SZARMATA ÉS AVAR KORI ÜVEGGYÖNGYÖK ELEKTRON-MIKROSZONDÁS VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF SARMATIAN AND AVAR GLASS BEADS BY ELECTRON MICROPROBE

NAGY GÉZA[1], PÁSZTOR ADRIEN[2], FÓRIZS ISTVÁN[1], TÓTH MÁRIA[1]

[1]MTA Geokémiai Kutatóintézet 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

[2] Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal, 1117 Budapest, Neumann János u. 1/c.

Email: gnagy@sparc.core.hu

Abstract

Nearly 200 glass beads found in Sarmatian (2^{nd} -4^{th} cent. AD) and Avar (6^{th} -8^{th} cent. AD) graves in recent Hungary were subjected to instrumental analysis. The Sarmatian beads are monochrome, the Avar beads are often decorated. The textures, inclusions, precipitations, colouring and modifying components, inhomogeneities of glasses with different colours were investigated, and exact quantitative analyses were done by electron microprobe and X-ray diffraction. The beads and the determined compositions of the glasses are listed in Appendix. A review of the literature of ancient and early medieval glass making and colouring is given in order to understand the obtained results.

The coloured glass beads not only follow the fashion but reflect changes in technology, too. Blue glass was coloured in Sarmatian time presumably by cobalt with antimony added, in Avar age mainly by bivalent copper combined by lead. The green colour was produced mainly by copper in both ages. The red glass was coloured by elementary copper precipitations, produced by reduction of bivalent copper oxide. In Avar age iron was used as inner reducing agent, proved by the microtexture and chemical compositions; in Sarmatian age another technology was used, its traces we could not detect. Orange glass – coloured by reduced copper and tin- and lead-oxide – was made only in Sarmatian age. The red and orange beads found in Sarmatian graves are made of „ash" type glasses, glass beads of other colours were mainly made of „soda" type glasses from both ages as well as red Avar glasses. Yellow glass was found in Avar graves only, it is rich in lead and has been coloured by $PbSn_{1-x}Si_xO_3$ grains. White glass obtained its colour from antimony-oxide in Sarmatian age and from tin and lead-oxide in Avar age. The texture and compositions of the black glasses are diverse, the majority of Avar black beads have high iron contents.

The differences in material – in texture and in chemistry – made it possible to classify in cases of uncertain graves, and indicated repeated use of a few glass beads.

Excluding Sarmatian red and orange beads, the majority of the glasses belong to "soda" type glasses, but "ash" type glasses also appear; both types have been coloured similarly. The simultaneous occurrence of the two types indicates that the production and processing – colouring and bead production – were done in different places, and the processing workshops worked with rough glasses originating sometimes from distant places from each other.

In cases of Early Avar beads the decorations were compared with monochrome beads and with "bases" of decorated beads of the same colours. We found that the textures were similar, but small differences appeared in compositions. Unequivocal differences, proved by statistical t-probe were found in iron contents of the red glasses and in lead contents of every colours. These are interpreted as intentional differences, preventing unwanted changes in the colour, or modifying the colour, or influencing the softening temperature of the glass.

Kivonat

A mai Magyarország területén talált kb. kétszáz szarmata kori (Kr. u. 2-4. sz.), egyszínű és avar kori (6-8. sz.), egyszínű vagy díszített üveggyöngyöt műszeres analitikai vizsgálatnak vetettünk alá. Elektron-mikroszondával feltérképeztük a különböző színű üvegek szövetét, a bennük levő zárványokat, bennük képződött kiválásokat, színező és opakosító anyagait, inhomogenitásait, továbbá pontos mennyiségi elemzéseket készítettünk róluk, amelyeket a Függelékben közlünk. Az eredmények jobb megértése végett röviden összefoglaljuk az ókori és kora középkori üvegkészítés és színezés irodalmát.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

A színes üveggyöngyök a divat követésén túl a technológia változásait is megmutatják. A kék üveget a szarmata korban vélhetőleg kobalttal színezték és antimont is adtak hozzá, az avar korban főleg kétértékű réz-oxidot használtak ólommal kombinálva. A zöld színt mindkét korban főleg rézzel állították elő. A vörös üveget elemi réz mikroszkopikus kiválásai színezik, amelyeket kétértékű réz-oxid redukálásával állítottak elő két különböző eljárással. Az avar korban vasat használtak belső redukálószerként, amit egyrészt a mikroszöveti képek, másrészt a vastartalom bizonyít; a szarmata kori eljárás nyomait viszont nem tudtuk kimutatni. Narancssárga üveget – amelyet redukált rézzel, ón- és ólom-oxiddal színeztek – csak a szarmata korban készítettek. A szarmata sírokban talált vörös és narancssárga üveggyöngyök „hamu" típusú üvegből készültek, a többiek nagyrészt „szóda" típusúból. Sárga üveg csak avar kori sírokból került elő, ez nagy ólomtartalmú és ólom-ón-szilicium-oxid ($PbSn_{1-x}Si_xO_3$) szemcsékkel színezték. A fehér opak üveg színét a szarmata korban antimon-oxid, az avar korban ón- és ólom-oxid adta. A fekete üveg szövete és összetétele változatos, az avar koriak többsége vasdús.

A különböző korú üvegek anyagi (szöveti és összetételbeli) különbségei segítettek a bizonytalan korú sírok pontosításában, egyes esetekben egy-egy gyöngy későbbi felhasználására utaltak.

Az üvegek többsége (a szarmata vörös és narancssárga kivételével) „szóda" típusú, de előfordulnak köztük "hamu" típusúak is, hasonló módon színezve. A kétféle típus együttes megjelenése azzal magyarázható, hogy az üveg előállítását és feldolgozását – színezést, gyöngykészítést – különböző helyen végezték, és a feldolgozó műhelybe esetenként egymástól távoli helyekről származó üveg került.

A díszített korai avar gyöngyök különböző színű részeit külön-külön vizsgáltuk. Az ugyanolyan színű egyszínű gyöngyök, díszített alapok és díszek szövete egyforma, de ólomtartalmuk és a vörös üveg vastartalma (statisztikai t-próbával igazolhatóan) kissé különbözik. Ezt az alap díszítés közbeni elszíneződésének megakadályozásával és esetleg a lágyulási hőmérséklet befolyásolásával magyarázzuk.

KEYWORDS: GLASS BEADS, ELECTRON MICROPROBE, GLASS COLOURING, MICROTEXTURE, CHEMICAL COMPOSITION, ROMAN TIME, EARLY MEDIEVAL, IMPROVING AGE CLASSIFICATION, DECORATED BEADS.

KULCSSZAVAK: ÜVEGGYÖNGY, ELEKTRON-MIKROSZONDA, ÜVEGSZÍNEZÉS, MIKROSZÖVET, KÉMIAI ÖSSZETÉTEL, ÓKOR, KORA KÖZÉPKOR, KOR-BESOROLÁS PONTOSÍTÁSA, DÍSZÍTETT GYÖNGYÖK.

Bevezetés

A 20. sz. közepétől a műszeres analitika nagyot fejlődött, régészeti alkalmazása is egyre gyakoribbá vált. Ez nagyban növelte a régi tárgyakról való tudásunkat és közelebb vezetett a készítési technológiájuk megismeréséhez.

Az emberiség többezer éve tud üveget előállítani és abból használati- és dísztárgyakat készíteni. Szerencsére az üveg kémiailag eléggé ellenálló, a régészeti leletek közt gyakran előfordul.

A Kr. u. I. évezredben a női halottakat gyakran üveggyöngyökkel feldíszítve temették el. A mai Magyarország területén avar kori sírokból előkerült nagyszámú, változatos színű, formájú és díszítésű gyöngy osztályozását, tipológiai vizsgálatát Pásztor Adrien végezte el (Pásztor A. 1996, 1997, 2008). Saját gyűjtésű és másoktól kapott mintái közül több, mint 250 darabot 1996-2007 közt műszeres analitikai, főleg elektron-mikroszondás szöveti vizsgálatnak és kémiai elemzésnek vetettünk alá a MTA Geokémiai Kutatóintézetben. A vizsgált minták többsége avar kori, de – összehasonlításul – más gyöngyöket is megvizsgáltunk. A korábbi eredményeinket és azokból levont következtetéseket több közleményben ismertettük (Fórizs et al. 1999, 2000a, 2000b, 2001a, 2001b, 2006). Időközben számos új vizsgálatot végeztünk.

1. táblázat: A vizsgált gyöngyök lelőhelyei

Table 1.: List of provenances of the investigated beads

Budakalász, Dunapart
Csongrád - Felgyő
Deszk
Keszthely - Fenékpuszta Dél
Keszthely - Fenékpuszta, Pusztaegyháza
Szentes, Madaras halmok
Szegvár - Sápoldal
Szekszárd – Bogyiszló út
Szegvár - Oromdűlő
Szegvár - Szőlőkalja
Tiszavasvári - Koldusdomb
Tiszavasvári - Petőfi-u.
Tiszaföldvár

Jelen munkában a szarmata, korai és középső avar kori eredményeket összegezzük és értelmezzük. A vizsgált gyöngyök az **1. táblázat**ban felsorolt temetőkből származnak.

Rövid történelem

A Kr. e. 1. századtól Kr. u. 5. sz elejéig a Dunántúl Pannónia néven római tartomány volt. Az Alföldön Kr. u. 2-4. sz.-ban szarmaták éltek. A hunok az 5. sz-ban az egész Kárpát-medencét elfoglalták, de birodalmuk rövidesen, Attila halála után összeomlott. Ezután csak az avarok tudtak itt tartósan letelepedni és szervezett országot létrehozni. Első csoportjuk, a *korai avarok* (Avar 1.) 568 körül érkeztek, és sokáig jó kapcsolatban voltak Bizánccal. 670 körül költözött az avarok második csoportja, a *középső avarok* (Avar 2.) a Kárpát-medencébe. (A késői avar leletekkel nem foglalkozunk.) A 800-as évek elején a bolgár és a frank támadások a belső széthúzásoktól meggyengült avar kaganátus önálló birodalmának összeomlásához és szétzilálásához vezettek. Feltételezhető, hogy egyes vidékeken szervezetlenül megmaradt avar települések megélhették az Árpád vezette honfoglalók 895/896-os betelepülését.

Az avarok együtt élő, egy helyre temetkező első és második csoportja a sírleletek alapján jól elkülöníthető: A korai avarok gyöngysoraikban főleg tarka, "szemekkel" és más motívumokkal díszített üveggyöngyöket viseltek. A középső avarok a fémtárgyakat "griffes-indás" motívumokkal díszítették, a gyöngysoraik pedig díszítetlen (egyszínű) üveggyöngyökből álltak, köztük gyakori a "dinnyemag" alakú (László 1978).

A jelen cikkben tárgyalt üveggyöngyöket lelőhelyükkel, régészetileg meghatározott korukkal, valamint az üvegek általunk elemzett összetételével a **Függelék**ben közöljük.

Műszeres vizsgálati eljárások

Röntgen-pordiffrakció: Segítségével azonosítottuk a jelenlevő kristályos fázisokat és meghatároztuk az amorf (üveges) fázishoz viszonyított arányukat. A vizsgálathoz a minta porítása szükséges, ezért ritkán alkalmaztuk.

Elektron-mikroszonda: Roncsolásmentes műszer mikroszkopikus mérettartományban a szöveti elemek és más kémiai különbségek képszerű megjelenítésére, minőségi és mennyiségi elemzésére. A minta előkészítése azonban a legtöbb esetben roncsolással jár. A *vizsgálatokat* JXA-733 típusú elektron-mikroszondával, az elemzéseket ennek három hullámhosszfelbontó röntgen-spektrométerével (wavelength dispersive spectrometer, WDS) vagy ehhez illesztett Oxford gyártmányú INCA 200 energiafelbontó röntgenspektrométerével (energy dispersive spectrometer, EDS) végeztük.

Mintaelőkészítés. A kiválasztott gyöngyöket elvágtuk vagy annyira lecsiszoltuk, hogy a felszínükön levő mállott réteget eltávolítsuk. Ezután a mintákat műanyagba ágyaztuk, csiszoltuk, políroztuk, végül vékony vákuumgőzölt szénréteggel bevontuk. (Egyes esetekben a beágyazást mellőztük, hogy a gyöngy továbbra is kiállítható maradjon.)

Mennyiségi elemzést a gyöngyök különböző színű részein, általában többszáz μm^2-es területen úgy végeztünk, hogy lehetőleg elkerüljük a nagyobb zárványokat és buborékokat. Az apró (<1μm), sűrűn levő kiválásokat viszont bevettük az elemzésbe. A mérési körülményeket és a mérési bizonytalanságot a **2. táblázat** tartalmazza. A mért összetételeket (az általános szokásnak megfelelően) oxid-súly-%-ban adjuk meg (a klór kivételével); a változó vegyértékű elemek – Mn, Fe, Cu, Pb – oxidáltsági fokát nem vizsgáltuk.

2. táblázat: A mennyiségi elemzések körülményei és a bizonytalanság tipikus értékei 95%-os konfidencia szinten (±2σ) hullámhossz- (WDS) és energia- (EDS) felbontó rötgenspektrométerekkel

Table 2.: Analytical conditions and typical uncertainties at 2σ level.

	WDS	EDS
V_o	15 kV	15 kV
I_e	50 nA	6 nA
Terület*	Ø20 μm	25×30μm^2
Idő	24 s elemenként	100 s élőidő
Bizonytalanság* (±2σ), %		
Na_2O	1.2	0.7
MgO	0.1	0.3
Al_2O_3	0.1	0.3
SiO_2	0.6	1.0
P_2O_5	0.1	0.3
Cl	0.1	0.15
K_2O	0.05	0.2
CaO	0.3	0.4
MnO	0.1	0.2
FeO	0.1	0.3
CuO	0.1	0.4
SnO_2	0.1	0.6
Sb_2O_3	0.2	0.7
PbO	0.3	0.6

*Tipikus érték

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

Az elemzési hely kiválasztásakor a mállott részeket lehetőleg mellőztük. Esetenként ez nem sikerült és a túl kicsi oxidösszeg mállásra utalt. Azokat az elemzéseket, amelyek 90%-nál kisebb oxidösszeget adtak, a továbbiakban nem vesszük figyelembe. A feltűnően inhomogén üvegek eltérő összetételű részeit külön-külön elemeztük.

A gyöngyökben levő nem-üveges fázisokat – zárványokat, kristályokat, kiválásokat – elemeik alapján minőségi, esetenként mennyiségi elemzéssel azonosítottuk. Utóbbira csak elég nagy (≥10μm) képződmények esetén került sor.

