelt dózis. w_R és w_T az egyes sugárzástípusokra, ill. a szervekre vonatkozó súlytényezők. Az effektív dózis mértékegysége a Sievert [Sv]. $1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$, ami fizikailag megegyezik az elnyelt dózis mértékegységével.

Az ionizáló sugárzás az emberi szervezetben nagy dózisok esetén azonnali, determinisztikus biológiai hatást válthat ki. Szerencsére ilyen nagy dózisok a mindennapi életben nem, csak súlyos sugárbesetetek alkalmával (Hirosima, Nagaszaki, Csernobil) fordulnak elő. Kis dózisok esetén bizonyos valószínűséggel bekövetkezhetnek késői, ún. sztochasztikus (véletlenszerű) hatások, amelyek bekövetkezésének a valószínűsége arányos az elszennvedett dózissal.

Életünk során – akár akarjuk, akár nem – ki vagyunk téve ionizáló sugárzásnak, amelynek

forrása részben a minket körülvevő természet (a Föld kőzetei, építőanyagok, a Világűr, sőt saját testünk anyaga is), részben az emberi tevékenység (fosszilis tüzelőanyagok, orvosi tevékenység: röntgen- és izotópdiaagnosztika, terápia) (OAH 2018). A természetes háttérsugárzás dózisteljesítménye Magyarországon: 50–180 nSv/h. A lakosság éves átlagos sugárterhelése (természetes + mesterséges eredetű): 2,5–4 mSv/év.

Nemzetközi ajánlások alapján minden ország sugárvédelmi szervezete – Magyarországon az Országos Atomenergia Hivatal – elsődleges dóziskorlátokat határoz meg, amelyek betartása mellett garantált a sugárveszélyes munkakörben dolgozók és a lakosság biztonsága. Hazánkban a sugárveszélyes munkahelyen dolgozóknál a természetes háttéren felül megengedett: 20 mSv/év, öt évre átlagolva. A lakosság számára a mesterséges tevékenységből származó éves dóziskorlát 1 mSv, amely értékbe azonban nem számít bele az orvosi kezelések során elszenvedett dózis.

Dózisteljesítmény mérési eredmények

A mért értékek egyik esetben sem haladják meg a Magyarországon mérhető természetes háttérsugárzás dózisteljesítményének maximális értékeit (**2. táblázat**). A dózisteljesítmény szerint a három vastag üvegű, korai, 19. század első felére datált tárgy áll a sor élén. A legnagyobb dózisteljesítményt (105 ± 5 , ill. 150 ± 10 nSv/h) a fedeles üvegpohárnál (ltsz. 1981.108) mértük (tömege 634,75 g). A harang alakú díszpohár (ltsz. 1969.203, tömege 380,85 g) dózisteljesítménye kisebb (90 ± 5 , ill. 110 ± 10 nSv/h), jóllehet urántartalma a legnagyobb (0,50–0,51 tömeg% urán (SPECTRO), ill. 0,56–0,64 tömeg% urán (Bruker)). A dózisteljesítmény értékeket ugyanakkor nem kizárólag az urán koncentrációja, hanem a nettó mennyisége (tömege) is befolyásolja, ezért a tárgyak mérete/tömege nem elhanyagolható. A sorban a harmadik üveg, a ltsz. 1963.132 ivókúra pohár (tömege 243,1 g) dózisteljesítménye nem sokkal kisebb (85 ± 5 , ill. 105 ± 5 nSv/h), viszont urántartalma kisebb (0,26 tömeg% urán (SPECTRO) ill. 0,10–0,37 tömeg% urán (Bruker)). Urántartalma alapján az élbolyban van a talpas kehely (ltsz. 1981.102, tömege 337,98 g; 0,37–0,38 tömeg% urán (SPECTRO) ill. 0,31–0,40 tömeg% urán (Bruker)), de ez a tárgy mutatta a legkisebb dózisteljesítményt (65 ± 5 , ill. 70 ± 5 nSv/h). A két vékony falú, vegyesüvegű pohár dózisteljesítménye nem mutatott nagy különbséget egymástól: a likőröspoháré (ltsz. 1978.8.2; tömege 37,61 g) 80 ± 5 , ill. 95 ± 5 nSv/h, a borospoháré (ltsz. 1997.2.5; tömege 92,49 g) 70 ± 5 , ill. 75 ± 5 nSv/h (a harmadik fajta, ólom-kálium üvegű borospoharak (ltsz. 1961.2059.1-2) dózisteljesítmény mérésére nem került sor). Összességében a dózisteljesítmény két szélsőértéke (legnagyobb: 105 ± 5 , ill. 150 ± 10 nSv/h; legkisebb:

65 ± 5 , ill. 70 ± 5 nSv/h) között 40 ± 5 ill. 80 ± 5 nSv/h különbség van.

