

KÁRTEVŐ-MENTESÍTÉS LEHETSÉGES HATÁSA MÚZEUMI FÉMTÁRGYAKRA

Gherdán Katalin^{a, d}, Weiszbürg Tamás^b, Bendő Zsolt^c, Kristály Ferenc^d, Váczi Tamás^b,
Zajzon Norbert^d

^aPásztói Múzeum, gherdankata@hotmail.com

^bEötvös Loránd Tudományegyetem, Ásványtani Tanszék

^cEötvös Loránd Tudományegyetem, Közéttan–Geokémiai Tanszék

^dMiskolci Egyetem Ásványtani és Földtani Intézet

Kivonat A múzeumi raktárakban rendszeresen végeznek kártevő-mentesítést. A hagyományosan használt kártevőirtó-szerek közül azonban többnek a használatát betiltották. Ilyen szer a metil-bromid is, mely ózonkárosító hatása miatt 2005 óta Magyarországon nem használható. Ezeket a készítményeket más szerekkel kell helyettesíteni, amelyek hatása összetett anyagokat tartalmazó környezetekben, mint amilyen például egy múzeumi raktár, egyelőre nem ellenőrzött.

Az új szerek közül széles körben használják az erősen korrozív foszfin-alapú készítményeket, például gabonarakárakban, malmokban. Ezeknél az alkalmazásoknál a foszfin korrozív hatása elhanyagolható, hiszen a mentesítendő terekben nincsenek nagy mennyiségben fémtárgyak. Ehhez hasonló környezetet jelenthetnek például a múzeumok biológiai gyűjteményei is. Egy történeti, régészeti, néprajzi, ásványtani gyűjteményben azonban foszfinnal reagáló vegyületekkel is számolnunk kell.

Példa erre egy hazai múzeum, amelynek raktárában foszfin-alapú kártevőirtást végeztek. Az itt használt magnézium-foszfid és ammónium-karbamát hatóanyagú, MAGTOXIN® kereskedelmi nevű szer úgy fejti ki hatását, hogy a levegő nedvességtartalmával reakcióba lépve foszfin, ammónia és szén-dioxid gázt fejleszt. A kártevőirtás sikeres volt, de nem kívánt mellékhatásként a múzeum réz-, ezüst- és vastartalmú műtárgyai átalakultak. Az összetett anyagú műtárgyakban a fémmel érintkező gyapjú és pamut is tönkrement.

A műtárgyak felületén környezeti ásványképződés történt, kristályos bevonatok jöttek létre. A réz- és bronztárgyak e bevonatok alatt korrodálódtak is. A kutatás célja a képződött fázisok azonosítása, és ez alapján lehetséges mentesítési javaslatok kidolgozása.

Az 1–10 µm méretű fehér, kék, zöld kristályok változatos morfológiájúak, belőlük ugyancsak változatos alakú kristályhalmazok épülnek fel. Az eddig elvégzett vizsgálatok (pásztázó elektronmikroszkópia, elektronsugaras mikroanalízis, röntgen pordiffrakciós analízis, Raman-mikrospektroszkópia) eredményeként öt fázist azonosítottunk. Ezek közül csupán egy, a természetben is képződő vegyület van (bifoszfammit: $\text{NH}_4[\text{H}_2\text{PO}_4]$), a további négy fázis mindegyike ($\text{Cu}_2[\text{P}_2\text{O}_7] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}_3(\text{NH}_4)_2[\text{P}_2\text{O}_7]_2(\text{H}_2\text{O})_{3,2}$, $\text{Cu}[\text{HPO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) műtermék. A vegyületek ismerete oldhatóságuk miatt fontos, ami alapvetően befolyásolja a restaurálhatóságot.

Abstract Fumigation has been regularly carried out in museum storages for many decades. However, several of the traditionally widely used agents have been recently banned. Methyl bromide, for example, due to its ozone depleting effect, cannot be applied in Hungary since 2005. These compounds had to be replaced by other products, among which phosphine-based chemicals have become the most widespread, not only in large granaries and flour mills, but also in biological museum collections. The effect of these new products in museum environment, having several kinds of composite objects around in historical, archaeological, ethnographic collections, however, has not been checked thoroughly.

In a storage of a large Hungarian museum fumigation was carried out in 2008 with MAGTOXIN®, a magnesium-phosphide and ammonium carbamate-based omnicide fumigant, producing phosphine, ammonia and carbon dioxide with air humidity. Fumigation was successful, but unwanted side-effects appeared. On copper, brass, silver and iron artefacts solid crystalline encrustations formed, while in textile-metal composite objects textile parts touching metal faced acidic deterioration.

