

A műanyag mint műtárgyalkotó inhibítív konzerválási lehetőségei

Tóth Eszter

Előszó

53

A restaurálás tudományterületének legfiatalabb ága a műanyag-restaurálás. A téma külföldön már az 1960-as években felbukkant, mégis körülbelül két évtizeden keresztül csaknem kizárólag a modern festészeti alkotásokhoz köthető problémakör része maradt. Csak az 1980-as évek végén lett szimpóziumok, workshopok és konferenciák témája a műanyagból készült műtárgyak restaurálása, míg egyetemi szintű oktatása 1998-tól van jelen,¹ többnyire beágyazódva az általában *modern and contemporary art conservation* elnevezésű szakirányokba.²

Magyarországon alulreprezentált a kifejezetten műanyagból készült tárgyak restaurálásának művelése, illetve oktatása; igaz, a Magyar Képzőművészeti Egyetem iparművészeti restaurátor specializációin tanulók a kémiaóra keretében megismerkednek a műanyagkémia alapjaival a műtárgyak kezelése során felhasználható műanyagok (ragasztók, kiegészítőanyagok, csomagolóanyagok) vonatkozásában, illetve gyakorlatot szereznek a különböző típusú műanyagokból készülő kiegészítések és másolatok készítésében. Műanyagból készült tárgyak, illetve műanyag részt is tartalmazó összetett anyagú műtárgyak – ún. műanyag kompozit tárgyak – a magyar múzeumokban ugyanakkor már jelen vannak, bár jelentős részük a raktárak mélyén, de számuk előre láthatóan gyarapodni fog. Mint autonóm műtárgyalkotó anyag csupán egyszer került a fókuszba, 2006-ban a Néprajzi Múzeum egy időszakos kiállításán,³ míg a megőrzésével kapcsolatos szakmai írások és előadások 2024-ig csupán szporadikusan jelentek meg.⁴ Ebben hozott áttörést az Országos Színháztörténeti Múzeum és Intézet által szervezett szakmai nap,⁵ valamint a Budapesti Történeti Múzeum – Kiscelli Múzeum szervezésében megvalósult konferencia.⁶

A szerző 2021 óta foglalkozik aktívan a műanyagok restaurálási lehetőségeivel, 2023 óta a Magyar Képzőművészeti Egyetem Doktori Iskolája képzésének keretén belül. Jelen tanulmány, mely készül a disszertációjából, az egyes fejezetek összefűzéséből és rövidítéséből

1 Műanyagok restaurálását világszerte 27 intézményben oktatták 2023-ban (Thea van Oosten, a *Properties of Plastics. A guide for conservators* szerzője személyes közlése 2023. február 09-én).

2 A műanyag-restaurálás kezdeteiről bővebben lásd Waentig 2008, 113–130.

3 A *Műanyag* című kiállítás 2006. április 27. és 2007. február 4. között volt látogatható.

4 A teljesség igényével készült lista megtekinthető: Vágány–Nacho–Retkes-Kiss 2024, 374–375.

5 A *Mindörökké Műanyag?! Kompozitanyagok múzeumi környezetben elnevezésű* szakmai nap (2024. szeptember 12.) előadásai az OSZMI bábgyűjteményének egyes darabjaihoz kapcsolódtak.

6 A *Térháló – Crosslinks* műanyag-konzerválási konferencia időpontja 2024. október 28. volt.

ből született, egy szakirodalmi gyűjtőmunka eredménye a műanyagból készült műtárgyak preventív konzerválásához.

Bevezetés

A műanyag-restaurálás igényének megszületéséhez a nagy lökést nem a klasszikus értelemben vett múzeumi műtárgyak adták, hanem azok az alkotóművészek, akik főleg az 1920–30-as években úttörő módon nyúltak a piacon éppen megjelenő új műanyagtípusokhoz.⁷ Ezen alkotások közül a hatvanas évekre már számos megsemmisült, vagy annak határáig jutott. A műanyag mint műtárgyalkotó anyag megjelenése azonban korábbra nyúlik vissza, mint a 20. század első harmada.⁸ A műanyagok megtalálhatók történeti és műszaki emlékeink (1. és 18. kép) között éppúgy, mint például néprajzi tematikájú, háztartási, viseleti (2. kép) vagy játékgyűjteményekben (13., 14. és 17. kép). Ezek a mesterséges anyagok gyorsabban bomlanak le, élettartamuk rövidebb, mint a természetes tárgyalkotóké, bár az egyes típusok kifejlesztésekor nem volt tudatos tervezés eredménye a relatív gyors lebomlás. Napjaink műanyagfejlesztéseinél azonban egyaránt szempont a lebomlás idejének csökkentése (például a csomagolóanyagoknál), valamint elnyújtása (ipari felhasználású termékek esetében). Abban a pillanatban azonban, amint a műanyag múzeumi műtárggyá válik, előtérbe kerül a relatív rövid élettartam (mesterséges) meghosszabbításának igénye.



1. kép. Ebonittárcsás influenciagép (Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum, Műszaki Tanulmánytár, ltsz. 67.77.1.1.)

Fig. 1. Wimshurst influence machine, an electrostatic generator, with ebonite disks (The Hungarian Museum of Science, Technology and Transport, Technical Study Stores, Inv. No. 67.77.1.1.)

7 Például Naum Gabo, Antoine Pevsner, Moholy-Nagy László.

8 Például a cellulóz-nitrát alapú Parkesine szabadalma 1865 (Alexander Parkes), a Celluloidé 1870 (John Wesley Hyatt). A fenol-formaldehid gyantából előállított Bakelitet 1907-ben szabadalmaztatta Leo Hendrik Baekeland.

Az inhibítív konzerválás jelentősége

Minden műtárgy megőrzésének, így a műanyagok lebomlásának lassítására is két út ismert. A passzív, avagy preventív, más szóhasználat szerint inhibítív⁹ konzerválás során a műtárgyakra ható (közvetlen) környezetet tartjuk kontroll alatt, míg az aktív, azaz interventív konzerváláson az egyes műtárgyak egyedi kezelését értjük. A restaurátorok azonban a mai napig óvatosan bánnak a műanyagok egyedi kezelésével, mert a beavatkozások hosszú távú hatása bizonytalan, irreverzibilis változásokhoz vezethet.¹⁰

Kiemelkedően fontos – nem csak a műanyagból készült – műalkotások rendszeres monitorozása, az elváltozások lejegyzése a lebomlás mértékének változásához nyújthat információt. A gyűjteményekben őrzött műanyag tárgyak előéletéről, az őket korábban ért környezeti hatásokról általában kevés információ áll rendelkezésre. Feltételezhető, hogy a lebomlást előidéző környezeti tényezőknek való kitettség már elindíthatta azokat a folyamatokat, melyek a jelenben még nem feltétlenül nyertek látható és felismerhető formát, azonban amikor a bomlás jelei egyértelművé válnak (2., 6. és 13–14. kép), többnyire már túl késő.¹¹



2. kép. A hasábos repedéshálózat mentén széteső, cellulóz-nitrátból¹² készült gombok

Fig. 2. Buttons made of cellulose nitrate disintegrating along the crack network

9 A preventív, illetve passzív konzerválás színónímájaként az inhibítív kifejezést Yvonne Shashoua alkalmazta először a műanyagok megőrzése kapcsán, mert a szó pontosabban lefedi azt, hogy a bomlási folyamat kezdete után azt megállítani nem lehet, csupán a sebességét lassítani: Shashoua 2008, 193–194.

10 Morgan 1999, 85; Shashoua 2008, 194.

11 Morgan 1999, 86; Waentig 2008, 167.

12 A gombokon a cellulóz-nitrát lebomlása során keletkező repedéshálózat figyelhető meg, melyek mentén a tárgy apró szilánkokra esik szét. Szemrevételezés után a difenil-aminnal elvégzett cseppreakció eredménye erősítette meg, hogy a tárgy cellulóz-nitrátból készült; a reagenssel megcseppentett minta sötétkékre színeződött. Difenil-amin oldat: 90 ml tömény kénsav + 10 ml desztillált víz + 0,5 g difenil-amin.

A hagyományos tárgyalgó anyagokhoz hasonlóan a műanyagok lebomlását sem lehet megállítani, visszafordítani, nem lehet megakadályozni, csupán lassítani ezt a folyamatot. A preventív konzerválás kiemelkedő fontossága abban áll, hogy viszonylag kis költséggel egyszerre több tárgy kezelhető, ez a fajta megőrzési mód pedig lehetővé teszi a tárgyak jövőbeni tudományos vizsgálatát és – szükség esetén – aktív konzerválását egyaránt.

A passzív konzerválás során a műtárgyat felépítő anyagok lebomlásának mértéke és kiterjedése lassítható le a tárgynak megfelelő tárolási, kiállítási, szállítási eljárások kidolgozásával és alkalmazásával. Ez akkor sikeres, ha alkalmazása a műtárgy teljes életét végigkíséri, és nem korlátozódik csupán hosszabb-rövidebb időszakokra. A műanyagok öregedését és lebomlását befolyásoló főbb tényezők ismerete és az ellenük való védekezés lehetőségeinek számbavétele hozzásegít a megfelelő tárolás és a hosszú távú megőrzési feltételek kialakításához.

A hatékony eljárások feltétele mind a preventív, mind az aktív konzerválás esetén a kezelendő anyag(ok) összetételének ismerete; egyes szerzők szerint¹³ azonban az is elegendő, ha meg tudjuk különböztetni egymástól a „jó” és a „rossz” műanyagokat. Az elmúlt évtizedekben a műanyagok restaurátori kutatása során kiemelkedően foglalkoztak a cellulóz-nitráttal, a cellulóz-acetáttal, a természetes és mesterséges kaucsukszármazékokkal, a poli(vinil-klorid)-dal és a poliuretánokkal, de számos új tárgyalgó műanyag típus is megjelent a 20. század második felétől. A felsoroltak alkotják a legkevésbé stabil, „rossz” műanyagok csoportját,¹⁴ mivel öregedésük során olyan anyagok szabadulnak fel belőlük (1. táblázat), melyek károsak lehetnek a környezetükben található egyéb műtárgyalgó anyagokra is; hosszú távon javasolt azokat elkülönítve tárolni, és/vagy a tárolóhelyiség ventilációját biztosítani.

Műanyag	Rövid megnevezés	Bomlás során kibocsátott anyag
cellulóz-nitrát	CN	savas és oxidáló hatású, nitrogéntartalmú gázok
cellulóz-acetát	CA	ecetsav
vulkanizált gumi		hidrogén-szulfid és más kéntartalmú gázok
poli(vinil-klorid)	PVC	sósav, klórtartalmú gázok
poliuretán	PU	nitrogéntartalmú szerves gázok

1. táblázat. Műanyagok és az általuk kibocsátott anyagok¹⁵

Table 1. Polymers and the emitted gases

13 Morgan 1999, 86.

14 Részletesebb összefoglalóért lásd Lavédrine–Fournier–Martin 2012, 134–135.

15 Molian 2017, 280 alapján.

A spektroszkópiai módszerek¹⁶ kínálják a legbiztosabb eredményt adó vizsgálatot a műanyagok azonosítására. Az egyszerűbb tudományos eljárások használatának, mint például a mikrokémiai teszteknek, cseppreakcióknak, égetéses vizsgálatoknak korlátot szab a mintavétel lehetősége, valamint értékelésük szubjektív természete.¹⁷ Az egyes polimertípusok meghatározási lehetőségeinek ismertetése túlmutat ezen írás terjedelmi korlátain, azokról egyéb – főleg külföldi – publikációkban¹⁸ lehet tájékozódni. A műanyagokat felépítő polimerek összetételükben, kémiai és fizikai viselkedésükben különböznek egymástól, ezért a jellemző lebomlási folyamataik, valamint azok megjelenési formáinak ismerete elengedhetetlen az azonosításukhoz, valamint a polimerspecifikus preventív konzerválás és/vagy az aktív kezelés megvalósításához.^{19, 20}

Az inhibítív konzerválás korlátai

Amennyiben sikerül a lebomlási tényezőknek való kitettséget csökkenteni és így stabil környezeti feltételeket teremteni, azzal a lebomlás sebessége jelentősen lassítható.