Ókori és kora középkori üvegkészítés (Irodalmi összefoglaló)

Ömlesztő anyag és üvegtípus

A Kr. e. 2. évezredben először Mezopotámiában készítettek üveget homokból vagy kvarckavicsból, ömlesztő anyagként bizonyos sótűrő növények nátriumdús hamuját használva. Kr. e. 1500 és 1100 közt Egyiptomban is főleg ezt az eljárást alkalmazták (Shortland & Eremin, 2006). Így olyan üveget kaptak, amelynek fő komponensei: SiO_2 (~65%), Na_2O (>15%) és CaO (~8%), ezeken kívül 2%-nál több MgO-ból és kb. ugyanannyi K_2O-ból (K_2O~MgO), hasonló vagy kisebb mennyiségben egyéb elemek oxidjaiból áll, P_2O_5 tartalma néhány tized-%. A Kr. e. 1. évezredben Egyiptomban áttértek a sziksó, mint ömlesztő anyag használatára. Az így készült üveg nátriumtartalma nagyobb, magnézium- és kálium-tartalma határozottan kisebb: K_2O~MgO<1,3%, de foszforban és kalciumban is szegényebbek (Wedepohl 1993; Freestone 2005; Arletti et al. 2008). A kettő közötti, 1,3% és 2% közé eső magnézium- és káliumtartalmú üveg vagy a kettő keverékéből keletkezhetett, vagy más (nagyobb nátrium-tartalmú) növény hamujából. A továbbiakban az üveget "szóda" típusúnak vagy kis Mg-K-tartalmúnak nevezzük, ha K_2O+MgO < 2,6%; az ennél magnézium- és káliumdúsabbat pedig "hamu" típusúnak.

(Szigorúan véve a magnézium- és káliumtartalomból az ömlesztő anyagra következtetni csak a (színező, színtelenítő, színmódosító) adalékok nélküli üveg esetén lenne szabad. Az adalékok mennyisége azonban a legtöbb általunk vizsgált esetben – a narancssárga és sárga üveg kivételével – 10% alatt marad, hígító hatásukra a MgO és K_2O tartalom legfeljebb 0,1-0,2%-kal csökken; az észlelt különbségek – mint látni fogjuk – ennél jóval nagyobbak (~1%). Ha viszont maga az adalék tartalmaz jelentős mennyiségű magnéziumot és káliumot, akkor az eredetileg sziksóval készített üveget adalékolás után „hamu" típusúnak vélhetjük. Ilyen adalékot azonban abból a korból jelenleg nem ismerünk.)

Az ógörög kultúrkörhöz tartozó Kolchisban (ma Grúzia fekete-tengerparti része) Kr. e. 5. sz-ban használt üvegtárgyak többsége „szóda" típusú. A „hamu" típusú üveggyöngyök talán Indiában készültek (Shortland & Schroeder 2009).

A Római Birodalomban a Kr. e. 1. és Kr. u. 6. sz. között egyiptomi (a Wadi Natrunból származó) sziksót használtak üveggyártásra (Silvestri et al. 2006). Főleg Egyiptomban és a Földközi-tenger keleti partvidékén (Levante), de Itáliában is készítettek üveget, ld. Plinius (2001). A római üvegtárgyak nagyfokú kémiai hasonlóságát az ugyanonnan származó sziksónak tulajdonítják, a kisebb különbségek (Al-, Ca-, Fe- stb. tartalomban) helyi nyersanyag – homok vagy kvarckavics, esetleg mészkő vagy kagylóhéj – használatára utalnak. Az egyiptomi és levantei műhelyekben nagy mennyiségben gyártottak üveget, amelyet nyersanyagként, további feldolgozásra is értékesítettek (Fiori & Vandini 2004; Freestone 2005). A feldolgozó műhelyekben az üvegtörmelék újra felhasználása is folyt (Degryse et al. 2006; Silvestri 2008; Silvestri et al. 2008). Ez Róma bukása után, a Bizánci Birodalomban is folytatódott (Degryse et al. 2005; Freestone 2005).

Mezopotámiában fennmaradt a nátriumdús növényi hamu alkalmazása. Mirti et al. (2008) vizsgálatai szerint a Kr. u. 1. évezred első felében készült üvegek többsége "hamu" típusú, de előfordulnak "szóda" típusúak is. Dussibieux et al. (2008) szerint ebben a korban Indiában és Sri Lankán hamut használtak üvegkészítésre , de nincs rá adat, hogy ezek a termékek Európába is eljutottak. A mai Oroszország európai részén Kr. u. 5-10. sz-ban ugyancsak "hamu" típusú üveg készült Galibin (2000) szerint.

Színezés

Adalékok nélkül az üveg sárgászöld, zöld, kékeszöld (türkiz) vagy világoskék a benne levő szennyeződések, elsősorban a $Fe^{2+}O$ miatt (Silvestri et al. 2005; Foster & Jackson 2009). *Színtelen* üveget antimon vagy mangán hozzáadásával lehet készíteni. Az antimont a Kr. e. 7. sz-tól használták. A mangán a Kr. u. 1. sz-tól terjedt el (Fiori & Vandini 2004) és csak akkor színtelenít, ha a mennyisége a vasét határozottan meghaladja (Silvestri et al. 2005).

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

A *kék* volt a színezett üvegek közül a legelterjedtebb a az ókorban és kora középkorban. Mezopotámiában és Egyiptomban Kr. e. 1500 körül rezet használtak az előállítására (Hatton et al. 2008). A kobaltot – amiből kb. tizedakkora mennyiség kell, mint a rézből – Egyiptomban Kr. e. 1500 és 1300 közt kezdték használni a rézzel együtt vagy magában (Rehren 1997; Shortland & Tite 2000; Shortland & Eremin 2006). A mai németországi lelőhelyeken Hartmann et al. (1997) Kr. e. 800-ig csak rézzel, később kobalttal *is* színezett kék gyöngyöket talált. A római Balbi Kripta 7. sz-i üvegei közül az opak kéket réz színezi (antimon opakosítja), az átlátszó kékben van kobalt is (Mirti et al. 2000). A kék üveg opakosítására Egyiptomban már Kr. e. 1500 körül használtak antimont (Biron & Pierrat-Bonnefois 2007).

A *zöld* üveg ugyancsak gyakori, rézzel (Hatton et al. 2008) vagy vassal (Mirti et al. 2000) színezték. *Kékeszöld* (türkiz) üveggel szintén sokszor találkozhatunk az irodalomban, gyakran a zölddel együtt tárgyalják. Többnyire rézzel színezték. A kék üveg leggyakrabban áttetsző (átlátszó), a zöld és kékeszöld opak is, áttetsző is lehet. Az opakosító antimon vagy ón (Sablerolles et al. 1997; Fiori et Vandini 2004).

Vörös üveggel ritkábban találkozhatunk. Ennek oka valószínűleg az, hogy míg a kék és zöld szín teljesen oxidált rézzel (Cu^{2+}) elérhető, a réz csak redukáltan, Cu^{+} -ként vagy fémes állapotban (Cu^{0}), kis szemcseméretben színez vörösre, amit sokkal nehezebb megvalósítani. Shortland & Eremin (2006) Kr. e. 1500 körül Mezopotámiából és Egyiptomból 226 mintát elemzett, közülük csak 3 egyiptomi volt opak vörös. Ezeket rézzel színezték és antimonnal opakosították, vasat vagy más, redukálóként használható elemet csak olyan kis mennyisegben tartalmaznak, amely szennyezőként kerülhetett az üvegbe. Brill & Cahill (1988) Mezopotámiából, Egyiptomból és a Földközi-tenger vidékéről a Kr. e. 1. évezredből származó 11 vörös üveg elemzését közli. Mezopotámiai, Kr. u. 1-5. sz-i színes üvegeket vizsgált Mirti & al. (2008), a 41 minta közt egyetlen vörös vagy narancssárga sem volt. Viszont a kelták már a Kr. e. 4. sz-ban használtak vörös opak üveget (zománcként vagy berakásokban). Brun & Pernot (1992) vizsgálatai szerint ezek nagy ólomtartalmú (PbO: 19–50%), rézdús üvegből készültek, amelyet – reduktív körülmények közt képződött – Cu_2O kristályok színeznek, emellett fém réz kiválásokat is tartalmaz. Stawiarska (1984) szerint a római korból származó, a mai Észak-Lengyelországban talált gyöngyök közül a vörös és narancssárga színűek "hamu" típusú üvegből készültek, rézzel színezve, a más színűek többsége viszont "szóda" típusúból. Hasonlót tapasztalt Callmer & Henderson (1991) a mai Svédország déli területén a Kr. u. 8. sz-ban működött feldolgozó műhelyben talált üveg vizsgálata során. Sablerolles & al. (1997) a mai Hollandiában, 6-7. sz-i műhelyben "szóda" típusú, rézzel színezett vörös üveget vizsgált, nagyobb vastartalma alapján ez az elem szolgált belső redukálóként. Shugar (2000) bizánci korú, a mai Izraelben működött fürdő mozaikja vörös üvegénél hasonló következtetésre jutott; ezek egy része nagyobb káliumtartalmú (K_2O: 1,35–2%) volt. Mirti et al. (2000) a római Balbi Kripta 7. sz-i üvegeit vizsgálta; a 40 minta közül egyetlen opak vörös van, ezt réz színezi és a vastartalma viszonylag nagy.

A *narancssárga* üveg még ritkább. A Balti-tenger környékén talált "hamu" típusú, föntebb említett üvegeket – a vörösnél nagyobb mennyiségű – rézzel és ólommal színezték (Stawiarska 1984; Callmer & Henderson 1991). Heck & Hoffmann (2000) a Meroving korból (5-8. sz.) származó, a mai Németország és Svájc területén talált narancssárga gyöngyökben nagy mennyiségű rezet és viszonylag kevés ólmot, valamint ónt és antimont határozott meg; a réz apró, feltehetőleg Cu_2O kiválások vagy nagyobb elemi réz zárványok formájában van jelen. (A réz-oxidokat nem azonosították.)

A *sárga* üveg gyakoribb. Ólom hozzáadásával könnyen elő lehet állítani (Wedepohl 1993), ezt Egyiptomban Kr. e. 15. sz-tól ismerték (Fiori & Vandini 2004). Erősebb, opak sárga színt okoz az antimon-ólom-oxid (Henderson & Warren 1981, szerint Dél-Angliában Kr. e. 3-1. sz-i gyöngyöknél használták), illetve az ón-ólom-oxidok (Fiori & Vandini 2004 szerint köbös $Pb_2Sn_2O_7$ és rombos Pb_2SnO_4, Heck & Hoffmann 2000 szerint köbös $Pb(Sn,Si)O_3$). Utóbbit alkalmazták Nyugat-Európában a Meroving korban (Sablerolles et al. 1997; Heck & Hoffmann, 2000; Heck et al. 2003) és a Baltikumban a 8. sz-ban (Callmer & Henderson 1991). – Mezopotámiában Kr. u. 1-5. sz-ban Fe^{3+}-szulfiddal is készült mélysárga üveg (Mirti et al. 2008).

A *barna* üveg ritka. Az Ibériai-félszigeten Kr. e. 4-2. sz-ból származó üveggyöngyök egy része borostyánbarna, színüket Garcia-Heras et al. (2005) – meglepő módon – azzal magyarázzák, hogy az üvegben Fe^{3+} ionok *és* SO_2 vannak, és hatásukra olvadáskor reduktív viszonyok alakultak ki. Heck & Hoffmann (2000) Meroving korú barna üveggyöngyökben jelentős mennyiségű ólmot, vasat és rezet talált, apró (<1μm) réz

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

képződményekkel, amelyek a vastartalmú zárványokon nagyobbak.

A *fehér* opak üveg a sárgához hasonló gyakoriságú. Antimon- vagy ón-oxiddal színezték ill. opakosították (Hartmann et al. 1997: Kr. e. 900-600. közti gyöngy Németországból; Mirti et al. 2000: 7. sz-i üveg Rómában; Callmer & Henderson 1991: 8. sz-i gyöngyök Svédországban). Gyakran ólmot is tartalmaz (Henderson & Warren 1981: Dél-Anglia, Kr. e. 3-1. sz.; Sablerolles et al. 1997 és Heck & Hoffmann 2000 Meroving-kori gyöngyei). Figyelemre méltó, hogy az üveggyöngyök közt *csak szóda típusú fehér opak üveg fordul elő* az irodalomban.

Fekete üveggel az irodalomban ritkán találkozunk ebből a korból. Indiában viszonylag kedvelték (Dussubieux et al, 2008). Stawiarska (1984) egyik és Stassikova-Stukovska & Plsko (1997) mindkét fekete gyöngyének viszonylag nagy a vastartalma; Wedepohl (1993) szerint is vassal színezték a fekete üveget. Watkinson et al. (2005) vizsgálatai szerint az eltemetett üvegtárgyakat az utólag beépült mangán feketére vagy barnára színezi.

Vizsgálati eredményeink

A különböző színű üvegek szövete és összetétele eltérő a színező adalékok és technológiák, valamint magának a (színezetlen) üveg előállítási módja szerint, amelyek – mint láttuk – koronként és helyenként változtak. A következőkben először színenként leírjuk a szöveti és összetételi jellemzőket és különbségeket, majd az ezekből levont következtetéseinket külön pontban tárgyaljuk. Az üvegekről készült elemzések a **Függelékben** láthatók.

Jellegzetes szövetek és összetételek színenként

A legtöbb vizsgált üveggyöngy színes (beleértve a feketét és fehéret is), többnyire matt (opak), de még a feketék közt is van áttetsző. A különböző színű üvegek *szövete* jellegzetesen eltérő; zárványokat (a megolvasztás előtti anyag maradványait), kiválásokat és buborékokat tartalmaz, nemritkán inhomogén. A buborékok sokszor mikroszkópikus méretűek és többnyire olyan sűrűn jelennek meg az üvegben, hogy képződésüket szándékos beavatkozásnak kell tulajdonítanunk; bővebben ld. Fórizs et al. (2000a).

Színtelen üveg. Nincsenek benne zárványok, kiválások, legföljebb kevés buborék. Összetétele (**3. táblázat**) szerint tipikus Na-Ca-szilikát vagy "szóda" üveg (v. ö. Wedepohl 1993). Középső avar kori leletekben díszítetlen gyöngyként fordult elő.

Kék üveg. Szinte mindig áttetsző. *Szövete* egyszerű, viszonylag kevés buborékot és legfeljebb kevés, kicsiny zárványt tartalmaz (**1/a ábra**), zárványai réz-, vas-, ón- vagy antimon-tartalmúak. Esetenként feltűnően inhomogén (**1/b ábra**), kétféle üvegből készíthették. Nagy antimontartalmú (Sb_2O_3>~1,7%) üvegben apró (<1µm) Sb-dús kiválások jelennek meg. *Összetételük,* elsősorban réztartalmuk szerint kétfélék (**3. táblázat, 2/a ábra**): 1./ Réz nélküliek, legfeljebb kis réztartalommal: CuO<0,4%. Ide tartoznak a szarmata sírokból származó gyöngyök, és a teljes avar korból találtunk ide tartozó mintákat. Ezekben a kék színt a néhányszáz ppm mennyiségű kobalt okozhatta, amelyet két mintában (igen nagy mérési idővel) ki is mutattuk (SzO-1: Co~800 ppm; SzO-37: Co~140 ppm). 2./ Nagyobb réztartalmú: CuO>0,8%, rézzel színezett kék üveget csak korai avar sírokban és egy középső avar sírban találtunk. A kis- és nagy réztartalmú üvegek szövete hasonló. A zárványban szegény, áttetsző kék üvegben a színező komponens: CuO vagy CoO oldott állapotban (szilárd oldatban), esetleg szub-mikroszkópikus kiválások formájában van jelen.

A korai avar korban a kék üveget elsősorban díszítésre, főleg szemes díszben használták. A díszként alkalmazott kék üvegben a réz- és ólomtartalom pozitív korrelációt mutat (**2/c ábra**). A kék díszek egy része nagyobb Mg-K-tartalmú üvegből készült, ld. **2/d ábra**, ill. **3. táblázat**.

