

P. Holl Adrien

Penészfertőzött levéltári papírdokumentumok és fertőtlenítési technológiáik

A papíralapú iratok hosszú távú levéltári megőrzésének biztosítása sok tényező kedvező együttállásának eredményeképp lehetséges csupán. A fennmaradást veszélyeztető tényezők egyike a penészgombák megjelenése, mely ellen, ha időben nem történik hathatós intézkedés, úgy az idő múlásával az iratanyag menthetetlenül az enyészetté válik.

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

A papír öregedése lassítható, de megállíthatatlan folyamat. A papír (cellulóz) lebomlását (öregedését) a víz, az elektromágneses sugárzás, a hő és a

biológiai károsítók gyorsítják. A papír higroszkópos anyag, ami azt is jelenti, hogy a légköri nedvesség határozza meg a cellulóz-lánc nedvesség-tartalmát. Ezért fontos, hogy a közgyűjteményekben a raktári levegő relatív páratartalma állandó legyen.

Amikor a papír hosszú időn át száraz (30%-nál alacsonyabb RH) környezetben van, kiszárad és rideggé, törékenyé válhat. A túl sok nedvesség (60%-nál magasabb RH) pedig a papír duzzadását okozza. Minél duzzadtabb a papír, annál több víz, vegyszer és mikroorganizmus juthat be a cellulóz-láncba¹. S főképp ekkor jelennek meg a cellulóz biológiai lebomlását elősegítő penészgombák, melyek a cellulózt enzimek (exo-glükánáz) segítségével bontják le. A mikrobiológiai kártevők a lebontott papírt tápanyagforrásként használják fel.

A papír érzékenysége a biológiai támadásokkal szemben nemcsak a környezeti tényezőktől függ, hanem a cellulóz-lánc hozzáférhetőségétől is. A penészgombák által termelt enzimeknek és a hidrogén-peroxidnak hozzá kell férniük a cellulóz-lánchoz, ezért a gombafonalak (hifák) behatolnak a papírba, és feldarabolják a cellulóz-láncot, így könnyebben hozzáférhetnek a tápanyaghoz.

A mikroorganizmusok behatolását segíti a magas relatív légnedvesség (70% RH) vagy a nedves közeg (pl. beázás), amikor a papírt felépítő cellulóz megduzzad. Az enzimatis aktivitás 20–21 °C körüli hőmérsékleten a legintenzívebb, így a lebomlás

rendkívül rövid idő (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 okozhatja. Ezek következményeként a levegőben állandóan és mindenhol jelenlévő gombaspórák aktivizálódnak a nagyobb nedvességtartalmú felületeken (könyvgerinc, doboz kiálló sarka), és 48 óra alatt megindul a penészesedés. Ilyen esetben ajánlott azonnal szakemberhez fordulni, valamint restaurátori beavatkozás szükséges a károk minimalizálásához. Az azonnali segítségkérés vagy a szakemberrel való kapcsolatfelvétel nem pénz kérdése. Legtöbbször az emberi felelősségvállalás hiánya vezet több folyókilométernyi irat pusztulásához. A restaurátor szakember azonnali segítséget (vagy legalább tanácsot) tud nyújtani a környezeti légnedvesség optimalizálására, a fertőzött anyag elkülönítésére és a fertőtlenítés módjára nézve. Minden káreseménynek és penészesedésnek más a kiváltó oka, így



Fogolytörzskönyv könyvotáblája, 1899

nincs csodarecept, amely minden problémát megoldhat. Csak helyszíni szemle keretében végezhet el a restaurátor szakember komplex, gyors kockázatértékelést, amely után javaslatot tesz a megoldásra, amelyhez akár külső cég bevonására is szükség lehet. A megelőzésre, a penészesedés elkerülésére ugyanakkor van általános recept: a cellulózalapú dokumentumokat 18 ± 1 °C hőmérsékleten és 50 ± 3 relatív légnedvességű környezetben védhetjük meg leginkább a biológiai lebomlástól.²

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 (pl. Penicillium-ecsetpenész). A gombák heterotróf szervezetek, ami azt jelenti, hogy szénforrást igényelnek.