A múzeumi raktárakban a tárgyakat általában történeti korszak vagy gyűjtemény alapján csoportosítják, nem pedig anyagtípus, illetve azok állapota szerint. A műtárgyak tárolásának klimatikus körülményeit a vegyes raktárakban olyan átlagos értékekhez igazítják, melyek többé-kevésbé minden alkotóanyagra érvényesek.

Nincsenek olyan nemzetközileg is elfogadott klimatikus értékek, melyek biztonsággal alkalmazhatók valamennyi műanyagtípus esetében.²¹ Hagyományosan azokat az értékeket javasolják, melyek alkalmasak a törekeny, szerves anyagú műtárgyak (például toll, növényi rostok) megőrzésére, azaz: stabil relatív páratartalom²² 50% körüli értéken, stabil hőmérséklet 18 ± 2 °C-on, a megvilágítás mértéke 50–100 lux között, az UV-sugárzás teljes kizárása és megfelelő légmozgás biztosítása.²³

Jelenleg még hiányoznak a nemzetközi szakirodalomból azok a publikációk, melyek összegzik a gyűjteményekben megtalálható műanyagok megfelelő tárolási környezetéről végzett szisztematikus kutatásokat, azonban néhány kiemelt polimertípusra irányuló

16 Például Fourier-transzformációs infravörös-spektroszkópia (FT-IR) vagy Raman. A polimerek azonosítását szolgáló nagyműszeres vizsgálatokról bővebben: Shashoua 2008, 133–149; Lavédrine–Fournier–Martin 2012, 43–104.

17 Coxon 1993, 395.

18 Van Oosten 1999, 70–83; Williamson 1999, 55–69; Rémillard 2007; Shashoua 2008, 113–149; Waentig 2008, 161–166; Bassotti–Costa 2023, 77–107; Braun 2013.

19 Blank 1990, 53; Williams 2002, o. n.; Frame 2021, o. n.

20 Az aktív kezelés témakörét jelen tanulmány nem tárgyalja.

21 Shashoua 2014, 13.

22 A továbbiakban: RH.

23 Pagliarino–Shashoua 1999, 92; Quye–Williamson 1999, 137; Shashoua 2008, 195; Waentig 2008, 168–169; Shashoua 2014, 13. Az azonosítatlan műanyag vagy műanyag kompozit tárgyak esetén az egyenletes, 40–55% közötti relatív páratartalom mellett való tárolást javasolja (Waentig 2008, 168), aki jelzi, hogy az általa közölt értékek egy kiadatlan disszertációból (Roger Griffith: *Storage not so simple. Improved storage specification for modern furniture collection*. 1997, 55) származnak.

kutatás²⁴ azt támasztotta alá, hogy vannak olyan műanyagok, amelyek ideális raktározási és kiállítási körülményei eltérnek az általánostól. Azok a polimerek, melyek lebomlási folyamatai főleg hidrolízis útján mennek végbe (például poliészterek), alacsonyabb relatív páratartalommal való tárolást igényelnek (30%), mint azok, melyek lebomlását főleg oxidáció okozza (polietilén, gumi).²⁵ Ezzel szemben bizonyos műanyagok, mint például a kazein-formaldehid gyanta, magasabb relatív páratartalmat igényelnek, hogy elkerülhető legyen a kiszáradás miatt bekövetkező repedezésük.²⁶ A műanyag tárolási igénye azonban bomlása során változhat!

A műanyagok lebomlását befolyásoló főbb tényezők

Az öregedési és lebomlási folyamatok eltérő idő alatt zajlanak le a különböző műanyag-típusoknál. Van, amelyiknél viszonylag rövid időn belül tapasztalhatók ezek a folyamatok, míg másokat akár egy emberöltőn keresztül is szemlélhetünk változatlan állapotban. A lebomlás első jeleinek felismerése mellett érdemes tisztában lenni az azokat kiváltó okokkal.

A restaurátorok ismerik az elektromágneses sugárzás okozta lebomlási folyamatokat, a hő okozta elváltozásokat, felismerik az oxigén, a nedvesség és a levegőben lévő szennyező anyagok hagyományos tárgyakotokra gyakorolt hatását. Ugyanezek a tényezők hatással vannak valamennyi műanyagra, és éppen a polimerek különböző kémiai szerkezetéből és a társító- vagy adalékanyagok változatosságából ered a reakciók eltérő jellege, mértéke és sebessége. A lebomlást befolyásoló főbb tényezők származhatnak a tárolási hely, a tárolóegység, a vitrin, a csomagoló és az installációs anyagokból egyaránt, de hordozhatja ezeket az anyagokat éppen a megőrizni kívánt szintetikus polimer is. Az öregedésnek, lebomlásnak szemmel érzékelhető jelenségei bárki számára megtapasztalhatók a lakó-környezetben használt tárgyakon keresztül (3. és 6. kép).

Az egyes műanyagtípusok lebomlása összefügg az adott polimer stabilitásával, azaz a makromolekulák azon képességével, hogy a bomlási periódus során ellenálljanak az őket érő külső hatásoknak, így a lebomlási folyamatok más időintervallumban zajlanak le a polimerek három nagy csoportján (hőre lágyuló, illetve hőre nem lágyuló műanyagok²⁷

24 A nemzetközi műanyagkutatás az 1. táblázatban felsorolt műanyagokkal foglalkozott mélyrehatóan az utóbbi években.

25 Shashoua 2008, 172; Tétreault é. n.

26 Shashoua 2008, 195; Shashoua 2014, 13.

27 A hőre keményedő műanyag kifejezés a hőre lágyuló kifejezéssel összevetve megtevesztő, hiszen a hőre lágyuló műanyagok hő hatására megömlenek, ebben az állapotban történik meg a formaadás, majd a lehűlést követően a végtermék (vagy az előgyártmány) használatra kész. Ugyanakkor a hőre lágyuló gyantákból készült végtermék (előgyártmány, illetve a melléktermék is) újbóli hőközlés hatására újra meglágyul, nagyobb hőmérsékleten megolvad, így újra felhasználható. A „hőre keményedő” műgyanták térhálósítása is magas hőmérsékletet kíván, de a végtermék további hőközlés hatására nem válik még keményebbé, hanem termikus bomlást szenved, azaz elég, elszenesedik. Ezen ellentmondás miatt jelen munkában a *hőre keményedő* kifejezés helyett a mérnöki körökben általánosan használt *hőre nem lágyuló* kifejezés szerepel.

és elasztomerek) belüli polimerek típusai között. Mindemellett jelentős eltérések lehetnek az egy csoporton belüli azonos polimerek esetében is, ugyanis a lebomlási folyamatokat a polimerhez kevert adalékanyagok is jelentősen befolyásolhatják.²⁸

Elektromágneses sugárzás

Az egyik legnagyobb károsító hatást az elektromágneses sugárzás okozza, beleértve a természetes és a mesterséges fényt is, mivel a polimerek fotolízisét és fotokémiai lebontását okozhatja. A tárgyak felületét érő sugarak részben visszaverődnek (reflexió), bejutnak, majd kilépnek az anyagból (emisszió), áthatolnak rajta (transzmisszió), és elnyelődnek benne (abszorpció).²⁹ Csak ez utóbbi, az elnyelődött fény mennyisége vezet fotokémiai változásokhoz.³⁰ Minden anyag a szerkezetétől függően reagál az elektromágneses spektrum bizonyos tartományaira, azaz a fényt elnyelő molekulákban, ionokban energia halmozódik fel, gerjesztett állapotúvá válnak, majd ez az energiátöbblet egy bizonyos érték felett elindítja a fotokémiai folyamatokat. A végbemenő reakciók láncot idéznek elő, keresztkötések kialakulását, kis(ebb) molekulájú anyagok keletkezését, a meglévő funkciók csoportok átalakulását, illetve új funkciók csoportok megjelenését okozzák,³¹ melyek hatására a műanyag fizikai jellemzői (például színe) és kémiai tulajdonságai módosulnak (1–4., 6–7., 13–14. kép), mechanikai tulajdonságai megváltoznak, rugalmatlanná válik, porlékony lesz.³²



a)



b)



c)

3. kép. Műanyag székszett darabjai; a) a bal oldalon látható szék 8 éve a szabad ég alatt áll (fedetlen terasz), míg a jobb oldali párdarabja sötét, viszonylag hűvös és zárt helyen (pince); b–c) a felvételek a székek felületét mutatják közelről az előbb említett sorrendben

Fig. 3. Plastic chairs from a set a) the chair on the left has been stored in the open (uncovered terrace) for eight years, while the right one was kept in a relatively dark, cold, and closed basement

28 Waentig 2008, 150. A műanyagokhoz kevert adalékanyagok között megtalálhatók olyanok is, melyek épp a műanyag tartósságát növelik, ezek az adalékanyagok, például stabilizálóanyagok, inhibitorok azonban végtelen ideig nem képesek ellátni funkciójukat: Waentig 2008, 148.

29 Waentig 2008, 152, 155.

30 A fotokémia I. törvénye (Grotthous–Draper-törvény): kémiai változást csak az olyan elektromágneses sugárzás idézhet elő, amelyet az átalakuló molekulákat tartalmazó anyagi rendszer elnyel: *Fotokémiai alapfogalmak*, 2.

31 Shashoua 2008, 164; Waentig 2008, 152.

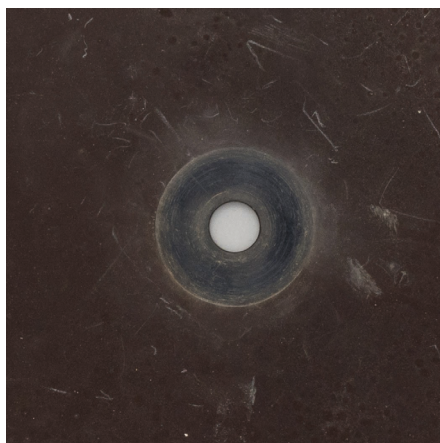
32 Tímárné 1993, 255.

Az elektromágneses sugárzás a műanyag összetételétől, szerkezetétől függően csak bizonyos mélységig képes elnyelődni, ezért a felületi, pontosabban a külső felülethez közelebbi rétegekben már megmutatkozhatnak a lebomlás jelei, mielőtt a változások a mélyebb rétegekben is jelentkeznének.³³

A műanyagok fényelnyelő tulajdonsága érthető módon kapcsolatban áll a polimer típusával, az azonos típusba tartozók között a hozzáadott adalékanyagok minőségével és mennyiségével. Az elektromágneses sugárzás hatása azonban a hullámhosszától is függ, és a lebomlás mértékének előrehaladtával a műanyag fényelnyelő viselkedése is változhat.



a)



b)

4a–b. kép. Az első képen látható influenciagép ebonittárcsája a) totál-, illetve b) részletfelvételen (Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum, Műszaki Tanulmánytár, ltsz. 67.77.1.1.); a fénytől és levegőtől kitakart középső terület megőrizte az ebonitra jellemző fényes, fekete színét

Fig. 4a–b. The ebonite disk of the electrostatic generator on Fig. 1. a) total photo, b) detail (Hungarian Museum of Science, Technology and Transport, Technical Study Stores, Inv. No. 67.77.1.1.). The ebonite kept its characteristic shiny black surface in the central part which was hidden from light and air

A tárgyat érő fény, illetve az UV-sugárzás minimalizálása tárolás, illetve kiállítás során lassítja a fotokémiai reakciók (fotooxidációs folyamatok) beindulását. A műanyag tárgyakat javasolt fénytől teljesen elzárva tárolni, kiállított tárgyak esetében a megvilágítás legyen indirekt és UV-mentes, a legideálisabb a szűrt és szórt fény.³⁴ Műanyag tárgyak direkt megvilágítását célszerű kerülni, azonban ha ez nem megoldható, érdemes azt szakaszos jelleggel üzemeltetni. Amennyiben a természetes napfény teljes kizárása nem lehetséges, úgy az UV-sugárzás okozta károsító hatásokat mérsékelni lehet UV-szűrők alkalmazásával, melyek akár az ablakra, akár a vitrinre is helyezhetők. A műanyagok

³³ Waentig 2008, 152.