Zöld üveg. Többnyire áttetsző, de az opak sem ritka. *Szövete* többnyire hasonlít a kék üvegéhez, de több ón-, réz-, antimon-, ólom- vagy vasdús zárványt tartalmaz, (**1/c-d ábra**); találtunk vasdús zárványokkal sűrűn hintett példányt is (SzO-38). Egyes példányok csíkosan inhomogének, ezekben az Sb- és Cu-, vagy Pb-, vagy Mn-, vagy Fe-tartalom változik.

Réztartalom szerint – a kékeknél élesebben – elkülönülnek, (**3. táblázat, 2/b ábra**). 1./ A többség réztartalmú, CuO>0,8%, ilyenek a szarmata és korai avar gyöngyök. 2./ Rézben szegény, CuO<0,1%, egyben ón- és ólomszegény a középső avar gyöngyök többsége. Egyik ezek közül (SzO-38) igen nagy vastartalmú (FeO = 9,25%).

Néhány szarmata vagy bizonytalan besorolású (szarmata/avar) üveg közepes, néhány korai avar vagy bizonytalan pedig nagy Mg-K-tartalmú, ld. **2/d ábra**. Zöld üveget ritkán használtak díszítésre, és csak egy díszített zöld gyöngyöt volt módunk vizsgálni, a többség egyszínű.

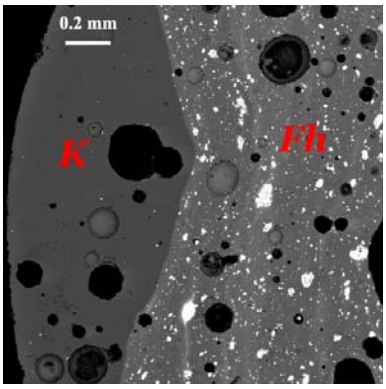
HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

3. táblázat: A színtelen, kék, zöld és kékeszöld üvegek egyes csoportjainak átlagos összetétele és szórásai.

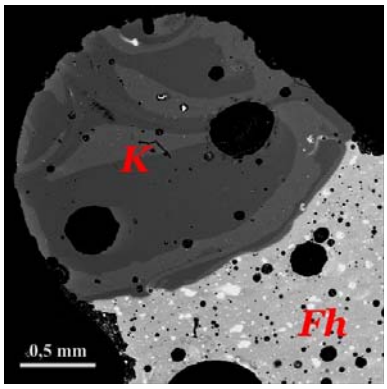
Table 3.: Average compositions and standard deviations of certain groups of colourless, blue and green glasses

	Színtelen		Kék, CuO<0.4%				Kék, CuO>0.8%				Zöld, CuO>0,8%						Zöld, CuO~0		Kékeszöld	
			Szarmata	Avar 1.		Avar 2.	Avar 1.		Szarmata	Sz\Al	Avar 1.						Avar 2.		Avar 1.	
Kor	Avar 2.		Átl. ±sz.	Átl. ±sz.		Átl. ±sz.	Átl. ±sz.		Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.						Átl. ±sz.		Átl. ±sz.	
Minta	Átl. ±sz.		5	4		5	3		6	4	5						7		4	
Na_2O	14.2 ±1.8		13.2 ±4.0	15.0 ±1.6		16.0 ±2.5	15.0 ±1.7		15.7 ±1.2	14.7 ±1.9	16.6 ±0.8						16.3 ±1.0		16.1 ±0.4	
MgO	0.7 ±0.2		0.7 ±0.1	0.8 ±0.1		0.6 ±0.2	0.7 ±0.1		1.4 ±0.3	1.4 ±0.5	0.8 ±0.3						1.1 ±0.2		0.6 ±0.1	
Al_2O_3	2.1 ±0.3		2.1 ±0.2	2.3 ±0.4		1.7 ±0.5	2.4 ±0.3		2.1 ±0.1	1.8 ±0.1	2.1 ±0.4						2.7 ±0.6		2.1 ±0.1	
SiO_2	68.7 ±3.6		70.3 ±3.5	69.1 ±1.2		68.0 ±5.6	64.9 ±3.3		66.0 ±2.5	64.4 ±1.7	63.8 ±4.0						66.5 ±2.4		60.3 ±1.4	
P_2O_5	0.0 ±0.0		0.1 ±0.0	0.2 ±0.2		0.1 ±0.1	0.1 ±0.1		0.3 ±0.1	0.4 ±0.3	0.0 ±0.0						0.1 ±0.1		0.1 ±0.1	
Cl	1.2 ±0.2		1.1 ±0.2	0.9 ±0.2		1.1 ±0.2	1.0 ±0.1		0.9 ±0.1	1.0 ±0.2	1.0 ±0.2						1.0 ±0.2		1.1 ±0.1	
K_2O	0.5 ±0.1		0.5 ±0.1	0.6 ±0.1		**1.5** ±0.2	0.7 ±0.2		1.3 ±0.3	1.5 ±0.3	0.7 ±0.3						**2.2** ±0.1		0.5 ±0.0	
CaO	6.5 ±0.9		6.0 ±0.7	7.3 ±1.0		8.8 ±0.6	6.7 ±1.1		7.9 ±1.9	7.7 ±1.0	7.0 ±1.1						7.4 ±1.1		6.4 ±0.3	
MnO	0.7 ±0.4		0.2 ±0.1	0.8 ±0.4		0.2 ±0.0	0.6 ±0.4		0.3 ±0.2	0.1 ±0.1	0.7 ±0.3						0.8 ±0.4		1.0 ±0.1	
FeO	0.5 ±0.2		0.8 ±0.5	0.9 ±0.2		1.2 ±0.1	0.6 ±0.1		0.9 ±0.1	1.3 ±0.4	0.9 ±0.3						1.2 ±0.6		0.7 ±0.2	
CuO	0.0 ±0.1		0.2 ±0.1	0.1 ±0.1		0.1 ±0.0	0.2 ±0.1		1.4 ±0.1	1.2 ±0.3	2.2 ±1.2						0.0 ±0.0		3.5 ±0.3	
SnO_2	0.1 ±0.2		0.0 ±0.0	0.0 ±0.0		0.2 ±0.3	0.0 ±0.0		0.1 ±0.1	0.2 ±0.3	0.3 ±0.4						0.0 ±0.0		0.4 ±0.1	
Sb_2O_3	0.4 ±0.3		1.3 ±0.3	0.0 ±0.0		0.0 ±0.0	0.0 ±0.0		0.4 ±0.1	0.7 ±0.3	0.1 ±0.2						0.1 ±0.0		0.1 ±0.3	
PbO	0.1 ±0.2		0.2 ±0.1	0.2 ±0.2		0.3 ±0.3	0.0 ±0.0		0.6 ±0.3	2.4 ±3.1	2.1 ±1.1						1.3 ±0.6		0.0 ±0.0	
Total	95.6 ±4.0		96.4 ±4.2	98.2 ±1.9		97.4 ±3.7	97.6 ±2.8		97.8 ±3.4	98.7 ±0.9	98.5 ±2.5						99.2 ±2.7		97.7 ±3.9	94.6 ±1.7
N	6		5	4		3	5		16	4	5						3		7	4

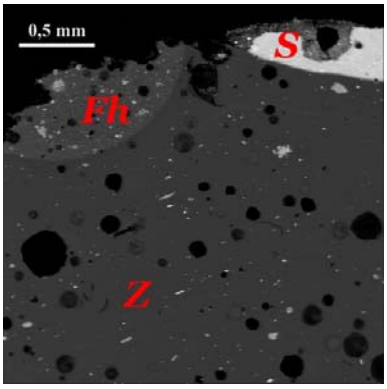
Sz\Al = Szarmata vagy korai avar
Átl. ±sz. = Átlag ±szórás
N = Elemzések száma



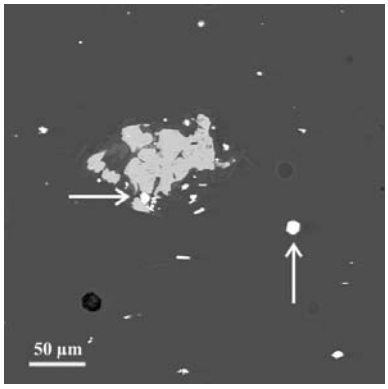
1a



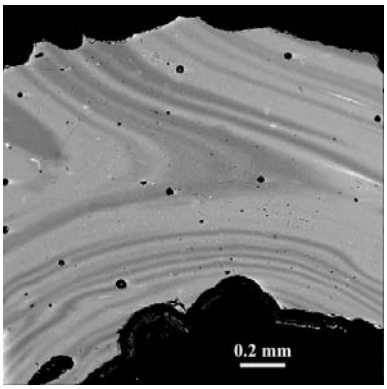
1b



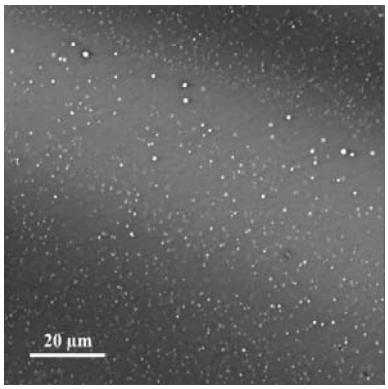
1c



1d



1e

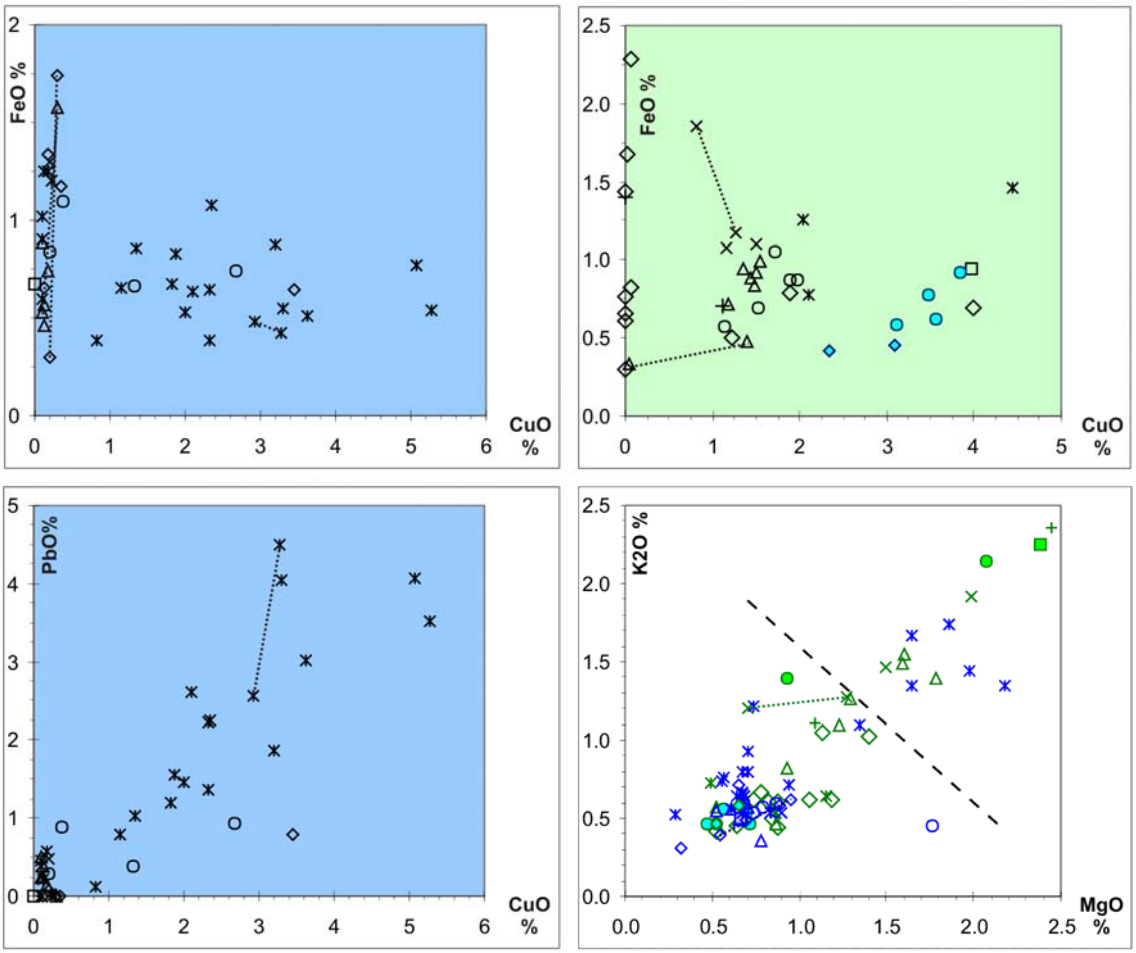


1f

1. ábra: Üveggyöngyök visszaszórt elektronképei. a) SzO-11 minta: Avar 1. Fehér (*Fh*) alap, kék (*K*) dísz. A fehér tele van ón-oxid zárványokkal; a kék üveg réztartalmú. b) SzO-19 minta: Avar 1. Fehér, azon inhomogén kék dísz, a fekete alap nem látszik. A kék üveg világos része Sb-tartalmú; a fehérben ón-oxid zárványok vannak. c) SzO-41 minta: Avar 1. Zöld (*Z*) alap, fehér (*Fh*) és sárga (*S*) dísz (a széle mállott). A zöldben Cu- vagy Sn-dús, a fehérben Sn-, a sárgában Pb+Sn-dús zárványok vannak. d) A zöld üveg részlete. Szürke: Cu-dús, fehér (pl. a nyíllíl jelöltek): Sn-dús zárvány. e) SzO-47 minta: Szarmata, vörös gyöngy. A világos sávok Pb és Cu tartalma nagyobb. f) Az üveg tele van apró (<1µm) réz kiválásokkal.

Fig. 1.: Backscattered electron images (BEI) of glass beads. a) SzO-11, Avar 1. White (*Fh*) base, blue (*K*) decoration. White is full of SnO_2 inclusions. b) SzO-19, Avar 1. White (*Fh*) and inhomogeneous blue (*K*) decoration containing antimony in the lighter parts. The white glass contains SnO_2 inclusions. c) SzO-41, Avar 1. Green (*Z*) base, white (*Fh*) and yellow (*S*) decoration with weathered rim. The inclusions contain in green Cu or Sn, in white Sn, in yellow Pb+Sn. d) Part of the green glass. Grey: Cu-rich, white (marked by arrow): SnO_2 inclusions. e) SzO-47: Sarmatian red bead. The light stripes have elevated Pb and Cu contents. f) The glass is full of tiny (<1µm) copper precipitations.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



2. ábra: a) A kék, b) a zöld és kékeszöld üvegek FeO tartalma a CuO tartalom függvényében. c) A kék üvegek PbO tartalma a CuO tartalom függvényében. d) A kék, zöld és kékeszöld üvegek K_2O tartalma a MgO tartalom függvényében. A szaggatott vonal alatt a „szóda", fölötte a „hamu" típusú üvegek helyezkednek el. A pontvonalak inhomogén üveg két elemzését kötik össze. Jelek: △ = Szarmata. × = Bizonytalan: Szarmata vagy Avar 1. + = Bizonytalan: Szarmata vagy Avar 2. ○ = Avar 1, egyszínű. □ = Avar 1, díszített alap. ✳ = Avar 1, dísz. ◇ = Avar 2.

