



Braun Tibor

dr.braun.tibor@gmail.com

Muzeális műtárgyak légköri környezetvédelme

Előszó

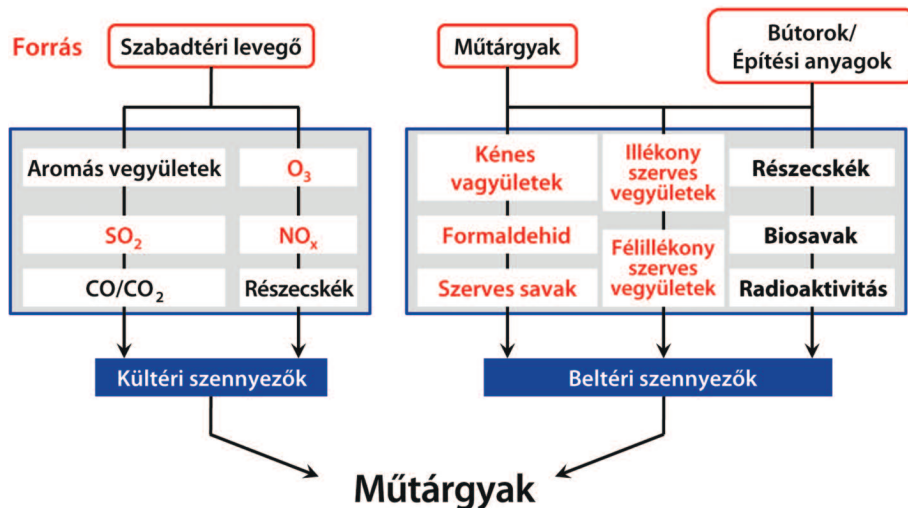
A múlt megőrzése a jövő érdekében a társadalom egyik legjelentősebb felelőssége. [1] A kulturális örökségi műtárgyakat úgy védik a legjobban a környezeti ártalmaktól, hogy ellenőrzés alatt tartják azt a környezetet, ahol bemutatják őket. A károsító faktorok közé beleértendő a fizikai és kémiai tényezők, a fény, a hőmérséklet, a relatív nedvesség és számos más tényező, ami hatással lehet ezekre a tárgyakra létük során. [2]

A múzeumi műtárgyak légköri szennyezők által okozott károsodásának lassítását 1978-ban kezdeményezték hivatalosan *A múzeumi környezet* című könyvben, ami az akkori ismeretek szerint a különböző anyagok viselkedésével foglalkozott, légköri környezetvédelem esetére. Ebben ellenőrzési lépéseket javasoltak a szóban forgó környezet klímájának tekintetbevételével. Ezáltal a műtárgyak iránti figyelmet a restaurálásról a megelőzésre fordították, és ez utóbbi hangsúlyozásával létrejött a megelőzéses védelem fogalma és tevékenysége. [3]

A környezeti körülmények (mikroklíma, mikrobiológiai és kémiai szennyezők) hatásának kutatását műtárgyakra vonatkozóan csak körülbelül 40 éve kezdtek azoknál az anyagfeleségeknél, amelyekből a műtárgyak készülhettek. A legtöbb esetben meglehetősen nehéz a károsodást egyik vagy másik jellegzetes tényezőnek tulajdonítani egy másikkal szemben. Ehhez hozzájárulhat, hogy a műtárgyak idősödésének hatása is sokféle lehet. [4]

Bevezetés

A légkörszennyezés nemcsak a közegészségügynek vagy globális éghajlatnak okoz gondot, hanem a muzeális kulturális örökségnek is. Mint említettük, körülbelül 40 éve kezdtek el foglalkozni az említett kérdéssel, felvetve, hogy mindez hogyan érinti



1. ábra. Kültéri és beltéri levegőszennyezettség múzeumokban [20]

a múzeumi műtárgyakat. [5] A kulturális örökség jellemző műtárgyait veszélyeztető környezetszennyezők nagyjából két csoportba oszthatók (1. ábra):

1. kültérben létrehozott szennyezők és
2. beltérben létrehozottak. [6]

A kültéri légkörszennyezés néhány olyan tényezőtől függ, mint a klíma, a földrajz, az ipari létesítmények száma, a járművek típusa és használt üzemanyag-féleségeik. A szellőztetett múzeumi épületeket, beleértve a történelmieket is, jelentősen befolyásolják a helyi klímakörülmények, amik a beltéri koncentrációkat közelíthetik a kültériekhez. [7] Ezért, amennyiben lehetséges, számos kulturális örökségi intézmény (múzeum) fűtést, szellőztetést és légkondicionálást vesz igénybe annak érdekében, hogy a beltéri szintek szennyezését a kültériek 5%-ánál kisebbre szorítsák.