A gombák a természetben mindenütt előfordulnak: mint szerves anyagot lebontó szaprofiták megtalálhatók a talajban vagy annak felületén, de a spórák és micéliumok formájában jelen vannak a levegőben, a vízben, a magasabb rendű állatok testében és az emberi test felületén is.³

A gombasejteknek valódi maghártyával határolt sejtmagjuk van, tehát eukarióták. A gombák a legkülönbözőbb szerves vegyületek lebontására használható enzimrendszerekkel a cserzett bőrt, a pergament (cserzetlen bőrt), a fát és annak lignintartalmát, a csontot, a viaszt, sőt a műanyagok egy jelentős részét is lebontják.⁴ Anyagcseréjük magas szinten szabályozott, ennek a mechanizmusnak a genetikai elemeit azonban ma sem ismerjük.

A gombák, baktériumok és kriptogám (virágtalan) növények embrió nem tartalmazó, különleges reproduktív egysége a spóra.⁵ A gombák spórákkal szaporodnak, terjednek. A spórák színe, alakja, felszíni jellegzettségei alapján lehet a gombákat rendszertanilag besorolni. A spórázást kiváltó okként, illetve feltételként különböző fizikai-kémiai körülmények jelölhetők meg.⁶ Terjedésük során a spórák kiszabadulását vizsgálva, megkülönböztethetünk száraz, illetve nyálkás, könnyen nedvesedő spórákat. A *Penicillium*- és az *Aspergillus*-spóra felszíne hidrofób (víztaszító). Ezek a spórák, amikor eléri a megfelelő érettséget, a légmozgással, passzív módon szabadulnak fel. Ezt kiválthatja a páratelítettség miatt kialakuló elektrosztatikus



Láng gépgyár terovorajzai

hatás is: ez a páralecsapódás. A környezetbe kerülő spórák mennyiségének (számának) meghatározására különböző eszközök szolgálnak.

A levéltári anyagokat a penészgombák a növekedésük során keletkező savas anyagcseretermékekkel és pigment-képzésükkel elszínezhetik, elhalványíthatják, olvashatatlaná tehetik. A penészgombák szaporodásának beindulásakor létrejövő telepek már az anyagcseréjük során képződő víz révén is olyan mértékben megnövelhetik a lokális vízaktivitást, hogy 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 sajnos nem túl kedvező a helyzet. A használt fertőtlenítési eljárások egy része kis hatékonyságú, ugyanakkor az irat cellulózszerkezetét is roncsolja. Más eljárások hatékonyak ugyan, de igazoltan egészségkárosító hatásúak az emberi szervezetre. A következőkben áttekintem a fertőtlenítési módszereket és eljárásokat, kitérve azok előnyre és hátrányaira.

1. 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 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) a vízzel telítődött spórák és hifák elpusztíthatók, a száraz spórák és konídiumok azonban nem. Azt, hogy milyen anyagokat lehet fagyasztani, csak restaurátor bevoná-



Penészgomba tenyészet, Láng gépgyár

sával 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 sem. Ellenben a könyvek fatábláját igen, ezért ilyen típusú anyagoknál nem szabad a fagyasztást használni.⁷

A fagyasztva szárítás az a technológia, melynek során a lefagyasztott papírban lévő jégkristályokat közvetlenül vízgőzzé alakítják (szublimálják), és a folyamat során felszabaduló vízgőzt eltávolítják a környezetből. Magyarországon ilyen technológia alapján működő fagyasztva szárító gép nem áll rendelkezésre, de a környező országokban igen: ez főleg vizes katasztrófák esetén nagyon hatékony eszköz, és már számos esetben értékmentőnek bizonyult.

2. Mechanikus tisztítás

A száraz, fertőtlenített papír felületéről a különböző gombatelepeket vagy

azok egyes részeit speciális filterrel (HEPA) és aktív szénzűrővel ellátott porszívóval távolíthatjuk el. A porszívó azonban nem alkalmazható, ha a papír felülete erősen károsodott és málékony, ilyen esetben keféket, ecseteket, vattát alkalmazhatunk. Ezekkel eltávolítjuk a lazán kötődő felületi szennyeződéseket, melyek nagy mennyiségben tartalmazhatnak fejlődés-képes spórákat, ezenkívül esztétikailag is zavaró hatásúak.

