

## Három szkíta kori üvegyöngy archeometriai vizsgálata

### 1. Bevezetés

Tanulmányom keretében három szkíta kori dudoros pávaszemes gyöngyöt [1. tábla 1.] vizsgáltam meg régészeti és archeometriai módszerekkel,<sup>1</sup> melyek segítségével a Kárpát-medencei szkíta jellegű Vekerzug kultúra kapcsolatai is feltérképezhetőek. A leletek Mezőtúron kerültek elő embercsontok mellől, a lelőköri körülmények alapján a Kr.e. 5. századra keltezhetőek. E gyöngyökben valószínűleg ritka keleti importokat tisztelhetünk, hiszen általánosan elterjedt nézet a régészeti kutatásban, hogy a hasonló és ritka üvegekszerek a Fekete-tenger mellékéről származnak. Ugyanakkor ezzel ellentétes, más elméleteket is ismerünk (például helyben készültek). Ezért kísérletet tettem arra, hogy e három, a szolnoki Damjanich János Múzeumból kölcsönzött üvegyöngy provenienciáját körülhatároljam. Egy másik fontos célunk volt, hogy a Magyarországon eddig csak kevés esetben született archeometriai vizsgálatok<sup>2</sup> mellett a régió vaskorának archeometriai adatbázisát is megalapozzuk.

A minél alaposabb kutatás érdekében az általam fellelhető régészeti irodalom alapján az eredethez vezető első lépésként megnéztem a gyöngyök elterjedését, majd áttekintettem a lehetséges eredeztetését. A már említett elméletek igazolása vagy cáfolata céljából különböző archeometriai vizsgálatokat vontunk be a kutatásba, melyek egymás kiegészítésére is szolgáltak: kézi röntgenfluoreszcens spektrometria, elektron-mikroszkópia, mikro-röntgendiffrakció és röntgen-pordiffrakció. A vizsgálatokat az MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézetében végeztük. Fontos szempont volt az alapüveg és a színezők, azaz a gyöngyök összetételének megállapítása, mikroszövetük tanulmányozása. Mindezek utalhatnak korszakra, gyártó centrumra, de csak abban az esetben, ha az archeometriai irodalom alapján megtaláljuk párhuzamaikat. Mindezen eredményeket végül összevettem régészeti ismereteinkkel.

<sup>1</sup> A tanulmány elkészítésében nyújtott segítségért szeretném köszönetemet kifejezni Tóth Máriának (nyugalmozott, tudományos főmunkatárs, MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézet), Főrizs Istvánnak (tudományos főmunkatárs, MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézet), Bajnóczi Bernadettnek (tudományos főmunkatárs, MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézet), Kulcsár Valériának (egyetemi docens, SZTE BTK Régészeti Tanszék), Tárnoki Juditnak (régész, DJM) Szabó Máténak (intézeti mérnök, MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézet), Varga Tímeának (festő-restaurátor, Magyar Képzőművészeti Egyetem), Mozgai Viktóriának (tudományos segédmunkatárs, MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézetének) és Sztankovánszki Tibornak (régésztechnikus, MFM).

<sup>2</sup> FŐRIZS et al. 1999; FŐRIZS et al. 2012; FŐRIZS et al. 2012a; ILON–KASZTOVSZKY 2016; VARGA 1992; NAGY et al. 2010.

## 2. A vizsgált leletek

A Mezőtúr–Újváros, Mészáros-telep (Jász-Nagykun-Szolnok megye) lelőhelyen előkerült leleteket Kozák Lajos küldte be a szolnoki Damjanich János Múzeumba 1963. november 19-én. Feltételezhetően embercsontok mellől kerültek elő, tehát korhasztásos sírból. Lelőkörülményeikről közelebbit nem tudunk. Elképzelhető, hogy nem került minden lelet a múzeumba. Leletek: öntött bronzfibula (A. G. Mansfeld-féle F1 alapformájú, B típusú Fußzierfibel), 3 aranyflitter, 13 darabból álló szemes üvegyöngy nyaklánc, 50 átfűrt fehér kauri gyöngy, 16 üvegyöngyből álló lánc, bekarcolt háromszögekkel díszített csonthenger, egy bronztárgy 2 töredéke és egy agyagedény. Ezek alapján a sír a Kr.e. 5. századra keltezhető (Ha D–LT A) és a szkítákhoz köthető. Vizsgálatok céljára 3 szkíta, henger alakú pávaszemes gyöngyöt választottam (DJM ltsz.: 63.263.1). Leltári számuk azonosságá miatt a vizsgálat alatt a Szolnok 1–2–3 megnevezéseket alkalmaztuk.<sup>3</sup>

### 2.1. Szolnok 1

Opak, kissé fakó okkersárga, henger alakú pávaszemes gyöngy, melyet alul és felül is két sorban 7–7 átlátszatlan sárga dudorral díszítettek. Egy dudornak csak a helyét láttam. A pávaszemek (7) kialakításához opak fehér és kék üveget használtak. A sárga test masszív, külső felszíne korrodált, kopott, fényes, felületén szürke márványmintázat látható. A test dudorait a benyomott részeknél fekete kéreg fedi, helyenként egy halványpiros vagy borostyánszínű pontot találtam. A pávaszemek kék része gyakran feketének tűnik, a fehér rész felső rétegei porózusabbak. A gyöngy alsó részén szürkés elszíneződés figyelhető meg. A gyöngy belső felülete erősen korrodált, szemcsés volt. A lyuk peremei kissé töredezttek. Méretei: h.: 3,6 cm, átm. (d): 3,1 cm.

### 2.2. Szolnok 2

Opak okkersárga, henger alakú pávaszemes gyöngy, melyet alul és felül is két sorban 7–7 átlátszatlan sárga dudorral díszítettek. A laposabb pávaszemek (7) kialakításához opak fehér és kék üveget használtak. A sárga test masszív, külső felszíne kevésbé korrodált, kopott, fényes. A test dudorait a benyomott részeknél fekete kéreg fedi, helyenként kevesebb, halványpiros vagy borostyánszínű pontot találtam. A pávaszemek kék része gyakran feketének tűnik, a fehér rész felső rétegei porózusabbak. A gyöngy belső felülete erősen korrodált, szemcsés volt. A lyuk peremei és néhány dudor kissé töredezett. Méretei h.: 3,5 cm, átm. (d): 2,8 cm.

### 2.3. Szolnok 3

Opak okkersárga, henger alakú pávaszemes gyöngy, melyet alul és felül is két sorban 7–7 átlátszatlan sárga dudorral díszítettek. Az igen kiemelkedő pávaszemek (7) kialakításához opak fehér és kék üveget használtak. A sárga test masszív, külső felszíne a három gyöngy

<sup>3</sup> KISFALUDI 1983, 69, 71, 73; KEMENCZEI 2009, 88–90.

közül a legkevésbé korrodált, de kopott, fényes, felületén szürke márványmintázat látható. Megfigyeltünk fehér betöltésű gödröcskéket is. A test dudorait a benyomott részeknél fekete kéreg fedi, helyenként egy halványpiros vagy borostyánszínű pontot találtam. A pávaszemek kék része gyakran feketének tűnik, a fehér rész felső rétegei porózusabbak. A gyöngy belső felülete erősen korrodált, szemcsés volt, egy helyen agyagdarabokat is találtam. A lyuk peremei kissé töredezettek. Méretei h.: 3,4 cm, átm. (d): 3,0 cm.

### 3. A gyöngyök elterjedése és eredete

A gyöngyök elterjedését elsősorban a mai Magyarország területén belül vizsgálom meg, csak egyetlen esetben tekintek ki a Kárpát-medence hazánkon kívüli részébe. Természetesen az eredet kapcsán a kelet-közép-európai régiót és a Fekete-tenger mellékét is szemügyre veszem.

Kemenczei Tibor gyűjtése alapján összesen négy Kárpát-medencei lelőhelyét [1. tábla 2.] ismerjük a dudoros pávaszemes gyöngyöknek, melyek a szkítákhoz köthetőek: Hetény (Chotín, Szlovákia), Mezőtúr–Újváros, Szentes–Vekerzug, Törökszentmiklós–Surján. Az előkerült üvegyöngyök alapvetően sárga hengeres testűek, ennek közepén kék és fehér pávaszemekkel, alul és fölül két sorban 7–7 sárga dudorral ellátottak.<sup>4</sup> A hetényi temetőből előkerült üvegszerek azonban nem pontos formai és színbeli másai a tárgyalt típusnak, ezért a továbbiakban csak a három magyarországi lelőhellyel, illetve gyöngyeivel foglalkozom.<sup>5</sup>

A szentesi és törökszentmiklói gyöngyök szórthamvas rítusú sírokból, gazdag mellékletek (például karperecek, Cypraea gyöngyök, kettős pávaszemes gyöngyök) mellől kerültek elő. A mezőtúri egyetlen sír rítusát tekintve azonban egyedi: az összesen napvilágot látott 13 dudoros pávaszemes gyöngy mellett ugyanis embercsontokat találtak. A leletegyüttes tehát szórványként kezelhető. A szentesi sír esetében bizonyított, hogy az elhunyt neme nő volt. A temetők korát a Kr.e. 6/5. századra keltezte Párducz Mihály, a Kr.e. 6–5. századra Csalog Zsolt és Kisfaludi Júlia, illetve a Kr.e. 5. század második felére Kisfaludi Júlia.<sup>6</sup> Hangsúlyos, hogy ez egy időhorizontot, de nem egy fázist jelent. Összességében a Közép-Tisza-vidékre lokalizálhatók a ritka leletek, de ez alapján elterjedési útvonal nem vázolható fel.

Ha az európai régiót, valamint a Földközi-tenger mellékét és a Közel-Keletet nézzük meg, látható, hogy időben és térben is széles területen jelennek meg az egyszerű szemes gyöngyök és ritka, dudoros változataik.<sup>7</sup> A két gyöngytípus közti rokonság miatt eredetüket gyakran egy lapon tárgyalják, ami akkor jelent problémát, ha kizárólag a dudorosokat szeretnénk vizsgálni. Ez jellemző a szkíta leletanyagra is, ahol az egyszerű változatok, amelyek szintén sárga alaptesten kék és fehér pávaszemekkel díszítettek, gyakori típusok.<sup>8</sup> E két csoportot szokták a „maszkos/„fejes” gyöngyök elődeiként is említeni, melyek formailag, technológiai kivitelezésükben, valamint hasonló apotropaikus funkciójukat tekintve azonos eredetre vezethetők vissza. Erre többek között Hunyadi Ilona, később Natalie Venclová

<sup>4</sup> KEMENCZEI 2009, 88–90.

<sup>5</sup> DUŠEK 1966, Taf. LXII. 6.