Bizonyos számú kihívásra tekintettel kell lenni a műtárgyakra ható szennyezők meghatározásánál, illetve mérésénél. Az egyik legnagyobb kihívás a szinergetikus hatások jelenléte. A szennyezők keveredéséből származó veszély nemcsak egyszerűen az egyes légszennyező anyagok összehadható mennyiségének hatása, hanem egy bizo-

nyos számú olyan tényezőtől is függhet, mint a jelen lévő szennyezők egymás közötti reakciója, a relatív nedvesség, a fény és még magának a műtárgynak a története is. Ez majdnem lehetetlenné teszi a mindent magába foglaló védekezés meghatározását. Ebből ered, hogy az elfogadhatónak tekintett lépések állandóan változnak. [8]

Légszennyezők

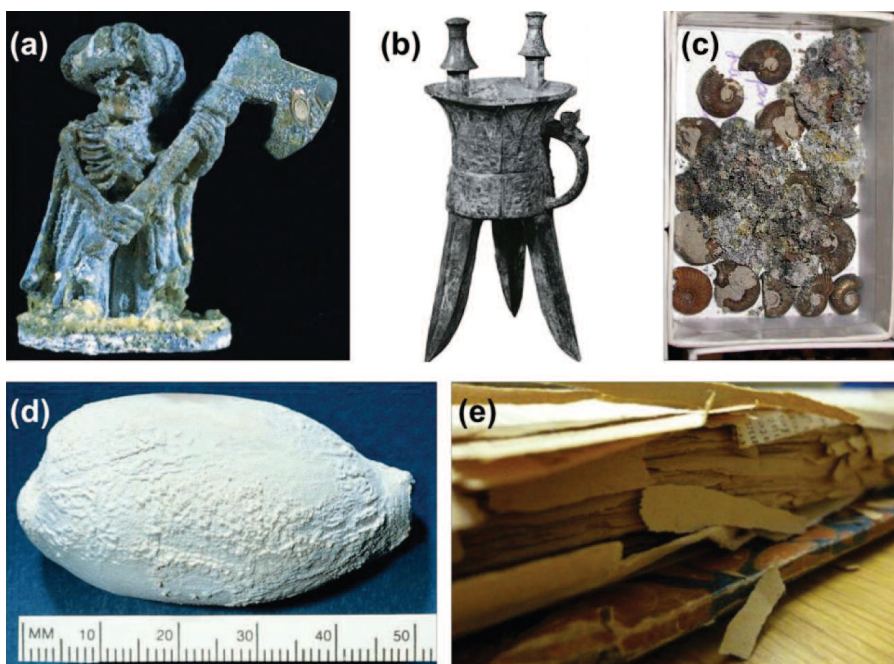
Az 1. táblázat bemutatja a múzeumok beltérben található legfontosabb környezetszennyezőket és azok érzékeny, más műtárgyakra, illetve emberekre ajánlott elfogadható szintjeit. Mint látható, a kulturális örökségi műtárgyakra megengedhető környezetszennyező koncentrációk hatása jelentősen alatta van az élőlényekre engedélyezett értékeknek. Lényegében az érzékeny műtárgyakra való elfogadható szennyezők koncentrációjának a határai körülbelül ppb körüliek, vagy az alatt vannak. Számos szennyezőnél ez csak körülbelül 1%-a az emberekre engedélyezett hatásnak. Bizonyos szennyezőknek, amelyek aggodalomra adnak okot az emberi egészség esetében (például szén-monoxid, könnyebb nemesgázok, nehézfémek), nincs káros ha-



