

P. Holl Adrien

Tömeges fertőtlenítési technológiák hazai és nemzetközi gyakorlata

A papír kényes adathordozó, anyagát tekintve növényi cellulóz rostok vizes szuszpenziójából víztelenítés és nemezelődés útján előállított, összefüggő lap. A cellulóz rostos szerkezetű anyag, a növények sejtfalának alkotója, a növényi szálas anyagokból, valamint a fából és papírból készült tárgyak fő alkotóeleme. Polimer láncában lévő kovalens kötések biztosítják a cellulóz elsődleges szerkezetét, azaz fizikai vázát. A láncok között kialakult másodlagos kémiai kötések, hidrogén-hidak pedig a cellulóz másodlagos és harmadlagos szerkezetét alakítják ki.

A papír öregedése megállíthatatlan, de lassítható folyamat. Lebomlását – öregeződését – a víz, az elektromágneses sugárzás, a hő és a biológiai károsítók gyorsítják. Minthogy a papír higroszkópos anyag, a cellulóz lánc nedvességtartalmát a légköri nedvesség határozza meg, ezért fontos, hogy a közgyűjteményi raktárakban a levegő relatív páratartalma állandó legyen.

Amikor a papír hosszú időn át 30%-nál alacsonyabb, tehát száraz RH környezetben van, kiszárad és rideggé, törékennyé válhat. A 60%-nál magasabb RH viszont már túl sok nedvességet jelent, amely a papír duzzadását okozza. Minél duzzadtabb a papír, annál több víz, vegyszer és mikroorganizmus juthat be a cellulóz láncba.¹ A mikroorganizmusok behatolását a magas relatív légnedvesség – 70% RH –, vagy a nedves közeg (például beázás) segíti. Az enzimatis aktivitás 20-21°C körüli hőmérsékleten a legintenzívebb, így a lebomlás egy-két nap alatt lezajlik. Ez a folyamat már szemmel is látható. A műbőr, bőr, papír és pergamen felületén apró pöttyök jelennek meg, amelyek gombatelepekre utalnak. Ez azt jelzi, hogy az anyag aktívan gombafertőzött, és a levegő is potenciálisan fertőzött. A könyvgerincek vagy savmentes levéltári dobozok felületéről induló fertőzések okai nemcsak gombatelepek, de baktériumok is lehetnek.

A raktári levegő páratartalmának emelkedését a raktárak fűtési, víz-, vagy csatorna-rendszereinek műszaki problémái, az épület szigetelésének, klimatizálásának hiánya, a nem megfelelő takarítás vagy a levegőztetés elégtelensége is okozhatja. Ezek következményeként a levegőben állandóan és mindenhol jelenlévő gombaspórák a nagyobb nedvességtartalmú felületeken – könyvgerinceken, doboz kiálló sarkain – aktivizálódnak, és 48 óra alatt megindul a penészesedés. Ilyen esetben ajánlott

¹ Tímárné, 1993: 91.

azonnal szakemberhez fordulni, hiszen a károk minimalizálásához restaurátori beavatkozás szükséges. Az azonnali segítségkérés vagy a szakemberrel való kapcsolatfelvétel nem pénz kérdése, legtöbbször az emberi felelősségvállalás hiánya vezet több iratfolyókilométer dokumentum pusztulásához. A restaurátor szakember azonnali segítséget, vagy legalább tanácsot tud nyújtani a környezeti légnedvesség optimalizálásával, a fertőzött anyag elkülönítésével és a fertőtlenítés módjával kapcsolatban.

Minden káreseménynek és penészesedésnek más a kiváltó oka, így nincs csodarecept, amely minden problémát megoldhat. A komplex és gyors kockázatértékelés csak helyszíni szemle keretében végezhető el és elképzelhető, hogy a probléma elhárításánál külső cég bevonására is szükség lesz. A megelőzésre, a penészesedés elkerülésére ugyanakkor van általános módszer: a cellulózalapú dokumentumokat leginkább 18 ± 1 °C hőmérsékleten és 50 ± 3 relatív légnedvességű környezetben védhetjük meg a biológiai lebomlástól.²