<sup>6</sup> CSALOG–KISFALUDI 1985, 311, 342; KISFALUDI 1983, 69, 72; PÁRDU CZ 1954, 25, 32, IX–XI. tábla.

<sup>7</sup> EREMIN et al. 2012, 35; VARBERG et al. 2015, 174.

<sup>8</sup> KEMENCZEI 2009, 89.

hívta fel a figyelmet, de a párhuzamokra Kisfaludi Júlia is felfigyelt. Venclová a csehországi (Lochovice, Tvršice, Vicensice), HaD/LT A korú dudoros pávaszemes gyöngyöket egyébként a „dél-oroszországi” maszkos gyöngyök csoportjával hozta összefüggésbe.<sup>9</sup>

A magyarországi kutatásban Hunyadi után Bottyán Árpád a szemes gyöngyök rövid leírásakor kaukázusi párhuzamaikat említette.<sup>10</sup> Ezzel szemben Mikuláš Dušek égei eredetüket hangoztatta a mészkőgyöngyökkel egyetemben. Szerinte a gyöngyökhöz a trákok és szkíták is görög közvetítéssel juthattak. Ennek kapcsán a Pontus környéki városok dudoros gyöngyeire is kitér, szerepük azonban nem világos. Ugyanakkor az égei eredet mellett felveti a Kárpát-medencei gyártás lehetőségét is.<sup>11</sup>

Kisfaludi Júlia felismerte a leletek egyediségét és jelentőségét a szkíta kultúrán belül, a mezőtúri gyöngyök kapcsán – Párducz Mihály következtetéseire hivatkozva – a típus Kárpát-medencei megjelenését eleinte kereskedelmi kapcsolatokhoz kötötte. Kisfaludi Csalog Zsolttal együtt a törökszentmiklósi gyöngyök esetében már Dušekhez hasonlóan a déli és égei eredetet támogatta, valamint a gyöngyökből kiindulva új bevándorlókat próbáltak azonosítani.<sup>12</sup>

Utoljára Kemenczei Tibor foglalkozott behatóbban a dudoros és egyszerű szemes gyöngyökkel. Elgondolása szerint a 8. századi Itáliából érkeztek a keleti Alpokba, az Alföldre és az Észak-Pontus-vidékre, utóbbi régióból végül a szkítákhoz juthattak. A Pontus így „elosztó” vagy közvetítő szerepet tölthetett be.<sup>13</sup>

Végül meg kell emlékeznünk párhuzamként többször is emlegetett Fekete-tenger-mel léki üveggyöngyökről, melyek Kr.e. 6. század második felétől a Kr.e. 4. századig előforduló változatait E. M. Alekszejeva gyűjtötte össze több kötetben. Köztük megtaláljuk a mezőtúri gyöngyök pontos analógiáit is.<sup>14</sup>

Nyilvánvaló, hogy az előbb felsorolt elméleteket nehéz összehasonlítani, hiszen a „prototípusok” gyártási helye, a műhely, valamint a konkrét származási hely problémáját sokszor egyszerre szeretnék megoldani a kutatók. Mi azonban utóbbira voltunk kíváncsiak, a műhely megállapítása másodlagos szempont volt. Ennek oka, hogy Magyarországról eddig még nem publikáltak szkíta kori üvegműhelyt, de a Pontus-vidéken is csak kevés lelet utal műhely létre.<sup>15</sup> Ezért is érdemes megvizsgálni azt, hogy az üveg szerkezeti jellemzői milyen irányba mutatnak. A szkíták görög gyarmatvárosokkal ápolat kapcsolatait<sup>16</sup> ismerve is ez lenne a kapcsolatok logikus iránya.

#### 4. Vizsgálati módszerek és minta-előkészítés

Az eredmények legjobb kinyeréséhez igyekeztünk a lehető legtöbb vizsgálati eszközt kombinálni, hogy egymást kiegészítsék. Előzetes minőségi és mennyiségi analízis céljából először kézi röntgenfluoreszcens spektrométert alkalmaztunk. A mezőtúri gyöngyök, valamint

<sup>9</sup> FRÁNA et al. 1987, 71–72; HUNYADI 1942, 108; KARWOWSKI, 2004a, 332; KISFALUDI 1983, 71; VENCLOVÁ 1974, 601.

<sup>10</sup> BOTTYÁN 1955, 58.

<sup>11</sup> DUŠEK 1966, 34.

<sup>12</sup> CSALOG–KISFALUDI 1985, 321; KISFALUDI 1983, 71.

<sup>13</sup> KEMENCZEI 2009, 89.

<sup>14</sup> ALEKSZEJEVA 1975, 6, 1–19. tábla.

<sup>15</sup> LYUBOMIROVA et al. 2014, 8; BOŤAN–CHIRIAC 2016, 104–105.

<sup>16</sup> KEMENCZEI 2001, 49; NÁMEROVÁ 2011, 207–210.

a minták elnevezéseiket az azokat őrző múzeum városáról kapták. A méréseket Szabó Máté végezte.

#### **4.1. Kézi röntgenfluoreszcens analízis (hXRF)**

Röntgensugaras gerjesztéssel járó elemanalitikai módszer, mely általában nem igényel felületi előkészítést vagy mintavételt, ezért az utóbbi időben igen nagy népszerűségnek örvend.

A mérést az MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézetének Spectro X-Sort Combi műszerével végeztük. Igyekeztünk különválasztani a gyöngyök alaptesteinek és díszének mérését, amely nem valósult meg maradéktalanul. A gyöngyök kiválasztott részeit többször is mértük. Az eszköz a Mg-tól az U-ig képes mérni az elemeket, így az üveg szempontjából fontos Na mennyiségének mérésére az elektron-mikroszondás vizsgálat alkalmas. A mérési terület 3 mm átmérőjű kör alakú folt, a mélység körülbelül 0,3 mm. A mérések eredményeit oxidos formában adjuk meg. Paraméterek: 15–50 keV, 21–50 mikroamper (E és L kalibráció), Rh forrás, Peltier hűtésű SDD detektor.

#### **4.2. Mikro-röntgendiffraktometria ( $\mu$ XRD)**

A mintában előforduló kristályos fázisokat lehet meghatározni, és így az üvegek mállottságára vagy kristályos színezőire következtetni. A vizsgálandó kisméretű felület (10–800  $\mu$ m átmérő) kiválasztásában digitális kamera segít. A tárgyból nem szükséges mintát venni, így viszont csak a felületén előforduló fázisokat képes azonosítani. Emiatt a sárga üvegtestből a gyöngyök fűzőlyuka mentén lévő sérülésből vettünk mintát. A Szolnok 3 gyöngyből apró fehér darabokat pattintottunk ki az egyik pávaszem kék és fehér üvegrészeinek határánál látható apró mélyedések mentén. Ezek a minták a sárga üvegtestnél alig 1 mm-esek voltak, míg a fehérenél tized mm-esek. Az apró mintákat alumíniumkorongra ragasztott szénszalagra helyeztük.

A mikro-röntgendiffraktometriás analízist a MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézetében található Rigaku gyártmányú D/Max Rapid II műszerrel végeztük. Mérési körülmények: Cu  $K\alpha$ , 50 kV, 0,6 mA, képsík detektor (image plate detector), 1–6–12 perces mérési idő, 300–800 mikrométeres kollimátor. A mintákat először átlagösszetételre vizsgáltuk a nagyobb méretű kollimátorral. Ha nem kaptunk megfelelő orientációjú felvételt, akkor mérés közben 1o/s-mal forgattuk (alkalmazott szögek: 0 és 20o $\omega$ , és 0o  $\phi$ , esetleg 30–60o tartományú forgatás).

#### **4.3. Elektron-mikroszonda (EPMA)**

Elektronnyalábbal gerjesztett minták atomjainak karakterisztikus röntgensugárzásai alapján történő minőségi és mennyiségi elemanalitikai módszer. A mérési pontok kiválasztásában segítenek a visszaszórtelektron-képek, melyeken a mikroszöveti jellemzőket figyelhetjük meg (azaz az üvegmátrixot és a benne esetlegesen elhelyezkedő zárványokat). Hátránya, hogy kis koncentrációban előforduló elemeket (például <0,05% Co) nem érzékel. A mintavétel elengedhetetlen, hiszen így üde üvegfelületet tudunk vizsgálni. A vizsgálatokhoz a Szolnok 1–3 gyöngyökből vett, 1 mm hosszú és tized mm vastag sárga mintákat ágyaztuk

műgyantába (Araldit D gyanta és Hy 956 térhálósító 18,75:4,5 [g] arányban), majd csiszoltuk és políroztuk a preparátumokat. A minta-előkészítés ezen szakaszát a Magyar Képzőművészeti Egyetemen végeztük Varga Tímea segítségével. A mérések előtt közvetlenül vákuumban néhány atomnyi vastagságú szénréteget gőzöltünk a minták felületére az elektromos vezetőképesség létrehozására.

A vizsgálatokat az MTA CSFK Geokémiai és Földtani Intézetében lévő Oxford Instruments INCA Energy 200 típusú energia-diszperzív röntgenspektrométerrel (EDS) felszerelt, JEOL Superprobe-733 típusú elektron-mikroszondán végeztük. A mintákban az üvegmátrixot 10  $\mu\text{m}$ -re nyitott nyalábbal mértük – a mérési helyeket a visszaszórtelektron-képek alapján jelöltük ki –, illetve területi mérést is végeztünk 140 $\times$ 110 és 200 $\times$ 160  $\mu\text{m}$ -nyi felületen. A zárványokat fókuszált nyalábbal (1  $\mu\text{m}$ ) 40 másodpercig mértük. A 10  $\mu\text{m}$ -es foltról 40 másodpercig, a nagyobb területről pedig 15 percig gyűjtöttük a spektrumot. Elemzési körülmények: 20 keV gyorsítófeszültség, 4 nA elektronáram és 40 sec, 80 sec, 5 min, ill. 15 min mérési idő. A jellemző alkotóelemeket (Na, Al, Si, S, Cl, K, Mg, Ca, Mn, Fe) és a színezőket (Pb, Sb) mértük. A mérések eredményeit oxidos formában adjuk meg (a klórt kivéve). Sztenderdként mesterséges üvegeket és antimon-telluridot (Sb<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>) használtunk.

#### **4.4. Röntgen-pordiffraktometria (XRD)**

A röntgen-pordiffrakciós analízis az anyagban található kristályos fázisok (ásványok) azonosítására szolgáló módszer. A vizsgálathoz mintavétel szükséges. A méréshez a Szolnok 3 gyöngy pávaszemének porózus fehér részéből kapartunk le kis mennyiségű port. A levett mintát etanol segítségével terítettük el az alumínium mintatartókon, mely száradás után a műszerbe helyezhető. A mérést a MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézetében található Rigaku gyártmányú MiniFlex 600 műszerrel végeztük. Mérési körülmények: Cu K $\alpha$ , 40 kV, 15 mA, grafit monokromátor, szcintillációs detektor, 35 perc mérési idő.