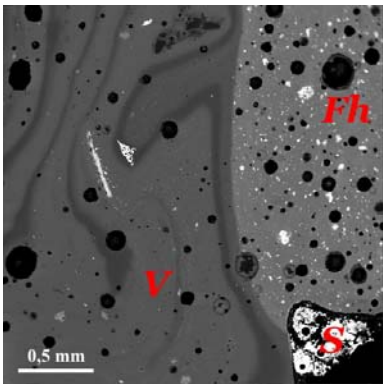
Fig. 2.: a) FeO vs. CuO for blue glasses. b) FeO vs. CuO for green and blue-green glasses. c) PbO vs. CuO for blue glasses. d) K_2O vs. MgO for blue, green and blue-green glasses. The dashed line separates "soda" and "ash" type glasses. The dotted lines join two analyses of inhomogeneous glasses. Symbols: △ = Sarmatian. × = Uncertain: Sarmatian or Avar 1. + = Uncertain: Sarmatian or Avar 2. ○ = Avar 1, monochrome. □ = Avar 1, decorated base. ✳ = Avar 1, decoration. ◇ = Avar 2.

Kékeszöld opak üveg. Elkülönítése a kéktől és zöldtől szubjektív. Szöveti különbséget nem találtunk, összetételük a réztartalmú zöld üvegéhez hasonló, nagyobb réztartalommal, ld. **3. táblázat** és **2/b ábra**. Néhány korai avar egyszínű gyöngy és két középső avar dísz került ebbe a csoportba.

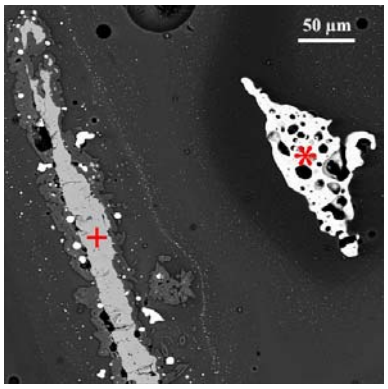
Vörös opak üveg. A szarmata, korai avar és bizonytalan besorolású (Szarmata/Avar 1. vagy /Avar 2.) sírokban gyakori, a középső avar korban ritka. Réztartalmúak, bennük apró (< 1µm) rézdús kiválások jelennek meg, amelyeket röntgen-diffrakcióval elemi rézként azonosítottunk (**1/f, 3/b, 3/d ábra**). Gyakran találunk bennük rézben gazdag (Cu+S, Cu+Sn vagy Cu+Pb) zárványokat (**3/b ábra**), valamint wollastonit kristályokat (**3/d ábra**). Szövetük és összetételük azonban határozottan különbözik:

Az *avar kori* vörös üvegekben rendszerint vasdús, erősen reagált zárványok vannak (**3/a-b, 3/c ábra**), amelyek szilikátokból és oxidokból állnak, sőt

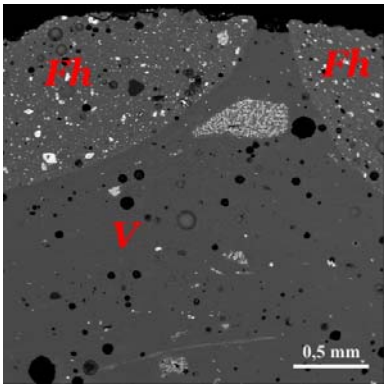
HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



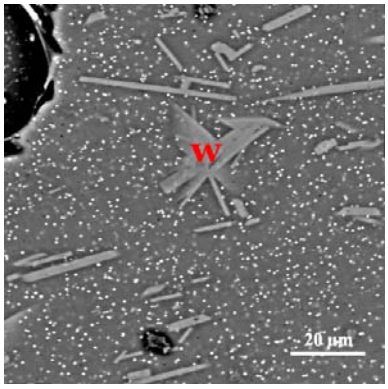
3a



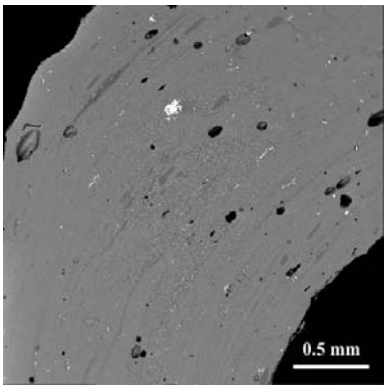
3b



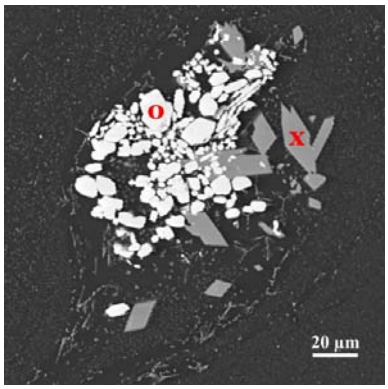
3c



3d



3e

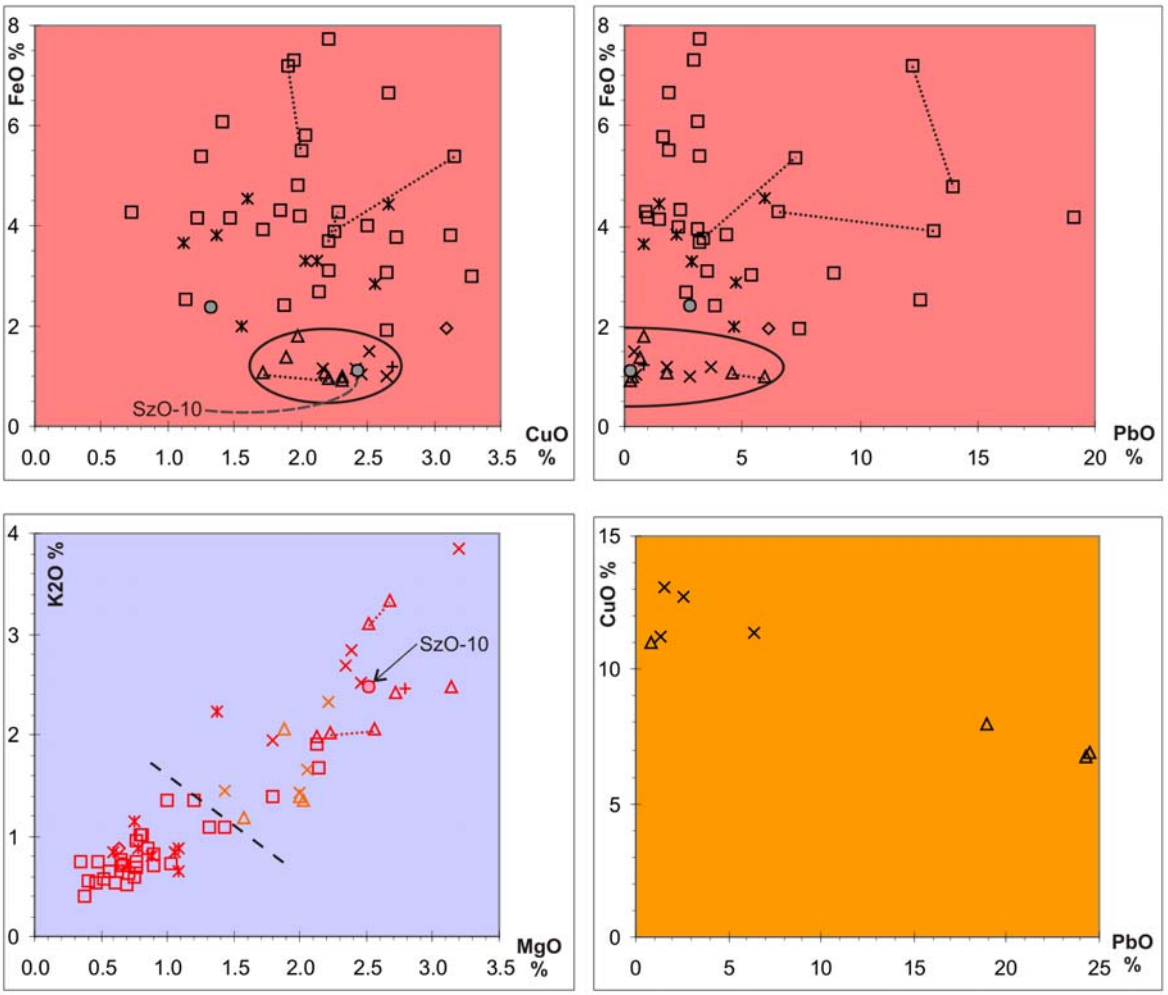


3f

3. ábra: Üveggyöngyök visszaszórt elektronképei. a) SzO-25 minta: Avar 1. Vörös (*V*) alap, fehér (*Fh*) és mállott sárga (*S*) dísz. b) Erősen reagált zárványok maradványai a vörös üvegben: + = vas-oxid és ránőtt vas-szilikát, ∗ = réz-szulfid; körülöttük apró réz kiválások. c) SzO-23 minta: Avar 1. Vörös alap, fehér díszek. A vörös üveg nagyobb zárványai Fe, a kisebbek Sn tartalmúak; a fehérben csak Sn tartalmúak vannak. d) A vörös üvegben wollastonit kristályok (egyiküket w-vel jelölve) és apró rézdús kiválások képződtek. e) SzO-82 minta. Szarmata vagy korai avar narancssárga gyöngy. f) Sn-oxid zárványok (o) és Sn-Ca-szilikát (x) kristályok, valamint apró rézdús kiválások a narancssárga üvegben.

Fig. 3.: BEI of glass beads. a) SzO-25, Avar 1. Red (*V*) base, white (*Fh*) and weathered yellow (*S*) decorations. b) Remnants of highly reacted inclusions in the red glass: + = iron oxide and -silicate, ∗ = copper sulphide; tiny copper precipitations are seen between and around them. c) SzO-23, Avar 1. Red (*V*) base, white (*Fh*) decorations. The larger inclusions in red glass are rich in iron, the smaller ones are rich in tin; the white glass contains only tin-rich inclusions. d) Wollastonite crystals (one is marked by w) and tiny copper-rich precipitations formed in red glass. e) SzO-82, Sarmatian or Avar 1, orange bead. f) SnO_2 (o) grains, Sn-Ca-silicate (x) crystals and tiny copper-rich.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



4. ábra: a) A vörös üvegek FeO tartalma a CuO függvényében. A szarmata és bizonytalan minták egy csoportba esve elkülönülnek az avaroktól, az SzO-10 korai avar gyöngy kivételével. b) A vörös üvegek FeO tartalma a PbO függvényében. c) A vörös és narancssárga üvegek K_2O tartalma a MgO tartalom függvényében. d) A narancssárga üvegek CuO tartalma a PbO függvényében. A jelek ugyanazok, mint a 2. ábrán.

Fig. 4.: a) FeO vs. CuO for red glasses. Sarmatian and uncertain beads form one group and separate from Avar glasses, except for SzO-10 (Avar 1). b) FeO vs. PbO for red glasses. c) K_2O vs. MgO for red and orange glasses. d) CuO vs. PbO for orange glasses. Symbols as in Fig. 2.

esetenként fémes állapotú vas is előfordul bennük. Ilyenek a szarmata vörös üvegben sohasem jelennek meg, ld. **1/e ábra**. Ez tükröződik az eltérő vastartalmukban is, ld. **4. táblázat**. Az avar üvegek réz- és vastartalma szélesebb határok közt változik, ld. **4/a ábra**, és ólomtartalmuk is változatosabb (**4/b ábra**). A *szarmata* vörös üvegek viszont kivétel nélkül nagy Mg-K-tartalmúak, (**4/c ábra**), és foszfortartalmuk is nagyobb az avarokénál (egy avar gyöngy, SzO-10 kivételével), ld. **4. táblázat**.

A bizonytalan besorolású – egyszínű – gyöngyök mind szövetük, mind összetételük szerint a szarmata gyöngyökkel egyformák. Az egyik korai avar sírban talált gyöngy (SzO-10) ugyancsak a szarmaták közé illik. A legtöbb avar kori vörös üveg kis Mg-K-tartalmú üvegből készült; néhány közülük közepes vagy nagy Mg-K-tartalmú, de ezek szövete és vastartalma a többi avar korúéhoz hasonló.

Az avar korban vörös üvegből a legtöbbször más színekkel díszített gyöngyöt ("alap") készítettek, díszként ritkábban, egyszínűként – a szarmatáktól eltérően – csak elvétve alkalmazták. A díszített vörös gyöngyök ólom- és/vagy vastartalma ltalában nagyobb, mint az egyszínűeké vagy a vörös díszeké, ld. **4/b ábra**.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

4. táblázat: A vörös és narancssárga üvegek egyes csoportjainak átlagos összetétele és szórásai

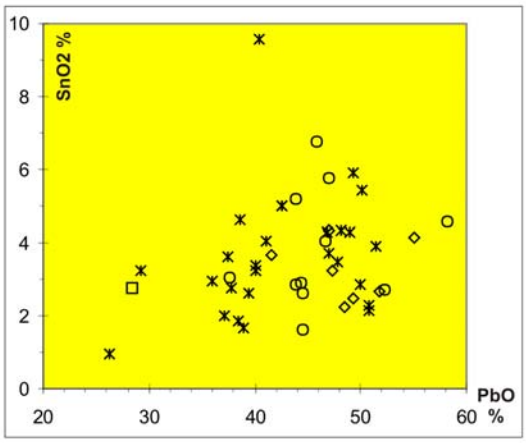
Table 4.: Average compositions and standard deviations of certain groups of red and orange glasses

	Vörös				Narancssárga	
Kor	Szarmata	Sz\A1	Avar 1.		Szarmata	Sz\A1
Minta	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.
Na_2O	13.8 ±1.1	13.1 ±1.9	13.5 ±2.3	13.8 ±1.4	7.1 ±0.7	12.7 ±0.4
MgO	2.6 ±0.3	2.4 ±0.5	0.8 ±0.3	1.9 ±0.4	1.9 ±0.2	1.9 ±0.3
Al_2O_3	2.2 ±0.3	1.8 ±0.1	2.3 ±0.3	2.3 ±0.7	2.7 ±0.6	1.9 ±0.2
SiO_2	61.1 ±1.9	61.1 ±1.0	59.6 ±4.8	61.3 ±2.5	44.5 ±3.4	51.2 ±3.0
P_2O_5	0.8 ±0.2	0.9 ±0.3	0.1 ±0.1	0.4 ±0.1	0.5 ±0.1	0.6 ±0.1
Cl	0.9 ±0.1	1.0 ±0.2	0.9 ±0.1	0.6 ±0.1	0.6 ±0.1	0.6 ±0.2
K_2O	2.5 ±0.5	2.8 ±0.7	0.8 ±0.2	1.8 ±0.4	1.3 ±0.1	1.7 ±0.4
CaO	9.3 ±1.5	10.6 ±1.6	6.3 ±0.9	8.2 ±1.0	8.7 ±0.8	8.5 ±1.1
MnO	0.3 ±0.1	0.4 ±0.1	0.7 ±0.3	1.1 ±0.8	0.2 ±0.0	0.3 ±0.1
FeO	1.2 ±0.3	1.2 ±0.2	4.5 ±1.8	3.5 ±0.8	2.3 ±0.8	2.7 ±1.8
CuO	2.1 ±0.2	2.4 ±0.2	2.1 ±0.6	1.5 ±0.3	7.2 ±0.7	12.1 ±0.9
SnO_2	0.3 ±0.3	0.8 ±0.3	0.7 ±0.7	0.2 ±0.3	1.2 ±0.5	1.1 ±0.3
Sb_2O_3	0.2 ±0.1	0.2 ±0.3	0.1 ±0.2	0.0 ±0.0	0.4 ±0.1	1.4 ±0.4
PbO	2.1 ±2.3	1.8 ±1.4	5.1 ±4.3	2.3 ±1.4	22.6 ±3.1	3.0 ±2.4
Total	99.3 ±2.1	100.4 ±2.1	97.4 ±2.7	99.0 ±3.0	101.0 ±0.9	99.8 ±3.2
N	7	5	35	4	3	4

Narancssárga opak üveg. Szövete sűrűn hintett apró rézdús kiválásokkal, réz- és/vagy óndús zárványai vannak; wollastonit és Sn-Ca-szilikát kristályok jelenhetnek meg benne: **3/e-f ábra**. Narancssárga üvegből készült díszítetlen gyöngyök szarmata és bizonytalan besorolású (Szarmata/Avar 1.) sírokból kerültek hozzánk. Réz- és ólomtartalmuk nagy, vastartalmuk jelentős, közepes vagy nagy Mg-K-P-tartalmúak (ld. **4. táblázat, 4/c ábra**). Ólom- és réztartalmuk szerint két csoportra oszlanak (**4/d ábra**).