A veszélyforrások

A hatékony megelőzéshez és védekezéshez érdemes jobban megismerni azt, ami ellen küzdeni kell. A penész- és fonalas gombák olyan mikroszkopikus szervezetek, amelyek finom fonalas bevonatot képeznek különféle szubsztrátumokon. A mikrobiológiában a penészek fogalma tágabb értelmezésű. A Mucor (valódi penészek) mellett az imperfekt gombák is ide tartoznak. (például Penicillium, ecsetpenész). A gombák heterotróf szervezetek, tehát szénforrást igényelnek. A természetben mindenütt előfordulnak: mint szerves anyagot lebontó szaprofiták megtalálhatók a talajban vagy annak felületén, de jelen vannak a levegőben, a vízben, a magasabb rendű állatok testében és az emberi test felületén is, spórák és micéliumok formájában.³ A gombák, baktériumok és virágtalan növények embriót nem tartalmazó, különleges reprodukív egysége a spóra.⁴ A gombák spórákkal szaporodnak, amelyek színe, alakja, felszíni jellegzetességei határozzák meg rendszertani besorolásukat. Spórázást kiváltó feltételként különböző fizikai-kémiai körülmények ismertek:⁵ terjedésüket vizsgálva megkülönböztethetünk száraz, illetve nyálkás, könnyen nedvesedő spórákat. A Penicillium- és az Aspergillus-spóra felszíne hidrofób, azaz víztasztó. Ezek a spórák a megfelelő érettség elérését követően a légmozgással, passzív módon szabadulnak fel. Ezt kiválthatja a páratelítettség miatt kialakuló elektrosztatikus hatás, a páralecsapódás is. A környezetbe kerülő spórák mennyiségének meghatározására különböző eszközök szolgálnak.

² Czikkely-Káli-Orosz-P. Holl-Szlabey, 2017: 32.

³ Fassatiová, 1984: 15.

⁴ Szentirmai, 2013: 54.

⁵ Szentirmai, 2013: 55.

A penészgombák a növekedésük során keletkező savas anyagcseretermékekkel és pigmentképzésükkel a levéltári anyagokat elszínezhetik, elhalványíthatják, olvashatatlaná tehetik. A penészgombák szaporodásának beindulásakor létrejövő telepek már az anyagcseréjük során képződő víz révén is annyira megnövelhetik a lokális vízakтивitást, amely miatt szaporodásuk a raktári környezet későbbi alacsonyabb páratartalma esetén is folytatódik, vagyis ez egy autokatalitikus, önfenntartó folyamat.

A penészgombák elpusztítása minden olyan esetben elengedhetetlen, amikor a levéltári dokumentumról vett mikológiai minta pozitív, vagyis élő gombafertőzéssel találkozunk. A penészgomba-kimutatási vizsgálatokat az MSZ ISO 21572-132013. számú szabvány szerinti vizsgálati módszerrel végezhetjük el, mikrobiológiai laboratóriumban. Budapest Főváros Levéltárának állományvédelmi főosztálya már hat éve ezzel az eljárással vizsgálja a levéltári átvétel előtt álló iratanyagokat. Amennyiben a vizsgálati eredmény megerősíti az állományvédelmi szakvéleményt, az iratanyagot csak fertőtlenítés és negatív mikológiai penészgomba-vizsgálati eredmény felmutatása után veszi át a levéltár. Ez a penészgomba-vizsgálati eljárás nemcsak papír, de bármely más szerves anyag felületéről vett minta esetében is használható.

Az iratanyag fertőtlenítése tekintetében a használt fertőtlenítési eljárások egy része sajnos kis hatékonyságú, ugyanakkor az irat cellulózszerkezetét is roncsolja. Más eljárások hatékonyak ugyan, de az emberi szervezetre nézve igazoltan egészségkárosító hatásúak.

Fertőtlenítési módszerek és eljárások

Fagyasztás, fagyasztva szárítás

A vízkárosodott iratanyagban a penész csírázását és növekedését a vizes, nedves anyag gyorsfagyasztásával lehet megelőzni, amennyiben a kezelni kívánt anyagot nem, vagy csak kis mértékben károsítják a keletkező jégkristályok. Mélyfagyasztással, minimum $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a vízzel telítődött spórák és hifák elpusztíthatók, a száraz spórák és konídiumok – a penészgombának a hifavégen keletkező ivartalan szaporítósejtje – azonban nem.