³⁴ Morgan 1999, 87; Waentig 2008, 169.

megőrzésével foglalkozó szakemberek ugyanakkor hangsúlyozzák, hogy kiállításban való szerepeltetésük jelentősen hozzájárul élettartamuk megrövidítéséhez.³⁵

Oxigén és oxigénabszorbeáló anyagok

Minden műanyag kapcsolatba kerül az oxigénnel, mivel az megtalálható a levegőben (kb. 21 tf%), a talajban, valamint természetes vizekben is. Az oxigénnel való érintkezés hatása nem látszódik a tárgyon azonnal, nem nyilvánul meg látványosan egy bizonyos idő előtt, sőt a polimer kristályszerkezete – mely amorf vagy kristályos lehet – befolyásolja az oxigénnel történő reakció mértékét.³⁶ Később azonban, főleg akkor, amikor a műanyagot más hatás (például hő, fény) is éri, a lebomlás jelei láthatóvá válnak. Az oxidáció standard körülmények között, akár sötétben is lejátszódik, a folyamat azonban például fény hatására felgyorsul. Az oxidáció tehát nem feltétlenül a lebomlási folyamatok fő kiváltó tényezője, hanem inkább más folyamatokhoz társuló kísérőjelenség.³⁷ Az elágazás nélküli, telített szénhidrogén láncokból felépülő polimerek³⁸ a legellenállóbbak az oxigénnel szemben, azaz normál körülmények között csak nagyon lassan reagálnak vele. Amennyiben ezek a műanyagok fénytől védett helyen vannak, tulajdonságaik gyakorlatilag alig változnak. A legkevésbé ellenállóak az oxigén károsító hatásaival szemben a konjugált kettős kötések tartalmazó, illetve elágazó láncú polimerek.³⁹ Az oxidáció a polimerek fizikai tulajdonságainak, illetve esztétikai érzékelésük megváltozását okozza.

A legtöbb műanyag lebomlási folyamatát az oxigénnel való érintkezés elősegítheti, tehát az oxigén koncentrációjának csökkenése várhatóan korlátozza a lebomlás mértékét. Oxigénmentes környezetben való tárolást elsősorban természetes gumiból készült tárgyak kapcsán dokumentáltak,⁴⁰ ennek eredménye azt mutatja, hogy a fizikai és kémiai károsodásuk sebessége ily módon csökkenthető. Az oxigénmentes tárolásra az inert gázzal⁴¹ töltött tárolóegységek használata a legbiztosabb megoldás, melyek hosszú távú hatékonysága a tárolóegység tökéletes szigetelésén múlik.⁴² Nagy méretű raktárak inert gázzal való feltöltése azonban költséges és nem életszerű gyakorlat.

A kereskedelemben kapható vasalapú oxigénelnyelők (5. kép) – például Ageless®, Atco® – feladata, hogy megakadályozza az élelmiszerek idő előtti oxidációját. Az oxigénabszorbeáló szereket a nitrogéngázban való tárolás olcsóbb, kényelmesebb alternatívájaként kezdték el használni külföldön már az 1980-as évek végén. Ezek műtárgyak környezetében törté-

35 Mossman 1993, 32.

36 Shashoua 2008, 171.

37 Blank 1990, 54.

38 Polietilén, polipropilén, valamint a poli(tetrafluor-etilén), azaz a teflon.

39 Shashoua 2008, 171. Elágazó láncú polimerek például a poliuretánok és a polisztergyanták, konjugált kettős kötések tartalmaznak például az epoxik és a telítetlen polisztergyanták.

40 Shashoua–Thomsen 1993.

41 Például nitrogéngáz, nemesgázok. A szintetikus polimerek számára inertnek minősülő gázban való tárolásról szóló írások jelenleg még nem állnak rendelkezésre.

42 Shashoua 2014, 13.

nő használatát Grattan és Gilbert 1994-es írásában⁴³ összegzi. Az Ageless® márkanévű oxigénelnyelő⁴⁴ gázáteresztő műanyagból készült tasakok, melyek finom eloszlású vasat tartalmaznak. A vas megköti az oxigént,⁴⁵ vas-oxidokká és hidroxidokká oxidálódik, ezért alkalmas oxigénmentes környezet megteremtésére. Az oxidációs reakció melléktermékeként keletkező nedvességet a tasakban lévő higroszkópos nátrium- vagy kálium-klorid köti meg.⁴⁶ Az Ageless® legfőbb hátránya, hogy az oxigénnel való reakciója exoterm, a kémiai reakció közben nedvesség mellett hő is keletkezik, illetve 53–55% RH alatti környezetben reaktivitása jelentősen lecsökken.⁴⁷ Nedvességre érzékeny műanyagoknál (cellulóz-nitrát, cellulóz-acetát, kazein, PVC) használata nem javasolt, illetve óvatosságot igényel,⁴⁸ de gumik tárolásához alkalmas lehet.⁴⁹



5. kép. Márkajelzés nélküli oxigénelnyelő

Fig. 5. Unbranded deoxidizer

⁴³ Grattan–Gilbert 1994.

⁴⁴ Gyártó: Mitsubishi Gas Chemical Company.

⁴⁵ Az anyag oxigénnel való telítettségének ellenőrzésére fejlesztették ki az Ageless® Eye-t, mely tabletta a halvány rózsaszínről sötétkékre történő színváltozásával jelzi az abszorbens oxigénmegkötő képességének határát. Egyes felhasználók azonban megfigyelték, hogy az indikátor oxigénnel szembeni érzékenységet kb. hat hónap után elveszti, és a színváltozásai megbízhatatlannak válnak: Shashoua 2001, 52; Maekawa–Elert 2003, 32. Az 1980-as évek óta számos más gyártó hasonló elven működő oxigénelnyelője és indikátora jelent meg a piacon.

⁴⁶ Grattan–Gilbert 1994, 211; Shashoua 2014, 13.

⁴⁷ Lambert–Vinod–Preusser 1992, 272; Waentig 2008, 170.

⁴⁸ Shashoua 1999, 106–107.; Waentig 2008, 170.

⁴⁹ Bővebben lásd Shashoua–Thomsen 1993.

Az RP-System™ K verziója telítetlen szerves anyagokból áll,⁵⁰ mely alacsony páratartalom mellett is hatékonyan képes az oxigén megkötésére, emellett aktív szenet is tartalmaz a kén- és nitrogéntartalmú gázok adszorbeálásához.⁵¹ Az Ageless®-sel szembeni előnye, hogy a reakció során nedvesség nem keletkezik, azonban a műtárgyak mellett való biztonságos alkalmazhatóságának tesztelése folyamatban van.⁵²

Hőmérséklet

A hőmérséklet emelésével a polimerek mechanikai tulajdonságai változatlanok maradnak egészen az üvegesedési, illetve olvadási hőmérsékletük eléréséig,⁵³ amely az adott polimerre jellemző, így műanyagtypusokként különböző érték. A polimerek hővel szembeni stabilitását



javítják a gyártáskor hozzájuk adagolt hőstabilizátorok. Az üvegesedési hőmérsékletük felett a polimerek halmazállapota megváltozik, rugalmasabbak lesznek, ebben az állapotban könnyen deformálódhatnak, míg üvegesedési hőmérsékletük alatt a polimerek keményebbek és törékenyebbek.

A hőmérséklet emelésével hőbomlás (hő indukálta degradáció, illetve termooxidáció), molekuláris szinten lánc-törődés következik be, a hosszú polimermolekulákból több rövidebb lánc alakul ki, ez hatással lesz a mechanikai tulajdonságokra, és színváltozáshoz is vezethet (6. kép).⁵⁴ Hűléskor a műanyagok zsugorodnak, szobahőmérsékletű állapotukhoz képest merevebbé és törékenyebbé válnak.

6. kép. Hosszú időn keresztül radiátor közelében álló, polipropilénből⁵⁵ készült tároló; a magas hőmérséklet hatására a tárgy fűtőtest felé eső oldala megsárgult

Fig. 6. Polypropylene container that stood next to a radiator for a long time. Its facing side turned yellow due to the lasting exposure to heat

50 Maekawa–Elert 2003, 43.

51 Waentig 2008, 170.

52 Waentig 2008, 170–71; Waentig utal a Getty Conservation Institute-ban végzett kísérletre, ahol az RP-System K műtárgyakkal való alkalmazhatóságát bizonyították. Sajnálatos módon a passzus hivatkozást nem említ.

53 Az üvegesedési hőmérsékletet (T_g) amorf polimerek esetén értelmezzük, amely azt a hőmérsékleti intervallumot jelenti, melyen az adott polimer merevvé válik, vagy éppen meglágyul. Kristályos polimerek esetében ugyanezt fejezi ki az olvadási hőmérséklet.

54 Shashoua 2008, 170.

55 A műanyag típusa a tároló alján van feltüntetve.

Hőingadozás hatására a tárgyak számtalan alkalommal tágulnak, illetve zsugorodnak. Ezt a térbeli mozgást nem feltétlenül tudja minden műanyag elviselni, idővel feszültség keletkezik benne, de az anyagban kialakuló repedések és törések csökkentik, feloldják ezt a feszültséget.⁵⁶ A hőmérséklet váltakozása a polimer kristályszerkezetét is befolyásolja,⁵⁷ gyorsítva így a lebomlási folyamatokat. A jelenség az ún. Arrhenius-egyenlettel magyarázható, mely szerint a hőmérséklet minden 10 °C-kal való emelkedése megduplázza a kémiai reakciók sebességét.⁵⁸

A relatív légnedvesség megadja a környezet valódi nedvességtartalmát az adott hőmérsékleten elérhető telítettségi értékhez képest; a melegebb levegő több vízmolekula megtartására képes, mint a hideg, a gyors hűtés ellenben a víz kondenzálódását, lecsapódását okozhatja.⁵⁹

Az Arrhenius-egyenlet értelmében a kémiai bomlási reakciók sebességének lassítására a műanyag tárgyak alacsony hőmérsékleten (10 °C alatt) való tárolása javasolt⁶⁰ 50%-os RH-érték mellett.⁶¹ A hűtőtárolást az indokolja, hogy a szobahőmérsékleten történő tároláshoz és azon a hőmérsékleten várható reakciósebességhez képest a tárolási hőmérséklet 5–10 °C közötti értékre történő leszállítása felére csökkenti a kémiai reakciók sebességét.⁶²

Néhány fizikai elváltozás kialakulását gátolja a hűtve tárolás. Az átlagos hőmérsékletről a háztartási fagyasztó hőmérsékletére (–20 °C) való csökkentés lassítja a PVC-ben található lágyítók migrációját,⁶³ de napjainkban az alacsony hőmérsékleten való tárolással még csak korlátozott tapasztalatok állnak rendelkezésre.⁶⁴

Hűtés hatására a műanyagok reverzibilis (zsugorodás, szakítószilárdság csökkenése) és visszafordíthatatlan (a kristályosodás mértéke, mechanikai hiba, kémiai reakciók) változásokat is mutatnak. A műanyagok a hagyományos szervesetlen műtárgyalkotó anyagoknál nagyobb mértékben zsugorodnak.⁶⁵ Bár a zsugorodás elkerülhetetlen folyamat a hűtés

56 Waentig 2008, 169.

57 A hőmérséklet emelkedésével, így a hőmozgás nagyságával arányosan növekszik a polimerben a szabad tér. A szabad tér nagysága összefüggésben áll a polimerek lebomlásával, hiszen minél nagyobb, annál hozzáférhetőbbé válnak a polimerláncok a lebomlást előidéző anyagok kémiai ágensek számára.