A penészgombák és a hozzájuk kapcsolódó metabolitok (anyagcsere-termékek) általában nem csak a papír felületén helyezkednek el, emiatt teljes eltávolításuk mechanikus módszerrel nem lehetséges, ezért azt fizikai vagy kémiai eljárásokkal kombinálják. Mikroorganizmusokkal fertőzött dokumentumok mechanikus tisztítása esetén a restaurátoroknak megfelelő védőeszközöket kell viselniük.⁸ A száraz tisztítás elvégzése nagyban csökkenti a visszafertőződés esélyét.

3. Ionizáló sugárzás, ezen belül gamma-sugárzás

A radioaktív izotópok bomlásakor keletkező gamma-sugárzás pusztítja a mikroorganizmusokat, ezért elvben használható penészes iratok fertőtlenítésére is. A penészgomba elpusztításához 8–10 kGy⁹ dózisu gamma-sugárzás lenne elegendő. Viszont a papírgyártásban használt három alapvető cellulóztípusból készült papírok 10 kGy sugárdózissal való kezelése során bekövetkező fizikai változásokat

mérve, a 10 kGy sugárdózis már elfogadhatatlan mértékben csökkenti a vizsgált papírok mechanikai szilárdságát. A gamma-sugárzás ismételt alkalmazása a papír degradációját (lebomlását) fokozza. A lebomlások a behatások során kumulálódnak (összeadódnak), ezért az anyag sterilizálási célból történő többszöri besugárzását nem ajánlják.¹⁰

2002-ben Budapest Főváros Levéltára felkérésére a Papíripari Kutatóintézetben folytattak kísérleteket, melyekben azt vizsgálták, hogy a gamma-sugárzással történő fertőtlenítési eljárás milyen hatással van a papír fizikai és kémiai tulajdonságaira. Az elkészült tanulmány kimutatta, hogy a 2–3 kGy sugárdózis az, amely a legkisebb mértékben károsítja a dokumentumokat. Az alkalmazott sugárdózis 8 kGy volt a vizsgált papírok (1960-ból származó stencil papír, másolópapír, öntött papír, 20. századi időálló papír, 18. századi papír) esetében, és a kísérlet második részében a gamma-sugárzással kezelt mintákat mesterségesen öregítették is. A gamma-sugárzott és mesterségesen öregített öntött papírok esetében a minta polimerizációs foka 60%-kal volt kisebb, mint a kezeletlen eredeti mintáé. Ez azt jelenti, hogy a 8 kGy gamma-sugárzás jelentősen meggyorsította a cellulóz degradációját.¹¹

Ugyanakkor a penészgombák teljes elpusztításához legalább 8 kGy sugárdózis lenne szükséges.¹² Azaz a hatékonyság egy másik oldalról nézve épp az irat élettartamának rövidítése felé mutat a cellulóz degradációja miatt.

Kísérletekkel kimutatták, hogy gamma-sugárzás után a levéltári iratok érzékenyebbé válnak a mikroorganizmusokra, és gyorsabbá válik azok anyagcsere-termékeinek kiválasztása.¹³ Tehát a gamma-sugárzás használata a penészgomba-fertőzések elpusztításában zsákutca, mivel a gamma-sugárzás szükséges minimum 8 kGy dózisa jelentős mértékben károsítja a papírt felépítő cellulózzrostokat, így nem javasolt ennek a módszernek a használata a penészes levéltári dokumentumok fertőtlenítésére.

4. Etilén-oxidos fertőtlenítő eljárás

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

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

A vizsgált levéltári anyagokat a Fővárosi ANTSZ etilén-oxidos sterilizáló technológiájával fertőtlenítették 1989 és 2003 között. A sterilizálást két 4 m³-es gázkamrában, biztonsági, műszaki és munkavédelmi szempontból szigorúan ellenőrzött üzemenél 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.¹⁴

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 biológiailag 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.¹⁵

„Az emberek és a könyvek” című, az Európai Unió által támogatott projekt 2012-ben a swidnicai Szentháromság protestáns egyházközség levéltárában 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.¹⁶ Ezt a fertőtlenítő eljárást a prágai Nemzeti Levéltárban és Városi Levéltárban már 15–20 éve használják. 2016-ban Túróc-szentmártonban (Martinban) szintén az Európai Unió támogatásával hoztak

létre egy nagy kapacitású etilén-oxidos fertőtlenítő részleget.