Sárga opak üveg. Szövete sűrűn hintett Pb>Sn-oxid zárványokkal, amelyek még az elmállott üveget is sárgára festik: **6/a, b ábra**. Elemzéseink szerint ezek $PbSn_{1-x}Si_xO_3$ (x=0,2…0,45) összetételűek. Ezeken kívül wollastonit kristályok is előfordulnak. Mállásra ez az üveg hajlamos a leginkább. Ólomtartalma igen nagy, ld. **5. táblázat**, széles határok közt változik (ld. **5. ábra**). Az avar kori üveggyöngyök között gyakori, de szarmata sírban nem fordult elő. Szívesen használták díszként és egyszínű gyöngyként, díszített alapként ritka.

Barna, vörösesbarna üveg. Opak barna gyöngyöket korai és egy középső avar sírban találtunk; szövetük a vasdús zárványokkal, wollastonit kristályokkal és apró rézdús kiválásokkal a vörös üvegére emlékeztet (ld. **6/c, d ábra**). Áttetsző barna egyszínű gyöngyök középső avar sírokból kerültek elő, szövetük többé-kevésbé



5. ábra: A sárga üvegek SnO_2 tartalma a PbO tartalom függvényében.

Fig. 5.: SnO_2 vs. PbO for yellow glasses.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

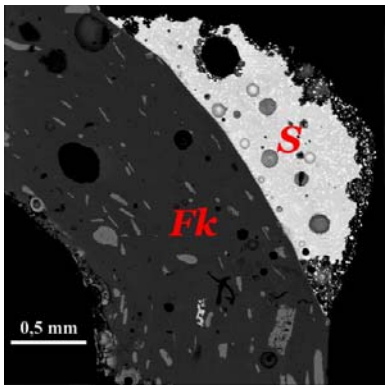
5. táblázat: A sárga, fehér és fekete üvegek egyes csoportjainak átlagos összetétele és szórásai

Table 5.: Average compositions and standard deviations of certain groups of yellow, white and black glasses

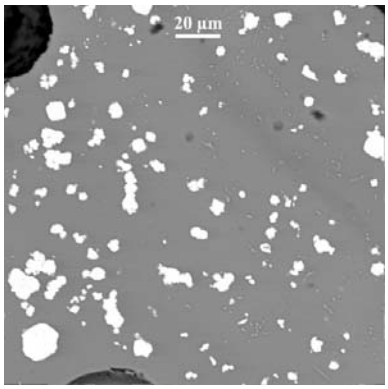
	Sárga			Fehér				Fekete			
	Avar 1.	Avar 2.	Sz\A1	Avar 1.		Avar 2.	Avar1.		Avar 2.		
Minta	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.	Átl. ±sz.
Na_2O	7.8 ±1.8	7.2 ±0.7	15.4 ±2.9	14.1 ±2.0	14.0 ±1.7	13.5 ±3.2	14.9 ±1.9	15.5 ±1.5	13.1 ±2.9	8.3 ±0.3	
MgO	0.3 ±0.2	0.3 ±0.2	1.1 ±0.3	0.8 ±0.3	**1.8** ±0.1	0.6 ±0.1	0.8 ±0.2	**1.8** ±0.4	1.0 ±0.1	0.5 ±0.2	
Al_2O_3	2.3 ±0.8	1.8 ±0.3	1.8 ±0.2	2.1 ±0.3	2.1 ±0.1	2.2 ±0.3	2.3 ±0.4	2.1 ±0.3	2.3 ±0.1	2.2 ±0.3	
SiO_2	34.1 ±6.0	31.5 ±3.1	69.1 ±5.1	63.3 ±4.2	60.4 ±3.9	68.5 ±2.2	61.5 ±4.3	62.6 ±2.1	60.9 ±1.6	37.6 ±3.9	
P_2O_5	0.0 ±0.1	0.0 ±0.1	0.0 ±0.0	0.1 ±0.1	0.3 ±0.1	0.0 ±0.0	0.1 ±0.1	0.3 ±0.1	0.2 ±0.0	0.2 ±0.2	
Cl	0.5 ±0.2	0.4 ±0.1	1.2 ±0.2	1.0 ±0.1	0.6 ±0.1	1.0 ±0.0	0.9 ±0.1	0.6 ±0.2	0.9 ±0.2	0.5 ±0.2	
K_2O	0.4 ±0.2	0.4 ±0.2	0.4 ±0.1	0.6 ±0.2	**1.4** ±0.1	0.5 ±0.0	0.8 ±0.2	**1.5** ±0.2	0.9 ±0.0	1.8 ±1.3	
CaO	3.3 ±0.7	3.0 ±0.4	6.1 ±0.4	6.6 ±0.7	7.5 ±0.6	6.3 ±0.2	6.7 ±0.7	6.7 ±0.4	6.7 ±0.2	4.1 ±1.0	
MnO	0.3 ±0.3	0.3 ±0.1	0.1 ±0.1	0.7 ±0.3	1.6 ±0.2	0.5 ±0.3	0.6 ±0.4	1.8 ±0.8	1.1 ±0.0	0.5 ±0.4	
FeO	0.7 ±0.4	0.7 ±0.1	0.3 ±0.1	0.7 ±0.2	1.3 ±0.1	0.6 ±0.1	7.5 ±3.1	5.1 ±2.4	4.8 ±1.0	15.4 ±5.4	
CuO	0.1 ±0.2	0.1 ±0.2	0.0 ±0.0	0.1 ±0.1	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	0.1 ±0.1	0.1 ±0.1	0.2 ±0.2	0.0 ±0.0	
SnO_2	3.7 ±1.6	3.3 ±0.8	0.1 ±0.2	3.0 ±2.1	4.1 ±2.7	1.5 ±0.8	0.2 ±0.2	0.0 ±0.0	0.4 ±0.2	0.8 ±0.6	
Sb_2O_3	0.0 ±0.1	0.1 ±0.2	2.3 ±0.8	0.1 ±0.2	0.0 ±0.0	0.2 ±0.0	0.2 ±0.2	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	
PbO	43.2 ±6.8	48.6 ±4.2	0.1 ±0.2	3.9 ±2.4	3.3 ±2.3	2.0 ±1.1	0.9 ±1.2	0.2 ±0.2	**5.8** ±2.3	24.5 ±11.2	
Total	96.8 ±3.3	97.8 ±3.9	98.0 ±3.4	96.9 ±2.8	98.6 ±1.5	97.4 ±3.9	97.5 ±2.8	98.6 ±1.4	98.1 ±3.6	96.4 ±2.1	
N	39	7	4	43	4	3	30	6	3	4	

Sz\A1 = Szarmata vagy korai avar
Átl. ±sz. = Átlag ±szórás
N = Elemzések száma

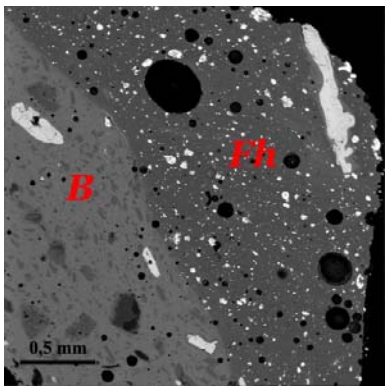
HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



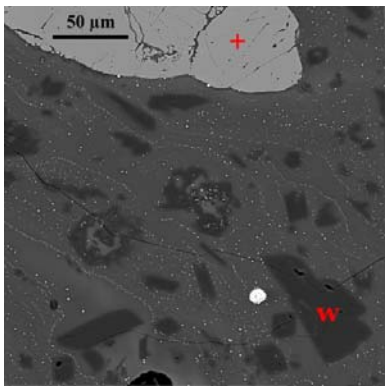
6a



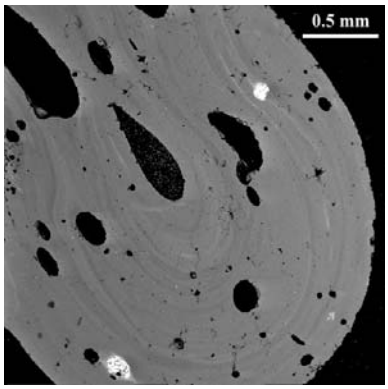
6b



6c



6d

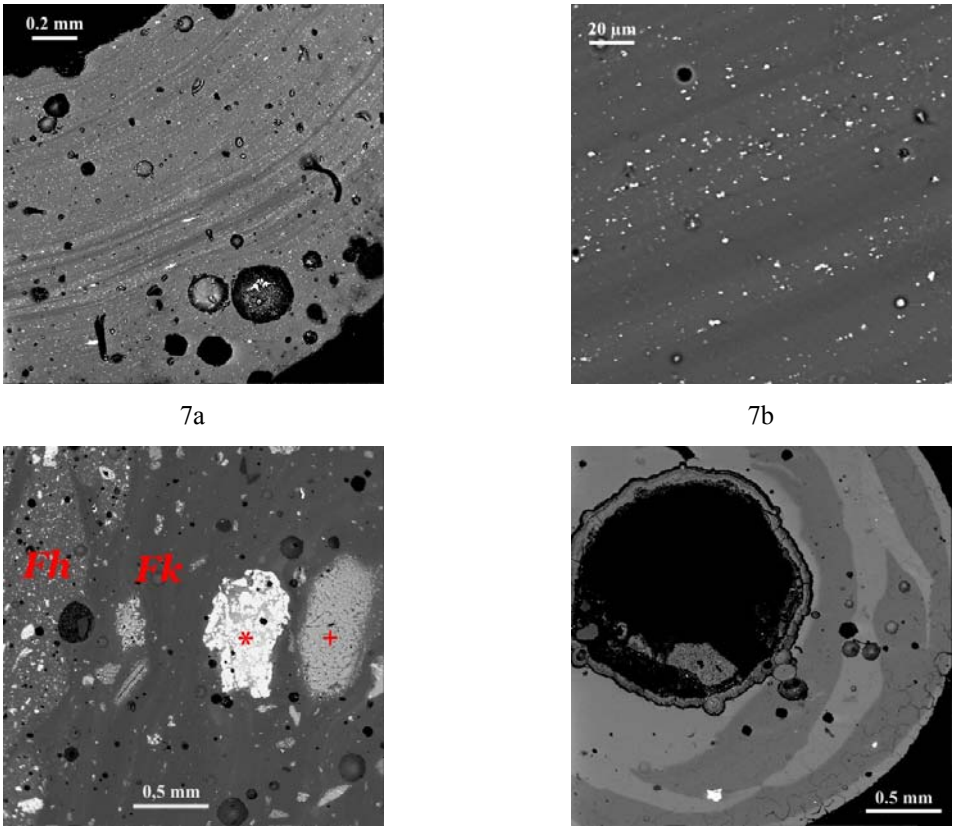


6e

6. ábra: Üveggyöngyök visszaszórt elektronképei. a) SzO-29 minta, Avar 1. Fekete (*Fk*) alap, sárga (*S*) dísz, a széle mállott. A feketében sok vasdús (szürke) és kevés rézdús (fehér) zárvány van; a sárga üveg $PbSn_{1-x}Si_xO_3$ zárványai a mállott részben is megmaradtak. b) A sárga dísz részlete. c) SzO-8 minta, Avar 1. Vörösesbarna (*B*) alap, fehér (*Fh*) dísz. A nagyobb zárványok Fe-, a kisebbek Sn-dúsak mindkét üvegben. d) A barnában apró réz kiválások (fehér) és wollastonit (w, sötét) kristályok képződtek; fönt egy vasdús zárvány részlete (+) látszik. e) CsF-3 minta, Avar 2. Barna, áttetsző gyöngy, zárványai Fe-dúsak.

Fig. 6.: BEI of glass beads. a) SzO-29, Avar 1. Black (*Fk*) base, yellow (*S*) decoration with weathered rim. The inclusions in the black are mainly iron-rich (grey), a few copper-rich (white); inclusions in the yellow are $PbSn_{1-x}Si_xO_3$, which are conserved in the weathered part, too. b) Detail of the yellow glass. c) SzO-8, Avar 1, reddish brown (*B*) base, white (*Fh*) decoration. The bigger inclusions are iron-rich, the smaller ones are tin-rich in both glasses. d) Tiny copper precipitations and wollastonite (w) crystals formed in the brown glass; +: detail of an iron-rich inclusion. e) CsF-3, Avar 2. Brown, translucent bead, with iron-rich inclusions.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



7a 7b

7c 7d

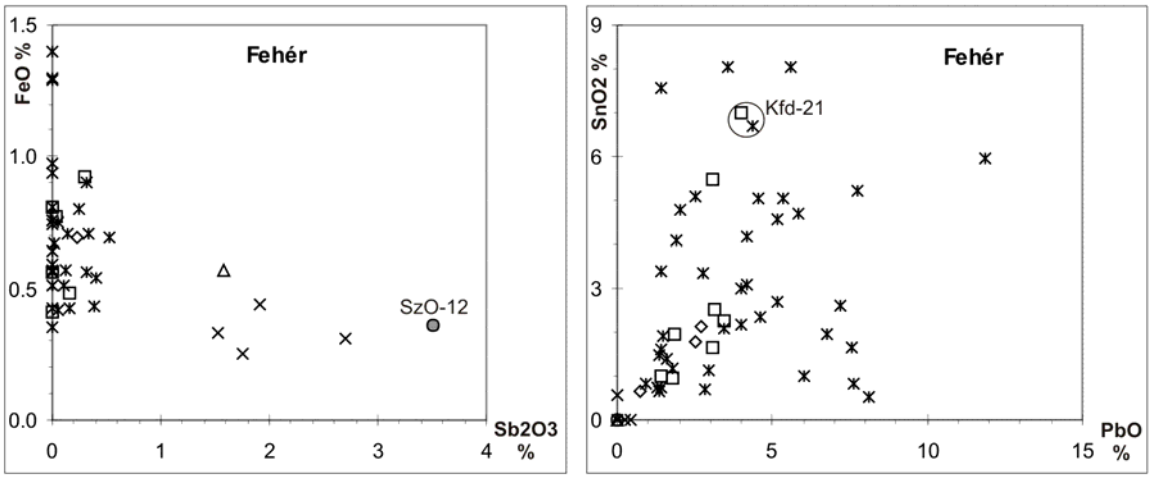
7. ábra: Üveggyöngyök visszaszórt elektronképei. a) SzO-49 minta. Szarmata fehér gyöngy.A zárványok és/vagy kiválások Sb-dúsak. b) Nagyított részlet. c) SzO-9 minta, Avar 1. Fekete (*Fk*) alap, fehér (*Fh*) dísz (a kék dísz nem látszik). Nagy zárványok a fekete üvegben: ∗: Cu-Pb-Sn-dús, +: Fe-dús. d) Kfd-7 minta, Avar 1. Fekete, két különböző üvegből készült (ld. a Függelékben levő elemzéseket); zárványai Fe-dúsak.