58 Blank 1990, 54.

59 Waentig 2008, 169.

60 Blank 1990, 54; Shashoua 2008, 203.

61 Blank 1990, 55.

62 Shashoua 2008, 203; Shashoua 2014, 15.

63 Shashoua 2001, 66; Shashoua 2008, 203; Shashoua 2014, 15.

64 A hűtőtárolás tapasztalatairól eddig kizárólag CN, CA és PVC esetében számoltak be. Lásd például Elsässer, C. – Angelin, E. M. – Montag, P. – Hilbig, H. – Grosse, C. U. – Pamplona, M. 2023: Frozen, Cold, or Cool? Chemical Assessment of the Effectiveness of Storage Conditions for Celluloid 3D Objects. In: *Polymers* (Basel). 2023. Oct. 11; 15(20):4056. <https://doi.org/10.3390/polym15204056>. illetve: Blog from the basement: How we use cold storage to preserve objects (National Science and Media Museum Blog 2024. 01. 25. <https://blog.scienceand-museum.org.uk/blog-from-the-basement-cold-storage/>). PVC esetében a legátfogóbb munka Shashoua 2001.

65 Shashoua 2008, 156–157.

során, az szobahőmérsékleten visszafordítható.⁶⁶ Ugyanakkor a hűtés során kialakult deformáció, torzulás vastagabb anyagok esetén nem minden esetben alakítható vissza.⁶⁷

A hűtés zsugorodásra gyakorolt hatása nagyobb jelentőséggel bír, ha összetett anyagú tárgyakat kívánunk így tárolni. Az összetett anyagú tárgy minden eleme zsugorodni próbál hűtés hatására, de mivel azok mértéke különböző, bizonyos elemek deformálódhatnak, törhetnek.⁶⁸ A levegő hőmérséklet-változásával párhuzamosan annak páratartalmát, illetve változásait is vizsgálni szükséges. Potenciálisan kockázatot jelent a hűtési folyamat, illetve a felmelegedés során keletkező páralecsapódás, azaz a kondenzvíz. Padfield vizsgálata⁶⁹ alapján a páralecsapódás elkerülhető, ha a tárgy egyes részei, valamint a tárgy és a csomagolóanyaga között a hőmérséklet-különbség 6–10 °C-nál nem nagyobb.⁷⁰ A folyékony víz műanyagokkal való érintkezése kerülendő, mert egyes műanyagok képesek azt felszívni, megduzzadnak és bomlásnak indulnak. A nedvesség a korai műanyagok, például a kazein-formaldehid gyanták (műszaru) lágyulását eredményezi, illetve hajlamos a lágyító kiszorítására PVC-alapú tárgyakból.⁷¹ Mivel a polimerek nagyon alacsony hővezető képességgel rendelkeznek, a vastagabb tárgyak lehűtése hosszabb ideig tart, mint a vékonyabbaké. A lassabb lehűlési időintervallum nagyobb hőmérséklet-különbséget eredményez a perifériás és központi területek között, mint 10 °C, ezért a páralecsapódás elkerülhetetlen.⁷² Javasolt ezért a vastagabb anyagú műanyag tárgyak fokozatos hűtése, azaz a szobahőmérsékletről előbb egy hűvösebb szobába, onnan hűtőszekrénybe, majd onnan fagyasztóba helyezni.

Gáz-halmazállapotú szennyező anyagok és azok adszorbeálása

A levegő szennyezettsége kisebb mértékben természetes, nagyobb részben emberi folyamatok, tevékenység eredménye, utóbbi főleg a folyékony és a szilárd tüzelőanyagok elégetéséből, valamint az ipari termelésből fakad, de az előállított (műanyag) termékekből is szabadulhatnak fel gáz-halmazállapotú légszennyezők.⁷³ Ezek az anyagok nedvesség jelenlétében savakká és bázisokká alakulnak, mindkettő extrém léptékben képes felgyorsítani a műanyagok öregedését, az alkotó anyagok lebomlását, miközben reagálnak annak felületével.⁷⁴

66 Shashoua 2014, 15. Amennyiben a hűtve tárolás során lebomlás nem következik be, úgy – feltételezhetően – szobahőmérsékleten visszatérnek eredeti méretükre. A hűtés ugyanakkor fizikai lebomlást (erózió) is indukálhat az anyagban. Shashoua 2008, 157.

67 Shashoua 2008, 204.

68 Shashoua 2008, 157, 203.

69 Padfield 2002, 1–9.

70 Padfield 2002, 6; Shashoua 2005, 363; Shashoua 2008, 204; Shashoua 2014, 15.

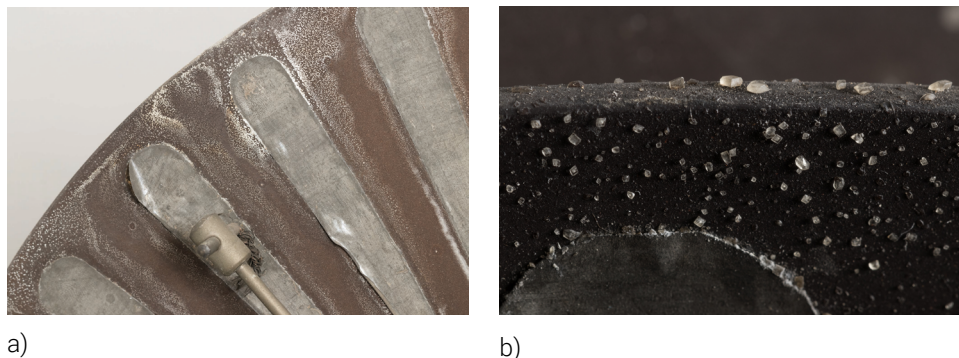
71 Shashoua 2001, 63; Shashoua 2005, 358; Shashoua 2008, 204.

72 Shashoua 2008, 204.

73 Waentig 2008, 153, 1. táblázat.

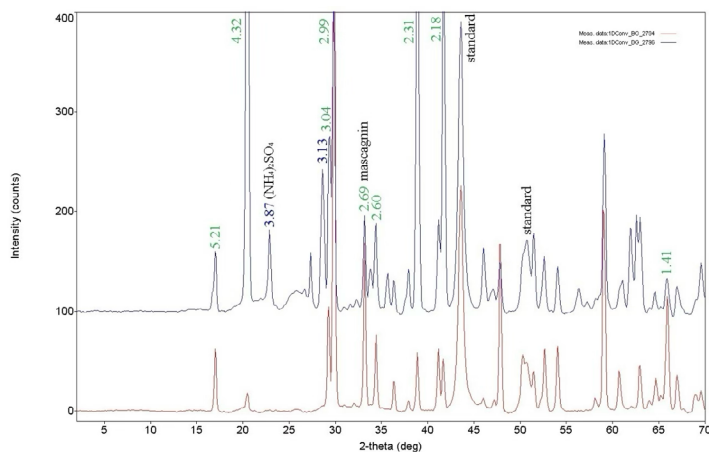
74 Waentig 2008, 153.

A Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum influenciagépének ebonittárcsáján⁷⁵ kétféle kristályszerkezetű ammónium-szulfát kristályokat detektáltunk⁷⁶ (7a–b és 8. kép), mely szakirodalmi kutatás⁷⁷ alapján az ebonit kéntartalma és a levegőben található ammónia reakciójából – nedvesség jelenlétében – keletkezett.



7. kép. Ammónium-szulfát kristályok az influenciagép ebonittárcsáján a) távolabbi, b) közelebbi felvételen (Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum, Műszaki Tanulmánytár, ltsz. 67.77.1.1.)

Fig. 7. Ammonium sulfate crystals on the ebonite disc of the electrostatic generator a) from a distance, b) magnified (Hungarian Museum of Science, Technology and Transport, Technical Study Stores, inv. no.: 67.77.1.1.)



8. kép. A kétféle kristályszerkezetű ammónium-szulfát kristályok diffraktogramja

Fig. 8. Diffractogram of ammonium sulfate crystals with two types of crystal structure

⁷⁵ A tárgyat – a szerző témavezetése mellett – Putnoki Sándor restaurálta diplomamunkaként a 2021–22-es tanévben. Bővebben lásd Putnoki 2022.

⁷⁶ Az ebonit felületén lévő kristályok röntgendiffrakciós azonosítását Bajnóczi Bernadett PhD, tudományos főmunkatárs és Szabó Máté Zoltán intézeti mérnök (HUN-REN CSFK Földtani és Geokémiai Intézet) végezte Rigaku D/MAX Rapid II mikrodiffraktométerrel.

⁷⁷ Ebonite – Conservation DistList (<https://cool.culturalheritage.org/byform/mailling-lists/cdl/2001/0354.html>). A vulkanizáláskor a gumihoz hozzáadott kén oxidáció hatására kéntartalmú gázokká alakul, mely a levegőben található nedvességtartalommal kénsavat alkot. A kénsav apró cseppek formájában kiülhet az ebonit felszínére, illetve ammóniával reagálva ammónium-szulfátot és ammónium-hidrogén-szulfátot képezhet.

Amennyiben nincs mód a kevésbé stabil műanyagok elkülönítésére, úgy mindenképp érdemes figyelmet és energiát fordítani a tiszta és száraz légtér biztosítására. A tiszta légtér nem csak az 1. táblázatban felsorolt műanyagok tárolásánál kulcsfontosságú, hiszen a levegőben megtalálható szilárd és gáznemű légszennyezők minden anyaggal, műanyaggal reakcióba lépnek.

A műanyagok lebomlásakor a környezetbe kerülő károsító gázok, valamint a légszennyezők eltávolításának egyik módja a központi levegőszűrés és ventiláció biztosítása. Ennek gépészeti kivitelezése azonban költséges. A káros gázok megkötésére régóta alkalmaznak különböző adszorbenseket a hagyományos tárgyalkotó anyagok mellett. Jól ismert jelenség az ezüsttárgyak feketedése, melyet a levegő nedvesség- és oxigéntartalma jelenlétében a kéntartalmú légszennyezők okoznak. Ezüsttárgyak mellé ezért a kén megkötésére alkalmas anyagokat helyeznek, esetleg speciális csomagolóanyagokat⁷⁸ alkalmaznak, melyek erre képesek.⁷⁹ A kéntartalmú gázok nedvesség jelenlétében a műanyagok esetében is a lebomlási folyamatokat indukálhatják.⁸⁰ A műanyagok mellé helyezett adszorbensek egyrészt a légtérben lévő káros anyagokat kötik meg, másrészt a lebomlási folyamatok során felszabaduló anyagokat. Ezek a megkötőanyagok jellemzően specifikusak, tehát egyféle adszorbens nem feltétlenül alkalmas minden károsító hatású gáz megkötésére.