Főbb szennyezők	Javasolt szintek, érzékeny ^a műtárgyak (ppb)	Javasolt szintek, más gyűjteményi anyagok (ppb)	Emberekre engedélyezett szintek (ppb)
NO ₂	0,05–2,6	2–10	5,00
O ₃	> 0,5	0,5–5	1,00
SO ₂	0,04–0,4	0,4–2	5,00
H ₂ S	> 0,1	> 0,1	20,00
ecetsav	> 5	40–280	10,00
hangyasav	> 5	5–20	5,00
formaldehid	> 0,1–5	10–20	750
acetaldehid	> 1–20	n.a.	200

^a Érzékeny műtárgyak azok, amelyeket bizonyos szennyezők jelentősen veszélyeztetnek.

1. táblázat. Múzeumi műtárgyakra ható környezeti légszennyezők



2. ábra. Példák környezeti légszennyezési hatásokra múzeumi műtárgyakban. a) Harcos miniatűr ólomszobra, amelyet fehér ólom-karbonát borít, ez utóbbi ecetsav-korróziós szennyezés eredménye [23]; b) fekete réz-szulfid korrózió nyomai Sang-dinasztia korabeli múzeumi bronztárgyon [25]; c) piritbomlás látható nyomait viselő érmék [26]; d) Byne-betegségből (savas korróziótól) eredő rücskök légkörszennyezésnek kitett kagylón [23]; e) légköri szennyezések által károsított angolai papírminták [27]

tásuk kulturális örökségi műtárgyakra. Lényegében a legtöbb illékony szerves vegyület (volatile organic chemicals) sem károsítja a muzeális műtárggyűjteményeket. Alacsony légszennyezési fokon a szennyezők közvetlen hatása történeti vagy kulturális értékű muzeális anyagokra aránylag korlátozott, de hosszabb ráhatási időszakok alatt komolyabb károsodást is okozhatnak, mint például felületváltozást, színváltozást vagy teljes bomlást is. Ezért rendkívül fontos, hogy a károsodó műtárgyakat olyan ellenőrzött feltételek között tartsák, amelyek légszennyezéstől mentesek. Egy műtárgy sokféle, bonyolult módon károsodhat a múzeumi környezetben. Számos ismeret,

ami a károsodás és korrodálódás mechanizmusát illeti, még felfedezésre vár.

A legnagyobb kockázatot a gáznemű szennyezők közül a savasak (ecetsav, hangyasav) jelentik, vagy azok, amik a környező hőmérséklet és nedvesség hatására savas változatokra alakulhatnak (formaldehid, acetaldehid, nitrogén-dioxid és kén-dioxid, mert salétromsavvá és kénsavvá hidrolizálnak nedvesség hatására). [9, 10] A savas anyagok korrozívak, és károsítják bizonyos fémek anyagát (2. ábra). Befolyásolhatják például cellulóztartalmú anyagok hidrolízisét, valamint nedvesség hatására a bomlását. [11]

Károsodás

Oxidálószerke (például ózon, nitrogén-dioxid és peroxi-acetilnitrát) szintén problémát jelentenek a múzeumi környezetben. [12,13] Ezek nem csak a legtöbb szerves anyagban jelen levő szénláncok kettős kötéseinek roncsolását okozhatják, például halványíthatják a festékeket és a pigmenteket. Reakciók nyomán ezek a savak olyan változásokat is okozhatnak különböző anyagok molekuláris szerkezetében, amelyekből azok törékennyé válnak. A piritbomlás (fosszilis betegség) – a számos fosszilis műtárgyban jelen lévő pirittartalmú anyagokban kén-dioxid keletkezik – elszíneződést, bomlást és néha teljes megsemmisülést eredményez. [14] A kéntartalmú vegyületek redukált (kén-hidrogén, karbonil-szulfid), valamint oxidált (kén-dioxid) állapotban különösen veszélyesek fémekre, fekete réz-szulfidhoz vezetnek, aminek penészes kinézete van. A fény és kén-dioxid szinergetikus hatása jelentős a textilszálak bomlásánál. Víz és nitrogén-dioxid jelenléte jelentős károsodást okoz nem pufferezett papírban is. [15,16]