### **5. Eredmények**

#### **5.1. Kézi röntgenfluoreszcens analízis (hXRF) [1. táblázat]**

Jól látszódtak a díszítések (pávaszemek) és az üvegtest mért koncentrációadatai közötti eltérések: a pávaszemek összetételének végösszege jóval nagyobb volt (60–70% körül), mint a sárga üvegtesté (30–40% körül). Ezzel párhuzamosan jóval kisebbek az SiO<sub>2</sub> értékek is (21–36%). Valószínűleg a tárgyak geometriája (síkfelület hiánya) torzította az eredményeket. Ezt bizonyítja az a tény is, hogy a Szolnok 3 gyöngy pávaszemét, melyek igen domborúak voltak, nem tudtuk mérni. Továbbá a pávaszemek kékjébe a fehér rész összetevőit is belemértük (és viszont), ami szintén a műszer jellemzőjéből (3 mm átmérőjű mérési felület) adódik. A K<sub>2</sub>O mennyisége eltérő a pávaszemek és a sárga színű üvegrésekben, de a legtöbb esetben alig érte el a 1%-ot (kivéve a Szolnok 2 gyöngy pávaszemét, ami megközelítette a 2%-ot). A CaO értékeknél a K<sub>2</sub>O-hoz hasonló változatosság figyelhető meg: míg a szemek üvegeinél 5–6% körüli vagy afeletti volt, addig a sárga üvegeknél 2–4%. A Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> értékek ugyancsak

nagyobbak voltak a pávaszemeknél (1,5% körül), mint a sárga testeknél (0,4–0,8%). A CoO és CuO (színezők) a pávaszemekben 0,05–0,06%, ill. 0,2% körüli értékben fordultak elő. A sárga üvegtestben mind a CoO, mind a CuO mennyisége kimutatási határ alatti. Az  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  mennyisége általában 1% körüli (pávaszemek), vagy az alatti volt (sárga üvegtest). Az PbO mennyisége a pávaszemeknél csupán 0,2–0,3%-ot ért el, a sárga üvegtestnél ez 6–7%-ra emelkedett. Az 1. táblázatból hiányzik a  $\text{Na}_2\text{O}$  és a MgO, mivel a műszer ezeket nem méri (lásd fentebb), ill. kimutatási határ körüli értéket mért.

## 5.2. Mikro-röntgendiffraktometria ( $\mu\text{XRD}$ )

A fehér mintában, melyet a Szolnok 3 gyöngyből vettünk, sikerült azonosítanunk a  $\text{CaSb}_2\text{O}_6$  fázist, azaz kalcium-antimonátot. Ezen kívül kvarcot is azonosítottunk, mely valószínűleg devitrifikációs termék. A Szolnok 1–3 sárga mintákban a  $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_6$ -ot, vagyis az ólom-anti-monátot azonosítottuk, illetve a Szolnok 3 mintában kvarcot is kimutattunk.

## 5.3. Elektron-mikroszkop (EPMA)

Az elektron-mikroszkopos vizsgálat csak a sárga testből vett mintákra terjedt ki [2–7. táblázat]. A visszaszórtelektron-képeken megfigyeltük az enyhén sötétebb szürke sávokkal tagolt halványszürke üvegmátrixban elhelyezkedő amorf, porózus szemcséjű, a képen fehér zárványokat [2. tábla], illetve néhány pórust (a képen fekete folt) a Szolnok 1–3 mintákban.

### 5.3.1. Üvegmátrix

Az üvegmátrixban különböző árnyalatú szürke sávok láthatók [2. tábla 1/a–b, 2/a–b, 3]. A szürke sávokban kevesebb zárvány van, illetve a Szolnok 1 mintában két sötétszürke sávban egyáltalán nincs zárvány [2. tábla 1/a]. Ez a kémiai összetételben is megmutatkozik [2. táblázat], ugyanis ezen a területen jelentősen kevesebb PbO-t mértünk. Az alapüvegben mért  $\text{SiO}_2$  tartalom körülbelül 60–70%, ami átlagosnak tekinthető. A  $\text{K}_2\text{O}$  mennyisége 1% alatti értéket ér el, a Szolnok 1 mintánál a legtöbb esetben a 0,5%-ot is alig közelíti meg. A MgO szintén 1% alatt fordult elő (legnagyobb érték: Szolnok 1: 0,91%). A  $\text{Na}_2\text{O}$  mennyisége mindhárom mintában jóval 10% fölötti. A CaO mennyisége 6–7% körüli. Az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mennyisége 2,5% körüli vagy az alatti. Az üvegmátrixban előforduló  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mennyisége is 1% körüli. Nem elhanyagolható az alapüvegben megjelenő PbO mennyisége, amely átlagban 10% körüli.

### 5.3.2. Zárványok

A zárványok (pigmentek) 1–40, legfeljebb 50  $\mu\text{m}$  nagyságúak [2. tábla 1/b–c, 2/b–c, 3], és többnyire egyenletesen oszlanak el az üvegmátrixban, vagy sávok/vonalak mentén rendeződnek el, a szürke sávokkal párhuzamosan [2. tábla, 1/b, 2/b, 3.]. A zárványokról 2000 x-es nagyításban készült felvételek [2. tábla 1/c, 2/c] jól mutatják a heterogén zárványokat, melyek pórusaiba az üvegmátrix benyomult. Ezt a megfigyelést a mérések is alátámasztották, ugyanis a jelentős PbO és  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  tartalom mellett mindig mértünk valamennyi  $\text{Na}_2\text{O}$ -ot



(2–12%), SiO<sub>2</sub>-ot (5–40%), Cl-t, CaO-ot (3–4 %) és néhol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ot. A zárványokban a PbO 30–40% között, míg az Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 20–30% között változott, tehát egymáshoz viszonyított arányuk: 3:2. További fontos megfigyelés, hogy a zárványokban vas dúsul (3–4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

#### 5.4. Röntgen-pordiffraktometria (XRD)

A pávaszemek fehér részéből vett pormintában CaSb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>-ot, azaz kalcium-antimonátot azonosítottunk.

### 6. Értékelés

#### 6.1. Alapüveg

A vizsgált sárga üvegeket és díszeket először a kézi röntgenfluoreszcens analízissel kimutatott kicsi K<sub>2</sub>O (max 1 % körül) tartalom, majd a sárga üvegen végzett elektron-mikroszkóp vizsgálatával kapott szintén kicsi MgO (1% alatt) tartalom, de nagy Na<sub>2</sub>O (Szolnok 1: 11,90%; Szolnok 2: 16,21%; Szolnok 3: 15,76% átlagban) tartalom alapján a natúr szóda alapú, azaz a Na–Ca–szilikát üvegek közé soroljuk. (A CaO 5% feletti értéke a szándékos adagolásra utal).<sup>17</sup>

A kézi röntgenfluoreszcens spektrométerrel kapott oxidösszegek és egyes elemek (elsősorban az SiO<sub>2</sub>) koncentrációja a sárga gyöngytesteknél igen kicsinek bizonyult, szemben a kék és fehér üvegekkel. Ennek oka, hogy a sárga színezőből (ólom-antimonát, Pb<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) jóval többet tehettek az üvegbe, mint más pigmentekből, hogy az adott árnyalatot elérjék. Ettől viszont mennyiségileg jóval kevesebbnek tűnik a többi összetevő. A másik oka, hogy az ólom (Pb) nehézfém, ezért (különösen a nem síkfelületű tárgy mérésekor) az atomjaiból érkező karakterisztikus röntgensugárzást kevésbé nyeli el a levegő, és a műszer a valóságnál nagyobb mennyiséget mér. A két ok miatt torzulhatnak az eredmények. Ahhoz, hogy ezeket a hatásokat némileg korrigáljuk, gyöngyöknként, illetve gyöngytest és dísz szerinti összes mérés átlagát 90% oxidösszegre normáltuk. Így összehasonlítható a különböző gyöngyök összetétele. Látható, hogy a színezőket leszámítva, az alapüveg összetételében a gyöngytest és díszei közel egyezők. A gyöngytestek és díszek alapüvegének összehasonlításakor a kézi röntgenfluoreszcens spektrométerrel mért, és 90%-ra normált átlagokat tárgyaljuk.

Más összetételi jellemzőkről is említést kell tennünk a kézi XRF eredmények kapcsán. Az egyik a kék és fehér pávaszemeknél jelentkező kis mennyiségű ólom-oxid (PbO) (a normált érték 0,03–0,4%), mely a képlékeny üveg formálhatóságára szolgálhatott az ókorban.<sup>18</sup> Ugyanakkor nem kizárt, hogy a pávaszemek mérésekor belemértük a sárga üveget is. Olyan szennyezőket, amelyek a nyersanyagok vagy az üveg származására utalnának, nem tudtunk kimutatni egyik módszerrel sem.

<sup>17</sup> FÓRIZS 2008, 115.

<sup>18</sup> NAGY et al. 2010, 47.



A natúr szóda alapú üvegtípus gyártásának kezdetei a késő bronzkori Egyiptomba nyúlnak vissza, a vaskor folyamán európai terjedésével is számolhatunk.<sup>19</sup> Pontos térbeli és időbeli kiterjedése azonban még feltáratlan. Ehhez hozzájárulva sikerült kimutatnunk, hogy a középső vaskor végi Kárpát-medence Vekerzug kultúrájában megjelenik ez az üvegtípus. Figyelembe véve, hogy a római kor előtti natúr szóda alapú üvegek előállítására több eltérő receptúra is létezett,<sup>20</sup> amelyek nagy része máig ismeretlen, gyártóműhely azonosítása egyelőre nem lehetséges. Az alapüveg megállapítása tehát nem vitt előrébb bennünket.

## 6.2. Színezők

### 6.2.1. Opak fehér üveg

Mikro-röntgendiffrakciós és röntgen-pordiffrakciós analízissel kimutattuk, hogy a pávaszemek fehér díszeknek színét és átlátszatlanságát kalcium-antimonát ( $\text{CaSb}_2\text{O}_6$ ) okozza, amelyek feltehetően az üvegmátrixban szétszórtan helyezkednek el apró szemcsék formájában. A kalcium-antimonát természetben nem előfordul, mesterséges pigment, előállításának technológiája viszont az üvegyártás kezdetétől ismert. Két eljárást feltételez a kutatás. A korábbi és sokáig kizárólagosnak tartott elgondolás szerint a kalciumot tartalmazó üveghez adott antimon hűlés során *in situ* kivált kristályokat alkot a kalciummal az olvadékban.<sup>21</sup> Lahlil és munkatársainak új eredményei ezzel szemben az egyiptomiak előre elkészített pigmentjeiről tanúskodnak, amely már egy másik metódus,<sup>22</sup> viszont alig kutatott. Ezért a gyöngydíszek fehér pigmentjei további, az előállításuk módjára fókuszáló vizsgálatokat igényelnek.