Azt, hogy milyen anyagokat lehet fagyasztani, csak restaurátor bevonásával szabad eldönteni. Ha a fagyasztás hirtelen lehűtéssel történik -30 és $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ között, akkor apró jégkristályok keletkeznek, amelyek nem károsítják a papírban lévő cellulózt és esetenként a bőrfehérjék szerkezetét, ellenben a könyvek fatábláját igen, ezért ilyen típusú anyagoknál nem szabad a fagyasztást használni.⁶

A fagyasztva szárítás az a technológia, amely során a lefagyasztott papírban lévő jégkristályokat közvetlenül vízgőzzé alakítják, és a folyamat során felszabaduló

⁶ Kastaly, 2010: 56.

vízgőzt eltávolítják a környezetből. Magyarországon ilyen fagyasztva szárító technológiát alkalmazó gép nem áll rendelkezésre, de a környező országokban igen, és – főleg vizes katasztrófák esetén – egy nagyon hatékony eszköz, amely már számos esetben bizonyult értékmentőnek.

Mechanikus tisztítás

A száraz, fertőtlenített papír felületéről a különböző gombatelepeket vagy azok egyes részeit speciális HEPA filterrel és aktív szénzűrővel ellátott porszívóval távolíthatjuk el. A porszívó azonban nem alkalmazható, ha a papír felülete erősen károsodott és mállékony, ilyen esetben keféket, ecseteket, vattát alkalmazhatunk. Ezekkel távolíthatóak el azok a lazán kötődő felületi szennyeződések, amelyek nagy mennyiségben tartalmazhatnak fejlődésképes spórákat és esztétikailag is zavaró hatásúak.

A penészgombák és a hozzájuk kapcsolódó anyagcsere-termékek, metabolitok általában nem csak a papír felületén helyezkednek el. Emiatt teljes eltávolításuk mechanikus módszerrel nem lehetséges, hanem azt fizikai vagy kémiai eljárásokkal kombinálják. Mikroorganizmusokkal fertőzött dokumentumok mechanikus tisztítása esetén a restaurátoroknak megfelelő védőeszközöket kell viselniük.⁷ A száraz tisztítás elvégzése nagyban csökkenti a visszafertőződés esélyét.

Ionizáló sugárzás, ezen belül gamma-sugárzás

A radioaktív izotópok bomlásakor keletkező gamma-sugárzás pusztítja a mikroorganizmusokat, ezért elvben használható lenne penészes iratok fertőtlenítésére is. Kísérletekkel azonban kimutatták, hogy gamma-sugárzás után a levéltári iratok érzékenyebbé válnak a mikroorganizmusokra, és gyorsabbá válik azok anyagcsere-termékeinek kiválasztása.⁸ Tehát a gamma-sugárzás használata a penészgomba-fertőzések elpusztításában zsákutca, hiszen a gamma-sugárzásnál szükséges min. 8 kGy dózis⁹ jelentős mértékben károsítja a papírt felépítő cellulózrostokat, így nem javasolt ennek a módszernek a használata a penészes levéltári dokumentumok fertőtlenítésére.

Etilén-oxidos fertőtlenítő eljárás

A mutagén és karcinogén hatású etilén-oxid (ETOX) gázt az 1960-as évektől 2016-ig használták sterilizálásra Magyarországon.

⁷ Kovács, [d. n.]: 26.

⁸ Butterfield, 1987.

⁹ A *gray* mértékegység a bármely anyagban elnyelődött ionizáló sugárzás dózisát adja meg.

2003-ban Budapest Főváros Levéltára felkérésére a BME Kémiai OTKA Műszerközpontban vizsgálatokat folytattak az etilén-oxiddal sterilizált levéltári dokumentumokat tároló raktárak légtérében és mérték a fertőtlenítés után visszamaradt etilén-oxid mennyiséget 30 db, különböző helyről és időből származó iratanyag-mintán. Elvégeztek egy gőztéranalízis-gázkromatográfiás vizsgálatot is, amelynek segítségével meghatározták a papírban visszamaradt etilén-oxid mennyiségét. A diffúziós mintavételt követően ATD-GC-MS módszerrel meghatározták az ETOX-mennyiséget: a legkisebb kimutatható mennyiség 0,005 ppm, a legmagasabb pedig 0,05 ppm volt.