The aim of our research was to identify the corrosion products, and based on this, make the restoration programme of the corroded metal objects possible. The identification of the corrosion products is important in order to know their solubility, which is a key question in restoration.

Crystal morphology and local major element analysis (SEM-EDX) show that on the surface of the metal objects intensive environmental mineral formation took place. Identification of the crystalline phases (XRD, micro-Raman spectroscopy) reveals that at least five crystalline phases formed as corrosion products on the surface of damaged artefacts. Most of them ($\text{Cu}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Cu}_3(\text{NH}_4)_2(\text{P}_2\text{O}_7)_2(\text{H}_2\text{O})_{3,2}$) do not exist in nature, but a “traditional” mineral, biphosphammite ($\text{NH}_4[\text{H}_2\text{PO}_4]$) is also present.

Kulcsszavak *fémkorrózió, múzeumi kártevő-mentesítés, foszfin gáz, környezeti ásványtan*
Keywords *metal corrosion, museum fumigation, phosphine gas, environmental mineralogy*

Bevezetés

A kulturális örökség múzeumokban őrzött tárgyait gyakran támadják meg raktári kártevők. Ezek növényi és állati eredetű anyagokkal táplálkoznak, így kárt tesznek a herbáriumokban, rongálják a prém-ből, bőrből, tollból, gyapjú- és selyemfélékből készült műtárgyakat (Philips et al. 2011). Ezért a múzeumi raktárakban rendszeresek a kártevő-irtások. A hagyományosan használt szerek közül azonban többnek a használatát betiltották. Ilyen szer a metil-bromid is, amit egyszerű használata, hatékonysága, könnyű szellőztethetősége miatt évtizedeken át használtak. A szer további előnye, hogy nem gyúlékony és nem korrozív, nem jelent veszélyt a műtárgyakra. Súlyosan károsítja azonban az ózonréteget, így a Montreali Egyezmény (1989) alapján világszerte megkezdték gyártásának és használatának beszüntetését. A szer Magyarországon 2005 óta nem használható. A metil-bromid kivonásával párhuzamosan kísérletek folynak lehetséges alternatívák feltérképezésére. A kutatások legerősebb mozgatója a mezőgazdaság és az élelmiszeripar, ahol nagy mennyiségű tárolt terméket kell rendszeresen kártevő-mentesíteni (Fields & White 2002). Sokféle szert (pl. foszfin, szén-dioxid, etil-formát, ózon stb.) teszteltek, de kísérleteznek fizikai módszerekkel (melegítés, fagyasztás, szárítás), sőt a raktári kártevőkön élősködők és ragadozók használatával is. A metil-bromid kártevőirtást utáni összegyűjtésére és újrafelhasználására is vannak próbálkozások (Fields & White 2002).

Az új fertőtlenítési módszerek közül, amikor nagyobb volumenű mentesítéseket kell megvalósítani, például gabonarakarokban, malmokban, a foszfin-alapú készítmények használata terjedt el leginkább. Ezeket a készítményeket múzeumok biológiai gyűjteményeiben is használják. A foszfin-alapú szereknek azonban, a metil-bromiddal összehasonlítva, több hátrányos tulajdonságuk is van: lassú a behatási idejük (3–15 nap), a rovarok kez-

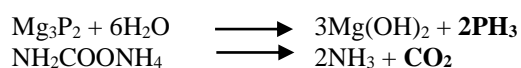
denek ellenállóvá válni (Zettler et al. 1989), gyúlékonyak és – ami a múzeumi gyakorlatban különösen fontos szempont – erősen korrodálják a réz- és ezüsttartalmú tárgyakat (Brigham 1998, 1999; Morgós 2001).

Példa erre egy hazai múzeum, amelynek raktárában 2008-ban, egy súlyos rovarfertőzés megszüntetésére foszfinalapú kártevőirtást végeztek. A művelet sikeres volt, de nem kívánt mellékhatásként a kialakult rendkívül korrozív közegben a múzeum fém-, és fémtartalmú kompozit (fém+textil, fém+bőr, fém+papír stb.) tárgyai átalakultak. A réz-, bronz-, ezüst- és vastárgyakon szilárd kristályos bevonatok képződtek, a kompozit tárgyak pedig, ahol a textil/papír a fémmel érintkezett, elmallottak.