Az adszorbensek lelassítják a műanyagok lebomlási sebességét azáltal, hogy megkötik⁸¹ a lebomlást elindító, illetve a folyamatot gyorsító gázokat egyaránt. A leggyakrabban alkalmazott megkötőanyagok (aktív szén, szilikagél, zeolit) használata a múzeumi környezeten kívül is megfigyelhető, csomagolják őket cipők mellé, hogy elszívják a kellemetlen szagokat, élelmiszerek mellé, hogy magukban tartsák a nedvességet, vízlágyító rendszerekbe, hogy lágyítsák a vizet.

Az aktív szén (9. kép) fajlagos felülete a mikro- és mezopórusoknak köszönhetően rendkívül nagy, 300–2000 m² grammonként.⁸² Megvásárolható impregnált textil vagy papír formájában, illetve granulátumként, porként. Utóbbiak műtárgyak közelében való közvetlen használata nem ajánlott, érdemes lehet őket textilzsákocskákba varrni, vagy a műtárgytól némileg távolabb elhelyezni, mivel a megkötni kívánt gázok koncentrációja éppen a szén közvetlen környezetében a legnagyobb. Az aktív szén hatékonyabban adszorbeálja a nagy méretű, nem poláris molekulákat és az illékony szerves savakat, alkoholokat és ketonokat,

78 Például: Pacific Silvercloth®.

79 Costa 2001, 30.

80 Waentig 2008, 169.

81 Az adszorbens anyagokon a telítődés mértéke nem látható, ez a műtárgy fölé helyezett indikátoranyag látványos változásán követhető nyomon. Szakirodalmak a krezolvörös és krezollila használatát javasolják, melyek narancssárga, illetve piros színűek a savas pH-tartományban, a lúgos értékek felé haladva lila színbe fordulnak, lásd például Shashoua 2008, 200. Az Image Permanence Institute-nál kifejlesztett, kékről zöldre változó A-D csíkok elsősorban ecetsavra érzékenyek, de sikerrel alkalmazták más savképző gázok detektálásánál is (Shashoua 2008, 201). Az univerzális pH-indikátor papírok használhatók a pH-változás meghatározására, de használat előtt nedvesíteni kell őket, ezért folyamatos megfigyelésre nem alkalmasak.

82 Grøntoft–Lanckester–Thickett 2015, 31; Canosa 2019, 20.

szemben például a formaldehiddel, a hidrogén-kloriddal és az ammóniával,⁸³ de nedvesség megkötésére nem alkalmas.

A gázok a szén felületén gyenge másodlagos erővel, ún. fizikai adszorpcióval (fiziszorpció) kötődnek.⁸⁴ Az aktív szenes csomagolóanyagok képesek adszorbeálni például a cellulóz-nitrát jellemző lebomlási termékeit, a nitrogén-oxidokat is. Ezek a bomlástermékek így nem tudnak érintkezni a környezetben található fémekkel vagy más szerves anyagokkal.

Az aktív szén idővel telítődik, utána további gázok megkötésére nem alkalmas, nem tudja inhibáló funkcióját betölteni, a telítettsége ugyanakkor szemmel nem érzékelhető.⁸⁵ Bár az aktív szén regenerálható,⁸⁶ a termék kedvező ára miatt jellemzőbb rendszeres cserélése.



9. kép. Aktív szén

Fig. 9. Activated carbon

A zeolitok (pórusos térszerkezettel rendelkező alkáli- vagy alkáliföldfémek alumínium szilikátjai) az aktív szénnél is hatékonyabbak. Jellemző tulajdonságuk a szelektív adszorpció, azaz a pórusok mérete határozza meg, hogy milyen alakú és méretű molekulákat képesek megkötni.⁸⁷ Az adszorbens ilyen jellegű célzott használata meghosszabbítja annak tényleges élettartamát, így cseréje ritkábban szükséges, mint az aktív szén esetében. A molekulák a zeolitokhoz a fizikai kötődés mellett annál erősebb kémiai adszorpcióval (kemiszorpció) is kötnek, az adszorbens és az adszorbeálandó anyag között kémiai interakció alakul

83 Shashoua 2008, 196; Canosa 2019, 20–21.

84 Shashoua 2008. 197.

85 Uo.

86 Rendszeres 650 °C-ra való melegítéssel az aktív szén regenerálható (Shashoua 2014, 14).

87 Shashoua 2008, 197; Canosa 2019, 24.

ki.⁸⁸ Zeolitokat sikerrel alkalmaznak⁸⁹ cellulóz-acetát alapú filmszalagok esetében, mert egyszerre képesek megkötni a lebomlás során felszabaduló nedvességet és ecetsavat,⁹⁰ ugyanakkor egyes kutatások⁹¹ rávilágítottak arra is, hogy az anyagból kimigráló lágyítókat könnyebben kötik meg, mint a cellulóz-acetátból felszabaduló ecetsavat, így szerepet játszhatnak a műtárgy zsugorodásában. Ez a modellkísérlet az archivális papírok és kartonok (pH 7,5–10) alkalmazását tartja a leghatékonyabbnak⁹² a cellulóz-acetát filmek savas kémhatású, gáz-halmazállapotú bomlástermékeinek megkötésére.

Nedvesség és a nedvességmegkötők

A nedvesség, mely fogalom alatt a légtérben lévő, illetve az egyedi kezelések során alkalmazott anyagot egyszerre értjük, nemcsak a polimerekre van hatással, hanem a hozzájuk kevert adalékokra is. A nedvesség a kristályszerkezet megváltozását, a segédanyagok (lágyítók, töltőanyagok, stabilizálók) kivándorlását okozza, az ezzel járó károsodások egyaránt lehetnek fizikai (tágulás és zsugorodás) és kémiai természetűek (hidrolízis), melyek végül hatással lesznek a műanyag mechanikai tulajdonságaira is. A nedvesség ugyanakkor egyes töltőanyagok duzzadását okozhatja, ami a műanyag tárgy repedezéséhez vezet.⁹³ Bizonyos műanyagok⁹⁴ az oxidáció eredményeként egyre polárisabbakká válnak, így lebomlásuk során fokozatosan egyre érzékenyebbek lesznek nedvesség hatására.⁹⁵ A szerves anyagú hagyományos műtárgyalkotó anyagokhoz hasonlóan a polimerek esetében is kedvező táptalajt nyújt a nedves környezet a mikroorganizmusok megtelepedéséhez, melyek jelenléte színváltozáshoz, illetve az anyag felpuhulásához vezethet.⁹⁶

A levegő relatív páratartalmának csökkentésére elektromos páramentesítő készüléket alkalmazhatunk. A készüléket a légtér méretének és páratartalmának, valamint a

88 Shashoua 2008, 197; Canosa 2019, 12–13.

89 Megoszlanak a vélemények, hogy a cellulóz-nitrátot és cellulóz-acetátot érdemes-e zárt tárolóegységekben tárolni az adszorbens anyagokkal együtt, vagy jobb volna-e őket oly módon elhelyezni, hogy a folyamatos szellőztetést biztosítani lehessen. A szellőztetés során fennáll a lehetőség, hogy a káros gázok szétszóródnak a légtérben, és reagálni tudnak más anyagokkal. A konténerekbe zárás során éppen a tárolóegység az, amely egyrészt megakadályozza a polimerek nedvességgel való érintkezését, másrészt meggátolja azok egyszerű, szabad szemmel való ellenőrzését. Adsorbens anyag alkalmazása nélkül a cellulóz-nitrát és a cellulóz-acetát savas kémhatású bomlástermékei feldúsulnak a tárolóegységben (Pagliarino–Shashoua 1999, 92), így éppen azok forrására lesznek negatív hatással. A cellulóz-acetátot tartalmazó modern művészeti alkotások esetében a ventilációval kísért szabad tárolás az elterjedtebb, míg a néprajzi anyagokat jellemzően elzártan tartják általában adszorbens anyagok kíséretében (Shashoua 2008, 198). Értelemszerűen a műtárgy mérete is meghatározó lehet ebben a kérdésben.

90 Shashoua 2014, 14.

91 Shashoua–Shilling–Mazurek 2014, o. n.

92 A tanulmányban ismertetett modellkísérletben a második leghatékonyabbnak az Intercept Technology™ által gyártott Corrosion Intercept® (CI) bizonyult, mely PE mátrixba ágyazott rézszemcséket tartalmaz, és tasak, tekercs, valamint hab formájában kerül forgalomba, így nem csupán adszorbensként, de csomagolóanyagként is alkalmazható (bővebben: <https://www.intercept-technology.com/en/products-and-materials/corrosion-intercept-ci/>).

93 Például a facsiszolatot, textilszálakat, papírostot tartalmazó műanyagok esetében (Shashoua 2008, 159).

94 CN, CA, poliészterek, poliészter-alapú poliuretánok.

95 Shashoua 2008, 175.

96 Waentig 2008, 168.

kívánt relatív páratartalom ismeretében célszerű kiválasztani. Központi klímarendszer kiépítésével a páratartalom mellett a hőmérsékletet is befolyásolni lehet. A gépesített technológiák mellett és ellen is számos érv sorakoztatható fel, ám a jelen írásban inkább kisebb léptékben gondolkodunk.

A nedvesség megkötésére széles körben alkalmazzák a szilikagéleket (10. kép), melyek képesek a műanyagok bizonyos lebomlási termékeit is adszorbeálni. Ez a pufferanyag, melyet a kovásvav kiszáritásával állítanak elő, műtárgyak alkotóanyagaival szemben inertnek tekinthető, de használat előtt szükséges lehet kondicionálni, azaz a szükséges mennyiséget a kívánt RH-értékre kell beállítani. A szilikagél egyaránt képes a levegőben található nitrogén- és kéntartalmú gázok, valamint formaldehid és ecetsav megkötésére fiziszorpcióval, ám nagyobb affinitást mutat a nedvesség irányában,⁹⁷ limitálva a légköri gázok megkötésére alkalmas szilikagél-területeket.⁹⁸



10. kép. Szilikagél

Fig. 10. Silica gel

Szilárd halmazállapotú légszennyezők

A por, a finom homok, a korom, a pernye szilárd halmazállapotú légszennyezők. Száraz levegőben ezek az anyagok a műanyagok külső rétegét mechanikus módon koptatják,

97 Waentig 2008, 169. A szilikagél átlagosan tömege 40%-ának megfelelő mennyiségű nedvességet képes felvenni, azonban önmagában nem jelzi, ha telítődött. Ezt a funkciót az ún. őnjelző/indikátoros szilikagélek képesek ellátni, amelyek a nedvességgel való telítődést színváltozással jelzik.

98 Canosa 2019, 23. A szilikagél 115–150 °C-on történő szárítással regenerálható és újra felhasználható.

ennek következtében a felület érdessé válhat, fényét veszti. A műanyag külső részén történő mikrosérülések megkönnyítik a nedvesség felvételét, az ilyen felületen a szennyeződések jobban megtapadnak. A szilárd légszennyezők és a nedvesség kombinálása az anyag külső rétegén különböző kémiai reakciókhoz nyújt lehetőséget, hiszen a felületre lerakódott szilárd szennyező anyagok abszorbeálhatják magukba a nedvességet, és akár tartósan is érintkezésbe hozhatják azt az anyag felületével. A tömör és vastag részecske/porszennyeződés rontja a műtárgy megjelenését (11. kép), ugyanakkor pajzsként is funkcionálhat az UV-sugárzás ellen.⁹⁹ A szilárd halmazállapotú légszennyezők ellen megfelelő csomagolással, letakarással védekezhetünk, melyek ugyanakkor árnyékolják a tárgyat az elektromágneses sugárzásoktól.