5. 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.¹⁷ Az atmoszférában található ózon nagyon stabil és erős gáz, kiszűri az ultraviola sugárzást és elnyeli a káros sugárzások egy részét. Az atmoszférában az ózon koncentrációja 0,03 ppm.¹⁸ A túl magas koncentrációjú ózon az emberekre és állatokra egyaránt mérgező: csökkenti a tüdőkapacitást, 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.

Katasztrófa helyzet után a kellemetlen szagok megszüntetésére használják az ózon gázt. Tűz- és penészkár 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 (pl. hidrogén-peroxid) erősen oxidáló hatású. Amennyiben 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.¹⁹

Az 1860 és 1980 között gyártott papírok gyártási technológiájukból eredően legnagyobb részt savasak. A savas papírnak folyamatosan csökken a szakítószilárdsága és rugalmassága, törékennyé és könnyen foszlóvá válik. A mesterséges ózon a fertőtlenítés során minimális kitettség esetén is felgyorsítja a lebomlási folyamatokat, eközben kén-dioxid és hidrogén-peroxid szabadul fel, ami felgyorsítja a savasodási folyamatot is. Az ózon hatására a papír megbarnul, törékennyé válik és érintésre szétmállik.

A fotók és fényképészeti anyagok esetében az ózon még károsabb, mint a papír esetében. Felgyorsítja az ezüst oxidációját, illetve reakcióba lép a színes film anyagával, ez a képek barnulását, továbbá a kép hordozóról való leválását okozza.

Az optikai adathordozók (CD, DVD) esetében az ózon oldja a poli-

karbonát védőréteget, amely a CD-n és DVD-n tárolt információ elvesztését eredményezi.²⁰

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.²¹

Működésük során a régebbi típusú fénymásolók 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.

6. Formaldehydes fertőtlenítés

A formaldehyd szobahőmérsékleten gáz állapotú, és nagyon gyakran használják fertőtlenítőszerként. Erős mikro-



Leoltott aktív gombafertőzés mintái

baölő és spóraölő hatású, de alacsony a behatoló képessége. Az Európa Tanács rendelete a formaldehydet rákkeltő hatású anyagként írja le, amely irritálja a szemet és az orrot, valamint bőrgyuladást okozhat.²²

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

A fertőtlenített anyag szellőztetéséhez a fertőtlenítő helyiségben 2–3 nap szükséges. Az eljárás előnye, hogy a formaldehyd mellett, hogy nagyon eredményes fertőtlenítőszer, rendkívül reakcióképes, kis molekulájú anyag, gyorsan lebomlik.

A fertőtlenítésre kijelölt munkaszobában megfelelő védőfelszerelés nélkül tartózkodni tilos, és be kell tartani az egészségvédelmi és munkavédelmi előírásokat a fertőtlenítés során.

Összefoglalás

Az egyedi levéltári iratok a kulturális örökség részei. A rajtuk tárolt információ csak tudatos, magas szintű állományvédelmi prevencióval és tevékenységgel óvható meg a pusztu-

lástól. Ez a feladat elhivatott vezetőket, levéltárosokat, restaurátorokat és műszaki alkalmazottakat kíván. A komplex állományvédelmi tudatosság része a prevenció.

A kémia és biológia tudománya felveszi a versenyt a papír természetes és a mikroorganizmusok által kiváltott lebomlási folyamataival szemben. A levéltári raktárakban állandó, alacsony hőmérsékletet (17–19 °C) és a raktári levegő relatív páratartalmának állandóságát (47–53% RH) kell biztosítani, de talán a legfontosabb, hogy az ingadozások havi átlagos mértéke ne haladja 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, vagyis a képződő káros gázok és a szilárd szennyeződések megkötése levegőszűrőkkel.