Kutatásaink célja a műtárgyakon megjelenő korróziós termékek (szilárd kristályos bevonatok) és az azokat létrehozó környezeti kémiai és környezeti ásványtani folyamatok azonosítása, restaurálási program kidolgozásának lehetővé tétele volt.

Előzmények

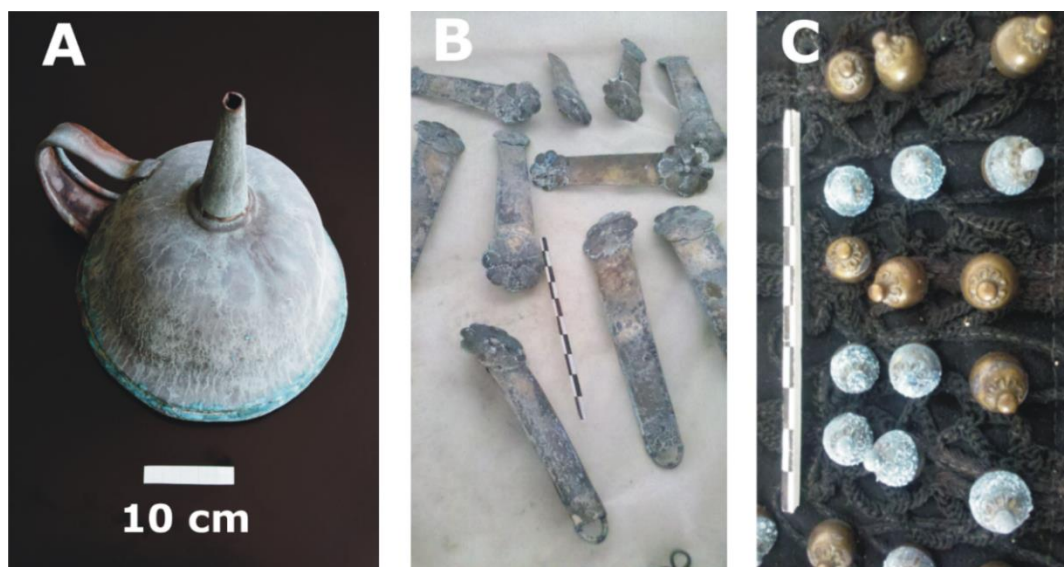
A raktár kártevő-mentesítésre a MAGTOXIN® kereskedelmi nevű szert használták (Degesch 2013). A szer magnézium-foszfidból és ammónium-karbamátból áll, mely anyagokból a levegő nedveségének hatására magnézium-hidroxid, foszfin, ammónia és szén-dioxid képződik. A lejátszódó reakciók erősen hőmérséklet- és páratartalom-függők.



Az omnacid szerként használt foszfin forrása a magnézium-foszfid, míg az ammónium-karbamátból szén-dioxid szabadul fel, ami csökkenti a foszfin gyúlékonyságát. A magnézium-hidroxid és az ammónia melléktermékek.

A raktárban négy múzeumi gyűjtemény anyagát tárolták. A korrózió érinti az iparművészeti, a régészeti, a néprajzi és a történeti gyűjtemény azon műtárgyait, melyek rézből, ezüsből, ezüstözött

rézből, ónozott rézből, vasból, valamint ezeknek a fémeknek és textilnek és/vagy bőrnek és/vagy papírnak a kombinációjából állnak (1. ábra).



1. ábra. Erősen korrodált (A) réz, (B) ezüst (~ 2 tömeg% Cu) és kompozit (textil és réz) műtárgyak. A léptéken 1 beosztás 1 cm.

Vizsgálati módszerek

A korróziós termékeket először sztereomikroszkóppal tanulmányoztuk, a termékekről fotódokumentációt készítettünk. A különböző színű korróziós termékeket színek szerint szeparáltuk, majd röntgen-pordiffrakciós vizsgálatnak (fázisazonosítás) vetettük alá. A különböző színű kristálysoportokat a féműtárgyak eredeti felületén pásztázó elektronmikroszkóppal (morfológiai vizsgálat), és az ezzel kombinált energiadisperzív röntgen spektrometriával (lokális kémiai elemzés), valamint mikroszkópi Raman spektroszkópiával (fázisazonosítás) vizsgáltuk.

Az alábbi műszereket használtuk:

– Energiadisperzív röntgenspektrométerrel felszerelt AMRAY 1830i pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) (20 kV, 1 nA).