Fig. 7.: BEI of glass beads. a) SzO-49, Sarmatian white bead, with Sb-rich inclusions. b) Enlarged detail. c) SzO-9, Avar 1. Black (Fk) base, white (Fh) decoration. Large inclusions in black glass: ∗ : Cu-Pb-Sn-rich, + : Fe-rich. d) Kfd-7, Avar 1. Black bead made of two glasses, with Fe-rich inclusions.

homogén (**6/e ábra**), mangán- és vastartalmuk általában jelentős. Mindkét fajtában előfordulnak vasdús zárványok és wollastonit kristályok. A kevés vizsgált példány összetétele változatos (átlagot és szórást számolni értelmetlen lett volna), egy-egy példány nagyobb Mg-K-tartalmú üvegből készült. Lehetséges, hogy az opak, vörösesbarna üvegeket vörösnek szánták, de elrontották; az áttetsző barnák többségét vélhetően a viszonylag nagy mangántartalom színezi. Az áttetsző barna gyöngyök egyszínűek, az opakokat többnyire díszítették.

Fehér opak üveg. Szövetére jellemző a nagyszámú zárvány (esetleg kiválás) és számos buborék. A zárványok anyaga antimon-oxid, ld. **7/a, b ábra**, vagy ón-oxid, ld. a **7/c**, illetve az **1/a, 1/b, 1/c, 3/a, 3/c, és 6/c ábrák**on; az ón-oxid zárványok mérete nagyobb és változatosabb, mint az antimon-oxid anyagúaké. Az ón-oxiddal fehérített üveg számottevő ólmot is tartalmaz, az antimon-oxiddal fehérített nem (ld. **5. táblázat**). Előfordul szarmata és középső avar gyöngyökben, a korai avarokban pedig igen gyakori. A szarmata és bizonytalan besorolású (Szarmata/Avar 1.) gyöngyök antimon-tartalmúak, és ugyanilyen az egyetlen egyszínű korai avar (SzO-12) fehér gyöngy is; az avar korban viszont óntartalmú fehér üveget készítettek, ld. **8/a, b ábra**. A korai avar korban a fehér üveget főleg díszítésre használták, ritkábban díszített gyöngy alapjaként. A fehér díszek ólomtartalma általában nagyobb, mint a fehér alapoké, (**8/b ábra**). Néhány korai avar dísz közepes Mg-K-tartalmú üvegből készült, ilyennel az irodalomban nem találkoztunk.

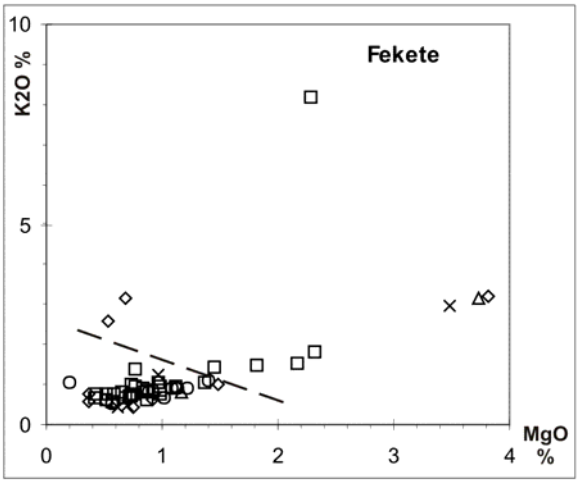
HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



8. ábra: A fehér üvegek diagramjai: a) Az FeO tartalom az Sb_2O_3 függvényében. b) Az SnO_2 tartalom a PbO tartalom függvényében. A Kfd-21 jelű gyöngy fehér alapján fehér dísz is van.

Fig. 8.: a) FeO vs. Sb_2O_3 and b) SnO_2 vs. PbO for white glasses. Sample Kfd-21 has white base and white decoration, too.

Fekete üveg. Többnyire opak, de vannak áttetsző fekete gyöngyök is a díszítetlenek közt. Mind szövete, mind összetétele nagyon változatos. Gyakran tartalmaz sok, kisebb-nagyobb mértékben reagált vasoxid zárványt, lehetnek réz-, ólom- vagy óndús zárványai (**6/a és 7/c ábra**) is, máskor alig vagy egyáltalán nem látunk zárványokat : **7/d ábra**. Megjelenhetnek benne – a vöröshöz hasonlóan – apró (<1µm) rézdús kiválások, valamint wollastonit kristályok. Voltak fekete üveggyöngyök a szarmata sírokban is, de az avarok különösen kedvelték



9. ábra: A fekete üvegek K_2O tartalma az MgO tartalom függvényében

Fig. 9.: K_2O vs. MgO for black glasses.

díszítetlenül vagy díszítve. (Díszítésre nem használták.)

A fekete üvegek ólom- és vastartalma különösen széles határok közt változik (PbO: 0–36%; FeO: 0,3–23%), de a réztartalomban és a többi összetevőben is nagy eltéréseket találunk, ami csak részben látszik az **5. táblázat**ban. Az avar kori fekete gyöngyök többsége vasdús. Az összetételek változékonysága miatt viszonylag kevés csoportra volt értelme átlagot és szórást számolni. Néhány avar kori gyöngy közepes, néhány szarmata illetve bizonytalan korú pedig nagy Mg-K-tartalmú, ld. **9. ábra**. A fekete üveggyöngyök összetétele és szövete annyira változatos, hogy részletesebb vizsgálatukra külön tanulmány lenne szükséges.

Diszkusszió, következtetések

Az eltérő korú gyöngyök különbségei, a besorolási bizonytalanságok kiküszöbölése

A különböző korú sírokban talált gyöngyök közt nemcsak stiláris, hanem anyagi különbségek is vannak. Kétes esetekben ezek segíthetnek a besorolásban. A legfontosabb stiláris eltérés: a szarmaták csak egyszínű gyöngyöket használtak, a korai avarok mind különböző színekkel díszített, mind egyszínű gyöngyöket, a középső avar sírokból – egy-két kivételtől eltekintve – újra csak díszítetlen gyöngyök kerültek elő.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

Különbség mutatkozik egyes színek előfordulásában: *Narancssárga* (opak) gyöngyök csak szarmata vagy bizonytalan besorolású sírokban fordultak elő. *Sárga* opak üveget, ami az avar korban egyszínű gyöngyként és díszítésként gyakori, viszont szarmata sírban nem találtunk. *Színtelen* üveggyöngy csak középső avar sírból került elő. A *barna* üveg a szarmata korból hiányzik, bár az avar korban sem gyakori.

Az üvegek színezése is többnyire eltérő. A *vörös* opak üveg gyakori mind a szarmata, mind az avar sírokban, azonban szövetük is, összetételük is határozottan különböző, amint föntebb leírtuk (ill. korábban: Fórizs et al. 2001). A bizonytalan besorolású (Szarmata/Avar 1 és Szarmata/Avar 2) sírokban talált vörös gyöngyök szövete és összetétele teljesen hasonló a szarmatákéhoz; ugyanilyen a korai avar sírból előkerült egyik egyszínű vörös gyöngy is, az SzO-10 jelű, ld. **4/a-b ábra**. Ezek valamennyien a szarmata korban készülhettek: a bizonytalan besorolásúak szarmata korúak lehetnek, az SzO-10 gyöngyöt többszáz év után valószínűleg újra használták.

A *fehér* opak üveget a korai avar korban díszített gyöngyként vagy díszként nagyon kedvelték. Ólomtartalmú (PbO>1%), ónoxid zárványok színezik és opakosítják. A középső avar korban változott a divat, elvétve találkozunk fehér gyönggyel vagy dísszel, ezek ugyanilyen üvegből készültek. Viszont a korábbi, biztosan szarmata sírból származó egyetlen és a bizonytalan (Szarmata/Avar 1) sírokban talált valamennyi fehér gyöngyöt antimon-oxid zárványokkal színezték és opakosították, ólmot nem tartalmaznak. Ezek valamennyien a szarmata korban készülhettek. A bizonytalanul besorolt, de korai avar gyöngyökkel egy sírban talált SzO-80 jelű gyöngy ugyancsak szarmata korú lehet. (Ezeket a különbségeket, amelyeket régebben néhány mintán már fölismertük, ld. Fórizs et al. 2001, újabb vizsgálataink megerősítették.)

A *kék*, áttetsző üveget valamennyi vizsgált korban kedvelték. A szarmata kék üvegek réztartalma csekély, ezeket valószínűleg kobalttal színezték. Jellemzően antimont tartalmaznak ($Sb_2O_3 \geq 1\%$), amely azonban csak helyenként éri el az opakosításhoz szükséges koncentrációt, ott is valószínűleg akaratlanul, a tökéletlen keverés következtében. Találkozunk ugyanilyen kis réztartalmú, vélhetően kobalttal színezett kék üveggel a korai és középső avar gyöngyök között is, de ezek többnyire antimon-mentesek. A korai avar kék üveg elemzések közül kettőben találunk határozott antimon-tartalmat. Egyikük az SzO-19 minta kék dísze, amely tökéletlenül összekevert kétféle üvegből áll, (**1/b ábra**), és a régi, antimon tartalmú kék üveg újrafelhasználásáról tanúskodik. Antimon tartalmú az egyik korai avar egyszínű kék gyöngy is (Kfp-23), ez korábban vagy korábbi anyagból készülhetett. Másrészt a bizonytalan korú (Szarmata/Avar 1) egyszínű SzO-60 gyöngyben nincs antimon, ami ezt a gyöngyöt az avar korba sorolja. – A korai avar sírokban talált kék üvegek nagyobb részét réz színezi; találtunk ilyen gyöngyöt középső avar sírban is.

A *zöld* üveg ugyancsak kedvelt volt minden vizsgált korban. A szarmata és korai avar zöld üvegeket rézzel színezték, a középső avar korban rézzel is, réz nélkül is készítették. Nem találtunk összetételi vagy szöveti különbséget a különböző korú rézzel színezett zöld üvegek közt. Az egyik bizonytalan besorolású (Szarmata/Avar 2), S-9 jelű gyöngyben nincs réz, ez a középső avar korba tartozását valószínűsíti.

Az ismertetett anyagbeli különbségek lehetővé tették, hogy a bizonytalan besorolású sírokban talált gyöngyök többségét egyik vagy másik korba soroljuk. Mindössze három gyöngy maradt bizonytalan: két fekete Szarmata/Avar 1 (2-2 elemzéssel) és egy zöld Szarmata/Avar 2 besorolású. Néhány (3) esetben egy-egy üveggyöngy (Kfp-23, SzO-10, SzO-80) idősebbnek bizonyult a sírnál, amelyben találták, illetve a benne levő többi gyöngynél; ez magának a gyöngynek (vagy legalább az anyagának) újra felhasználását bizonyítja. A pontosított besorolás a **6. táblázat**ban látható.

Az üvegek típusa és eredete

A szóda és hamu típusú üvegeket más-más ömlesztő anyaggal készítették, tehát egyértelműen különböző eredetűek, bár a szódához közeli hamu típusúak esetleg a kétféle üveg keverékéből származhatnak. A vizsgált gyöngyök illetve díszítések többsége szóda típusú üvegből készült mind a szarmata, mind az avar korban, kivéve a szarmata vörös és narancssárga gyöngyöket, amelyek valamennyien hamu típusúak.

Mindkét típus előfordul a szarmata (és bizonytalan) zöld és fekete, valamint az avar kék, zöld, vörös, barna, fehér és fekete üvegek közt, durván 85%:15% arányban a szóda típus javára (**10. ábra**). A színezés módja független a típustól. Ez arra utal, hogy az üvegeket nem ugyanott készítették, mint ahol színezték: a színes üveget előállító műhelyek máshonnan származó "nyers" üveget, törött üveget vagy más üveghulladékot dolgoztak fel, és a színező műhelyek esetenként egymástól távol készült üveget színeztek ugyanolyan módon. Ez érthetővé teszi azt a megfigyelésünket is, hogy néhány korai avar díszített gyöngy különböző színei eltérő típusúak, ld. **11. ábra**. Ugyancsak az üveghulladék újra felhasználását tanúsítja néhány, feltűnően inhomogén üveg, pl. az **1/b ábrá**n látható kék dísz és a **7/d ábrá**n levő fekete gyöngy, (bővebben ld. Fórizs et al. 2006).

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

6. táblázat: A kor-besorolás javasolt pontosításai. Csak díszítetlen gyöngyökre. Az átsorolások többsége az üveg szövete és összetétele, a dőlt betűsök a sírban levő többi gyöngy alapján történtek.