A vizsgált levéltári anyagokat a Fővárosi ÁNTSZ etilén-oxidos sterilizáló technológiájával fertőtlenítették 1989 és 2003 között. A sterilizálást két 4 m³-es gázkamrában, biztonsági, műszaki és munkavédelmi szempontból szigorúan ellenőrzött üzemenlési feltételek mellett végezték. A MSZ EN ISO 10993-7:2000 szabvány tartalmazza a megengedett etilén-oxid értékeket; állandó expozíció mellett fennállhat a rák kockázata 0,44 mg/nap átlagos dózis esetén, míg a hosszan (24 órától 30 napig) tartó expozíció mellett a megengedett érték 2 mg/nap.¹⁰

A vizsgálati eredmények és következtetések alapján az etilén-oxid mennyisége sem az iratanyagban, sem a raktárak levegőjében nem érte el a 0,44 mg/nap biológiai kritikus értéket. Sem az iratok, sem a levegő nem tartalmazott olyan mennyiségű etilén-oxidot, amely az ott dolgozók egészségére nézve bármilyen egészségügyi kockázatot jelenthetett volna.¹¹ Az *emberek és a könyvek* című, az Európai Unió által támogatott projekt 2012-ben a swidnicai Szentháromság protestáns egyházközség levéltárában szintén vizsgálta az etilén-oxiddal 2009–2010 között fertőtlenített könyvek etilén-oxid tartalmát. A vizsgálat eredménye kimutatta, hogy a könyveken és az iratokon nem találtak kimutatható mennyiségű etilén-oxid gázt.¹²

Ezt a fertőtlenítő eljárást a prágai Nemzeti Levéltárban és Városi Levéltárban már 15–20 éve használják. 2016-ban Túrócszentmártonban (ma: Martin, Szlovákia) szintén az Európai Unió támogatásával hoztak létre egy nagy kapacitású etilén-oxidos fertőtlenítő részleget.

Fertőtlenítés ózonnal

Már 1980 előtt is kutatták az ózon hatását a sterilizálásban. Kezdetben ózont generáló UV-C lámpákat használtak, amelyek 200 nm hullámhossz alatt alkalmasak a kellemetlen szagok és kémiai anyagok eliminálására. A túl magas koncentrációjú ózon azonban emberekre és állatokra egyaránt mérgező: csökkenti a tüdőkapacitást,

¹⁰ Butterfield, 1987.

¹¹ Uő., uo.

¹² Uő., uo.

asztmát és tüdőfájdalmakat okoz. Az OSHA szabvány állandó kitettség esetében 0,1 ppm koncentrációban adja meg az egészségügyi határértéket, míg rövidebb kitettség esetén a megengedett érték 0,03 ppm. Az ózongenerátorral előállított ózon koncentrációja viszont nagyobb mint 1 ppm.

Az ózont elsősorban a víz sterilizálására és légtisztításra használják. Elpusztítja az ételbaktériumokat, de a baktériumoknál hatásos koncentráció irritáló és mérgező az emberek számára is. Katasztrófhelyzet után a kellemetlen szagok megszüntetésére használják az ózon gázt. Tűz- és penészkárosítás után az ózon hatékonyan szagtalanít; tulajdonképpen megtámadja az illékony molekulákat, és megváltoztatja azok szerkezetét. Üres, nagy épületek és raktárhelyek levegőjének fertőtlenítésére használható. Ugyanakkor a mesterségesen előállított ózon nagyon reakcióképes. Telítetlen szerves vegyületekhez kapcsolódik, megváltoztatja a molekuláris kötésüket, ezáltal új vegyületeket hoz létre. Számos így keletkezett vegyület (például hidrogén-peroxid) erősen oxidáló hatású. Amennyiben a természetes vagy szerves anyagokkal kapcsolatba kerül, a mesterségesen előállított ózon felgyorsítja a bennük már folyamatban levő bomlási reakciókat. A mesterséges ózon még minimális kitettség esetén is lebontja a szerves, így a cellulóz alapú anyagokat is.¹³

A mesterséges ózonos fertőtlenítés használata tehát nem alkalmas levéltári gyűjtemények számára: magas koncentrációban használva ugyan eltávolítja a penészgombákat, azonban végzetes károkat okoz a kezelt anyagokban. Emellett az ózon toxikus és karcinogén kémiai anyag, amely az emberi szervezetre is ártalmas.¹⁴ Működésük során a régebbi típusú fénymásológépek és lézernyomtatók is ózont bocsátanak ki, éppen ezért nem használhatóak az iratok közelében, vagyis sem iratraktárakban, sem olyan levéltári szobákban, ahol a levéltári iratokkal dolgoznak.