– Bruker D8 Advance röntgen-pordiffraktométer, Cu K α sugárzás (40kV-40mA), Göbel-tükörrel előállított párhuzamos nyalábgeometria, 0,6 mm-es kilépő réssel, 2,5 fokos szimmetrikus axiális Soller-résekkel, Vantec1 helyzet-érzékelő detektor, 1 fokos ablaknyílással. Adatgyűjtés pontdetektorra számolva: 0,007

fok(2Th)/144 s és 0,007 fok(2Th)/14,4 s. Komponensek azonosítása Search/Match kereséssel, az ICDD PDF-2 2005 adatbázisból.

– HORIBA JobinYvon LabRAM HR800UV Raman-mikrospektrométer, Olympus BXFM mikroszkóp, 50 \times (N.A. 0,5) és 100 \times (N.A. 0,9) objektívvel. A berendezésben élszűrőt és 50, ill. 100 μ m-es konfokális apertúrát (mely a spektrométer belépőréseként is funkcionál) alkalmaztunk, 600 vonal/mm-es optikai rács használatával a spektrális felbontás kb. 4 cm^{-1} volt. A Raman-szórás frekvenciakétszerezett Nd:YAG szilárdtestlézer 532 nm-es emissziójával gerjesztettük (legfeljebb kb. 40 mW teljesítmény érte a mintákat). A jelgyűjtés idejét a szórt jel és a háttér intenzitásának függvényében változtattuk, 30, illetve 60 s-es integrációs időket alkalmaztunk megfelelő számú ismétléssel.

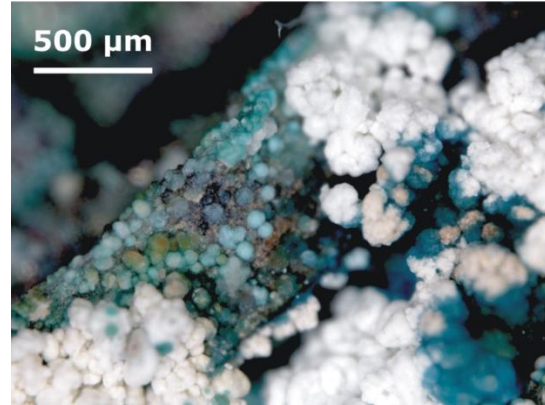
A bevonatok anyagai

A sztereomikroszkópos vizsgálatok során öt különböző színű korróziós terméket azonosítottunk. A műtárgyak felületét sötétkék, világoskék, zöld, fe-

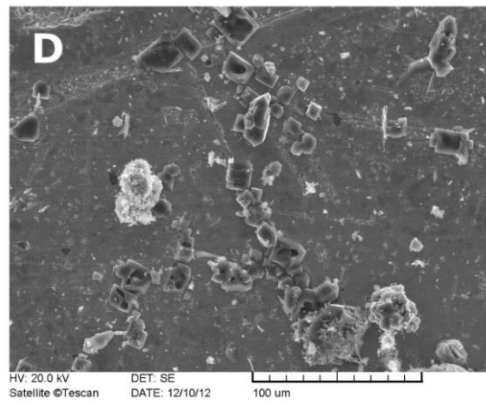
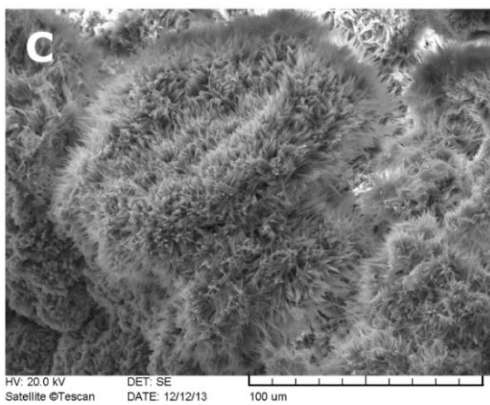
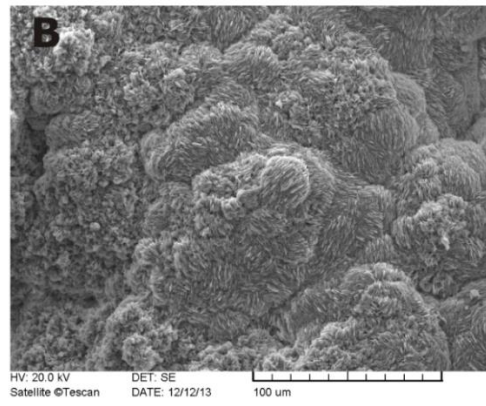
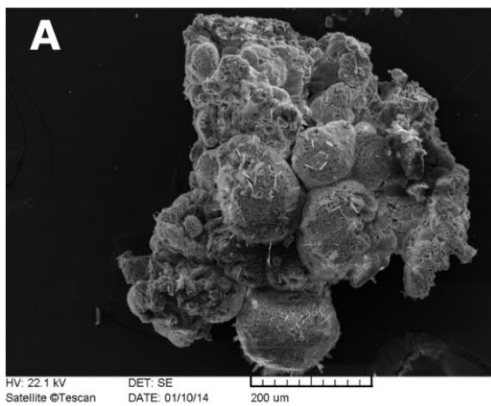
hér és szintelen (áttetsző) kristálycsoportok borítják (2. ábra). A vas műtárgyakon képződött fehér kristálycsoportok helyenként szürkésbarna árnyalatúak. Az ónozott rézen nem keletkeztek kristályos bevonatok. A továbbiakban a réz, ezüst és ezüstözött réz műtárgyakon képződött korróziós termékek vizsgálatának eredményeit mutatjuk be. A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok megmutatták, hogy az egyedi kristályok 1–10 µm nagyságúak, változatos morfológiájúak, és több generációban képződtek (3. ábra).