11. kép. Szilárd légköri szennyeződés egy csillár bakelitfoglatán (Tök, Helytörténeti Gyűjtemény)

Fig. 11. Solid atmospheric particle deposits on the bakelite socket of a chandelier (Tök, Local History Collection)

A lebomlásuk során savas anyagokat kibocsátó műanyagok kivételével a savmentes papírok alkalmasak a műanyag tárgyak csomagolására, míg a szilikonpapírok, teflonbevonatos papírok¹⁰⁰ jó megoldást jelenthetnek a ragacsos felületű darabok (például bomlásnak indult PVC, cellulóz-nitrát, cellulóz-acetát) esetében. Megoszlanak a vélemények a puffertolt savmentes papír alkalmasságáról, egyes szerzők¹⁰¹ azt állítják, hogy a puffert-

99 Waentig 2008, 154.

100 Blank 1990, 55.

101 Shashoua 2008, 95 Shashoua–Schilling–Mazurek 2014, o. n.

anyagok alkalmasak lehetnek a savas gázok semlegesítésére, míg mások¹⁰² a lúgokra érzékeny polimerek (például cellulóz-nitrát, cellulóz-acetát, bakelit, poliuretán, poliészter) érzékenysége miatt elvetik a savmentes, pufferolt papír csomagolóanyagként történő alkalmazását, mert a benne lévő lúgos maradék felgyorsíthatja a bomlás sebességét.

Általános csomagolóanyagként (12. kép) a kis sűrűségű polietilén (LDPE) zacskó, hab (Ethafoam, Plastazote®)¹⁰³ vagy poliészter film (Mylar, Melinex)¹⁰⁴ alkalmazható, por és közvetlen fény ellen nem szövött polietilén anyaggal (Tyvek®),¹⁰⁵ illetve Bondinával¹⁰⁶ való letakarással védekezhetünk. Újabb modellkísérletek¹⁰⁷ azonban megkérdőjelezik a Tyvek alkalmasságát műanyagok csomagolására. Csökkentett oxigéntartalmú vagy teljesen oxigénmentes térben való hosszú távú tárolásra alkalmasak az átlátszó, többrétegű műanyag filmből készült tasakok (Escal™).¹⁰⁸ A tasakokból a levegő kiszívható, a zacskók ezt követően hővel történő hegesztéssel zárhatók.



12. kép. Különböző csomagolóanyagok műanyagok számára: a) Melinex, b) Bondina, c) polietilén zacskó, d) Tyvek, e) Plastazote

Fig. 12. Packaging materials for plastics: a) Melinex, b) Bondina, c) polyethylene bag, d) Tyvek, e) Plastazote

102 Blank 1990, 59.

103 Szénnel színezett polietilén hab.

104 Blank 1990, 55.

105 Csak a 1422R (korábban 1443R), 1623E (korábban 1622E) és 1560K kódszámú Tyvek-anyagok alkalmasak műtárgyakhoz: <https://www.preservationequipment.com/Blog/Blog-Posts/Is-Tyvek-a-sustainable-material-choice>. Az egyes Tyvek-termékek tulajdonságairól összefoglaló olvasható: <https://tyvek.hindermann.de/en/tyvek/>.

106 Nem-szövött poliészter anyag.

107 Duranton et al. 2023. A tanulmányban a szerzők nem közlik, hogy melyik típusú Tyvekkel végezték a modellkísérletet. A Tyvek műanyagokra gyakorolt negatív hatása említésre került a 2024. 04. 22-én Ljubljánában tartott *Plastik Fantastik* szimpóziumon is Matija Strlič: *Plastic materials and preventive conservation* című előadásában.

108 Az Escal™-termékekről lásd David McPhail – Eric Lam – Adrian Doyle: The heat sealing of Escal® barrier films. *The Conservator* January 2003, 96–10a)

Adalékanyagok

Az adalékanyagok szerves vagy szervetlen anyagok, melyek csökkentik a gyártás költségeit, segítik a műanyag feldolgozását, és módosítják a polimer eredeti tulajdonságait a végterméktől elvárt tulajdonságok függvényében.

Az adalékanyagokat egyrészt a feldolgozási technológiai hibák kiküszöbölése miatt keverik a polimerhez (ne ragadjon bele a formába, ezek az anyagok általában nincsenek hatással a végtermék tulajdonságaira),¹⁰⁹ másrészt a polimer tulajdonságainak javítása, módosítása érdekében,¹¹⁰ például a kisebb mértékű zsugorodás céljából, a hővel és fénnel szembeni ellenálló képesség és a mechanikai tulajdonságok növelése, a szín megváltoztatása miatt.

A polimerekhez adagolt adalékok általában növelik annak élettartamát, ezen anyagok egy része azonban idővel kivándorol (13. kép) vagy kipárolog. A PVC esetében a lágyítók kilépése például zsugorodást és törékenységet okoz. A folyékony lágyítók a felületen megülehetnek és ragadóssá tehetik, mielőtt elpárolognának. A ragadós felületen könnyebben megtapadnak a szilárd légköri szennyezők, melyek egyéb anyagokat is tartalmazhatnak, elősegítve így más kémiai folyamatok beindulását.¹¹¹



a)



b)

13a–b kép. 1982-ből származó Midge Barbie¹¹² a) előlnézetben, b) hátulnézetben (Magyar Nemzeti Múzeum Modern kori Főosztály, Vegyes háztartási tárgyak gyűjteménye, ltsz. 96.1.5.); az arc és a fejbőr sötétedését feltehetően a játék fekete színű, műszálas haja és a babafej anyaga közti kölcsönhatás okozhatta

Fig. 13a–b. Midge Barbie from 1982 a) front view, b) back view (Hungarian National Museum, Modern Repository, Collection of miscellaneous household objects, Inv. No. 96.1.5.). The darkening of the doll's face and scalp may have been caused by the interaction between its black synthetic hair and the unidentified polymer of the head

¹⁰⁹ Van Oosten 2022, 97.

¹¹⁰ A cellulóz-nitrát bomlásakor felszabaduló savas kémhatású, nitrogéntartalmú gázok felgyorsítják a lebomlási folyamatot. Celluloidborítású könyvek restaurálása kapcsán azt a megállapítást tették, hogy a polimerhez kevert cink-oxid, mely a töltő- és a színezőanyag funkcióját egyszerre látta el, stabilizálta a cellulóz-nitrátot (Hotz 2019, 71), ezért nem tapasztalták a 19–20. század fordulóján készült könyvborító előrehaladott lebomlását.

¹¹¹ Shashoua 2008, 159.

¹¹² Az adatok a baba hátoldalán vannak feltüntetve.

A PVC-ből készült műanyagok legfontosabb segédanyaga a lágyító, napjainkban legtöbbször dietil-hexil-ftalát (DEHP),¹¹³ amely egyben a polimer lebomlását is gátolja.¹¹⁴ Idővel azonban épp e lágyító vándorlása, migrációja miatt a műanyag elszíneződik (14a–b kép) és törékennyé válik. A PVC esetében ezért az inhibítív konzerválás célja a lágyítószer elvesztésének megakadályozása.¹¹⁵ Valódi és mesterségesen öregített tárgyakon végzett modellkísérletek¹¹⁶ azt mutatták, hogy a minták bomlásának sebessége jelentősen csökkent, amikor nem polietilén csomagolóanyaggal vették körül, hanem üveg, illetve poliészter tárolóegységbe helyezték őket.¹¹⁷



a)



b)

14a–b. kép. PVC-ből¹¹⁸ készült, elszíneződött, jelzetlen játék baba az 1970-es évekből (Magyar Nemzeti Múzeum Modern kori Főosztály, Vegyes háztartási tárgyak gyűjteménye, ltsz. 92.3.2.); az a) felvétel 2022. 05. 09-én, a b) felvétel ugyanarról a babáról 2024. 06. 03-án készült; a felvételek az adalékanyagok hatására két év alatt bekövetkezett elváltozást mutatják, a baba arca teljesen, bal karja részlegesen elszíneződött, a korábban észlelhető lila szín sötétebbé vált Fig. 14a–b. Discoloured, unmarked toy doll made of PVC from the 1970s (Hungarian National Museum, Modern Repository, Collection of miscellaneous household objects, inv. no. 92.3.2.) The photos were taken on a) 05. 09. 2022, b) 03.06.2024, revealing the change caused in two years by the additives in its material. The doll's face has completely, its left arm partially discoloured and the purple shade darkened considerably

113 A DEHP mellett további ftalátokat is használnak erre a célra.

114 Shashoua 2008, 184.

115 A Mattel cég által 1959 és 1976 között gyártott Barbie babák vizsgálatok megállapították, hogy a ftalátalapú lágyítók migrációja okozta a vizsgált játékok állapotromlását: Macchia et al. 2022, *Conclusion and further research* című fejezet.

116 Shashoua 2001.

117 Shashoua 2008, 201–202.

118 Az anyagmeghatározás Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiával történt. A vizsgálatot Mihály Judith PhD, az Anyag- és Környezetkémiai Intézet Természettudományi Kutatóközpont (új nevén: HUN-REN TTK Anyag- és Környezetkémiai Intézet) tudományos főmunkatársa végezte.

PVC-alapú műanyagok esetében kerülni érdemes a nyílt polcokon, levegőkeringetés mellett való tárolást, mert ilyen körülmények között a tárgy DEHP-tartalmának kb. 50%-át veszíti el három hónapon belül.¹¹⁹ A kis sűrűségű polietilén könnyen felszívja az olajos anyagokat, beleértve a lágyítószeret is, ezért ezek a termékek alkalmatlanok PVC tárolására.¹²⁰

Műanyag tárgyak raktári kezelése

Leltári szám elhelyezése

A leltári szám hagyományos feltüntetésekor az oldószeralapú tinta vagy festék alá egy hordozóréteg kerül, a számsort pedig olykor egy fedőréteg zárja. A tárgytól való izolálás szerepe kettős: egyrészt meggátolja a tinta tárgyba szívódását (15a–b kép), másrészt megkönnyíti annak (későbbi) eltávolítását.



a)



b)

15a–b kép. Műanyag játék babák lábára írt, illetve abba beszívódott leltári szám (Magyar Nemzeti Múzeum Modern kori Főosztály, Vegyes háztartási tárgyak gyűjteménye)

Fig. 15a–b. Inventory number written on and adsorbed into the feet of plastic toy dolls (Hungarian National Museum, Modern Repository, Collection of miscellaneous household objects)

Műanyagok esetében a hordozóanyag kiválasztása kulcsfontosságú, hiszen annak oldószere nem léphet kémiai reakcióba a műanyaggal, és fizikai elváltozásokat sem okozhat benne.

A réteges leltári számozási rendszer minden rétegének megfelelő időt kell biztosítani az oldószer maradéktalan távozásához, mielőtt a tárgy adott környezetbe és körülmények közé kerülne. A szükséges időt befolyásolhatja a felület minősége, a hőmérséklet és a légmozgás is. Izolálás nélkül néhány pigment és festék felgyorsíthatja a műanyagból készült tárgy lebomlásának sebességét az érintkező területeken. Úgy találták, hogy a szénfekete nem reagál a műanyagokkal, a fehér színű pigmentek közül pedig a titán-dioxid

119 Shashoua 2008, 201.

120 Shashoua 2001, 81; Shashoua 2008, 202.

tűnt a legstabilabbnak, bár utóbbi érzékenyíti a poliamidokat és poliolefineket¹²¹ az UV-sugárzással szemben.¹²²

A műanyagokban létrejövő károsodást (foltosodás, repedezés) a feliratozás során az oldószerek okozzák.¹²³ Ezek mennyiségét csökkenteni lehet a hordozóréteg elhagyásával, ezekben az esetekben javasolt az akril diszperzióban vagy shellakban¹²⁴ elkevert szénfekete, valamint a titánfehér pigmentek alkalmazása közvetlenül a műanyag felületén,¹²⁵ azonban alkoholos filctollak használata kerülendő. Puha ceruza (2B–4B) közvetlenül alkalmazható PE és PVC tárgyakon,¹²⁶ az íróeszköz azonban a puhább anyagokba benyomódhat.¹²⁷

A fentebb vázolt klasszikus leltározási gyakorlat alapvetően minden alapanyagú műtárgyon veszélyes. A leltári szám, a hordozó-, illetve fedőrétege a műtárgyak anyagához hasonlóan idővel öregszik, oldhatósága megváltozik. A műanyagok bomlási folyamatai a velük érintkező polimerekre is hatással lehetnek, melynek során a leltári szám és kísérőrétegei a tárgyról reverzibilis módon, a megőrzendő tárgy sérülése nélkül többé nem eltávolítható.