Table 6.: Precise determination of uncertain ages, based mainly on textures and compositions of the beads

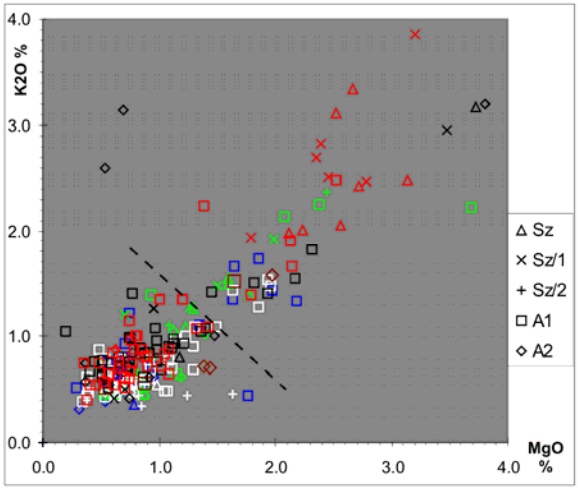
Gyöngy	Szín	Típus	Temető\sír	Kor (régészeti besorolás)	Gyöngy	Sír
					pontosított kora	
D-1	Narancs.	A	Deszk\31	Sz\A 1	Sz	Sz
D-2	Vörös	A		Sz\A 1	Sz	
Kfp-23	Kék	S	K*\9	Avar 1.	Sz[1]	Avar 1[3]
S- 9	Zöld	A	Szegvár-Sápoldal\2	Sz\A 2	Avar 2.	Avar 2.
S-10/a	Zöld	S		Sz\A 2	?	
S-10/b	Vörös	A		Sz\A 2	Sz[1]	
SzO-10	Vörös	A	SO**\114	Avar 1.	Sz	?[2]
SzO-36	Fehér	S	?	Sz\A 1	Sz	?[2]
SzO-12	Fehér	S	Szegvár-Oromdűlő \166	Avar 1.	Sz	Sz
SzO-63	Fehér	S		Sz\A 1	Sz	
SzO-64	Fehér	S		Sz\A 1	Sz	
SzO-65	Vörös	A		Sz\A 1	Sz	
SzO-66	Vörös	A		Sz\A 1	Sz	
SzO-67	Narancs.	A		Sz\A 1	Sz	
SzO-68	Narancs.	A		Sz\A 1	Sz	
SzO-69	Zöld	S		Sz\A 1	*Sz*[3]	
SzO-70	Vörös	A		Sz\A 1	Sz	
SzO-57	Vörös	A	Szegvár-Oromdűlő \608	Sz\A 1	Sz	Sz
SzO-58	Zöld	A		Sz\A 1	*Sz*[3]	
SzO-59	Kék	S	Szegvár-Oromdűlő \555	Avar 1.	Avar 1.	Avar 1.
SzO-60	Kék	S		Sz\A 1	Avar 1.	
SzO-61	Zöld	A		Sz\A 1	*Avar 1*[3]	
SzO-80	Fehér	S	SO**\890	Sz\A 1	Sz[1]	Avar 1[3]
SzO-82	Narancs.	A	SO**\916	Sz\A 1	Sz	Sz

Típus: S = szóda; A = hamu.
K* : Keszthely- Fenékpuszta Pusztaegyháza
SO** : Szegvár-Oromdűlő

Megjegyzések

[1]: Egy korábban készült gyöngy későbbi sírban. A sírban talált többi gyöngy későbbi.
[2]: A sírból nem vizsgáltunk több gyöngyöt
[3]: A sírban talált többi gyöngy szerint

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)



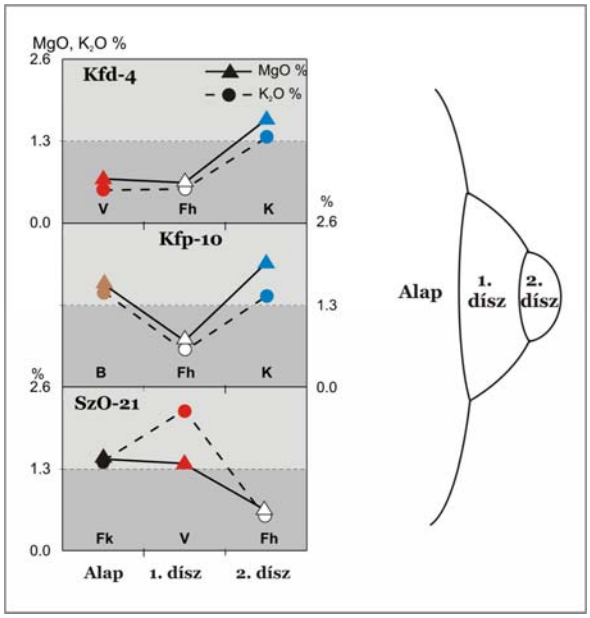
10. ábra: A kék, zöld, vörös, barna, fehér és fekete üvegek K_2O tartalma az MgO tartalom függvényében. Jelmagyarázat: Sz=Szarmata; Sz/1=Szarmata vagy Avar 1; Sz/2=Szarmata vagy Avar 2; A1=Avar 1; A2=Avar 2.

Fig. 10.: K_2O vs. MgO for blue, green, red, brown, white and black glasses. Explanations of symbols: Sz=Sarmatian; Sz/1=Sarmatian or Avar 1; Sz/2=Sarmatian or Avar 2; A1= Avar 1; A2=Avar 2.

A hajótörést szenvedett *Iulia Felix* feltárása óta ismeretes, hogy a római birodalomban nagy távolságra kiterjedő kereskedelem folyt az üveghulladékkal, ld. Silvestri (2008). Hasonló gyakorlat feltételezhető a birodalmon kívül is, erre azonban csak a korai középkorból van jelenleg adatunk (Callmer & Henderson 1991).

Az előbbiekkel szemben valamennyi szarmata vörös és narancssárga üveggyöngy hamu típusú. Ez kétféleképpen magyarázható: A valószínűbb magyarázat szerint olyan műhelyből származnak, ahol csak hamu típusú üveggel foglalkoztak. Maga az üveg és valószínűleg a színezés is a római birodalmon kívül készült, mert azon belül csak szóda típusú üveg készült. Viszont az is lehetséges, hogy színezés előtt az üveg szóda típusú volt, és a réz redukálására szolgáló adalék vitt be jelentős mennyiségű magnéziumot és káliumot, valamint foszfort és kalciumot. Ebben az esetben ezek a gyöngyök akár a római birodalmon belül is készülhettek. Ilyen adalékot vagy eljárást azonban jelenleg nem ismerünk.

Stawiarska (1984) ugyanebből a korból (1-5. sz) a mai Észak-Lengyelország területén talált gyöngyök színe és típusa közt hasonló összefüggést tapasztalt: a vörösek és narancssárgák hamu, a más színűek túlnyomórészt szóda típusúak. Ezek ugyanonnan származhattak, mint a Magyarországon talált szarmata gyöngyök, de legalábbis ugyanazt az üvegkészítő *és* színező eljárást alkalmazták. Érdekes, hogy a mai Dél-Svédországban kb. 500 évvel később, a 8. sz-ban még mindig hamu típusú



11. ábra: Három, különböző típusú üvegekből készült díszített gyöngy MgO és K_2O tartalma a díszített alapban és a díszekben. A világosszürke mezők a „hamu", a sötétebbek a „szóda" típust jelölik. Színek: B = barna, Fh = fehér, Fk = fekete, K = kék, V = vörös.

Fig. 11.: MgO and K_2O contents in the base ('Alap') and in the decorations ('1. dísz' and '2. dísz') for three beads made of different types of glasses. Light grey fields mark "ash" type, darker fields mark "soda" type glasses. Colours: B=brown; Fh=white; Fk=black; K=blue; V=red.

vörös és narancssárga üveget használtak szóda típusú más színű üvegekkel együtt Callmer & Henderson (1991) vizsgálatai szerint. Nyugat-Európában viszont ekkor már a vörös és narancssárga is szóda típusú üvegből készült Sablerolles et al. (1997) és Heck & Hoffmann (2000) alapján, a mai Magyarország területén talált vörös avar gyöngyökhöz hasonlóan.

A vörös opak üveg előállítása

A szarmata és az avar kori vörös üveg nemcsak különböző típusú anyagból, hanem különböző eljárással is készült. Mindkettőt rézzel színezték, amely oxidált (kétértékű ionos, Cu^{2+}) állapotban kékre vagy zöldre, redukált (egyértékű ionos, Cu^{+} vagy fémes, Cu^{0}) állapotban vörösre festi az üveget. A kék üveg előállítására már nagyon régóta használtak rezet, ha közben a kobalt ki is szorította, de a korai avar gyöngyök készítői visszatértek hozzá és a szarmata zöld gyöngyöket is rézzel színezték. Az áttetsző kék és zöld üvegekben a réz oldott állapotban van jelen, ezt már a Kr.e. 2. évezredtől meg tudták valósítani.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

A vörös színt okozó apró (<1µm) fémes állapotú réz vagy $Cu^{+}_{2}O$, réz(I)-oxid kiválások létrehozásához először a rezet – a kék üveghez hasonlóan – $Cu^{2+}O$ formában az üveg olvadékban föloldották, majd redukálták. A keletkezett réz vagy réz(I)-oxid az üvegből kivált és apró kristályokat képezve hozta létre az opak vörös színt, ahogy az elektron-mikroszondával készült képeken láthattuk. (A narancssárga üvegekben szintén megtaláltuk az apró rézdús kiválásokat.) A redukálás technológiájával már korábbi cikkünkben is foglalkoztunk (Fórizs et al. 1999).

Az *avar* üvegek esetén a redukálást vassal végezték, amit a vastartalmú zárványok megjelenése és a nagyobb vastartalom egyértelműen bizonyít. A reakcióképesebb vas a réz(II)-oxidot redukálta, eközben maga oxidálódott és a legtöbb esetben a szilikáttal is reakcióba lépett, ami jól látszik a **3/b ábrá**n.

Arról viszont, hogy a *szarmata* vörös – és narancssárga – üvegekben a rezet hogyan redukálták, nincs ismeretünk. Lehet, hogy a Brill & Cahill (1988) által, ókori mezopotámiai leírás alapján közölt eljárást alkalmazták: a színezéshez rezet használtak, az üveget zárt kemencében füstös tűzzel sokáig melegítették és ugyanott hagyták lehűlni. A „füstös tűz” (smoky fire) redukáló légkört biztosított és a füsttel esetleg fahamu részecskék is kerültek az üveg-olvadékba, növelve az üveg magnézium- és kálium-tartalmát. De alkalmazhattak más, jelenleg ismeretlen módszert vagy adalékot is a szarmata vörös és narancssárga üveg készítői és az sem kizárt, hogy az eredetileg sziksóval készült („szóda” típusú) üveg magnézium- és kálium-tartalma az adalék hatására nőtt meg a „hamu” típusúra jellemző mértékűvé. A szarmata kori eljárásnak azonban elektron-mikroszondával vagy röntgendiffrakcióval kimutatható nyomát nem ismerjük.

A vassal redukálás elméleti lehetőségét már Brill & Cahill (1988) fölvetette, de véleményük szerint az általuk vizsgált vörös üvegeknél nem alkalmazták, ugyanis a vastartalmuk nem különbözött az ugyanonnan származó más színű üvegekétől. Sablerolles et al. (1997) viszont a mai Hollandiában talált, 6-7. sz-ból származó üvegek esetén azt észlelték, hogy a vörös opak üvegek vastartalma kb. 2%-kal nagyobb a többi üvegénél, ebből következtettek a vas, mint redukáló szer alkalmazására. Írországban 6-8. sz-i vörös üvegeknél hasonlót tapasztaltak. Érdekes, hogy az üvegben megtalálták a színező fémes rezet és a réz(I)-oxidot, de vastartalmú zárványokat nem említenek. A redukáló vas maradványait a keletkezett réz vagy réz(I)-oxid kiválásokkal körülvéve bemutató képeket és ezzel a folyamat közvetlen igazolását – ismereteink szerint – először jelen szerzők publikálták (Fórizs et al. 1999), magyarul. Ugyanezt a jelenséget láthatjuk Heck & Hoffmann (2000) barna üvegről készült képén.

Díszített gyöngyök

A korai avar sírokban az egyszínűek mellett sok, különböző színekkel díszített üveggyöngy található; ilyenek a középső avar sírokban csak elvétve, szarmata sírokban sohasem fordultak elő. Azt, hogy milyen színű gyöngyöket díszítettek és milyen színekkel (ld. **7. táblázat**), elsősorban a divat határozhatta meg, de bizonyára befolyásolták a színezett üvegek tulajdonságai (olvadási ill. lágyulási hőmérséklet, színtartósság stb.) is, amelyekre hatással van az üveg összetétele.

7. táblázat: Az elemzések száma szín és díszítettség szerint korai avar gyöngyökön.

Table 7.: Number of glass analyses by colours for monochrome beads, decorated bases and decorations for Avar 1 beads.

	Egyszínű gyöngy	Díszített alap	Dísz
Kék	4	1	23
Zöld*	9	1	3
Vörös	1	30	8
Sárga	11	1	27
Barna	1	3	–
Fehér	–	8	39
Fekete	12	29	–

*: Kékeszölddel együtt

Megvizsgáltuk, hogy különbözik-e a díszek anyaga az ugyanolyan színű díszített alap vagy egyszínű gyöngyökétől. Közvetlen összehasonlítást csak a Kfd-21 mintánál lehetett tenni, amelynek fehér alapja és dísze közt nincs különbség, ld. **8/b ábra**. Ez az ábra viszont azt sugallja, hogy a fehér díszek többsége ólomban gazdagabb, mint a fehér alapok.

A kék díszek ólomtartalma ugyancsak nagyobbnak látszik, mint az egyszínű kék gyöngyöké, ld. **2/c ábra**. Kisebb-nagyobb különbségeket a többi színnél is megfigyelhetünk.

Annak eldöntésére, hogy a különbségek ténylegesek vagy a véletlen ingadozás következményei, statisztikai *t-próbát* végeztünk az ólomtartalmakra és a színező elemekre, eredményét a **8. táblázat** mutatja be. Eszerint az ólomtartalmakban szignifikáns különbségek észlelhetők: annak valószínűsége, hogy a különbséget véletlen ingadozás okozta, többnyire 5%-nál kisebb (a sárga üveg esetén p=7,7%). A kék, zöld és fehér díszek ólomban dúsabbak, a vörös és sárga díszek szegényebbek, mint az egyszínűek vagy a díszített

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

8. táblázat: A díszek és az ugyanolyan színű egyszínű (díszítetlen) vagy alapul szolgáló gyöngyök összehasonlítása t-próbával ólomra és a színező elemekre

Table 8.: Comparison of decorations with monochrome or base beads of the same colour for lead and colouring element contents by t-probe

Szín		Dísz	Gyöngy		t-érték	p
		Átl±sz, %		Átl±sz, %		
Kék, mind	PbO	1,7 ±1,4	M	0,6 ±0,3	3,309	0,003
Kék, réztart.	PbO	2,2 ±1,3	M	0,7 ±0,4	3,865	0,018
Zöld*	PbO	2,6 ±0,7	M	1,5 ±0,8	2,291	0,045
Vörös	PbO	3,2 ±1,8	B	5,4 ±4,6	2,075	0,047
Sárga	PbO	42,5 ±6,6	M	46,3 ±5,3	1,854	0,077
Fehér	PbO	4,0 ±2,5	B	2,7 ±0,9	2,518	0,017
Kék, mind	CuO	2,0 ±1,5	M	1,1 ±1,1	1,292	0,253
Kék, réztart.	CuO	2,6 ±1,2	M	2,0 ±1,0	0,863	0,547
Zöld*	CuO	2,9 ±1,4	M	2,5 ±1,0	0,460	0,691
Vörös	CuO	1,9 ±0,6	B	2,1 ±0,6	0,818	0,430
Vörös	FeO	3,5 ±0,8	B	4,7 ±1,9	2,582	0,016
Sárga	SnO_2	3,7 ±1,7	M	3,8 ±1,6	0,260	0,797
Fehér	SnO_2	3,2 ±2,2	B	2,9 ±2,2	0,321	0,755

*: Kékeszölddel együtt

M: Egyszínű, díszítetlen
B: Díszített alap
p: Annak valószínűsége, hogy az észlelt különbséget véletlen ingadozás okozta

alapok. A színező elemek közül viszont csak a vörös üveg vastartalma különbözik egyértelműen (p=1,6%) a díszített alapok javára. (Hasonló megfigyeléssel az irodalomban nem találkoztunk, azonban Henderson & Warren (1981) adataiból kiderül, hogy a Dél-Angliában talált, Kr.e. 3-1. sz.-i gyöngyökön levő sárga díszekben kevesebb az ólom, mint az ugyancsak sárga üveggyöngyökben.)