A röntgen-pordiffrakciós vizsgálatokkal azonosított fázisok többsége mesterséges, nem található meg a természetben. A korróziós termékek közt egyetlen hagyományos ásványként ismert vegyület, a bifoszfammit ($\text{NH}_4[\text{H}_2\text{PO}_4]$) fordul elő (Bridge 1973). A természetben barlangok falán és padlóján lerakódott guanóban van jelen. A műtárgyakon ez az ásvány *színtelen (áttetsző)* fázis, a

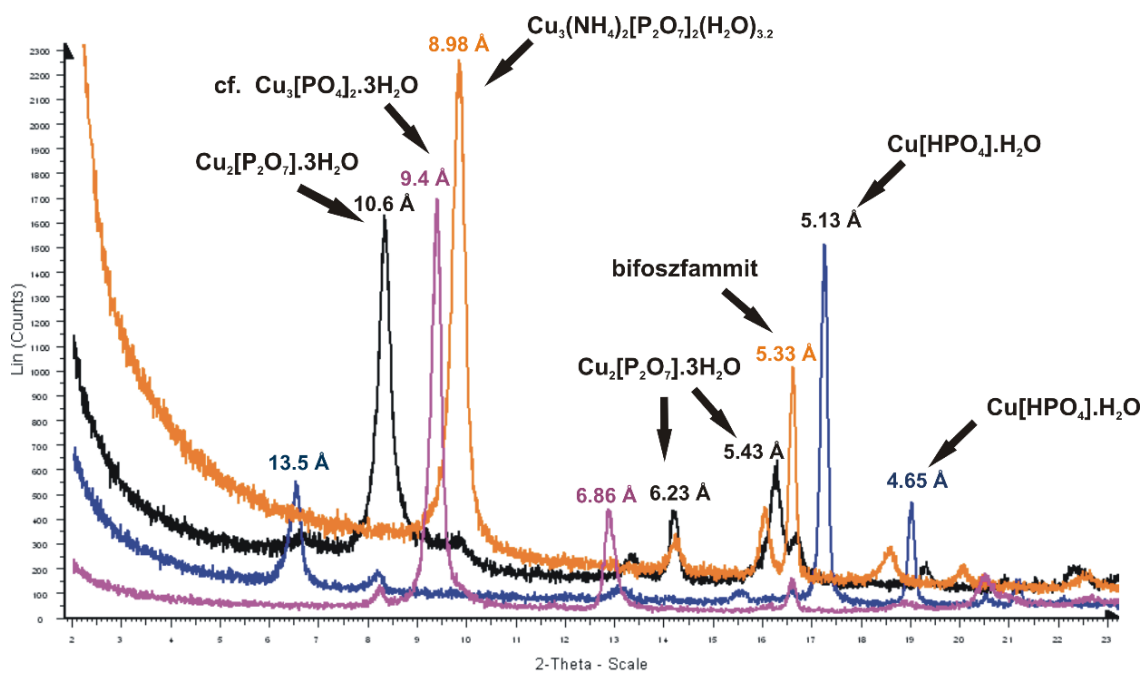
sokkal dominánsabb fehér, világos- és sötétkék korróziós termékekhez kapcsolódva jelenik meg.