Múzeumok és műtárgyaik esetében a károsodás szintje bizonyos mértékben eltér más műtárgyakétól. Így például a zöldre oxidálódott réztetők nem károsodást jeleznek, hanem kedvező benyomást keltenek valamely épületen, vagy, ugyancsak példaként, egy 18. századbeli tengerügyi egyenruhában a fegyver által okozott lyuk is növelheti annak történeti értékét. [17]

Általában igyekeznek a műtárgyakat érő számos változási lehetőség szétválasztására annak érdekében, hogy az esetleges rendbehozatali, restaurálási szükségleteket prioritási sorba helyezhessék. [18]

Ellenőrzés

Számos szempontot kell tekintetbe venni, amikor a műtárgyak védelmi stratégiáját bizonyos esetekben kidolgozzák. Az első a szennyezők félesége és forrása, a második a szóban forgó műtárgy érzékenysége az adott környezetszennyezővel szemben (1. táblázat).

A környezetvédelmi vizsgálati módszerek két csoportra oszthatók: aktívakra és passzívakra. Ezek igénybeviteléhez analitikai berendezések szükségesek, ilyenek például: gázkromatográfia-tömegspektrometria, HPLC, FTIR, SPME. [19–22] A passzív mintavételi berendezések két változata ismeretes:

- laboratóriumi berendezések, amikhez elemzésre a színhelyről a mintát laboratóriumba küldik tovább,



2. közvetlen leolvasás, ahol a mintát a helyszínen veszik, és ahol az eredmények általában detektoron figyelhetőek meg az esetek többségében színváltozásként. [23]

Míg a közvetlen leolvasásos berendezések csaknem pillanatnyi eredményeket szolgáltatnak, azok nem mindig annyira tájékoztatóak, mint a laboratóriumi elemző berendezések. Ez utóbbiaknak előnyei a nagyobb pontosság és fajlagosság.

A 2. táblázat röviden összefoglalja a passzív mintavételi berendezések előnyeit és hátrányait.

Utószó

A légköri környezetszennyezés jelentős szakirodalommal rendelkezik, de a muzeális műtárgyakat aránylag ritkán említik. Ezért igyekeztünk a fentiekben dióhéjban bemutatni ezt a szintén nagyon káros és tekintetbe veendő változatot.

IRODALOM

- [1] P. M. Whitmore, Conservation Science Research: Activities, Needs, and Funding Opportunities, A report to the National Science Foundation, 2005.
 [2] D. Camuffo, R. Van Grieken, H. J. Busse, G. Sturaro, A. Valentino, A. Bernardi, N. Lades, B. Shooter, K. Gysels, N. Wieser, O. Kim, U. Ulrich, Atmos. Environ. (2001) 35, 127.
 [3] L. Molhave, Environ. Internat. (1982) 8, 117.
 [4] W. E. Krumbein, P. Brimblecombe, DE Cosgrove, S. Staniforth, Durability and Change: The Science, Responsibility, and Cost of Sustaining Cultural Heritage, Wiley, Chichester, 1994.

Berendezés típusa	Előnyök	Hátrányok
közvetlen leolvasásos PSB	egységenkénti kisebb költség egyszerű használat, rögtöni eredmények	magas kimutatási szintek alacsonyabb pontosság zavarókra érzékeny
laboratóriumban elemzett PSB	nagy pontosság szennyezőre specifikus, alacsony kimutatási szintek	egységenként magasabb költség bonyolult használat nem rögtöni eredmények

2. táblázat. Passzív mintavételi berendezések (PMB) előnyei és hátrányai [16]