Jobb alternatívát jelenthet a leltári szám külön (savmentes) hordozón való elhelyezése, majd a tárgyhoz erősítése fehértetlen pamutcérnával. Egyes publikációk¹²⁸ a teflonszalagot (16. kép) javasolják a leltári számot hordozó címke felkötözéséhez.¹²⁹ A felkötözött leltári számok azonban leszakadhatnak, elveszhetnek, ezért számos múzeum ragaszkodik a tárgyra írt azonosítókhoz.



16. kép. Teflonszalag

Fig. 16. Teflon tape

A műtárgyra ragasztott (öntapadós) címkék használata nem ajánlott, eltávolításukkor gyakran marad kötőanyagukból a felszínen. A kötőanyag-maradványok felületről való

121 A poliolefinnek legismertebb képviselője a polietilén (PE) és a polipropilén (PP).

122 Fenn 1993, 347.

123 Fenn 1993, 343.

124 Fenn 1993, 346, 349.

125 A titánfehér pigment alkalmazását célszerű elkerülni poliamidon, PE-n és PP-n, vö. 121. lábjegyzet.

126 Pagliarino–Shashoua 1999, 94.

127 Waentig (2008, 168) óvatosságra int a műtárgy közvetlen feliratozása kapcsán.

128 Fenn 1993, 349; Pagliarino–Shashoua 1999, 94.

129 Kereskedelmi forgalomban már kapható zsinór formában is (például Griffon® Flon-100).

letisztításához oldószer szükséges, amely károsíthatja a műanyagot, különösen azokat, melyek lebomlási folyamatai már előrehaladottak, ezért oldhatósági tulajdonságaik is megváltoztak. A kötőanyag maga pedig, a klasszikus módszernél alkalmazott hordozórétteghez hasonlóan, az érintkezési ponton irreverzibilis nyomot hagyhat a műanyag anyagában.

Egy másik lehetőség felé mutat a műtárgy helyett tárolóegységének jelölése,¹³⁰ de ez a jelölési rendszer kevésbé bizonyul hasznosnak, ha a tárgyat azon kívül, például kiállításban helyezik el.

Kézbevétele

Műanyag tárgyak kézbevételeéhez eldobható, szőszmentes anyagból készült kesztyű használata javasolt, nemcsak a tárgyak mozgatása, hanem aktív konzerválásuk kezelése közben is. Az emberi bőrről a tárgyra került zsírsavak kémiai folyamatok forrásai lehetnek, illetve felületükön könnyen megtapadnak a szilárd légköri szennyezők, melyek egyéb lebomlási folyamatokat katalizálhatnak.

Jó választás a festetlen és lehetőleg fehérítetlen pamutkesztyű, a gumikesztyűk lágyítótartalma azonban reakcióba léphet a műanyag műtárggyal, továbbá az egy típusba (latex, vinil, nitril) tartozóak összetétele nem szabványosított, az gyártónként és terméktípusonként változhat,¹³¹ ezért különbözőképpen reagálhatnak más szintetikus polimerekkel.

Utószó

A hazai gyűjteményekben már jelen vannak a teljes egészében vagy részletükben műanyag műtárgyak. A gyűjtemények biztonságos tárolása az intézmények egyik elsődleges célja, melynek megvalósításához szükség van mind anyagi, mind emberi erőforrásokra. A sikeres tárolási megoldások kialakítása számos választást igényel az anyagok, a technikák, az idő és a szakértelem tekintetében.

Ha a passzív konzerválásra úgy tekintünk, mint egy, az állapotromlás megelőzését vagy minimalását célzó stratégiára, mely olyan kockázatok nyomon követését, ellenőrzését, monitorozását és értékelését igényli, amelyek befolyásolják vagy befolyásolhatják kulturális értékeink állapotát, akkor e megfogalmazás szerint nem tehetünk kivételt a műtárgy mérete, értéke, kora és anyaga tekintetében sem.

Jelen tanulmány olyan lehetőségeket mutat be, melyek útmutatóként szolgálhatnak a műtárggyá vált műanyagok hosszú távú megőrzéséhez, azonban a műanyagok esetében a hosszú táv mérhető egységben való megjólása gyakorlatilag (még) lehetetlen. Nincs egyetlen általánosan érvényes szabály, amely a műanyagok öregedését és lebomlását

¹³⁰ Fenn 1993, 344.

¹³¹ A Williamstown Art Conservation Center az általuk használt hétféle gumikesztyű tesztelését végezte el, erről bővebben az alábbi linken: <https://artconservator.williamstownart.org/technicalbulletingloves>.

leírni és megjósolni. Bár szerte a világon végeznek mesterséges öregítéseket a szintetikus polimerekkel, ezzel az anyagcsoporttal kapcsolatban a lebomlás tényezői, változói végtelenek, így a tesztek interpretálása sem lehet általános érvényű. Több mint valószínű, hogy ez az oka annak, hogy az újabb szakirodalomban a témáról olvasható információk sem kifejezetten explicitek, hanem tájékoztató jellegűek és csupán irányelveket tartalmaznak szabályok és követendő protokollok helyett.

Általánosságban elmondható, hogy a műanyagok ideális tárolási körülményeihez szükség van a fény lehetőség szerinti teljes kizárására, a megfelelő légmozgás biztosítására, a stabil, hűvös környezet és 40–50% relatív páratartalom megteremtésére. Az itt leírtak azonban csak általánosságok, néhány műanyagfajta ennél jóval átgondoltabb műtárgykörnyezetet kíván. Az általánostól a műanyag-specifikus tárolási körülmények felé való továbblépéshez megkerülhetetlen a műtárgyak pontos anyagmeghatározása. Minden műanyagtípus a lebomlást kiváltó tényezők közül érzékenyebb egyikre, mint másokra, egyesek jobban ellenállnak a fény okozta károsító hatásoknak, mások a nedvességnek. Ezek a tulajdonságok összefüggést mutatnak a polimerrel, a műanyag előállítása és a tárgy gyártása során hozzáadott anyagokkal, az alkalmazott előállítási technológiákkal, a használatával, illetve a megalkotása óta eltelt idővel. Nem szabad elfeledkezni ugyanakkor arról, hogy a már leromlott állapotú műanyag tárolási igénye változhat az ép állapotához képest.

A tárolási problémák etikai aggályokkal ütközhetnek a műanyaggal kombinált műtárgyakat illetően. Kompozit tárgyak esetében a hagyományos eljárás az, hogy felméri az alkotó anyagok egyéni igényeit, majd ezek alapján hoznak kompromisszumos döntést, amelyre többé-kevésbé ráfogható, hogy mindegyiknek megfelel, de az igazság az, hogy tulajdonképpen nem.¹³² Ugyanakkor megosztónak számít az a nézet, hogy egyetlen műtárgy eltérő anyagú alkotórészei (például a 17a–b képen látható műanyag játék baba és textiltől készült ruhái) – a nekik ideális feltételek mellett – külön-külön helyszínen kerülnének elhelyezésre, azonban nem minden összetett anyagú tárgy bontása minősül restaurátori szempontból etikusnak (18a–b kép).

132 Szemléletes példa erre az 1. képen látható influenciagép, melynek alkotóanyagai között megtalálható a fém (festett és festetlen), a fa, a textil, az üveg és az ebonit. A fémek korróziója nagymértékben lelassul alacsonyabb relatív páratartalom mellett (< 30% RH), ezen az értéken azonban a szerves alkotók kiszáradnak, ami a faalap hasadását, illetve a festékréteg berepedezését is okozhatja. A szerves alkotóknak és a festett rétegnek optimális 45–50%-os RH azonban potenciális veszélyt jelent a fémek számára, mert a korróziós folyamatokat indukálhatja, a keletkező korróziós termék a festékréteg leválását okozhatja.



a)



b)

17a–b kép. a) Celluloidból¹³³ készült Schildkröt játék baba és b) a hátán lévő jelzések: a teknősbéka a Schildkröt-gyár emblémája, a 26-os szám a baba centiméterben kifejezett mérete¹³⁴ (Magyar Nemzeti Múzeum Modern kori Főosztály, Vegyes háztartási tárgyak gyűjteménye, azonosító szám SzNT 2022_0006_0448)

Fig. 17a–b. a) Schildkröt toy doll made of celluloid and b) the markings on its back. The turtle is the emblem of the Schildkröt company, the number 26 refers to the size of the doll in centimeters (Hungarian National Museum, Modern Repository, Collection of miscellaneous household objects, inv. no. SzNT 2022_0006_0448)



a)



b)

18a–b kép. Többféle műanyagból és fémből álló Didaktomat III, azaz feleltetőgép (Országos Pedagógiai Könyvtár és Múzeum, ltsz. T.2022.1.1.)

Fig 18a–b. Didactomat III, a machine used to test students' knowledge, consisting of several types of plastic and metal (National Educational Library and Museum, inv. no. T.2022.1.1.)

133 A celluloid a cellulóz-nitrátból és kámforból előállított műanyag termékek márkafüggetlen megnevezése, eredetileg azonban a John Wesley Hyatt által 1871-ben alapított vállalat neve (Celluloid Manufacturing Company) volt (Newport 1997, 77). Az anyagmeghatározás analógiakutatás és gyártástörténet alapján történt. A szék dr. Kuti Klára muzeológus szóbeli közlése alapján nem tartozik a játékhöz.

134 Az MNM leltárkönyve a 26-os jelzést a készítés évének (1926) tulajdonítja, ez azonban téves. Analógiák (Cieslik 1986, 100–101) alapján ez a műtárgy az 1915-ben piacra került Bebi N sorozat darabja. A játék babákon és testrészeiken feltüntetett számérték a gyártás során az összetartozó részek könnyebb azonosíthatóságát teszi lehetővé (Cieslik 1986, 39).

Valószínűleg az a helyes út, ha – különösen a műanyagok megőrzése kapcsán – elfogadjuk azt a tényt, hogy ezek az anyagok *sem* őrizhetők meg a végtelenségig. De a tárgyak rendszeres monitorozása, a látható jelek detektálása, az elváltozások különböző tényezőkhez való társítása, a tároláshoz használt anyagok és a raktározási körülmények, valamint a változtatásukhoz való lehetőségek ismerete hozzásegítheti a szakembereket, hogy műanyag műtárgyaink minél tovább velünk maradjanak.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönettel tartozik minden feltüntetett intézménynek a műtárgyak közléséhez való hozzájárulásáért, Nyíri Gábornak (műtárgyfotós, MNM ORRK) a precíz fotódokumentációért, dr. Kuti Klárának (muzeológus, MNM) a Magyar Nemzeti Múzeum Vegyes háztartási gyűjteményében való kutatás biztosításáért és Békési-Gardánfalvi Magdolnának (kémiaoktató, MNM ORRK) a cellulóz-nitrát gombokért, illetve a tanulmány megírásához nyújtott lelkiismeretes segítségéért és tanácsaiért.