### 6.2.2. Kék üveg

A pávaszemek sötétkék díszét a nagyjából azonos mennyiségű kobalt (Co) és réz (Cu) együttesen hozza létre [1. táblázat]. Az oxidált réz ( $\text{Cu}^{2+}$ ) az üveg nyersanyagaiban is előfordul, kis mennyiségű komplexképzők (Pb, Fe) segítségével oldódik az üvegbe, ezáltal transzparens világoskék árnyalatot okozva. Kis mennyiségű kobalt viszont ultramarin színt eredményez.<sup>23</sup> A két színező együttes alkalmazásáról az ókor több időszakából van tudomásunk,<sup>24</sup> célja azonban ismeretlen. Egy jelentős példa Apollonia Pontica (ma Szozopol, Bulgária), Fekete-tenger-melléki város temetője, melynek egyes, a Kr.e. 5–3. századra keltezett üvegyöngyei kék részeiben szintén előfordult kobalt és réz, bár e kettő vassal is párosult.

<sup>19</sup> ANGELINI 2011, 20; ARLETTI et al. 2010, 703–704; FÓRIZS 2008, 115–116; HENDERSON 1985, 267–270; HENDERSON 2000, 52–59; POLLA et al. 2011; REHREN et al. 1998, 240–245; REHREN–FREESTONE 2015, 233–234; SHORTLAND et al. 2006; SMIRNIU–REHREN 2011, 58–60.

<sup>20</sup> CALEY 1962.

<sup>21</sup> BRILL 1970, 122; FÓRIZS 2008, 132; HENDERSON 2000, 35; DUCKWORTH et al. 2012, 2145–2146; TITE et al. 2008, 78–79.

<sup>22</sup> LAHLIL et al. 2010, 1.

<sup>23</sup> FÓRIZS 2008, 128; HENDERSON 2000, 30–32; REHREN–FREESTONE 2015, 235.

<sup>24</sup> SMIRNIU–REHREN 2013.

A két elem együttes használatának célját azonban nem határozták meg.<sup>25</sup> A kelta üvegkarpercek kapcsán az azokat vizsgáló kutatók T. E. Haevernick véleményére támaszkodva a szinkiegyenlítést hangoztatják, azaz szerintük a két színezővel végső soron sötétkék szín érhető el.<sup>26</sup>

Ettől függetlenül egyetérthetünk abban, hogy szándékos adagolásról van szó.<sup>27</sup> A gyártók valószínűleg tapasztalati tudásuk révén olyan nyersanyaglelőhelyek után indultak, ahol a kobalt és a réz külön vagy egy ásványtársulásban fordult elő. Eurázsia területéről több ilyen lelőhely is ismert: Franciaországban (La Finosa),<sup>28</sup> Olaszországban (Közép-Kelet-Alpok, Dél-Alpok zónája, Adige-völgy, esetleg Pomera, Campello Monti, Fobello, Scopello),<sup>29</sup> a több ország területén elhelyezkedő Kaukázus vidéken,<sup>30</sup> ezen belül Azerbajdzsánban (Dashkesan),<sup>31</sup> továbbá Iránban (Qamsar, Anorak),<sup>32</sup> és Németországban (Schneeberg).<sup>33</sup> A színezők mellett azonban nem találtunk olyan szennyezőt, amely a kobaltos réz lelőhelyére utalt volna, így ez is egy a jövőben megoldandó feladatok között.

### 6.2.3. Opak sárga üveg

Mikro-röntgendiffrakciós analízis segítségével azonosítottuk az átlátszatlan sárga színért felelős ólom-antimonát (helyesebben ólom-pyroantimonát,  $Pb_2Sb_2O_7$ ) szemcséket. A pigment ezt követő elektron-mikroszondás analízise több jellemzőre is felhívta a figyelmünket [2–7. táblázat; 2. tábla]. A visszaszórtelektron-képeken az amorf, heterogén, porózus, vonalak mentén rendeződött (Pb, Sb, Fe)-tartalmú szemcsék (zárványok vagy aggregátumok) zöme az üvegmátrix világosabb sávjában található, míg a sötét sávokban ritkábbak [2. tábla 1/a–b, 2/a–b, 3]. Ezzel együtt a pigmentnek szokatlanul kicsi ólom/antimon aránya (3:2=1,5 tömegarány. Az elméleti arány 1,64, az üvegeknél és mázaknál azonban ez az arány gyakran kisebb),<sup>34</sup> azaz antimon többlete, és az üvegmátrix nagyobb (kb. 10%) ólomtartalma arra utal, hogy az ólom egy része kioldódott a pigmentekből. A Szolnok 1 minta legsötétebb sávjai [2. tábla 1/a] 0,64–3,08% PbO tartalmúak [2. táblázat], és itt hiányoznak az ólom-antimonát szemcsék. Ez mutathatja a pigment nélküli üveg eredeti ólomtartalmát, az e fölötti rész származik a pigmentekből. Valószínűleg a gyártás során az egyenetlenül eloszlott, több-kevesebb pigmentet tartalmazó részekből az üveg formázásakor, illetve meghúzásakor jött létre a sávok elrendeződés.

Az ólom-antimonát természetben előforduló, izostrukturális változata a bindheimit,<sup>35</sup> melynek kevés lelőhelye ismert (például Délnyugat-Törökország), ezért feltételezhető, hogy a pigmentet az ólom és antimon ásványaiából állították elő. Az összetevőket előbb pörköl-

<sup>25</sup> LYUBOMIROVA et al. 2014, 9–10.

<sup>26</sup> FRANA et al. 1987, 75–81; HAEVERNICK 1960, 12–13; GIRDOYŃ 1986, 207; ROYMANS et al. 2014, 222; WOBRAUSCHEK et al. 2000, 33.

<sup>27</sup> HAEVERNICK 1960, 13; HENDERSON 1985, 278.

<sup>28</sup> BOULADON 1989, 68; GLIOZZO et al. 2012, 327.

<sup>29</sup> ZUFFARDI 1989, 233–241.

<sup>30</sup> HALL–JABLONSKIJ 1997, 373.

<sup>31</sup> SMIRNOV 1989, 393–394.

<sup>32</sup> GLIOZZO et al. 2012, 327.

<sup>33</sup> ZUFFARDI 1989, 239.

<sup>34</sup> WAINWRIGHT et al. 1987, 228.

<sup>35</sup> ROSI et al. 2009, 107–111.

ték, majd közepes hőmérsékleten (max 1000 °C), hirtelen keverték az alapüveghez, még mielőtt az ólom jelentős része kioldódhatna, és az üveg kifehéredne.<sup>36</sup> Hasonló technológiával készíthették citromsárga üvegeiket az egyiptomi műhelyek Kr.e. 1400 körül és a Villanova kultúra műhelyei a kora vaskori Itáliában. Az ólom-antimonát alkalmazása egészen a római kor végéig követhető, de a reneszánsz kori majolika sárga-narancssárga díszítésének is színezője.<sup>37</sup>

Ugyanakkor a szkíta gyöngyök eltérő, okkeres színe egy másik gyártástechnológiát feltételez. Erre utalt a zárványok (pigmentek) a befogadó üvegmátrixénál jelentősen nagyobb vastartalma (3–4% az üvegmátrix 1%-ához képest) [3., 5., 7. táblázat]. Új kutatások szerint kevésbé óvatos eljárást igényel, ha az ólmot pigmentjében vassal blokkoljuk.<sup>38</sup> Feltételezzük, hogy a vas belső redukáló szerepét használták ki, amelyet vörös opak üvegeknél már bizonyítottak, meggátolva az ólom üvegmátrixba oldódását.<sup>39</sup> Ugyancsak a vörös opak üvegek előállításának mintájára, a nagyobb vastartalomnak tulajdonítjuk a gyöngyök okkersárga árnyalatát. Az azonban kérdés, hogy a vas adagolása tudatos volt, vagy az ólom vagy az antimon nyersanyagával került a színezőbe.<sup>40</sup>

Az első írásos forrás a vas szándékos adagolásáról 1548-ból, Cipriano Piccolpasso tollából származik, amelyben a majolikák és díszítéseinek készítéséről értekeznek. A leírásait igazoló archeometriai vizsgálatok során a színárnyalatban bekövetkező változást is megjegyzi.<sup>41</sup>

A bronz- és vaskori vasdús ólom-antimonát pigmentekről írott forrás híján azonban alig néhány alapos anyagvizsgálati eredmény áll rendelkezésünkre, mivel ezekhez mintavétel szükséges. Így a legtöbb esetben csupán megállapítják az alapüvegben jelentkező vagy a sárga színező mellett fellépő nagyobb vas-oxid tartalmat (itáliai Kr.e. 6–4. századi üvegeknél és pávaszemes gyöngyöknél, lengyelországi LT kori üvegkarpercek sárga díszeinél).<sup>42</sup> Az ide vonatkozó példák közül érdemes kiemelni a vicencei (Csehország) Kr.e. 6–5. századi, NAA és XRF segítségével vizsgált dudoros pávaszemes gyöngyöket, ugyanis nemcsak korukat, hanem alapüvegüket is tekintve azonosak a mezőtúriakkal. Vas-oxid tartalmukat nem adták meg.<sup>43</sup> Másik jelentőséggel bíró példa Apollonia Pontica, melyet a kék szín kapcsán már kiemeltünk. A PIXE és PIGE roncsolásmentes analízissel meghatározott, ugyancsak natúr szóda alapú sárga, pávaszemes üvegyöngyöknél az átlagösszetételben jelentkezett a nagyobb vas-oxid tartalom.<sup>44</sup> Utóbbi párhuzamok jelentőségére az összegzésben térünk ki.

Az eredeti kérdésünkre Molina és munkatársai az egyiptomi és római sárga üvegeket elemző cikkükben keresik a választ. Nézeteik szerint az ólom-antimonát stabilitását segíti a vas, és a pigmentekben a vas-oxid mennyisége a 7%-ot is elérheti, továbbá a vas-oxidot

<sup>36</sup> DUCKWORTH et al. 2012, 2150–2151; FÓRIZS 2008, 131; TITE et al. 2008, 74–76; MOLINA et al. 2014, 173.

<sup>37</sup> DUCKWORTH et al. 2012, 2145–2149; FÓRIZS 2008, 131; HENDERSON 1985, 276–277; HENDERSON 2000, 35–36; MOLINA et al. 2014, 171; POLLA et al. 2011, 144; TITE et al. 2008, 80–82; WAINWRIGHT et al. 1987, 219, 221–222.