A levéltári iratok fizikai védelme szintén csökkenti az adathordozók penészesedésének lehetőségét. A poros, fém- és 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.

Mit tehetünk még?

Minden levéltárba kerülő irat esetében, még levéltárba kerülése előtt vizsgálni kell a gombafertőzés létét. A látszólag tiszta, sértetlen iratanyagon vizsgálatokkal akár jelentős mértékű penészgombás fertőzés mutatható ki, nem a szemünknek kell hinni.

A penészgomba vizsgálatokat az MSZ ISO 21572-132013 vizsgálati módszerrel végezhetjük el a mikrobiológia laboratóriumban vagy élesztő- és penészgombák csíraszámának meghatározására való gyorsteszttekkel. A legtöbb izolált penészgomba-törzs a Penicillium- és az Aspergillus-nemzettségbe 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 látható pöttyök jelennek meg. Érezhető a nehézlégzés, enyhe dohszag, illetve lokális nedvesség jelenléte. Amikor ezt tapasztaljuk, hívjunk restaurátort és műszaki szakembert. Minden penészgomba aktivizálódásához szükséges a víz jelenléte, illetve a helyiségbe (pl. csőtörés által) bejutott víz által létrehozott magas relatív páratartalom. Miután

beindult a penészgomba szaporodás, már nem szükséges a magas relatív páratartalom. A penészgomba növekedése és szaporodása autokatalitikus (önfenntartó) folyamat.

Mit tegyünk akkor, ha érezhető, látható a penészfertőzés?

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

Kísérleteket folytattak a gamma-sugárzás és tömeges ózonos fertőtlenítő eljárásokkal. A szakirodalom, és a kémiai és papíripari kutatások egyértelműen alátámasztják a gamma-sugárzás és az ózon-gáz papírt lebontó hatását. Mindkét esetben a cellulóz polimerizációs foka csökken, ami azt jelenti, hogy a papír kisebb molekulákra esik szét, vagyis törékennyé válik, ezáltal használata esetén visszafordíthatatlanul károsodik.

Fentiek miatt a kulturális örökség részeként őrzött iratanyag sem gamma-sugárzásnak, sem ózon-gáz hatásának nem tehető ki. Emellett mind a gamma-sugárzás, mind az ózon-gáz káros az emberi szervezetre is.

Jelenleg nincs Magyarországon hatékony tömeges fertőtlenítő eljárás, amelyet javasolhatunk a penészes levéltári iratok fertőtlenítésére.

Egyedi iratok fertőtlenítésére a 70%-os etil-alkohol-oldatot jó eredménnyel használják a papírrestaurátorok a gomba- illetve egyéb, például

baktériumos fertőzésekkel szemben. Rendelkezésre áll még Magyarországon a 90-es évektől a formalinos (azaz formaldehides) fertőtlenítés, amely szintén jó eredményt ad a penészfertőzött anyag kezelésére. Sajnos, az anyag az emberi egészségre káros, csak szakember által fertőtlenített és jól átszellőztetett iratokat vegyünk át levéltári megőrzésre. Audiovizuális és fotóanyagok esetében nem használható ez az eljárás. Minden esetben kérjünk az anyagról mikrobiológiai vizsgálatot, amely alátámasztja a fertőtlenítés eredményességét.

Budapest Főváros Levéltára állományvédelmi főosztályán tovább folynak a kutatások a növényi olajokkal vagy az etilén-oxiddal, olyan tömeges fertőtlenítő eljárás kidolgozására, amely szakmai szempontokat is megvizsgálva sikeresen oldaná meg a levéltári iratok tömeges fertőtlenítését és megoldást jelentene más levéltárak és közgyűjtemények számára is.

Abstract

Archival documents are parts of the cultural heritage. Infected documents can be dangerous to other non-infected documents, researchers and the archival staff, not to mention the infected documents themselves since these documents will deteriorate with time unless they are properly disinfected. Chemistry and biology are able to slow down the natural deterioration of paper caused by microorganisms. The physical protection of archival documents also decreases the possibility of moulding. In archival store

facilities the temperature (17–19 °C) and the relative humidity of the air must be permanent (47–53%), and what is more important the differences in temperature and relative humidity should not exceed 10% per month on an average.