A sugárvédelmi és elemanalitikai mérések eredményének összevetésekor azt feltételeztük, hogy a dózisteljesítmény és az uránkoncentráció egyenes arányban van egymással. Ez jó közelítéssel teljesül, de kisebb-nagyobb eltérések megfigyelhetők. Az egyenes arányosságtól való eltérés a dózisteljesítmény mérésekor a tárgyak között tapasztalható geometriai különbségekkel magyarázható. Hasonló eredményt publikált Lopes et al. (2008): a két mennyiség közelítőleg arányos, de nem minden esetben, kisebb ingadozások előfordultak, hasonlóan a mi eredményeinkhez.

A mért gamma dózisteljesítmény értékek az esetek többségében nem tértek el szignifikánsan a természetes háttértől, ezért az AutoCont felületi szennyezettség mérővel mért béta és gamma aktivitást is összevetettük a tárgyak urántartalmával. Az AutoCont készülékkel a szobaháttérrel 4 ± 1 cps-nek mértük. Mindegyik urántartalmú üveg esetén nagyobb aktivitást mértünk, mint a szobaháttér, a ltsz. 1978.8.2 és ltsz. 1978.8.5 likőröspoharak, valamint a ltsz. 1961.2059.1-2 és ltsz. 1997.2.4 borospoharak felületétől 5 cm-re a háttér másfél-kétszeresét, a ltsz. 1997.2.5 borospohár, a ltsz. 1963.132 ivókúra pohár, a ltsz. 1981.102 talpas kehely, a ltsz. 1981.108 fedeles fülespohár és a ltsz. 1969.203 harang alakú díszpohár esetén pedig rendre 33, 47, 60, 80, illetve 90 cps-t (**2. táblázat**). A tárgyak tömegével súlyozott uránkoncentrációk és a gamma+béta aktivitás közötti összefüggést a **12. ábra** mutatja.

Az uránüvegek tárolásának, használatának esetleges egészségügyi kockázatai

A szakirodalom szerint a múzeumi uránüvegek sugárzása igen alacsony (Strahan 2001; Lopes et al. 2008). A múzeumi látogatók számára nem jelentenek egészségügyi kockázatot a tárgyak, már egy 50 cm-re lévő tárgy sugárzásának dózisteljesítménye is jelentősen kisebb, amitől még jobban véd a vitrinszekrény üvege (Strahan 2001; Lopes et al. 2008). A sugárzás által okozott lehetséges kockázat elbírálásánál az intenzitást, a távolságot és az időtartamot kell figyelembe venni. Egymás mellett elhelyezve hatásuk összeadóthat, ezért érdemes a megfelelő tárolásra odafigyelni. Mivel a sugárzás dózisa fordítottan arányos a forrástól mért távolsággal, hosszú távú közvetlen kontaktus a bőrrel, például uránüvegből készült ékszer viselése kerülendő. Az α - vagy β -sugárzó atomok elvileg kioldódhatnak az üvegből italok vagy élelmiszerek szerves savaival (borkósav, gyümölcssav, stb.) érintkezve, leülepedhetnek az emberi szervezetben, és rákkeltő anyagként működhetnek. Kísérletek szerint ecetsav és salétromsav hatására minimális mennyiségű urán

kerül ki az üvegből (max. 30 mg/l), viszont az urános kerámiáz esetében jelentős mennyiségű urán oldódik ki (300.000 mg/l) (Strahan 2001). Ezért nem tanácsos az ételek tárolása, fogyasztása uránüveg étkezésben. A restaurátori munka végzésekor a sérült tárgy javításánál keletkező por belélegzése veszélyes lehet, védőmaszkot, kesztyűt kell használni. Megjegyzendő, hogy termolumineszcens vizsgálatra váró műtárgy mellé nem szabad urántartalmú tárgyat tenni, mert a tárgyra gyakorolt hatása meghamisíthatja a TL mérés eredményét.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük Szabó Máténak (CSFK Földtani és Geokémiai Intézet) az XRF (SPECTRO xSORT Combi készülék) vizsgálatok elvégzését. Maróti Boglárka köszöni a Magyar Tudományos Akadémia Infrastruktúra Fejlesztési Pályázata során (IF-8/2020) a Bruker Tracer 5g spektrométer és tartozékainak beszerzésére nyújtott támogatását.