<sup>38</sup> MOLINA et al. 2014, 183.

<sup>39</sup> BRILL–CAHILL 1988; FÓRIZS 2008, 130; FÓRIZS et al. 1999, 87–110.

<sup>40</sup> WAINWRIGHT et al. 1987, 228–229.

<sup>41</sup> BAJNÓCZI et al. 2009, 91; BULTRINI et al. 2006, 557; WAINWRIGHT et al. 1987, 220, 222.

<sup>42</sup> ARLETTI et al. 2010, 711; OLMEDA et al. 2015, Table 2; GIRDWOYŃ 1986, 205–207.

<sup>43</sup> FRÁNA et al. 1987, 73–74, 83, 87.

<sup>44</sup> LYUBOMIROVA et al. 2014, 1, 9.

a pigmenttel keverhették az üvegebe e széles időszámban, amely így esetleg az eredeti nyersanyag szennyezője lehetett. Ezen üvegeknél azonban szabályos alakú szemcséket figyeltek meg. Ezen kívül az is kiderült, hogy a római üveg készítőtechnikájában eltér az egyiptomitól, mivel a pigmentet szilícium és ólom-antimonát keveréke adta. Tehát az eddigiekkel együtt összesen három technológiával számolhatunk. További adalékként a vasdús ólom-antimonát szerkezetével foglalkozó kutatócsoport,<sup>45</sup> valamint korábban Dacapito és munkatársai is kimutatták, hogy a vas-oxid az antimon-oxid helyére épül be, ezáltal stabilizálva a színezőt.<sup>46</sup>

## 7. Összegzés

A tanulmányban megvizsgált vaskori üvegyöngyök eredetével kapcsolatban számos kérdés lezáratlan maradt (például nyersüveg származása, gyártóműhely lokalizálása), ugyanakkor kijelölhetjük a jövőbeli kutatások irányát. Néhány eredményt mindenképp elértünk: először vizsgáltunk szkíta gyöngyöket Magyarországon, melyekről megállapítottuk, hogy natúr szóda alapú üvegből készültek. Az alaptest sárga színét vastartalmú ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ólom-antimonát ( $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ ), a díszek kék színét kobalt és réz (CoO és CuO), a fehér színt kalcium-antimonát ( $\text{CaSb}_2\text{O}_6$ ) okozza.

A kék szín eléréséhez együttesen használt kobalt és réz a késő bronzkor és vaskor folyamán többször is megjelent (például Egyiptomban, Apollonia Ponticában és a kelta koinéban). Ez tehát gyakori színező eljárásnak minősül, aminek részletes térbeli és időbeli megjelenéséhez szolgáltatunk újabb adalékokat. Együttes használatuk célja, illetve nyersanyagaik továbbra is tisztázatlanok.

Kérdéses a fehér pigmentek előállításának módszere is. A fentebb leírt és kifejtett két eljárás rekonstruálására a jövőben célzott elektron-mikroszondás vizsgálatokat tervezünk.

A sárga színező kapcsán különös jelenséget figyeltünk meg, mégpedig a vasdús ólom-antimonátot. Szórványos megjelenéséről van tudomásunk az ókorból (például Egyiptom, Itália, Apollonia Pontica, Római Birodalom), de a témában született kevés eredmény alapján a jelenség megfigyelése még kezdeti fázisban van. Reméljük, hogy adatainkkal sikerül egy szélesebb kutatásnak is megnyitni a teret. Rámutattunk arra, hogy a vastartalmú ólom-antimonát külön készítőtechnológiát feltételez, de nem bizonyított a tudatos adagolása, valamint gyártásának kialakulása és időpontja sem világos. E kérdés eldöntéséhez részletes érc-teleptani és bányászattörténeti kutatások is szükségesek. A vasas ólom-antimonát szemcsék alaposabb jellemzéséhez a továbbiakban tervezzük Raman-spektroszkópia alkalmazását.

Ugyan vizsgálataim nem érnek véget ezen a ponton, néhány fontos párhuzamra, illetve eredményre hívom fel a figyelmet. Mind az alapüveg, mind a sárga és kék színezők tekintetében hasonlóságot fedeztem fel a mezőtúri gyöngyök és Apollonia Pontica, továbbá a kelta üvegekészerek és némelyik sárga itáliai gyöngy között. Mindezek nem zárják ki a Fekete-tenger-melléki származást. Összetételük arra utal, hogy a görög gyarmatváros és a szkíták gyöngyei egy „iskola” termékei, amelyek valamiféle kapcsolatot tükrözhetnek vicenicei

<sup>45</sup> MOLINA et al. 2014, 177–179, 183.

<sup>46</sup> DACAPITO et al. 2012, C198.

analógiáikkal is. A további kutatásokat nehezíti az a tényező, hogy a Pontus-vidék üveglele-  
tei archeometriai szempontból még jórészt feltáratlanok.

## IRODALOM

- ALEKSZEJEVA 1975 = Алексеева Е. М.: *Античные бусы Северного Причерноморья*. [САИ Г1–12] Москва 1975.
- ANGELINI 2011 = Angelini, I.: Archaeometry of Bronze Age and Iron Age Vitreous Materials: A Review. In: *Proceedings of the 37th International Symposium on Archeometry. 12th – 16th May, Siena*. Ed.: Turbanti-Memmi, I. Berlin 2011, 17–24.
- ARLETTI et al. 2010 = Arletti, R.–Mariano, C.–Ferrari, D.–Vezzalini, G.–Quartieri, S.: The first archeometric data on polychrome Iron Age glass from sites located in Italy. *JASc* 37 (2010), 703–712.
- BAJNÓCZI et al. 2009 = Bajnóczi B.–Tóth M.–Dobosi G.–Balla G.–Csontos K.: Ónmázás kerámiák technológiai jellegzetességeinek kimutatása Giovanni Di Nicola Manzoni majolika tintatartójának példáján. *Archeometriai Műhely* 2009/1, 81–94.
- BOȚAN–CHIRIAC 2016 = Boțan, S-P.–Chiriac, C.: State of the Art and Prospective Research Directions on Hellenistic and Roman Glass from the Pontus Euxinus. In: *Mobility in Research on the Black Sea Region*. Ed.: Cojocaru, V.–Rubel, A. Cluj-Napoca 2016, 101–116.
- BOTTYÁN 1955 = Bottyán Á.: *Szkiták a magyar Alföldön*. [RégFüz II.1.] Budapest 1955.
- BOULADON 1989 = Bouladon, J.: France and Luxembourg. In: *Mineral deposits in Europe. Southwestern and Eastern Europe with Iceland. 4/5*. Ed.: Dunning, F. W.–Garrard, P.–Haslam, H. W.–Ixer, R. A. London 1989, 37–107.
- BRILL 1970 = Brill, R. H.: The chemical interpretation of the texts. In: *Glass and glassmaking in ancient Mesopotamia*. Ed.: Oppenheim, A.L.–Brill, R.H.–Barag, D.–von Saldern, A. London 1970, 105–128.
- BRILL–CAHILL 1988 = Brill, R. H.–Cahill, N. D.: A Red Opaque Glass from Sardis and Some Thoughts on Red Opaques in General. *JGS* 30 (1988), 16–27.
- BULTRINI et al. 2006 = Bultrini, G.–Faragalá, I.–Ingo, G. M.–Lanza, G.: Characterisation and reproduction of yellow pigments used in Central Italy for decorating ceramics during Renaissance. *Applied Physics* A83 (2006), 557–565.
- CALEY 1962 = Caley, E. R.: *Analyses of Ancient Glasses 1790–1957. A Comprehensive and Critical Survey*. [The Corning Museum of Glass monographs 1.] Corning 1962.
- CSALOG–KISFALUDI 1985 = Csalog, Zs.–Kisfaludi, J.: Skythenzeitliches Gräberfeld in Törökszentmiklós-Surján-Újtelep. *ActaArchHung* 37 (1985), 307–344.
- DACAPITO et al. 2012 = Dacapito, F.–Cartechini, L.–Miliani, C.–Rosi, F.–Manuali, V.–Brunetti, B. G.–Sgamellotti, A.: Evidence of the role of Zn and Fe cations as dopants in lead antimonate yellow by x-ray absorption spectroscopy (XAS). *ActaCryst* A67 (2011), C198.
- DUCKWORTH et al. 2012 = Duckworth, C. N.–Henderson, J.–Rutten, F. J. M.–Nikita, K.: Opacifiers in Late Bronze Age glasses: the use of ToF-SIMS to identify raw ingredients and production techniques. *JASc* 39 (2012), 2143–2152.