Tests for fungi can be executed in accordance with MSZ ISO 21572-132013 standards in microbiological laboratories or with contact tests that help determine the number of yeast and fungi germs.

Presently, in Hungary, there is no process or equipment suitable for the mass disinfection of archival documents. From the 1960s to 2016 there was a mass disinfection chamber using ethylene-oxide, however, the technical condition of the chamber made it impossible to continue its operation. There have been experiments for mass disinfection work with gamma radiation and ozone gas. In both cases, the polymerization degree of the cellulose decreases, which means that the paper disintegrates into smaller molecules, that is to say, it becomes brittle; therefore the use of gamma radiation or ozone gas to disinfect archival materials irreversibly damages the documents.

The last two years, in the Preservation Department of Budapest City Archive a research has been conducted in the field of essential oils and ethylene-oxide to establish such disinfecting methods that not only observe professional aspects (e.g. influence on paper, influence on human health and environment) but also could successfully solve the mass disinfection of archival documents, and could provide effective solution for other cultural heritage collections.

Conclusions

Archival documents are parts of the cultural heritage. The information stored on them can only be protected from deterioration with conscious and high quality preventive activity. This work requires devoted leaders, archivists, restorers and technical support staff. Prevention must always be a part of the complex preservation programme.

Chemistry and biology are able to slow down the natural deterioration of paper caused by microorganisms. The presence of water is necessary for every type of mould to become active, however, when reproduction has begun high relative humidity is no longer vital. Mould growth is an autocatalytic (self-sustaining) process; therefore in archival store facilities the temperature (17–19 °C) and the relative humidity of the air must be permanent (47–53%), and what is more important the differences in temperature and relative humidity should not exceed 10% per month on an average. This way, the natural aging process of paper can be delayed, thus the chance that microorganisms that enhance the deterioration of the paper appear becomes smaller.

Besides climatic conditions, the air pollution should also be monitored in the store facilities. Therefore the use of chemical and physical filters is indispensable in archival store rooms.

The physical protection of archival documents also decreases the possibility of moulding. Documents stored in dusty acidic boxes or palliums that contain some kind of metal or plastic can show the sign of fungal activity earlier. Spores which are present in the air or on the surface of the

documents become active faster in this environment than in boxes and palliums that are acid-free.

What else can be done?

Every document must be tested for fungal activity before they are transported to an archive.

Tests can show whether documents which seem to be in good condition are really uninfected or not. Documents that look clean can turn out to be highly infected by fungi. We should never believe our eyes only.

Tests for fungi can be executed in accordance with MSZ ISO 21572-132013 standards in microbiological laboratories or with contact tests that help determine the number of yeast and fungi germs. Most of the isolated fungi populations belong to *Aspergillus* and *Penicillium* species.

Infected documents can be dangerous to other non-infected documents, researchers and the archival staff, not to mention the infected documents themselves since these documents will deteriorate with time unless they are properly disinfected.

Besides, the infected document can damage further documents. As the spores of fungi multiply with air, microbiological infection processes accelerate and after two days dots that are already visible to the eye appear on documents, boxes, and book-bindings. Breathing can become difficult, and the air becomes musty and humid. When we experience these symptoms, we should call a restorer and a technical expert.

What are we to do when the fungal infection is clearly visible?

Presently, in Hungary, there is no process or equipment suitable for the mass disinfection of archival documents. From the 1960s to 2016 there was a mass disinfection chamber using ethylene-oxide, however, the technical condition of the chamber made it impossible to continue its operation.

There have been experiments for mass disinfection work with gamma radiation and ozone gas. The available literature in this field and chemical and paper-industry research have clearly proven that these two disinfection processes decompose paper. In both cases, the polymerization degree of the cellulose decreases, which means that the paper disintegrates into smaller molecules, that is to say, it becomes brittle; therefore the use of gamma radiation or ozone gas to disinfect archival materials irreversibly damages the documents.

Consequently, archival documents that are preserved as part of the cultural heritage cannot be exposed to either gamma radiation or ozone gas. In addition, both gamma radiation and ozone gas are harmful (carcinogenic and mutagenic) to human health.