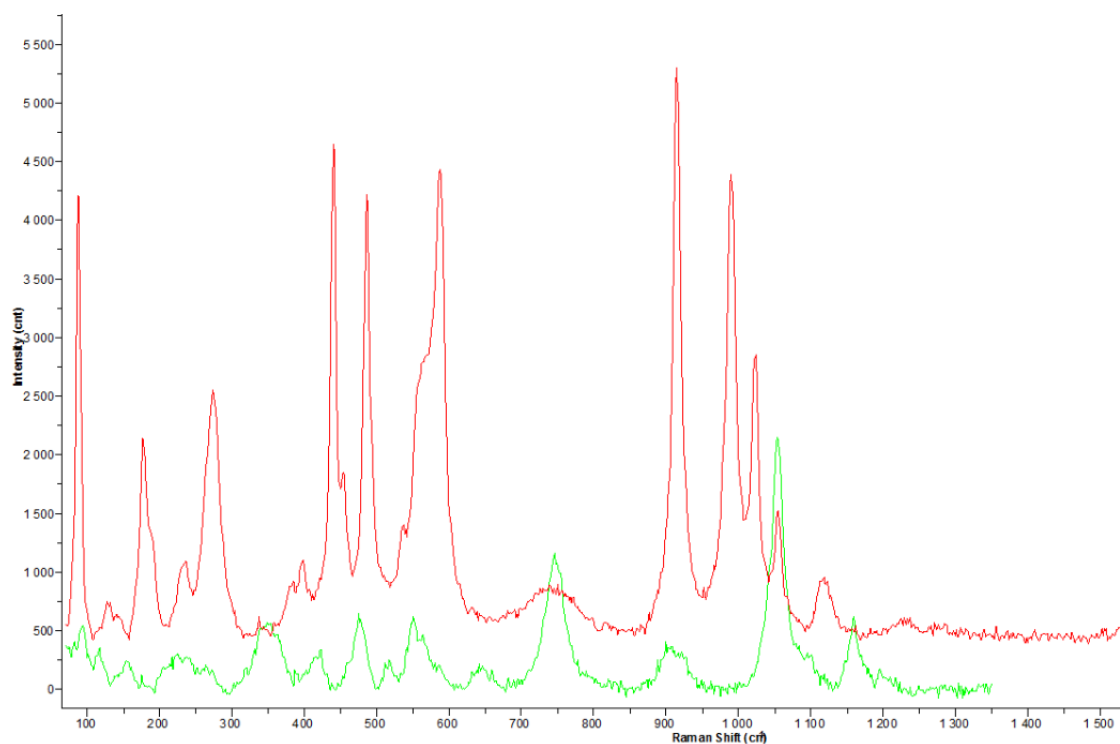
2. ábra. Ezüstözött rézen képződött változatos színű korróziós termékek. Sztereomikroszkópos felvétel.



3. ábra Korróziós termékek réz, ezüstözött réz és ezüst műtárgyakon. (A) Több generációban képződött kék, lemezes kristályok rézen, (B) kék, lemezes kristályok ezüstözött rézen, (C) gömbszerű csoportokba rendeződött fehér, tűs kristályok ezüstözött rézen, (D) szintelen (áttetsző), zömök, oszlopos kristályok ezüstön. Pásztázó elektronmikroszkópos felvételek.



4. ábra. Különböző színű korróziós termékek röntgendiffraktogramjai. Korróziós termékek rézen (lila görbe), ezüstön (kék és narancs görbék) és ezüstözött rézen (fekete görbe).



5. ábra. Ezüstözött rézen képződött különböző színű korróziós termékek Raman spektruma: $\text{CuHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, sötétkék kristályok (piros görbe), $\text{Cu}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, fehér kristályok (zöld görbe).

A *fehér* bekérgezések legalább két kristályos fázisból állnak. A leggyakoribb fehér kristályos vegyület réz- és ezüstözött réz tárgyakon a $\text{Cu}_2[\text{P}_2\text{O}_7] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, míg az ezüstön található fehér bekérgezés röntgendiffrakciós adatok alapján a $\text{Cu}_3(\text{NH}_4)_2[\text{P}_2\text{O}_7]_2(\text{H}_2\text{O})_{3,2}$ vegyülethez hasonló.

A *sötétkék* kristálycsoportok az ezüst és ezüstözött réz tárgyakon egyaránt a $\text{Cu}[\text{HPO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$ vegyületből állnak. A réztárgyakon, ha egyáltalán megjelenik, nagyon kis mennyiségben van jelen ez a fázis.