- DUŠEK 1966 = Dušek, M.: *Thrakisches Gräberfeld der Hallstattzeit in Chotin*. [ASF 6.] Bratislava 1966.
- EREMIN et al. 2012 = Eremin, K.–Degryse, P.–Erb-Satullo, N.–Ganio, M.–Greene, J.–Shortland, A.–Walton, M.–Stager, L.: Iron Age glass beads from Carthage. In: *Historical technology, materials, and conservation: SEM and microanalysis*. Ed.: Meeks N.D.–Meek A.–Mongiatti A.–Cartwright C. London 2012, 30–35.
- FÓRIZS et al. 1999 = Fórizs I.–Tóth M.–Nagy G.–Pásztor A.: Avar kori üvegyöngyök röntgendiffrakciós és elektronmikroszkopos vizsgálata II. Alapadatok az üvegyöngyök genetikájához. Vörös opak üvegek. In: *A Népvándorlaskor Fialat Kutatói 8. Találkozójának Előadásai (Veszprém, 1997. november 28–30.)*. Szerk.: S. Perémi Á. Veszprém 1999, 87–110.
- FÓRIZS et al. 2012 = Fórizs I.–Nagy G.–Dévai K.: Brigetioi üvegleletek műszeres analitikai vizsgálata. In: *FiRKák II. Fialat Római Koros Kutatók II. Konferenciakötete*. Szerk.: Bíró Sz.–Vámos P. Győr 2012, 469–476.
- FÓRIZS et al. 2012a = Fórizs I.–Dévai K.–Tóth M.–Nagy G.–May Z.: A brigetioi üvegyártó műhely néhány jellemző üvegleletének műszeres analitikai vizsgálata. *KEMMK* 18 (2012), 101–112.
- FÓRIZS 2008 = Fórizs I.: Üvegekészítés Magyarországon a kezdetektől a XVIII. századig. *ME Közleményei I. sorozat. Bányászat* 74 (2008), 113–136.
- FRÁNA et al. 1987 = Frána, J.–Mastalka, A.–Venclová, N.: Neutron Activation Analysis of some Ancient Glasses from Bohemia. *Archeometry* 29/1 (1987), 69–89.
- GIRDWOYŃ 1986 = Girdwoyń, A.: Celtic Glass Bracelets From Excavations in Poland. A Technological Study. *APol* 25/26 (1986), 199–208.
- GLIOZZO et al. 2012 = Gliozzo, E.–Santagostino Barbone, A.–Turchiano, M.–Memmi, I.–Volpe, G.: The coloured Tesserae decorating the vaults of the faragola balneum (Ascoli Satriano, Foggia, Southern Italy). *Archeometry* 54/2 (2012), 311–331.
- HAEVERNICK 1960 = Haevernick, Th. E.: *Die Glasarmringe und Ringperlen der Mittel- und Spätlatènezeit auf dem europäischen Festland*. Bonn 1960.
- HAEVERNICK 1977 = Haevernick, T. E.: Gesichtspierlen. *MM* 18 (1977), 152–231.
- HALL–JABLONSKIJ 1997 = Hall, M.–Jablonszkij, L.: Chemical Analyses of glass beads found in two Sarmatian burials. *Archeometry* 39/2 (1997) 369–377.
- HENDERSON 1985 = Henderson, J.: The raw materials of early glass production. *OxfJA* 4/3 (1985), 267–291.
- HENDERSON 2000 = Henderson, J.: *The Science and Archaeology of Materials. An Investigation of Inorganic Materials*. London–New York 2000.
- HUNYADI 1942 = Hunyadi I.: *Kelták a Kárpátmedencében I.* [DissPann 2.18.] Budapest 1942.
- ILON 1996 = Ilon G.: Későhalomsíros kora urnamezős kultúra temetője és tell-települése Némethánya határában. *PMÉ* 1996/6, 89–208.
- ILON–KASZTOVSZKY 2016 = Ilon, G.–Kasztovszky, Zs.: Untersuchung Spätbronzezeitlicher Glasperlen aus West-Ungarn. Analysis of Late Bronze Age Glass Beads from Western Ungarn. Nyugat-Magyarországi Késő Bronzkori Üvegyöngyök Vizsgálata. *Archeometriai Műhely* 2016/13/1, 55–68.
- KARWOWSKI 2004 = Karwowski, M.: *Latènezeitlicher Glasringschmuck aus Ostösterreich*. [MPrähistKomWien 55.] Wien 2004.



- KEMENCZEI 2001 = Kemenczei T.: Az Alföld szkíta kora. In: *Hatalmasok viadalokban. Az Alföld szkíta kora*. Szerk.: Havassy P. [Gyulai katalógusok 10.] Gyula 2001, 7–36.
- KEMENCZEI 2009 = Kemenczei, T.: *Studien zu den Denkmälern skytisch geprägter Alföld Gruppe*. [IPH] Budapest 2009.
- KISFALUDI 1983 = Kisfaludi J.: Szkítakori sír Mezőtúrról. *ArchÉrt* 110 (1983), 69–73.
- LAHLIL et al. 2010 = Lahlil, S.–Biron, I.–Cotte, M.–Susini, J.–Menguy N.: Synthesis of calcium antimonate nano-crystals by the 18th dynasty Egyptian glassmakers. *Applied Physics A* 2010, 98, 1–8.
- LYUBOMIROVA et al. 2014 = Lyubomirova, V.–Šmit, Ž.–Fajfar, H.–Kuleff, I.: Chemical Composition of Glass Beads from the Necropolis of Apollonia Pontica (5th–3rd Century BC). *ABulg* 8/2 (2014), 1–17.
- MOLINA et al. 2014 = Molina, G.–Odin, G. P.–Pradell, T.–Shortland, A. J.–Tite, M. S.: Production technology and replication of lead antimonate yellow glass from New Kingdom Egypt and the Roman Empire. *JASc* 41 (2014), 171–184.
- NAGY et al. 2010 = Nagy G.–Pásztor A.–Fórizs I.–Tóth M.: Szarmata és avar kori üvegyöngyök elektronmikroszkopos vizsgálata. *Archeometriai Műhely* 2010/1, 27–50.
- NÁMEROVÁ 2011 = Námerová, A.: Relations Between Greeks and Scythians in Black Sea Area. *Anodos* 2010/10 (2011), 207–211.
- OLMEDA et al. 2015 = Olmeda, G.–Angelini, I.–Molini, G.–Boario, S.–Leonardi, G.: Archeometric analysis of vitreous material ornaments from the Villa di Villa site (Treviso, Italy). *REND LINCEI-SCI FIS* 26/4 (2015), 513–527.
- PÁRDU CZ 1954 = Párducz, M.: La cimetiè re Hallstattien de Szentes–Vekerzug. *ActaArch-Hung* 4 (1954), 25–91.
- POLLA et al. 2011 = Polla, A.–Angelini, I.–Artioli, G.–Bellintani, P.–Dore, A.: Archeometric Investigation of Early Iron Age Glasses from Bologna. In: *Proceedings of the 37th International Symposium on Archaeometry. 12th – 16th May, Siena, Italy*. Ed.: Turbanti-Memmi, I. Berlin 2011, 17–24.
- REHREN et al. 1998 = Rehren, Th.–Puch, E. B.–Herold, A.: Glass coloring works within a copper-centered industrial complex in Late Bronze Age Egypt. In: *Symposium on Prehistory and History of Glassmaking Technology at the 99th Annual Meeting of the American-Ceramic-Society*. Ed.: McCray, P. Westerville 1998, 227–250.
- REHREN 2001 = Rehren, Th.: Aspects of the production of the cobalt-blue glass in Egypt. *Archeometry* 43 (2001), 483–489.
- REHREN–FREESTONE 2015 = Rehren, Th.–Freestone, I. C.: Ancient glass: from kaleidoscope to crystal ball. *JASc* 56 (2015), 233–241.
- ROSI et al. 2009 = Rosi, F.–Manuali, V.–Miliani, C.–Brunetti, B. G.–Sgamellotti, A.–Grygar, T.–Hradil, D.: Raman scattering features of lead pyroantimonate compounds. Part I: XRD and Raman characterisation of Pb<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>O<sub>7</sub> doped with tin and Zinc. *J. Raman Spectrosc.* 40/1 (2009), 107–111.
- ROYMANS et al. 2014 = Roymans, N.–Huisman, H.–van der Laan, J.–van Os, B.: La Tene Glass Armrings in Europe. Interregional Connectivity and Local Identity Construction. *AKorrBl* 44/2 (2014), 215–228.



- SHORTLAND et al. 2006 = Shortland, A.–Schachner, L.–Freestone, I.–Tite, M.: Natron as a flux in the early vitreous materials industry: sources, beginnings and reasons for decline. *JASc* 33/4 (2006), 521–530.
- SMIRNIOU–REHREN 2011 = Smirniou, M.–Rehren, Th.: Direct evidence of primary glass production in Late Bronze Age Amarna, Egypt. *Archeometry* 53/1 (2011), 58–80.
- SMIRNIOU–REHREN 2013 = Smirniou, M.–Rehren Th.: Shades of blue – cobalt-copper coloured blue glass from New Kingdom Egypt and the Mycenaean world: a matter of production or colourant source? *JASc* 40 (2013), 4731–4743.
- SMIRNOV 1989 = Smirnov, V. I.: European part of the U.S.S.R. In: *Mineral deposits in Europe. Southwestern and Eastern Europe with Iceland 4/5*. Ed.: Dunning, F. W.–Garrard, P.–Haslam, H., W.–Ixer, R. A. London 1989, 279–360.
- TITE et al. 2008 = Tite, M. S.–Pradell, T.–Shortland, A.: Discovery, production and use of tin-based opacifiers in glasses, enamels and glazes from the Late Iron Age onwards: A reassessment. *Archeometry* 50/1 (2008), 67–84.
- VARBERG et al. 2015 = Varberg, J.–Gratuze, B.–Kaul, F.: Between Egypt, Mesopotamia and Scandinavia: Late Bronze Age glass beads found in Denmark. *JASc* 54 (2015), 168–181.
- VARGA 1992 = Varga I.: Későbronzkori üvegyöngy Bakonyjákóról. *PMÉ* 1992/3–4, 97–99.
- VENCLOVÁ 1974 = Venclová, N.: Sklenene maskovité korály a jejich deriváty ve střední Evropě. *AR* 26/6 (1974), 593–602.
- WAINWRIGHT et al. 1987 = Wainwright, M. N. I.–Taylor J. M.–Harley R. D.: Lead Antimonate Yellow. In: *Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics 1*. Ed.: Feller, R. L. Washington 1987, 219–254.
- WOBRAUSCHEK et al. 2000 = Wobrauschek, P.–Halmetschlager, G.–Zamini, S.–Jakubonis C.–Truka, G.–Karwowski, M.: Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Analysis of Celtic Glasses. *X-Ray Spectrometry* 29 (2000), 25–33.
- ZUFFARDI 1989 = Zuffardi, P.: Italy. In: *Mineral deposits in Europe. Southwestern and Eastern Europe with Iceland 4/5*. Ed.: Dunning, F. W.–Garrard, P.–Haslam, H., W.–Ixer, R. A. London 1989, 221–272.

## TÁBLAJEGYZÉK

2. tábla: 1/a–c.: A Szolnok 1 sárga minta visszaszórtelektron-képei. Jól látható a heterogén üvegmátrix (a, b: szürke), melyben a sárga színt adó (fehérel jelölt) ólom-antimonát szemcsék találhatóak. A fekete foltok (a, b) az eredetileg gázokkal telített pórusokat mutatják. A sötétszürke sávokban (a, b) megfigyelhető, hogy kevesebb fehér zárvány található, illetve a legsötétebb sávokban (a) egyáltalán nincs zárvány. A c ábrán (a b ábrából kinagyítva) a minta 35 µm hosszú, porózus zárványa (ólom-antimonát) is látható; 2/a–c.: A Szolnok 2 sárga minta visszaszórtelektron-képei. Jól látható a heterogén üvegmátrix (a,b: szürke), melyben a sárga színt adó (fehérel jelölt) ólom-antimonát szemcsék találhatóak. A fekete foltok (a, b) az eredetileg gázokkal telített pórusokat mutatják. Megfigyelhető a pigmentek sávok menti elrendeződése (a, b). A c ábrán (a b ábrából kinagyítva) a minta egy zárványának visszaszórtelektron-képe látható. A színező szemcse (ólom-antimonát) kb. 50 µm-es hosszúságú, porózus és heterogén; 3/a–c.: A Szolnok 3 sárga minta visszaszórtelektron-képei. A szürke üvegmátrixban (a, b, c) látható a fehér zárványok (ólom-antimonát szemcsék) vonalak menti rendeződése. Feketével a pórusok láthatók. Ezen a mintán a Szolnok 1-hez hasonlóan jól kivehetők a sötétebb és világosabb szürke sávok.