Formaldehides fertőtlenítés

A formaldehid szobahőmérsékleten gáz állapotú, és nagyon gyakran használják fertőtlenítőszerként. Erős mikroba- és spóraölő hatású, de alacsony a behatoló képessége. Az Európa Tanács rendelete a formaldehidet rákkeltő hatású anyagként írja le, amely irritálja a szemet és az orrot, valamint bőrgyulladást okozhat.¹⁵

Magyarországon 1995-től használják a kristályos állapotú paraformaldehidet, illetve az utóbbi időben már a hígított oldatát, a folyékony formalint, amelyből ultrahangos párasító berendezés segítségével állítják elő a fertőtlenítéshez szükséges formaldehid gázt, légmentesen lezárt fóliasátor belsejében. A fertőtleníteni kívánt dokumentumokat a sátorban olyan módon helyezik el, amely a dokumentumok

¹³ Kahn, 2003: 84.

¹⁴ Kahn, 2003: 85.

¹⁵ Gutarowska, 2016: 62.

jellegének és fertőzöttségi fokának leginkább megfelel. A fertőtlenített anyag szellőztetéséhez a fertőtlenítő helyiségben két-három nap szükséges. Az eljárás előnye, hogy amellet, hogy a formaldehid nagyon eredményes fertőtlenítőszer, rendkívül reakcióképes, kis molekulájú anyag, amely gyorsan lebomlik. A fertőtlenítésre kijelölt munkaszobában megfelelő védőfelszerelés nélkül tartózkodni tilos, és a fertőtlenítés során be kell tartani az egészségvédelmi és munkavédelmi előírásokat.

Növényi olajokkal történő fertőtlenítés

Az utóbbi húsz évben a kémiai és biológiai kutatások olyan fertőtlenítőszer felkutatására irányultak, amelyek sem az emberre, sem a környezetre nem jelentenek veszélyt. További előnyük az előzőleg felsorolt kémiai anyagokkal szemben, hogy az újrafertőzött iratokat többször kitehetjük a növényi olajos fertőtlenítésnek.

A növényi olajok, mint a kakukkfű-, az eukaliptusz-, a levendula-, vagy a mentaolaj kémiai összetevői nagy mennyiségben tartalmazznak fenol csoportokat, amelyek penészgombaölő hatása nagyobb, mint az aldehideknek és az alkoholoknak (a 70%-os etil-alkoholnak).¹⁶ A növényi olajok közül minden mikroorganizmus tekintetében a citromfű-, az oregánó- és a babérolaj 2% v/v (térfogatszázalék) oldata mutatott 100%-os hatékonyságot.¹⁷

A növényi olajokkal történő gázos fertőtlenítés esetében két típusú papírnak a fehérségszám és a polimerizációs fokváltozását vizsgálták a fertőtlenítés hatására, 415 ppm fertőtlenítőszer koncentráció megléténél. Az eredmény nem mutatott változást, tehát a használt növényi olaj nem károsította a papír fizikai és kémiai tulajdonságait.¹⁸

Saját kutatásaimban 2017-től használtam az EKOMIX növényi olajokat 5% v/v ultrahangos párasító készülékkel penészgombával fertőzött könyveken és dokumentumoknál. A 48 órán át tartó, zárt terű vegyi fülkében történő fertőtlenítés eredményes volt, például a Ráday Levéltárban 2019-ben történő vizes katasztrófát követően. A 48 órás növényi olajos fertőtlenítési eljárás megelőzőként szolgált az új raktári elhelyezés és tárolás előtt.

A penészgomba-kimutatási vizsgálatokat a fertőtlenítés előtt és után is elvégeztem az MSZ ISO 21572-132013. sz. szabvány szerinti vizsgálati módszerrel, mikrobiológiai laboratóriumban.

