

## Ocena skuteczności koreańskiego systemu fumigacji olejkami eterycznymi BIO-MASTER

Bogdan Filip Zerek, Jakub Piechal

notes 19\_2017  
konserwatorski

**Summary:** Bogdan Filip Zerek, Jakub Piechal, *Effectiveness Assessment of the BIO-MASTER Korean Etheric Oils Fumigation System*

The article presents the results of an investigation of the effectiveness of the BIO-MASTER Korean etheric oils fumigation system installed in the Vilnius University Library. The research was performed using the following test papers: Whatman paper, Whatman paper covered with 2% gelatine, and Xerox printer paper with a density of 80 g/m<sup>2</sup>. The samples were infected with mould monocultures diluted 1/10, 1/100 and 1/1000, using *Penicillium funiculosum*, *Penicillium ochraceum*, *Aspergillus Niger*, *Aspergillus versicolor*, and *Botryotrichum piluliferum* in a way that makes it possible to determine the quantity of units in samples. Fumigation systems were tested with the use of the 1/1000 dilution. The samples were transported to Vilnius and fumigated in a single series (20 hours of exposure) and a double series (40 hours of exposure). The samples were disinfected in sterile paper envelopes (wound up but not hermetic) that protected against infections but could also limit the penetration by the fumigant. After disinfection the samples were transferred onto MEA medium, incubated for 14 days (at room temperature), and subsequently assessed for the growth of the colonies (counted) and compared with control samples (infected likewise but not disinfected). In the conditions used in the experiment the system proved completely ineffective.

---

## Wstęp

Grzyby mikroskopowe (ogólnie: pleśnie) należą do najgroźniejszych czynników niszczących, jakie mogą zagrażać materiałom archiwalnym i bibliotecznym, a więc obiektom – w przeważającej liczbie – na podłożu celulozowym oraz celulozowym oprawionym w skórę i pergamin, jak również – w mniejszej liczbie przypadków – na podłożu pergaminowym. Przy dostępności źródła węgla, jakim jest celuloza, wzrost grzybów pleśniowych zależy niemal wyłącznie od aktywności wody w podłożu ( $a_w$ ), która to wartość z kolei zależy od wilgotności względnej powietrza. Przyjmuje się na podstawie badań<sup>1</sup>, że graniczną wartością jest 65% RH odpowiadające  $a_w = 0,65$ . Powyżej tej wartości następuje kiełkowanie zarodników najbardziej odpornych na „suszę” gatunków grzybów pleśniowych; im większa aktywność wody w podłożu, tym szybszy jest ten proces i więcej gatunków pleśni jest w stanie się rozwijać. W optymalnych warunkach przyrost biomasy najszybciej rosnących grzybów może być nawet dziesięciokrotny w ciągu doby<sup>2</sup>. Oczywiście ta biomasa nie bierze się znikąd, potrzebne są substraty organiczne, w naszym konkretnym przypadku – zbiory archiwalne i biblioteczne.

Z uwagi na fakt, że przy pracach konserwatorskich działamy według schematu dokumentacji konserwatorskiej, a założenia konserwatorskie niemal zawsze zawierają „zatrzymanie bądź eliminację czynników niszczących” niezbędne są do tego środki aktywne (dezynfekcja) lub pasywne (odpowiednie warunki przechowywania).

Skuteczną metodą pasywną jest obniżenie wilgotności względnej powietrza i co za tym idzie samego obiektu. Do tego właśnie dążą wytyczne dotyczące

---

1 K. Sedlbauer, *Prediction of Mould Fungus Formation on the Surface of and Inside Building Components*, Stuttgart 2001; [https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/en/documents/ks\\_dissertation\\_etcm1021-30729.pdf](https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/en/documents/ks_dissertation_etcm1021-30729.pdf) [dostęp: grudzień 2017].