- [5] J. McCausland, Conservation and storage, prints, drawings and water-colors. In: Manual of Curatorship: A Guide to Museum Practice.
 [6] V. Desauziers, D. Bourdin, P. Mocho, H. Plaisance, Heritage science (2015) 3, 1.
 [7] A. Schieweck, T. Salthammer, J. Cult. Heritage (2011) 12, 205.
 [8] J. E. Svenson, E. G. Johansson, J. Electrochem. Soc. (1996) 143, 51.
 [9] A. Fenech, M. Strlic, I. Čigic, A. Levart, L. T. Gibson, G. de Bruin, K. Ntanos, J. Kollar, M. Cassar, Atmos. Environ. (2010) 44, 2067.
 [10] L. Salmon, G. R. Cass, Stud. Conservat. (1991) 38, 73.
 [11] J. Pulls, S. A. Wilson, D. Hölter, J. Polym. Environ. (2010) 19, 152.
 [12] G. R. Cass, W. W. Nazaroff, C. Pillar, P. M. Whitmore, Atmos. Environ., Part A, General Topics (1991) 25, 441.
 [13] P. E. Graedel, R. McGill, Environ. Sci. Technol. (1986) 20, 1090.
 [14] W. A. Oddy, Stud. Conservation (1977) 22, 68.
 [15] S. H. Zeronian, K. W. Alger, S. T. Omaye, Proc. Second. Internat. Clean. Air Congress, W. T. Beery (Ed.), Academic Press, 1971, 468.
 [16] L. B. G. A. Havermans, Environmental Influence on the Deterioration of Paper, T. O. Delft, Delft University of Technology, 1995.
 [17] Ashley-Smith, Risk Assessment for Object Conservation, Routledge, 2013.
 [18] M. Strlic, D. Thickett, J. Taylor, N. Cassar, Stud. Conservation (2013) 58, 80.
 [19] A. Schieweck, B. Lohrengel, N. Siwinski, C. Genning, D. Salthammer, Atmos. Environ. (2005) 39, 6098.
 [20] R. M. Riggan, W. Winberry, N. Murphy, Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air, Engineering-Science Inc., USA, 1988.
 [21] J. C. Shearer, D. C. Peters, G. Höpfner, D. Newton, Anal. Chem. (1983) 55, 874A.
 [22] M. Rhyll-Svensen, J. Glostrup, Atmos. Environ. (2002) 36, 3916.
 [23] C. M. Grzywacz, Monitoring for gaseous pollutants in museum environments, Getty Publications, 2006.
 [24] P. B. Hatchfield, Pollutants in the Museum Environment: Practical Strategies for Problem Solving, Exhibition and Storage, Archetype Publications, 2002.
 [25] <http://www.britannica.com/technology/copper-processing>
 [26] N. R. Larkin, NatSCA News (2011) 21, 35.
 [27] C. Duffy, Collection care blog, 2013.

Újabb korróziós példák

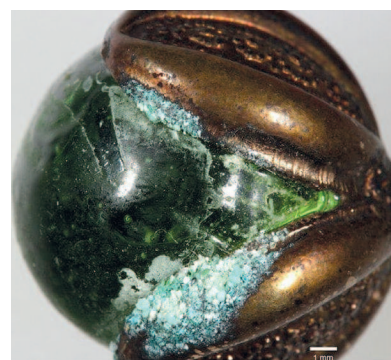
Számos múzeumi tárgyban fémmel érintkezik az üveg. Idővel az üveg felületén elektrolitfilm képződik, amelyben az abszorbeált víz mellett, többek között, nátrium/kálium- és karbonátionok vannak (utóbbiak a légköri szén-dioxid felvétele miatt). Az elektrolit a fémmel érintkezve korróziót idéz elő. Meglepő módon ezt a jelenséget csak az elmúlt két évtized stuttgarter kutatásai ismerték fel. [1]

FORRÁS

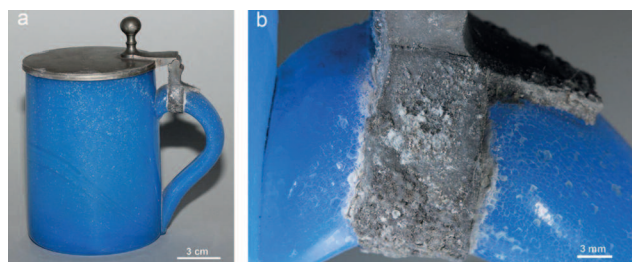
- [1] Gerhard Eggert, Andrea Fischer: Corros. Mater. Degrad. (2022) 3, 553–565. <https://doi.org/10.3390/cmd3030030>



Üvegtől (és környezettől) eredő korrózió egy 18. századi ékszeren



Kalaptű korróziója



Káliüveg sörös korsó kb. 1800-ból és az ön-ólom ötvözet korróziója

19. század közepéről származó kehely aranyozott bronzfoglatának korróziója