Kutatásom folytatása a növényi olajok és nitrogéngáz együttes alkalmazása felé irányul, amely eljárást Vilniusban fogom tanulmányozni, egy erre a célra kifejlesztett berendezésen.

¹⁶ Gutarowska, 2016: 65.

¹⁷ Hammer–Carson–Riley, 1999.

¹⁸ Gutarowska, 2016: 67.

Összefoglalás

Az egyedi levéltári iratok a kulturális örökség részei, a rajtuk tárolt információ csak tudatos, magas szintű állományvédelmi prevencióval és tevékenységgel óvható meg a pusztulástól. Ez a feladat elhivatott vezetőket, levéltárosokat, restaurátorokat és műszaki alkalmazottakat kíván. A komplex állományvédelmi tudatosság része a megelőzés is.

A kémia és biológia tudománya felveszi a versenyt a papír természetes és a mikroorganizmusok által kiváltott lebomlási folyamataival szemben. A levéltári raktárakban biztosítani kell az állandó, alacsony, 17–19 °C-os hőmérsékletet. A raktári levegő relatív páratartalmát állandó 47–53% RH értéken kell tartani és ami talán ennél is fontosabb, az ingadozások havi átlagos mértéke nem haladhatja meg a 10%-ot. Ezzel lassítható a papír természetes öregedésének folyamata, és így kisebb a lehetősége a papírt bontó mikroorganizmusok megjelenésének is. A levéltári levegő klímaértékei mellett figyelni kell a raktári levegő szennyezettségére is. A levéltári raktárakban elengedhetetlen a fizikai és kémiai szűrők használata, a képződő káros gázok és a szilárd szennyeződések megkötése levegőszűrőkkel.

A levéltári iratok fizikai védelme szintén csökkenti az adathordozók penészeseedésének lehetőségét. A poros, fémet, műanyagot tartalmazó, savas levéltári dobozban, savas palliumban tárolt dokumentumok hamarabb mutatnak gomba-aktivitást. A levegőből származó vagy már az anyag felületén lévő gombaspórák gyorsabban aktivizálódnak, mint a lúgos kémhatású levéltári dobozban és palliumban tárolt dokumentumok esetében.

Mit tehetünk még?

Minden levéltárba kerülő irat esetében, még levéltárba kerülése előtt vizsgálni kell a gombafertőzés létét. Nem elég a szemünknek hinni: a látszólag tiszta, sértetlen iratanyagot vizsgálatokkal akár jelentős mértékű penészgombás fertőzés mutatható ki. A penészgomba vizsgálatokat az MSZ ISO 21572-132013 vizsgálati módszerrel végezhetjük el a mikrobiológiai laboratóriumban, vagy élesztő- és penészgombák csíraszámának meghatározására való gyorstesztekkkel. A legtöbb izolált penészgombatörzs a *Penicillium*- és az *Aspergillus*-nemzetségbe tartozik.

A fertőzött anyag veszélyt jelent a többi, nem fertőzött anyagra, a kutatókra és a levéltári dolgozókra, önmagára a fertőzött anyagra is, mert ha nem fertőtlenítik a papírt a mikroorganizmusoktól, akkor az idővel szétmállik. A fertőzött irat újabb és újabb iratot károsít meg. A penészgombák spórái a levegőmozgással jutnak el egyik helyről a másikra, és a szaporodásukhoz szükség van oxigénre (vagyis levegőre).

Két nap alatt a folyamatok felgyorsulnak, és az iratokon, dobozon, könyvgerincen már szabad szemmel is látható pöttyök jelennek meg. Érezhető a nehézlégzés, enyhe dohzzag, illetve lokális nedvesség jelenléte. Amikor ezt tapasztaljuk, hívjunk restaurátort és műszaki szakembert. Minden penészgomba aktivizálódásához szükséges a víz jelenléte, illetve a helyiségbe bejutott víz által létrehozott magas relatív páratartalom. Ha beindult a penészgomba szaporodás, akkor a penészgomba növekedéséhez és szaporodásához már nem szükséges a magas relatív páratartalom.

Mit tegyünk akkor, ha érezhető, látható a penészfertőzés?