2 M. Piontek, *Grzyby pleśniowe i ocena zagrożenia mikotoksycznego w budownictwie mieszkaniowym*, Zielona Góra 2004, s. 17.

warunków przechowywania, na przykład zawarte w normie PN-ISO 11799<sup>3</sup>. Realizuje je też strategia opisana przez Roberta Fuchsa<sup>4</sup>. Wreszcie, w przypadku obiektów o budowie technologicznej wykluczającej dezynfekcję chemiczną (np. *Ewangelia Tetr* ze zbiorów BN, iluminowany rękopis na pergaminie) jedynym rozwiązaniem stają się odpowiednie opakowanie i właściwe warunki przechowywania.

W Bibliotece Narodowej od ponad 10 lat proces dezynfekcji traktowany jest z opisanych wyżej powodów jako zabieg konserwatorski, co oznacza, że decyzję o dezynfekcji podejmuje konserwator prowadzący prace albo komisja konserwatorska. W przypadku pojedynczych obiektów podstawą do takiej decyzji jest wynik badań mikrobiologicznych. Podobnie traktowane są obiekty pochodzące od zleceniodawców zewnętrznych – zalecamy, aby dezynfekcja w komorze BN była elementem procesu konserwatorskiego, a nie decyzji administracyjno-urzędniczej.

Oddzielnym zagadnieniem jest dezynfekcja wszystkich obiektów pochodzących z rynku wtórnego (tzn. nie nowych egzemplarzy od wydawców), wpływających do Biblioteki Narodowej, a więc: darów, spuścizn, nabytków, często o nieznanej historii przechowywania i używania. Ponieważ zarówno magazyny, jak i obiekty (zwłaszcza zbiorów specjalnych – głównie Zakładów: Starych Druków, Rękopisów, Zbiorów Ikonograficznych, Zbiorów Kartograficznych) znajdują się pod ciągłym nadzorem mikrobiologicznym i konserwatorskim, staramy się nie wprowadzać do magazynów obiektów o nieustalonym stanie mikrobiologicznym. Z tego powodu stosowana jest dezynfekcja „profilaktyczna”. Wyjątkiem są obiekty, których budowa technologiczna wyklucza dezynfekcję. W przypadku BN stosowana jest fumigacja tlenkiem

---

3 PN-ISO 11799:2006 – wersja polska, *Informacja i dokumentacja – Wymagania dotyczące warunków przechowywania materiałów archiwalnych i bibliotecznych*.

4 R. Fuchs, *Zwalczanie szkodników na zaatakowanym materiale bibliotecznym i archiwalnym – porównanie starych i nowych metod. Nowoczesne metody badawcze do porównania zmian w strukturze molekularnej*, tłum. B. Radis, „Ochrona Zabytków” 1998, nr 1, s. 63–80.

etylenu w mieszaninie 1:9 z dwutlenkiem węgla w komorze ciśnieniowo-próżniowej, czasy ekspozycji do 999 minut, maksymalne stężenie tlenu etylenu do 522 mg/litr. Zarówno sam system, jak i polityka kontroli mikrobiologicznej zbiorów i magazynów BN były wielokrotnie opisywane, w tym w co najmniej dwóch książkach<sup>5</sup>.

Zamieszczony poniżej krótki przegląd dostępnych metod dezynfekcji uzasadnia wykonany pod koniec XX wieku wybór systemu dezynfekcji dla BN opartego o tlenek etylenu – jest to nadal jedyna dostępna masowa metoda dezynfekcji bezpieczna dla celulozy.

### **Metody dezynfekcji stosowane w konserwacji obiektów bibliotecznych i archiwalnych**

W Polsce temat dezynfekcji poruszany był między innymi w dwóch podstawowych dla ochrony zbiorów publikacjach książkowych.