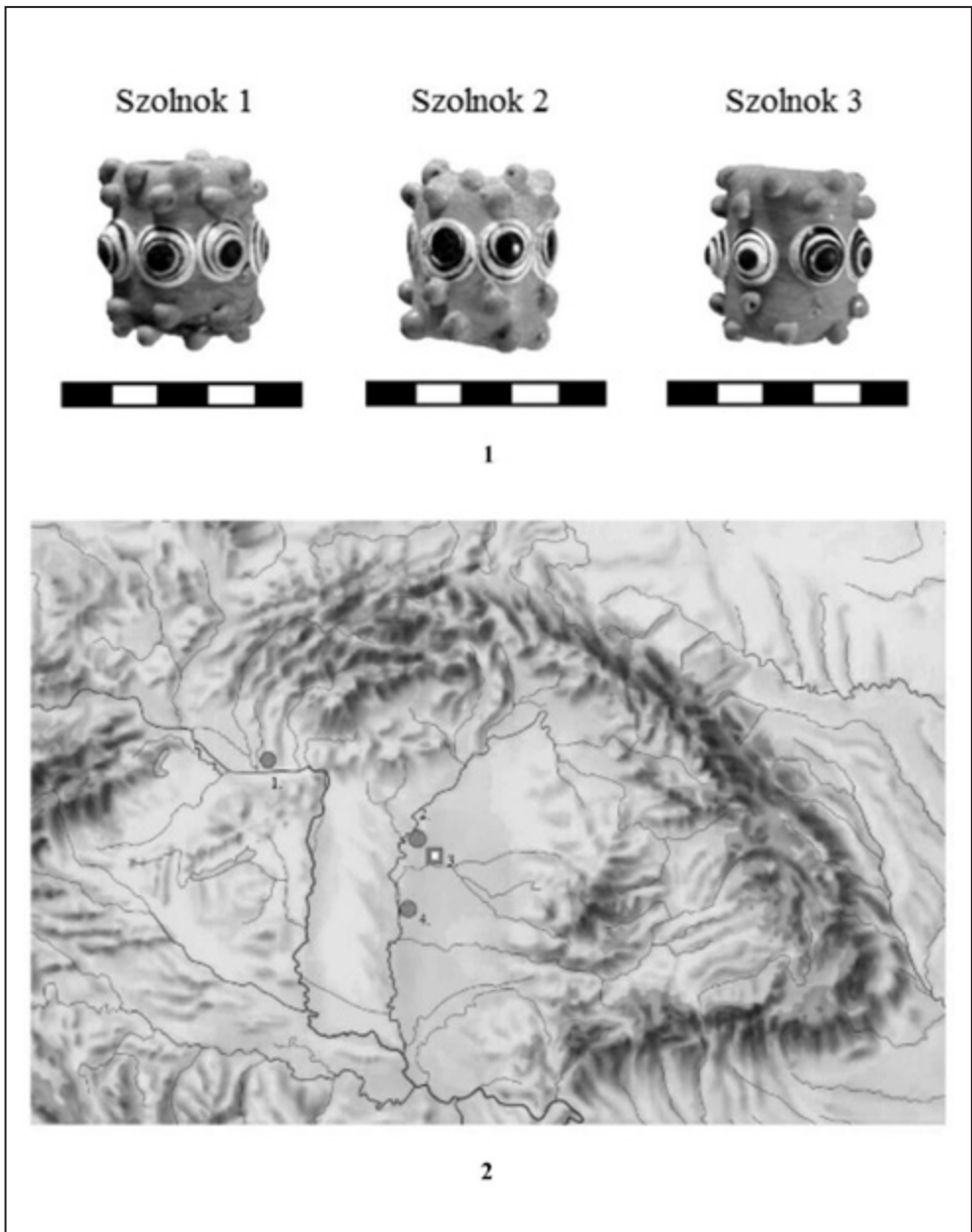
## **Archaeometric investigations of three Scythian Age glass beads**

In our study we have investigated three Scythian age eye knobby beads from the site of Mezőtúr. The beads dated to the 6<sup>th</sup>–5<sup>th</sup> century BC, are rare amongst the Iron Age finds of Hungary. From the archaeological point of view, most of the researchers agree that these findings came from Greek workshops of the Black Sea region, or from local workshops in the Carpathian Basin. To solve the questions about the provenance of the beads, we have applied archaeometric methods.

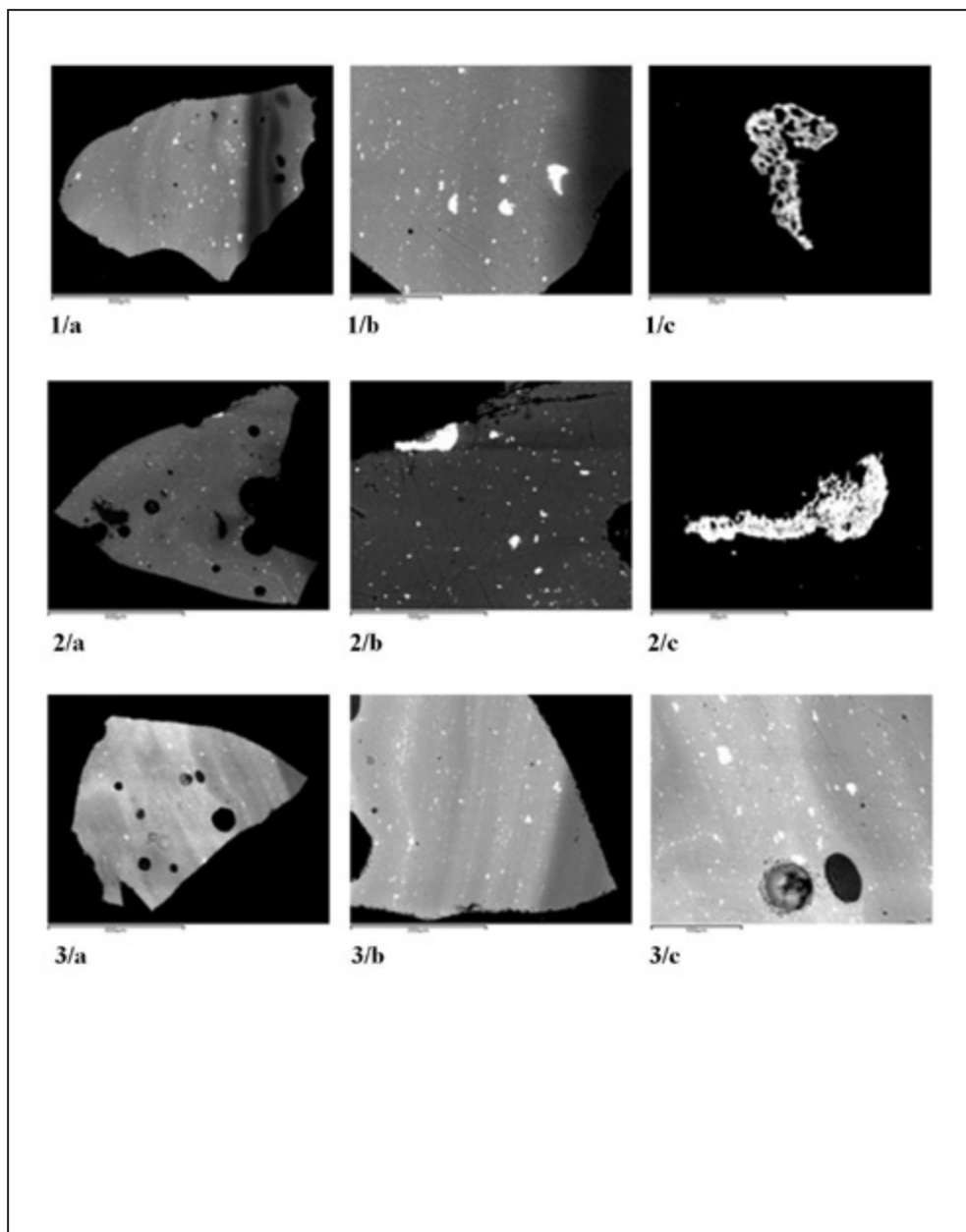
The archaeometric investigations were carried out in the Institute for Geological and Geochemical Research of the RCAES HAS. Firstly, we used portable X-ray fluorescence spectrometry to measure the chemical composition of beads non-destructively. Further investigations were carried out with electron microprobe, micro-X-ray diffraction and powder X-ray diffraction analyses.

Data indicate that the basic glass is of soda glass type. The blue colour was produced by cobalt and copper together, which are known colourants from the ancient world. The white colour of the glasses is due to calcium antimonate crystals, whereas lead-antimonate pigment is responsible for the yellow colour. However, inside the yellow pigments high iron content (3–4 wt% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) was measured by electron microprobe. Iron oxide can cause the ochre shade of the glasses and can stabilize the pigment. The high content of iron in lead-antimonate allows us to recognize a “new” production technology or to identify the source of raw materials in the future.

Based on the chemical compositions and the archaeological results, we can conclude that the Scythian beads may originate from the Black Sea region. So far we do not know any workshops in the Carpathian Basin. We need further investigations to determine the exact provenance of the beads. Finally, we should mention Apollonia Pontica (at the Black Sea), where the compositions of the glass beads were similar to the beads from Mezőtúr.



1. tábla: 1.: A mezőtúri (Szolnok 1–3) szkíta dudoros pávaszemes gyöngyök (a fotót a szerző készítette); 2.: A dudoros pávaszemes gyöngyök elterjedése a Kárpát-medencében: 1: Hetény (Chotín), 2: Törökszentmiklós–Surján, 3: Mezőtúr–Újváros, 4: Szentés–Vekerzug (KEMENCZEI 2009 gyűjtése alapján)



2. tábla: 1/a–c.: A Szolnok 1 sárga minta visszászórtelektron-képei; 2/a–c.: A Szolnok 2 sárga minta visszászórtelektron-képei; 3/a–c.: A Szolnok 3 sárga minta visszászórtelektron-képei.

	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	Összeg
Szolnok 1 kék-fehér szem	60,81	1,40	0,71	6,14	0,01	1,41	0,05	0,18	1,31	0,24	72,26
Szolnok 1 sárga	29,23	0,03	0,33	3,31	0,00	0,63	<0,01	0,00	0,60	6,61	40,75
Szolnok 2 kék-fehér szem	66,73	1,18	1,83	6,47	0,01	1,35	0,05	0,19	0,96	0,34	79,11
Szolnok 2 sárga	24,40	0,02	0,50	2,05	0,00	0,32	<0,01	0,00	0,39	6,53	34,22
Szolnok 3 sárga	23,11	0,03	0,31	2,26	0,00	0,78	<0,01	0,00	0,52	7,56	34,58

1. táblázat: A kézi röntgenfluoreszcens spektrométerrel mért kémiai összetételek átlagai gyöngyönként és üvegszínenként.