Magyarországon jelenleg nincs tömeges iratfertőtlenítő eljárás és ahhoz szükséges berendezés sem. Az 1960-as évektől 2016-ig Budapesten működött egy etilén-oxidos tömeges iratfertőtlenítő kamra, de a kamra műszaki állapota annak további üzemeltetését nem tette lehetővé.

A szakirodalom, valamint a kémiai és papíripari kutatások egyértelműen alátámasztják a gamma-sugárzás és az ózon-gáz papírt lebontó hatását. Mindkét esetben csökken a cellulóz polimerizációs foka, a papír törékennyé válik, visszafordíthatatlanul károsodik. Emellett mind a gamma-sugárzás, mind az ózon-gáz káros az emberi szervezetre is.

Jelenleg nincs Magyarországon olyan hatékony tömeges fertőtlenítő eljárás, amelyet javasolhatunk a penészes levéltári iratok fertőtlenítésére. Egyedi iratok fertőtlenítésére azonban jó eredménnyel használják a papírrestaurátorok a 70%-os etil-alkohol-oldatot a gomba- illetve egyéb, például baktériumos fertőzések esetében.

Rendelkezésre áll még Magyarországon a '90-es évektől a formalinos fertőtlenítés, amely szintén jó eredményt ad a penészfertőzött anyag kezelésére. Sajnos az anyag az emberi egészségre káros, így csak szakember által fertőtlenített és jól átszellőztetett iratokat vegyünk át levéltári megőrzésre. Audiovizuális és fotóanyagok esetében nem használható ez az eljárás. Az anyagról minden esetben javasolt mikrobiológiai vizsgálatot kérni, hogy alátámaszthassuk a fertőtlenítés eredményességét.

Budapest Főváros Levéltára állományvédelmi főosztályán tovább folynak a kutatások a növényi olajokkal vagy az etilén-oxiddal, hogy olyan tömeges fertőtlenítő eljárást lehessen kidolgozni, amely szakmai szempontokat is alapul véve sikeresen töltené be a hiányt, és amely megoldást jelentene más levéltárak és közgyűjtemények számára is.

Szakirodalom

- Butterfield, 1987 = Butterfield, Fiona J.: The Potential Long-Term Effects of Gamma Irradiation on Paper. *Studies in Conservation*, 1987. Vol. 32. No. 4. 181–191.
- Czikkely–Káli–Orosz–P. Holl–Szlabej, 2017 = Czikkely Tibor–Káli Csaba–Orosz Katalin–P. Holl Adrien–Szlabej Dorottya: Állományvédelmi ajánlás. Bp., Magyar Nemzeti Levéltár, 2017.
- Gutarowska, 2016 = Gutarowska, Beata: A modern approach to biodeterioration assessment and the disinfection of historical book collections. Lodz, 2016.
- Hammer–Carson–Riley, 1999 = Hammer, Kate A.–Carson, Christine F.–Riley, Thomas V.: Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 1999. Vol. 86. 985–990. Link: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1999.00780.x> (A letöltés ideje: 2020.06.04.)
- Kahn, 2003 = Kahn, Miriam B.: *Disaster Response and Planning for Libraries*. Chicago, American Library Association, 2003.
- Kastaly, 2010 = Kastaly Beatrix: Múzeumi gyűjtemények anyagait károsító mikroorganizmusok. Hogyan előzhető meg a „fertőzés” és gátolható meg a „járvány”? Bp., Néprajzi Múzeum, 2010.
- Kovács, [d. n.]: = Kovács Petronella: Kriptafeltárások restaurátor szemmel. *ISIS Erdélyi Restaurátor füzetek*. 17. 26.
- Fassatiová, 1984 = Fassatiová, Olga: Penészek és fonalas gombák az alkalmazott mikrobiológiában. Bp., Mezőgazdasági, 1984.
- Szentirmai, 2013 = Szentirmai Attila: Mikroszkóppal vizsgálható gombák birodalma. Bp., 2013. Link: <http://web.unideb.hu/~szentirmai/GOMBAK.pdf> (A letöltés ideje: 2020. 06. 02.)
- Tímárné, 1993 = Tímárné Balázsy Ágnes: Műtárgyak szerves anyagainak felépítése és lebomlása. Bp., Magyar Nemzeti Múzeum, 1993.

A tanulmányhoz tartozó illusztrációkat a lapszám színes mellékletében, a füzet végén helyeztük el.