Az írásban bemutatott felvételeket Nyíri Gábor (1–2., 4–7., 9–12., 14b, 16., 17b és 18. kép), Tóth Veronika¹³⁵ (14a és 17a kép), valamint a szerző (3., 13. és 15. kép) készítették. A 8. képen látható felvétel Bajnóczi Bernadett PhD és Szabó Máté Zoltán (HUN-REN CSFK Földtani és Geokémiai Intézet) munkája.

Irodalom

- Bassotti, S. – Costa, E. 2023. *La conservazione delle materie plastiche. Nelle collezioni de design e nell'arte contemporanea*. Firenze
- Blank, Sh. 1990. An Introduction to Plastics and Rubbers in Collections. In: *Studies in Conservation*, Vol. 35, No. 2, 53–63, <https://doi.org/10.1179/sic.1990.35.2.53>
- Braun, D. 2013. *Simple methods for the identification of plastics*. 5th edition. Cincinnati, <https://doi.org/10.3139/9781569905425.fm>
- Canosa, E. 2019. *Adsorbents for Pollution Reduction in Cultural Heritage Collections*. Riksan-tikvarieämbetet. Riksan-tikvarieämbetet.
- Cieslik, J. – Cieslik, M. 1986. *Das große Schildkröt-Buch: Celluloidpuppen von 1896–1956*. Jülich.
- Costa, V. 2001. The deterioration of silver alloys and some aspects of their conservation. *Reviews in Conservation* 2, 19–35, <https://doi.org/10.1179/sic.2001.46.Supplement-1.18>

¹³⁵ Tóth Veronika egyetemi hallgató, a 2022-es évben kötelező közgyűjteményi gyakorlatát végezte a Magyar Nemzeti Múzeumban dr. Kuti Klára muzeológus mellett.

- Coxon, H. C. 1993. Practical Pitfalls in the Identification of Plastics. In: Grattan, D. W. (ed.): *Saving the Twentieth Century: The Conservation of Modern Materials*. Proceedings of a Conference, Symposium '91, Saving the Twentieth Century. Ottawa, Canada, 15 to 20 September 1991. Canadian Conservation Institute, 395–409.
- Durantón, M. – Brun, C. – Balcar, N. – Dignat, J. – Royan, L. 2023. Insights on some wrapping materials used for plastic objects. In: *ICOM-CC Triennial Conference Publications* (online), <https://www.icom-cc-publications-online.org/5742/Insights-on-some-wrapping-materials-used-for-plastic-objects>.
- Fenn, J. 1993. Labelling Plastic Artefacts. In: Grattan, D. W. (ed.): *Saving the Twentieth Century: The Conservation of Modern Materials*. Proceedings of a Conference, Symposium '91, Saving the Twentieth Century. Ottawa, Canada, 15 to 20 September 1991. Canadian Conservation Institute, 349–350.
- Fotokémiai alapfogalmak. *Fotokémiai alapfogalmak, a fotonok és a molekulák kölcsönhatása*. Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Kémiai Intézet, Fizikai és Kémiai Anyagtudományi Tanszék, https://oszk.ttk.pte.hu/eloadas/fotokem1_eloadas.pdf
- Frame, R. 2021. Plastic fantastic. *Education in Chemistry* 19, April 2021.
- Grattan, D. W. – Gilberg, W. 1994. Ageless Oxygen Absorber: Chemical and Physical Properties. In: *Studies in Conservation*, Vol. 39, No. 3, 210–214, <https://doi.org/10.1179/sic.1994.39.3.210>
- Grøntoft, T. – Lankester, P. – Thickett, D. 2015. Reduction of acidic pollutant gases inside showcases by the use of activated carbon adsorbers. *e-Preservation Science* 15, 28–37.
- Hotz E. 2019. *Celluloiddal borított könyvek restaurálása a 19–20. század fordulójáról*. Diplomamunka (Magyar Képzőművészeti Egyetem). Budapest.
- Lambert, F. L. – Daniel, V. – Preusser, F. D. 1992. The Rate of Absorption of Oxygen by Ageless™: The Utility of an Oxygen Scavenger in Sealed Cases. In: *Studies in Conservation*, Vol. 37, No. 4, 267–274, <https://doi.org/10.1179/sic.1992.37.4.267>
- Lavédrine, B. – Fournier, A. – Martin, G. (eds.) 2012. *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections*.
- Macchia, A. – Biribicchi, C. – Zaratti, C. – Testa Ch. K. – D'Ambrosio, M. – Toscano, D. – Izzo, F. C. – La Russa, M. F. 2022. Mattel's Barbie: Investigation of a symbol – Analysis of polymeric matrices and degradation phenomena for sixteen dolls from 1959 to 1976. *Polymers* 2022, 14, 4287, <https://doi.org/10.3390/polym14204287>
- Maekawa, S. – Elert, K. 2003. *The Use of Oxygen-Free Environments in the Control of Museum Insect Pests*. The Getty Conservation Institute Los Angeles.
- Molina, S. L. 2017. Current guidelines review for the preservation of plastics emitters of gaseous pollutants in Contemporary Art museum. *Ge-conservación* 11, 278–285, <https://doi.org/10.37558/gec.v11i0.507>

- Morgan, J. 1999. Caring for Plastics at Home. In: Quye, A. – Williamson, C, (eds.): *Plastics. Collecting and Conserving*. Edinburgh, 85–90.
- Mossmann, S. 1993. Plastics in the Science Museum, London: A Curator's View. In: Grattan, D. W. (ed.): *Saving the Twentieth Century: The Conservation of Modern Materials*. Proceedings of a Conference, Symposium '91, Saving the Twentieth Century. Ottawa, Canada, 15 to 20 September 1991. Canadian Conservation Institute, 25–35.
- Newport, R. 1997. Plastics and design. In: Mossmann, S.: *Early plastics: Perspectives 1850–1950*. 72–112.
- Padfield, T. 2002. Condensation in film containers during cooling and warming. In: Nissen, D. – Larsen, L. R. – Christensen, T. – Johnsen, J. S. (eds.): *Postprints of Preserve, then Show Copenhagen*. 1–9.
- Pagliarino, A. – Shashoua, Y. 1999. Caring for Plastics in Museums, Galleries and Archives. In: Quye, A. – Williamson, C. (eds.): *Plastics. Collecting and Conserving*. Edinburgh, 91–98.
- Putnoki S, 2022. *Wimshurst-féle influenciagép restaurálása*. Diplomamunka (Magyar Képzőművészeti Egyetem). Budapest.
- Quye, A. – Williamson, C. (eds.) 1999. *Plastics. Collecting and Conserving*. Edinburgh.
- Rémillard, F. 2007. *Identification of plastics and elastomers. Miniaturized Tests*. Centre de Conservation de Québec.
- Shashoua, Y. 1999. Conservation Research in the 1990s. In: Quye, A. – Williamson, C. (eds.): *Plastics. Collecting and Conserving*. Edinburgh, 105–110.
- Shashoua, Y. 2001. *Inhibiting the degradation of plasticized poly(vinyl chloride) – a museum perspective*. Ph.D. thesis, Danish Polymer Centre, Technical University of Denmark.
- Shashoua, Y. 2005. Storing plastics in the cold – more harm than good? In: Verger, I. (ed): *Preprints of the 14th ICOM-CC Triennial Meeting The Hague*, 12–16 September 2005, 358–364.
- Shashoua, Y. 2008. *Conservation of Plastics: Materials Science, Degradation and Preservation*. Oxford.
- Shashoua, Y. 2014. A safe place. Storage Strategies for Plastics. *The GCI Newsletter*, Spring 2014, Volume 29. Number 1, 13–15, <https://doi.org/10.1145/2688494.2688495>
- Shashoua, Y. – Schilling, M. – Mazurek, J. 2014. The effectiveness of conservation adsorbents at inhibiting degradation of cellulose acetate. In: *ICOM-CC Triennial Conference Publications* (online), <https://www.icom-cc-publications-online.org/1421/The-effectiveness-of-conservation-adsorbents-at-inhibiting-degradation-of-cellulose-acetate-->
- Shashoua, Y. – Thomsen, S. 1993. A field trial for the use of Ageless in the preservation of rubber in museum collections. In: Grattan, D. W. (ed.): *Saving the Twentieth Century: The Conservation of Modern Materials*. Proceedings of a Conference, Symposium '91, Saving the Twentieth Century. Ottawa, Canada, 15 to 20 September 1991. Canadian Conservation Institute, 363–372.

- Tétreault, J. é. n. Control of Pollutants in Museums and Archives. *CGI Technical Bulletin* 37, <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/technical-bulletins/pollutants-museums-archives.html#a6a>
- Vágány J. – Bellver Nacho, A. – Retkes-Kiss A. F. 2024. Elindult a Kiscelli Műanyag Projekt. In: Budapest Régiségei LIII, 373–387.
- Van Oosten, T. 1999. Identifying Plastics. Part 2: Analytical methods analysis. In: Quye, A. – Williamson, C. (eds.): *Plastics. Collecting and Conserving*. Edinburgh, 70–83.
- Van Oosten, T. 2022. *Properties of Plastics. A guide for conservators*. Getty Conservation Institute, Los Angeles, <https://doi.org/10.2307/jj.4908205>
- Waentig, F. 2008. *Plastics in art. A study from the conservation point of view*. Petersberg.
- Williams, R. S. 2002. Care of Plastics: Malignant plastics. *WAAC Newsletter*, January 2002, Volume 24. Number 1, <https://cool.culturalheritage.org/waac/wn/wn24/wn24-1/wn24-102.html>
- Williamson, C. 1999. Identifying Plastics. Part 1: Physical clues and simple analysis. In: Quye, A. – Williamson, C. (eds.): *Plastics. Collecting and Conserving*. Edinburgh, 55–69.

Plastics as works of art. Possibilities of inhibitive conservation

Eszter Tóth

84

Műtárgyvédelem • 40

The conservation of plastics is the youngest branch of the scientific field of conservation. The topic 'plastic conservation' appeared abroad as early as the 1960s, but it remained a topic limited exclusively to the problems associated with modern paintings for about two decades. The conservation of artworks incorporating plastics only became the subject of symposia, workshops, and conferences at the end of the 1980s and has been part of university education since 1998, mostly embedded in specializations usually called modern and contemporary art conservation. Despite its novelty, the conservation of plastics is a rapidly developing field; however, one that is still severely neglected in Hungary, although artefacts made of or containing are part of the collections of Hungarian museums and art galleries.

Artificial polymers can be found in historical and technical works of art and thematic collections (ethnographic and household items, clothing, or toys). Is it widely believed that plastic objects do not need particular care because they look relatively young. But that is not true; compared with traditional materials, plastics degrade more rapidly. The conservation of artificial polymers has either been avoided or overlooked due to ignorance thus far; recognising them as a type of material present in artefacts requires a shift of approach from Hungarian museology and, in broader sense, the entire society. The moment plastic artefacts are recognized as representations of human intention and ability, and are considered cultural heritage, the need to artificially extend their relatively short lifespan becomes apparent.

The author has been actively researching plastics since 2021, continuing the work within the frame of a doctoral programme by the Doctoral School of the Hungarian University of Fine Arts. This paper is a brief summary of her dissertation, the result of in-depth research of foreign literature about the preventive conservation of artefacts made of plastic.

Szerző / Author

Tóth Eszter

Fém-ötvös restaurátor / Metal and goldsmith object conservator MA

Magyar Nemzeti Múzeum / Hungarian National Museum

toth.eszter@hnm.hu, toth.e.restaurator@gmail.com