Mérési hely jele (mérete)	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	Összeg
02 03 (10µm)	12,00	0,38	1,76	67,57	0,46	0,49	6,83	0,66	10,10	100,24
02 05 (10µm)	11,74	0,40	2,21	65,09	0,62	0,30	7,15	0,70	11,14	99,38
02 06 (10µm)	10,92	0,50	1,89	62,93	0,64	0,43	6,31	1,22	10,63	95,49
07 02 (10µm)	10,64	0,30	2,13	67,14	0,65	0,45	6,46	0,73	11,09	99,60
07 03 (10µm)	10,24	0,78	1,40	66,35	0,59	0,60	6,53	1,27	12,49	100,27
07 05 (10µm)	12,36	0,70	2,34	67,55	0,63	0,55	7,30	2,87	5,48	99,81
<b>07 06 (10µm)</b>	15,18	0,73	2,32	77,41	0,66	0,53	8,19	1,10	0,64	106,76
<b>07 07 (10µm)</b>	14,10	0,64	2,02	72,47	0,38	0,37	7,99	1,07	3,08	102,12
<b>07 08 (10µm)</b>	14,98	0,54	2,15	75,97	0,61	0,42	8,26	0,74	1,40	105,07
10 01 (10µm)	10,22	0,85	2,38	68,08	0,57	0,36	7,25	0,79	9,84	100,35
10 06 (10µm)	12,12	0,36	2,17	66,61	0,63	0,46	6,13	0,82	9,36	98,67
Területi mérés 11 01 (200 x 160µm)	14,42	0,60	2,10	65,99	0,59	0,40	6,39	0,80	10,47	101,77
<b>Átlag</b>	<b>12,41</b>	<b>0,57</b>	<b>2,07</b>	<b>68,60</b>	<b>0,59</b>	<b>0,45</b>	<b>7,07</b>	<b>1,06</b>	<b>7,98</b>	<b>100,79</b>

2. táblázat: A Szolnok 1 üvegyöngy sárga testéből vett minta üvegmátrixának elektron-mikroszondával mért kémiai összetétele. A táblázat alsó sorában az adatok átlaga látható. Vastagon szedtük a kevés ólom-oxid tartalmú mérési pontokat, amelyek a minta legsötétebb sávjában találhatóak.

Mérései hely jele (mérete)	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cl	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	Összeg
02 07 (1µm)	5,74		19,32	0,28	4,80	3,66	24,43	33,44	91,68
02 08 (1µm)	2,63		9,88	0,20	5,26	4,15	31,29	37,59	91,03
05 04 (1µm)	7,87	1,68	49,69	0,51	5,95	1,92	8,49	19,75	95,86
07 09 (1µm)	3,81		15,79		3,54	4,26	27,14	39,46	93,99
07 11 (1µm)	4,12		13,35		2,73	2,93	27,00	43,05	93,19
07 12 (1µm)	8,05		40,85		6,42	2,76	17,75	23,69	99,55
08 01 (1µm)	4,30	0,55	20,19	0,08	3,37	4,15	24,55	41,78	98,99
08 03 (1µm)	4,61	1,02	28,81	0,37	4,29	3,26	18,35	33,12	93,85
10 07 (1µm)	3,33		12,58		4,27	3,35	30,55	41,32	95,40
10 10 (1µm)	5,26		19,10		3,29	3,66	23,88	43,83	99,05
12 03 (1µm)	2,02	0,49	14,37	0,19	2,87	3,47	25,48	42,56	90,98
<b>Átlag</b>	<b>4,70</b>	<b>0,98</b>	<b>22,18</b>	<b>0,43</b>	<b>4,25</b>	<b>3,42</b>	<b>23,54</b>	<b>36,33</b>	<b>94,87</b>

3. táblázat: A Szolnok 1 üvegyöngy sárga testéből vett minta zárványainak elektron-mikroszondával mért kémiai összetétele.

Mérési hely jele (mérete)	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	Összeg
04 02 (10µm)	14,13	0,53	1,47	55,08	0,87	0,52	5,29	1,20	8,14	87,23
04 03 (10µm)	16,47	0,41	2,29	62,07	0,90	0,36	5,83	1,42	9,23	98,99
04 04 (10µm)	14,91	0,48	2,13	62,80	0,69	0,71	6,09	0,94	8,69	97,45
04 05 (10µm)	15,95	0,10	2,23	64,19	0,89	0,77	6,69	0,92	8,73	100,46
08 01 (10µm)	10,66	0,30	1,98	61,71	0,88	0,61	6,28	1,17	7,41	91,01
08 02 (10µm)	14,56	0,32	2,15	62,69	0,67	0,65	6,32	1,27	8,08	96,72
08 03 (10µm)	16,67	0,33	2,51	62,97	0,89	0,65	6,69	0,99	8,58	100,29
08 06 (10µm)	15,88	0,40	1,76	64,34	0,72	0,69	7,09	1,37	8,13	100,38
Területi mérés 10 01 (200 x 160µm)	18,74	0,58	2,27	62,67	0,89	0,65	6,41	1,30	8,37	101,87
11 03 (10µm)	15,12	0,70	2,47	61,84	0,89	0,80	6,23	1,53	8,78	98,35
11 04 (10µm)	16,00	0,46	1,79	63,76	0,58	0,55	6,44	1,27	8,49	99,35
11 06 (10µm)	15,76	0,36	2,15	62,33	1,01	0,67	6,35	1,43	9,92	99,99
<b>Átlag</b>	<b>15,40</b>	<b>0,42</b>	<b>2,10</b>	<b>62,20</b>	<b>0,82</b>	<b>0,64</b>	<b>6,31</b>	<b>1,23</b>	<b>8,55</b>	<b>97,67</b>

4. táblázat: A Szolnok 2 üvegyöngy sárga testéből vett minta üvegmátrixának elektron-mikroszondával mért kémiai összetétele.

Mérési hely jele (mérete)	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	Összeg
05 01 (1µm)	4,08	6,12	3,92	7,04	34,49	44,36	100,00
05 02 (1µm)	1,64	6,03	2,95	4,53	29,05	41,13	85,34
05 07 (1µm)	7,59	22,76	4,29	3,50	19,57	35,21	92,92
09 01 (1µm)	2,26	6,37	1,97	5,25	30,19	47,41	93,46
09 02 (1µm)	6,12	12,73	3,39	3,62	21,65	36,95	84,46
09 04 (1µm)	3,45	7,76	2,24	5,36	27,04	44,44	90,29
09 06 (1µm)	10,99	24,32	3,92	3,70	18,96	31,61	93,50
08 05 (1µm)	9,38	27,08	3,11	3,39	16,40	30,06	89,41
08 06 (1µm)	6,98	9,28	1,85	3,20	24,26	39,10	84,67
10 07 (1µm)	2,66	5,43	1,92	4,39	28,11	43,12	85,62
10 10 (1µm)	11,22	26,22	3,85	3,32	20,09	35,70	100,39
<b>Átlag</b>	<b>6,03</b>	<b>14,01</b>	<b>3,04</b>	<b>4,30</b>	<b>24,53</b>	<b>39,01</b>	<b>90,91</b>

5. táblázat: A Szolnok 2 üvegyöngy sárga testéből vett minta zárványainak elektron-mikroszondával mért kémiai összetétele.

Mérési hely jele (mérete)	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	Összeg
Tertületi mérés 04 01 (140x110mm)	18,45	0,38	2,08	61,24	0,86	0,64	6,23	0,89	9,85	100,62
05 01 (10mm)	12,28	0,32	2,25	62,54	0,91	0,70	6,25	1,04	10,06	96,35
05 02 (10mm)	15,03	0,23	2,12	61,58	0,88	0,47	6,31	1,52	9,37	97,50
05 04 (10mm)	16,78	0,56	2,00	62,91	0,80	0,64	6,73	0,93	8,22	99,57
05 05 (10mm)	15,48	0,17	1,79	61,39	1,09	0,51	6,32	1,17	8,65	96,57
05 06 (10mm)	14,53	0,23	2,34	62,48	1,09	0,82	6,98	1,13	9,25	98,86
08 01 (10mm)	16,18	0,40	2,08	59,23	0,84	0,80	5,76	1,32	11,70	98,29
08 06 (10mm)	15,06	0,58	2,64	61,58	1,06	0,78	5,68	0,66	10,63	98,67
11 01 (10mm)	14,05	0,61	2,57	66,84	0,98	0,65	6,97	0,41	5,62	98,71
11 03 (10mm)	14,95	0,63	2,29	62,42	0,81	0,63	5,93	1,46	10,61	99,72
11 04 (10mm)	14,92	0,32	1,76	60,04	0,80	0,54	6,17	1,12	9,98	95,65
11 06 (10mm)	15,38	0,56	2,36	61,39	0,46	0,72	6,03	0,79	9,52	97,21
<b>Átlag</b>	<b>15,26</b>	<b>0,42</b>	<b>2,19</b>	<b>61,97</b>	<b>0,88</b>	<b>0,66</b>	<b>6,28</b>	<b>1,04</b>	<b>9,46</b>	<b>98,14</b>

6. táblázat: A Szolnok 3 üvegyöngy sárga testéből vett minta üvegmátrixának elektron-mikroszondával mért kémiai összetétele.



Mérési hely jele (mérete)	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	Összeg
06 02 (1µm)	4,57	13,22	3,75	4,46	27,46	41,70	95,16
06 04 (1µm)	6,62	28,51	4,62	4,08	22,01	34,83	100,67
09 01 (1µm)	5,70	14,29	3,48	5,19	28,06	42,57	99,30
09 03 (1µm)	9,42	30,54	4,56	3,35	18,58	31,91	98,36
09 04 (1µm)	2,21	6,10	2,49	4,48	30,86	49,22	95,35
09 05 (1µm)	6,00	17,24	2,77	4,46	22,26	40,06	92,80
09 06 (1µm)	2,70	14,14	3,09	4,55	26,07	39,84	90,38
09 07 (1µm)	8,24	19,68	3,60	4,82	24,90	39,04	100,27
09 08 (1µm)	3,79	9,54	4,00	4,39	34,09	43,20	99,01
10 09 (1µm)	5,12	22,93	3,09	3,80	18,47	35,00	88,42
10 10 (1µm)	5,19	11,61	2,66	4,59	26,08	42,68	92,82
<b>Átlag</b>	<b>5,41</b>	<b>17,07</b>	<b>3,46</b>	<b>4,38</b>	<b>25,35</b>	<b>40,00</b>	<b>95,69</b>

7. táblázat: A Szolnok 3 üvegyöngy sárga testéből vett minta zárványainak elektron-mikroszondával mért kémiai összetétele.