Irodalomjegyzék

- BRENNI, P. (2007): Uranium glass and its scientific uses. *Bulletin of the Scientific Instrument Society* **92** 34–39.
- CÍLOVÁ, Z. & WOITSCH, J. (2012): Potash – a key raw material of glass batch for Bohemian glasses from 14th–17th centuries? *Journal of Archaeological Science* **39** 371–380.
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.09.023>
- FAJFAR, H., ŠMIT, Ž. & KOS, M. (2013): PIXE–PIGE analysis of coloured historic glass. *Glass Technology - European Journal of Glass Science and Technology A* **54(6)** 218–225.
- HUJOVÁ, M. & VERNEROVÁ, M. (2007a): Influence of fining agents on glass melting: a review, part 1. *Ceramics-Silikáty* **61(2)** 119–126.
<https://doi.org/10.13168/cs.2017.0006>
- HUJOVÁ, M. & VERNEROVÁ, M. (2007b): Influence of fining agents on glass melting: a review, part 2. *Ceramics-Silikáty* **61(3)** 202–208.
<https://doi.org/10.13168/cs.2017.0017>
- KŘÍŽOVÁ, Š., BLAŽKOVÁ, G. & SKÁLA, R. (2018): Chemical composition of archaeological glasses from Prague Castle (Czech Republic) from the period 1650–1800 determined by electron probe microanalysis and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Microchemical Journal* **142** 236–250.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.06.026>
- KUNICKI-GOLDFINGER, J.J. (2018): Uran w szkle historycznym. *Szko i Ceramika* **69(1)** 16–21.
- KUNICKI-GOLDFINGER, J.J. (2020): Szko w Europie Środkowej od późnego średniowiecza do XVIII wieku. Skład chemiczny – uwarunkowania i interpretacja. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa, 156 pp.
- KUNICKI-GOLDFINGER, J., KIERZEK, L., DZIERŻANOWSKI, P. & KASRZAK, A.J. (2005): Central European crystal glass of the first half of the eighteenth century. *Annales du 16e Congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre*. Association Internationale pour l'Histoire du Verre, Nottingham, 258–262.
- KUNICKI-GOLDFINGER, J., KIERZEK, J., KASPRZAK, A.J. & MALOZEWSKA-BUCKO, B. (2003): Analyses of 18th century central European colourless glass vessels. *Annales du 15e Congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre*. Association Internationale pour l'Histoire du Verre, Nottingham, 224–229.
- LANGHAMER, A. (2003): The legend of Bohemian Glass: a thousand years of glassmaking in the heart of Europe. Tigris, Zlín, Czech Republic, 294 pp.
- LOLE, F. P. (1995): Notes: uranium glass in 1817. A Pre-Riedel Record. *Journal of Glass Studies* **37** 139–140.
- LOPES, F., RUIVO, A., MURALHA, V.S.F., LIMA, A., DUARTE, P., PAIVA, I., TRIDADE, R. & PIRES DE MATOS, A. (2008): Uranium glass in museum collections. *Journal of Cultural Heritage* **9** e64–e68.
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2008.08.009>
- OAH Lakossági Nukleáris Enciklopédia, verzió: 3.0 2018.01.04.
[https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/1B349A08DA04389EC1257BEB00480556/\\$FILE/Enciklop%C3%A9dia.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/1B349A08DA04389EC1257BEB00480556/$FILE/Enciklop%C3%A9dia.pdf)
- PÁNOVÁ, K., ROHANOVÁ, D. & RANDÁKOVÁ, S. (2020): Modeling of Bohemian and Moravian glass recipes from Gothic to Baroque periods. *Heritage Science* **8** 117.
<https://doi.org/10.1186/s40494-020-00459-z>
- PROCHÁZKA, R. (2007): Natural corrosion of the uranium-colored historical glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids* **353** 2052–2056.
<https://doi.org/10.1016/j.jnoncrystol.2007.01.069>
- PROCHÁZKA, R., GOLIÁŠ, V., HLÁSENSKÝ, I., STRNAD, L. & LNĚNIČKOVÁ, J. (2002): Natural corrosion of old potash glass coloured with uranium compounds. *Ceramics – Silikáty* **46(3)** 86–96.
- PROCHÁZKA, R., ETTLER, V., GOLIÁŠ, V., KLEMENTOVÁ, M., MIHALJEVIČ, M., ŠEBEK, O. & STRNAD, L. (2009): A comparison of natural and experimental long-term corrosion of uranium-colored glass. *Journal of Non-Crystalline Solids* **355** 2134–2142.
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.09.023>

STERN, W. B. & GERBER, Y. (2004): Potassium–calcium glass: new data and experiments. *Archaeometry* **46/1** 137–156.

<https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2004.00149.x>

STERN, W. B. & GERBER, Y. (2009): Ancient potassium-calcium glass and its raw materials (wood-ash, fern-ash, potash) in Central Europe. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel* **11** 107–122.

<https://doi.org/10.5169/seals-676535>

STRAHAN, D. (2001): Uranium in glass, glazes and enamels: history, identification and handling. *Studies in Conservation* **46** 181–195.

VERITÀ, M. (2021): Venetian glass. In: RICHEL, P. (ed.): *Encyclopedia of glass science, technology, history, and culture*. John Wiley & Sons, 1st edition, Hoboken, New Jersey, Vol. II, 1327–1340.

VOLF, M.B. (1984): Chemical approach to glass. *Glass Science and Technology* **7** Elsevier, Amsterdam.

WEDEPOHL, K.H. & SIMON, K. (2010): The chemical composition of medieval woodash glass from Central Europe. *Chemie der Erde* **70** 89–97.

<https://doi.org/10.1016/j.chemer.2009.12.006>

WEYL, W. (2016): *Coloured Glasses*. Society of Glass Technology, Sheffield. pp. 558.

ZLÁMALOVÁ CÍLOVÁ, Z., GELNAR, M. & RANDÁKOVÁ, S. (2021): Trends in colouring blue glass in Central Europe in relation to changes in chemical composition of glass from the Middle Ages to Modern Age. *Minerals* **11** 1001.

<https://doi.org/10.3390/min11091001>