A *világoskék* kristályok diffraktogramjai a rézen és az ezüstözött rézen a $\text{Cu}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ vegyületéhez hasonlítottak, míg a kéknek látszó kristálycsoportok az ezüstön vagy ehhez a vegyülethez hasonlóak, vagy egyszerűen a sötétkék $\text{Cu}[\text{HPO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$ és a fehér fázis $\text{Cu}_3(\text{NH}_4)_2[\text{P}_2\text{O}_7]_2(\text{H}_2\text{O})_3$ keverékeként állnak elő. A mikroszkópi Raman spektroszkópia az adatbázisok korlátozottsága miatt (sok vegyület Raman-spektrumát még nem ismerjük) kevésbé volt alkalmas a direkt fázisazonosításra, de nagyon hasznosnak bizonyult a különböző színű fázisok korrelációjában: a változatos árnyalatú kék és zöld kristálycsoportokat jól lehetett csoportosítani segítségével. Bár az eddigi vizsgálatok során sikerült azonosítani a különböző színű korróziós termékek fő fázisait, a Raman-spektrumok és a röntgendiffraktogramok összehasonlítása azt mutatja, hogy legalább egy azonosítatlan fázis (karakterisztikus röntgenszűcs $d=13,5 \text{ \AA}$ -nél) még van a korróziós termékek között.

Értelmezés

A kártevő-mentesített múzeumi raktárbázisban kialakult rendszerhez hasonló körülmények között képződő kristályos fázisokról keveset tud a szakirodalom, ilyen jellegű és mértékű környezeti ásványképződési folyamatot még sosem írtak le.

A múzeumi tárgyakénál lényegesen korlátozottabb anyagváltozatosságú környezetben (kanadai magtárak) lezajlott hasonló folyamatokat próbáltak azonban már modellezni. Brigham és társai (1998, 1999) a réz-oxidok foszforsav hatására bekövetkező korróziójának termékeként értelmezik a képződményeket. Kísérleteikben réztárgyakat tettek ki különböző foszfin- és szén-dioxid koncentrációknak, különböző hőmérsékletű és páratartalmú rendszerekben. Azt találták, hogy alacsonyabb páratartalom esetén a fém felületén nedves bevonat képződött, míg magasabb páratartalmú környezetben száraz kristályos bevonatok keletkeztek. A jelenséget azzal magyarázták, hogy a foszfinban lévő

foszfor víz jelenlétében az alábbi reakciók szerint oxidálódik a fém felületén:

- 1) P oxidálódik: $-3 \rightarrow +1$ (Cu, Ni, Pd, C katalizálja)
 $\text{PH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
- 2) P oxidálódik: $-3 \rightarrow +3$
 $\text{PH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$
- 3) P oxidálódik: $-3 \rightarrow +5$
 $\text{PH}_3 + 4\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_4 + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^-$

A keletkező oldatokban a kísérletek szerint a réz termodinamikailag stabil, nem korrodálódik. Azonban a réztárgyak felülete levegőn mindig oxidálódik, és a keletkező réz-oxid a foszforsavval (folyadék) reagál, így réz-foszfátok (szilárd) képződnek. A száraz illetve nedves rezsimek kialakulása a relatív páratartalom függvényében a gáz oxidációs képességében bekövetkező kis változásoktól függ. Magas páratartalom esetén a relatíve oxidatívabb körülmények között több Cu^{++} ion keletkezik, száraz réz-foszfátok képződnek. Múzeumi tárgyaknál a réz-oxid jelenléte fokozottan várható, így ezek a tárgyak kiemelten veszélyeztetettek.

A fenti elméletet nem kizárva érdemesnek tartjuk megfontolni Goncharova és társainak (2002) eredményeit is, akik réz és foszfin közvetlen kölcsönhatását vizsgálták. Azt találták, hogy alacsony hőmérsékleten a foszfin-molekulák adszorbeálódnak a fém felületén, míg 273 K felett a réz katalizálja a foszfin bomlását: a H_2 molekulák elhagyják a rendszert, a foszfor pedig diffúzióval beépül a réz felületébe, vékony felületi réz-foszfid réteget alkotva. Ez a félvezetők fizikájának kutatása során született kísérleti eredmény magyarázhatná a múzeum fémrestaurátorai által észlelt „misztikus” jelenséget is, amikor a használt réz töltényhüvelyeket Selecton B2-vel (LabChem 2013) kezelve azt figyelték meg, hogy a korróziós termékek ugyan eltűntek a tárgy felületéről, azonban néhány hét múlva, annak ellenére, hogy a tárgyakat semleges atmoszférában, a többi korrodált tárgytól szeparálva tárolták, újra megjelentek.