A vörös üvegek vastartalmának különbsége könnyen megmagyarázható: Díszítés közben az alap gyöngyök hosszabb ideig lehettek (az oxidáló hatású) levegőn magas hőmérsékleten, mint a dísznek szánt üveg. A vörös alapok nagyobb vastartalma erősebben védte az üvegben levő rezet az oxidálódástól és az emiatt bekövetkező – nem kívánt – elszíneződéstől a díszítés során.

Az ólomtartalmak eltérésének magyarázata nehezebb kérdés. Az ólom hozzáadása egyrészt könnyebben megmunkálhatóvá teszi az üveget az olvadási ill. lágyulási hőmérséklet csökkentésével, másrészt módosítja a színeket (Wedepohl 1997; Fiori & Vandini 2004). Az összetételből kiindulva a lágyulási hőmérséklet meghatározására Fluegel (2007) megadott egy számítási módszert. Ezt extrapolálva a szóban forgó üvegeink összetételére megbecsülhetjük az ólom hőmérsékletcsökkentő hatását. Becslésünk szerint 1% PbO-növelés hatására a hőmérséklet csökkenése kb. 4°C. Ez kicsinek látszik, ezért úgy véljük, hogy az ólomtartalom változtatásával inkább a szín módosítása vagy – méginkább – a szín tartósságának kedvező befolyásolása volt a cél, a vörös üveg vastartalmához hasonlóan.

Záró gondolatok

Nagyszámú színes üveggyöngy elektron-mikroszondás és röntgen-pordiffrakciós vizsgálatával és az eredményeknek a szakirodalomban található információkkal való összevetésével új ismeretekhez jutottunk az ókori és kora középkori üvegszínezési eljárásokról. Az észlelt különbségek alapján pontosítani tudtuk a bizonytalanul besorolható sírok korát, illetve néhány esetben többszáz évvel korábban készült tárgy ismételt használatát mutattuk ki. Leírtuk ezen kívül a díszített üveggyöngyök egy, eddig még meg nem figyelt tulajdonságát. A vizsgálatainkkal nyert vagy nyerhető információ egy részét – így a zárványok és kiválások által hordozottakat – nem részleteztük részben terjedelmi okokból, részben azért, mert további vizsgálatok lennének szükségesek. Az újabb vizsgálatok a meglevő, előkészített mintákon elvégezhetőek, nem feltétlenül lenne szükség újabb műtárgyak

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

bevonására. Az elektron-mikroszondának ugyanis fontos tulajdonsága, hogy a már előkészített mintát egyáltalán nem roncsolja, ezért a mérések kétség esetén megismételhetőek, további részletekre vagy új szempontokra kiterjeszthetőek, vagy más módszerekkel, a rohamosan fejlődő újabb és érzékenyebb műszerekkel újabb vizsgálatok végezhetőek ugyanarról a tárgyról.

Köszönetnyílvánítás

Ezúton is köszönetet mondunk a Keszthelyi Balaton Múzeumban Müller Róbert régésznek és Havasi Bálint igazgatónak a Keszthely-Fenékpusztáról, a Szegedi Móra Ferenc Múzeumban Lőrinczy Gábor régésznek a Deszkről és a Szegvárról, Rózsa Zoltán régésznek a Csongrád-Felgyőről, Vörös Gabrielle régésznek a szentesi Madaras-halmokról, Ódor János régésznek a Szekszárd, Bogyiszló útról, Fancsalszky Gábor régésznek a tiszavasvári Petőfi utcából, és Vaday Andrea régésznek a Tiszaföldvárról származó gyöngyök rendelkezésünkre bocsátásáért. Ezt a munkát az Országos Tudományos Kutatási Alap T-025119 sz. programja támogatta.

Irodalom

ARLETTI, R., VEZZALINI, G., BIAGGIO SIMONA, S., MASELLI SCOTTI, F. (2008): Archaeometrical studies of Roman Imperial Age glass from Canton Ticino. *Archaeometry* 50, 606-626.

BIRON, I. & PIERRAT-BONNEFOIS, G. (2007): The Egyptian blue glass head: revealing a forgery. *Actualite Chimique* **No. 312-13**, 47-52.

BRILL, R.H. & CAHILL, N.D. (1988): A red opaque glass from Sardis and some thoughts on red opaques in general. *J. Glass Studies* **30**, 16-27.

BRUN, N. & PERNOT, M. (1992): The opaque red glass of Celtic enamels from Continental Europe. *Archaeometry* **34 (2)**, 235-252.

CALLMER, J. & HENDERSON, J. (1991): Glassworking at Åhus, S. Sweden (Eighth century AD). *Laborativ Arkeologi* **5**, Stockholm, 143-154.

DEGRYSE, P., SCHNEIDER, J., POBLOME, J., WAELKENS, M., HAACK, U. & MUCHEZ, Ph. (2005): A geochemical study of Roman to early Byzantine Glass from Sagalassos, South-west Turkey. *Journal of Archaeological Science* **32**, 287-299.

DEGRYSE, P., SCHNEIDER, J., HAACK, U., LAUWERS, V., POBLOME, J., WAELKENS, M., MUCHEZ, Ph. (2006): Evidence for glass 'recycling' using Pb and Sr isotopic ratios and Sr-mixing lines: the case of early Byzantine Sagalassos. *Journal of Archaeological Science* **33**, 494-501.

DUSSIBIEUX, L., KUSIMBA, C.M., GOGT, V., KUSIMBA, S.B., GRAUTZE, B., OKA, R. (2008): The trading of ancient glass beads: New analytical data from South Asian and East African soda-alumina glass beads. *Archaeometry* **50,** 797-821.

FIORI, C. & VANDINI, M. (2004): Chemical composition of glass and its raw materials: Chronological and geographical development in the first millenium A.D. *In: Beretta M.(ed.): When glass matters* Firenze, 151-194,.

FLUEGEL, A. (2007): Glass viscosity calculation based on a global statistical modelling approach. *Glass Technology: European Journal of Glass Science and Technology Part A* **48 (1)**, 13-30.

FÓRIZS I., TÓTH M., NAGY G., PÁSZTOR A. (1999): Avar kori üveggyöngyök röntgen-diffrakciós és elektronmikroszondás vizsgálata. Alapadatok az üveggyöngyök genetikájához. Vörös opak üveg. In: *A népvándorláskor fiatal kutatói 8. találkozójának előadásai. Szerk./Editor: S. Perémi Á),* 87-110, Veszprém.

FÓRIZS I., PÁSZTOR A., TÓTH M., NAGY G. (2000a): Avar kori üveggyöngyök röntgen-diffrakciós és elektronmikroszondás vizsgálata. Alapadatok az üveggyöngyök genetikájához. III. Az üveggyöngyök zárványai. *Heves Megyei Régészeti Közlemények* **2**, 147-171.

FÓRIZS I., PÁSZTOR A., NAGY G., TÓTH M. (2000b): Avar kori üveggyöngyök röntgendiffrakciós és elektron-mikroszondás vizsgálata. Alapadatok az üveggyöngyök genetikájához IV. Miből és hogyan? In: Hadak Útján. *A népvándorlás kor fiatal kutatóinak 10. konferenciája, Domaszék, 1999. szept. 27-30. Szerk.: Bende L., Lőrinczy G., Szalontai Cs.,* Szeged, 321-340.

FÓRIZS I., PÁSZTOR A., TÓTH M., NAGY G. (2001a): Avar kori üveggyöngyök röntgendiffrakciós és elektron-mikroszondás vizsgálata. (Alapadatok az üveg- gyöngyök genetikájához I.) In: *„Együtt a Kárpát-medencében". A Népvándorláskor Fiatal Kutatóinak VII. Összejövetele, Pécs, 1996. szept. 27-29. Szerk.: Kiss M., Lengvári I.,* Pécs, 49-68.

FÓRIZS I., PÁSZTOR A., NAGY G., TÓTH M. (2001b): Avar és szarmata gyöngyök Csongrád megyéből. Az anyaguk is különbözik vagy csak a típusuk? In: *Hadak útján XII. A népvándorlás kor fiatal kutatói konferenciájának előadásai, Simontornya, 2001. szept. 3-5. Szerk.: Gaál A., A Wosinsky Mór Múzeum Évkönyve* **XXIII**, Szekszárd, 81-89.

FÓRIZS I., PÁSZTOR A., NAGY G., TÓTH M. (2006): Üveganyag újrafelhasználása az avar és

szarmata kori üveggyöngyök mikroszöveti és (geo)kémiai vizsgálata tükrében. *Arrabona Múzeumi Közlemények* **44/1**, 14-150.

FOSTER, H.E. & JACKSON, C.M. (2009): The composition of 'naturally coloured' late Roman vessel glass from Britain and the implications for models of glass production and supply. *Journal of Archaeological Science* **36**, 189-204.

FREESTONE, I.C. (2005): The provenance of ancient glass through compositional analysis. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol. **852**, OO8.1.1-OO8.1.14.

GALIBIN, V.A. (2000): Khimicheskij sostav stekla iz pamyatnikov vostochnoj Evropii (V-X vv.) In: *Kovalevskaya V.B.: Komp'yuternaya obrabotka massovogo arkheologicheskogo materiala iz rannesrednekovykh pamyatnikov Evrazii.* Rossijskaya Akademiya Nauk, Institut Arkheologii, Moskva, 244-256.

GARCIA-HERAS, M., RINCON, J.Ma., JIMENO, A., VILLEGAS, M.A. (2005): Pre-Roman coloured glass beads from the Iberian Peninsula: a chemico-physical characterisation study. *Journal of Archaeological Science* **32**, 727-738.

HATTON, G.D., SHORTLAND, A.J., TITE, M.S. (2008): The production technology of Egyptian blue and green frits from second millennium BC Egypt and Mesopotamia. *Journal of Archaeological Science* **35**, 1591-1604.

HARTMANN, G., KAPPEL, I., GROTE, K., ARNDT, B. (1997): Chemistry and technology of Prehistoric glass from Lower Saxony and Hess. *Journal of Archaeological Science* **24**, 547-559.

HECK, M. & HOFFMANN, P. (2000): Coloured opaque glass beads of the Merovingians. *Archaeometry* **42 (2)**, 341-357.

HECK, M., REHREN, TH., HOFFMANN, P. (2003): The production of lead-tin yellow at Merovingian Schleitheim (Switzerland). *Archaeometry* **45 (1)**, 33-44.

HENDERSON, J. & WARREN, S.E. (1981): X-ray fluorescence analyses of iron age glass: beads from Meare and Glastonbury Lake villages. *Archaeometry* **23 (1)**, 83-94.

LÁSZLÓ Gy. (1978): *A „kettős honfoglalás"*. Magvető Kiadó, Budapest.

MIRTI, P., LEPORA, A., SAGUI, L. (2000): Scientific analysis of seventh-century glass fragments from the Crypta Balbi in Rome. *Archaeometry* **42**, 359-374.

MIRTI, P., PACE, M., NEGRO PONZI, M.M., ACETO, M. (2008): ICP-MS analysis of glass fragments of Parthian and Sasanian epoch from Seleucia and Veh Ardasir (Central Iraq)**.** *Archaeometry* **50**, 429-450.

PÁSZTOR A. (1996): A magyarországi kora és közép avar kori gyöngyök tipológiai vizsgálata. *MFMÉ –StudArch* **II**, 195-220.

PÁSZTOR, A. (1997): Typologische Untersuchung der früh- und mittelawarenzeitlichen Perlen aus Ungarn. (A typological analysis of beads of the Early and Middle Avar period from Hungary). In: *Perlen. Archäologie, Techniken, Analysen. Akten des Internationalen Perlensymposiums in Mannheim 1994. Freeden, U., Wieczorek, A. (Hrsg.),* Bonn, 213-230.

PÁSZTOR, A. (2008): Ergebnisse der typochronologischen Untersuchung awarenzeitlicher Perlenfunde in Ungarn. Perlentracht in der Früh- und Mittelawarenzeit. *Antaeus* **29-30**, 307-324.

PLINIUS SECUNDUS, C. (2001): *Természetrajz (XXXIII-XXXVII.) Az ásványokról és a művészetekről*. Enciklopédia Kiadó, Budapest.

REHREN, Th. (1997): Ramesside glass colouring crucibles. *Archaeometry* **39 (2)**, 355-368.

SABLEROLLES, Y., HENDERSON, J., DIJKMAN, W. (1997): Early medieval glass bead making in Maastricht (Jodenstraat 30), The Netherlands. An archaeological and scientific investigation. In: *Perlen. Archaeologie, Techniken, Analysen. Akten des Internationalen Perlensymposiums in Mannheim 1994. Freeden, U., Wieczorek, A. (Hrsg.),* Bonn, 293-313.

SHORTLAND, A.J. & EREMIN, K. (2006): The analysis of second millenium glass from Egypt and Mesopotamia, Part 1: New WDS analyses. *Archaeometry* **48 (4)**, 581-603.

SHORTLAND, A.J. & TITE, S. (2000): Raw materials of glass from Amarna and implications for the origins of Egyptian glass. *Archaeometry* **42**, 141-151.

SHORTLAND, A.J. & SCHROEDER, H. (2009): Analysis of first millenium BC glass vessels and beads from the Pichvnari necropolis, Georgia. *Archaeometry* **51 (6)**, 947-965.

SHUGAR, A.N. (2000): Byzantine opaque red glass tesserae from Beit Shean, Israel. *Archaeometry* **42 (2)**, 375-384.

SILVESTRI, A. (2008): The coloured glass of Iulia Felix. *Journal of Archaeological Science* **35**, 1489-1501.

SILVESTRI, A., MOLIN, G., SALVIULO, G. (2005): Roman and medieval glass from the Italian area: Bulk characterization and relationships with production technologies. *Archaeometry* **47**, 797-816.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)

SILVESTRI, A., MOLIN, G., SALVIULO, G., SCHIEVENIN, R. (2006): Sand for Roman glass production: an experimental and philological study on source of supply. *Archaeometry* **48**, 415- 432.

SILVESTRI, A., MOLIN, G. SALVIULO, G. (2008): The colourless glass of Iulia Felix. *Journal of Archaeological Science* **35**, 331-341.

STASSIKOVA-STUKOVSKA, D. & PLSKO, A. (1997): Typologische und technologische Aspekte der Perlen aus dem frühmittelalterlichen Gräberfeld in Borovce. In: *Perlen. Archaeologie, Techniken, Analysen. Akten des Internationalen Perlensymposiums in Mannheim 1994*. *Freeden, U., Wieczorek, A. (Hrsg.),* Bonn, 259-274.

STAWIARSKA, T. (1984): Szkla z okresu wplywow rzymsich z polnocej Polski. (Glasses from Roman period excavated in Northern Poland. A chemical assays.) *Bibliotheca Antiqua* **Vol. 19.** Polska Akademia Nauk, Insytut Historii Kultury Materialnej, Wroclaw.

WATKINSON, D., WEBER, L., ANHEUSSER, K. (2005): Staining of archaeological glass from manganese-rich environments. *Archaeometry* **47 (1)**, 69-82.

WEDEPOHL, K.H. (1993): Die Herstellung mittelaltlicher und antiker Gläser. Akademie der Wissenschaften und der Literatur, *Abandlungen der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse*, **Jg. 1993, Nr. 3**, 1-38.

HU ISSN 1786-271X; urn: nbn: hu-4106 © by the author(s)