At present there is no effective mass disinfection process in Hungary, which can be recommended for the disinfection of mouldy or otherwise infected archival documents.

The 70% ethanol solution used by restorers in paper to disinfect archival documents can give good results against fungal and other for example bacterial - infections. However, with transparent papers the use of ethanol is not recommended.

Formalin disinfection, which has also been available in Hungary since the 1990s, also provides good results for the treatment of mouldy documents. Unfortunately, since formalin is harmful to human health (carcinogenic), archives should only receive documents that have been disinfected and well ventilated by a professional. This procedure cannot be used for audio-visual materials. After disinfection, always ask for a microbiological examination that proves that the disinfection has been effective. The last two years, in the Preservation Department of Budapest City Archive a research has been conducted in the field of essential oils and ethylene-oxide to establish such disinfecting methods that not only observe professional aspects (e.g. influence on paper, influence on human health and environment) but also could successfully solve the mass disinfection of archival documents, and could provide effective solution for other cultural heritage collections.

Szakirodalom

- ¹ Tímárné Balázs Ágnes: Műtárgyak szerves anyagainak felépítése és lebomlása, MNM 1993: 91.
- ² Czikkely Tibor – Káli Csaba – Orosz Katalin – P. Holl Adrien – Szlabey Dorottya: Állományvédelmi ajánlás MNL2017: 32.
- ³ Olga Fassatióvá: Penészek és fonalas gombák az alkalmazott mikrobiológiában. Mezőgazdasági Kiadó 1984.: 15.
- ⁴ Szentirmai Attila: Mikroszkóppal vizsgálható gombák birodalma 2013: 3.
- ⁵ Szentirmai Attila: Mikroszkóppal vizsgálható gombák birodalma 2013: 54.
- ⁶ Szentirmai Attila: Mikroszkóppal vizsgálható gombák birodalma 2013: 55.
- ⁷ Kastaly Beatrix: Múzeumi gyűjtemények anyagait károsító mikroorganizmusok 2010: 56.
- ⁸ Kovács Petronella, DLA: Kriptafeltárások restaurátor szemmel. ISIS Erdélyi Restaurátor füzetek. 17. 26.
- ⁹ A *gray* mértékegység a bármely anyagban elnyelődött ionizáló sugárzás dóziséját adja meg.
- ¹⁰ Butterfield, F. J: The potential long-term effects of gamma irradiation on paper. *Studies in Conservation* 32. 1987: 181-191.
- ¹¹ Butterfield, F. J: The potential long-term effects of gamma irradiation on paper. *Studies in Conservation* 32. 1987: 181-191.
- ¹² Butterfield, F. J: The potential long-term effects of gamma irradiation on paper. *Studies in Conservation* 32. 1987: 181-191.
- ¹³ Butterfield, F. J: The potential long-term effects of gamma irradiation on paper. *Studies in Conservation* 32. 1987: 181-191.
- ¹⁴ Butterfield, F. J: The potential long-term effects of gamma irradiation on paper. *Studies in Conservation* 32. 1987: 181-191.
- ¹⁵ Butterfield, F. J: The potential long-term effects of gamma irradiation on paper. *Studies in Conservation* 32. 1987: 181-191.
- ¹⁶ Butterfield, F. J: The potential long-term effects of gamma irradiation on paper. *Studies in Conservation* 32. 1987: 181-191.
- ¹⁷ <https://www.oxytecag.com/en/technology/ozone-disinfection> A letöltés ideje: 2019. február 22.
- ¹⁸ a ppm (parts per million) mértékegység a koncentrációt adja meg a rendszer millió (10⁶) egységében
- ¹⁹ Miriam B. Kahn: *Disaster Response and Planning for Libraries*, Chicago 2003: 84.
- ²⁰ Miriam B. Kahn: *Disaster Response and Planning for Libraries*, Chicago 2003: 84.
- ²¹ Miriam B. Kahn: *Disaster Response and Planning for Libraries*, Chicago 2003: 85.
- ²² Beata Gutarowska: A modern approach to biodeterioration assessment and the disinfection of historical book collections. 2016: 62.