Restaurálási szempontból összefoglalóan jellemezve a vegyületeket megállapítható, hogy

1) A keletkezett vegyületek közül csak kevesnek ismerjük a kémiai viselkedését. Ezek vízben rosszul oldódó, így a jelenlegi tárolási körülmények között a foszforsavat stabilan megkötő, azt szilárd fázisban tartó, nem is szublimáló, a további környezeti folyamatok szempontjából semleges anyagok.

2) Számos azonosított (és természetesen a nem

azonosított) vegyületnél nem ismerjük a környezet-
tel való kölcsönhatást, ennek megismerése célzott
kutatást igényel.

3) Az eddig megismert szilárd vegyületeknél
nem találtunk olyan adatot, amelyek toxicitásra
vagy humán allergiás hatásra utalnának, de termé-
szetesen csak a vegyületek egy részét ismerjük e
pillanatig.

Múzeumi fertőtlenítések a jövőben

A fertőtlenítéssel foglalkozó szakemberek szerint
nagy léptékű múzeumi kártevő-mentesítéskor a metil-
bromid betiltása óta a foszfinnak nincs alternatí-
vája. Ha ezt elfogadjuk, akkor a fémtárgyakat is
őrző múzeumok számára nincs más megoldás, mint
szisztematikus kísérletsorozatokon alapuló nem-
zetközi kártevőirtási protokollt kidolgozni. A pro-
tokollnak tartalmaznia kell a legérzékenyebb tárgy-
típusok listáját, amelyek nem tárolhatók gázosított
helyiségekben, azaz a kártevőirtás előtt el kell őket
távolítani, valamint az optimális dózisok, meteorol-
ógiai paraméterek és szellőztetési eljárások leírás-
át.

A protokoll kialakítása komoly tudományos ki-
hívást és felelősséget is jelent. A munkát megkezdtük,
jelenleg kísérletet folytatunk egy vidéki mú-
zeum biológiai gyűjteményében, az ottani munkatársak
aktív közreműködésével.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük az érintett múzeum munkatársainak
együttműködését. A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-
11-1-2012-0001 Nemzeti Kiválóság Program című
kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Eu-
rópai Unió támogatásával, az Európai Szociális
Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Felhasznált irodalom

- Bridge, P. J. 1973. Guano minerals from Murra-
elevation cave Western Australia, *Mineralogical
Magazine*, Vol. 39, 467–469.
- Brigham, R. J. 1998. Corrosive effects of
phosphine, carbon dioxide, heat and humidity
on electronic equipment, 1–43.
- Brigham, R. J. 1999. Corrosive effects of
phosphine, carbon dioxide, heat and humidity
on electronic equipment: Phase II, 1–40.
- Degesch 2013. Material Safety Datasheet:
magnesium phosphide. [http://www.](http://www.degeschamerica.com/docs/MSDS/Spent%20Mg3P2%20MSDS.pdf)

- [degeschamerica.com/docs/MSDS/Spent%20Mg3P2%20MSDS.pdf](http://www.degeschamerica.com/docs/MSDS/Spent%20Mg3P2%20MSDS.pdf)
- Fields, P. G., White, N. D. G. 2002. Alternatives to
methyl bromide treatments for stored-product
and quarantine insects, *Annual Review of
Entomology*, Vol. 47, 331–359.
- Goncharova, L. V., Clowes, S. K., Fogg, R. R.,
Ermakov, A. V., Hinch, B. J. 2002. Phosphine
adsorption and the production of phosphide
phases on Cu (001), *Surface Science*, Vol. 515,
553–566.
- LabChem 2013. EDTA, Disodium, Dihydrate,
Safety Data Sheet [http://www.labchem.com/
tools/msds/msds/LC13750.pdf](http://www.labchem.com/tools/msds/msds/LC13750.pdf)
- Morgós, A. 2001. Műtárgyak korszerű fertőtleni-
tése, *ISIS Erdélyi Restaurátor Füzetek*, Vol. 1,
21–42.
- Philips, T. W., Hasan, M. M., Aikins, M. J.,
Mahroof, R. 2011. Fumigation and IPM
alternatives for arthropode pests of museums,
*Journal of Entomological and Acarological Re-
search*, Ser. II., Vol. 43 (2), 205–210.
- Zettler, J. L., Halliday, W. R., Arthur, F. H. 1989.
Phosphine resistance in insects infesting stored
peanuts in the southeastern United States, *Journal
of Economic Entomology*, Vol. 32, 1508–
1511.