Prof. Alicja Strzelczyk i dr Joanna Karbowska-Berent podają następujące środki i metody zwalczania drobnoustrojów na zabytkach z papieru, pergaminu i skóry<sup>6</sup>:

- PCMC (p-chloro-m-krezol) w roztworach alkoholowych – tamponowanie i przekładanie bibułami nasączonymi roztworem,
- Dichlorofen – przekładki nasączone 5% roztworem etanolowym z zastrzeżeniem, że powoduje on silniejszą niż PCMC degradację papieru w testach starzeniowych,
- P-nitro-fenol – tamponowanie opraw skórzanych 5% roztworami etanolowymi,

---

5 W. Sobucki, *Konserwacja papieru. Zagadnienia chemiczne*, Warszawa 2013; B. Zerek, *The Preservation and Protection of Library Collections. A Practical Guide to Microbiological Controls*, 2014.

6 A. Strzelczyk, J. Karbowska-Berent, *Drobnoustroje i owady niszczące zabytki i ich zwalczanie*, Toruń 2004, s. 208 i nast.

- Sterinol – preparaty to 10% wodne roztwory; A. Strzelczyk zaleca 7,5% roztwór Sterinolu w wodzie destylowanej o temperaturze około 55°C, minimalny czas potrzebny do skutecznej dezynfekcji – 15’,
- tlenek etylenu (Rotanox, Gaz-S) – jedyna wymieniana metoda dezynfekcji masowej przez fumigację,

a z metod fizycznych (mającą dodatkowo aspekt masowy):

- dezynfekcję promieniowaniem gamma – z informacją, że stosowana (przy określonym reżimie ekspozycji paczek na promieniowanie) dawka 5–6 kGy „zapewnia zniszczenie żywotności zarodników w 99–100%”, który to „bardzo wysoki procent zabicia zarodników grzybów na zakażonych książkach jest podobny do wyników otrzymanych w komorach dezynfekcyjnych z gazem Rotanox”.

Tu warto nadmienić, że na przykład według The Netherlands Cultural Heritage Agency<sup>7</sup> skuteczne przeciw grzybom poziomy promieniowania gamma są uznawane za niebezpieczne dla papieru.

Z kolei Władysław Sobucki<sup>8</sup> zaleca do dezynfekcji (ogólnie obiektów papierowych) jedynie:

- tlenek etylenu,
- Sterinol (wodny roztwór czwartorzędowej soli amoniowej, bromek dimetylo-laurylabenzyloamoniowy),
- PCMC

oraz roztwory Aseptiny do zabezpieczania klejów skrobiowych.

Znane są też wyniki badań nad nowymi metodami dezynfekcji, na przykład w oparciu o pary alkoholi alifatycznych<sup>9</sup>.

---

7 A. W. Brokerhof, B. van Zanen, A. den Teuling, *Fluffy Stuff: Integrated Control of Mould in Archives*, 1999, s. 10.

8 W. Sobucki, wyd. cyt.

9 B. Bacilkova, *Study on the Effect of Butanol Vapours and Other Alcohols on Fungi*, „Restaurator” 2006, 27 (3).

W literaturze spotyka się również informacje o eksperymentach z wykorzystaniem do dezynfekcji olejków eterycznych; w Polsce prace prowadzili m.in. Iwona Pannenko (Archiwum Główne Akt Dawnych) i Marcin Draniak (Muzeum Narodowe) nad olejkiem z drzewa herbacianego<sup>10</sup> oraz nad innymi olejkami, w tym rozmarynowym<sup>11</sup>.

Natomiast jak dotąd nie zaprezentowano skutecznej i bezpiecznej dla obiektów bibliotecznych i archiwalnych masowej metody będącej alternatywą dla tlenu etylenu. Przez masowość rozumiem możliwość poddawania procesowi (dezynfekcji) wielu obiektów jednocześnie, najlepiej w opakowaniach ochronnych, co po wyłączeniu promieniowania gamma skazuje nas właściwie na fumigację, czyli proces, w którym środek aktywny stosowany jest w postaci gazu lub par.

W takiej sytuacji bardzo zainteresowało mnie prezentowane na targach przy Kongresie IFLA w 2010 roku w Goteborgu urządzenie BIO-MASTER produkcji koreańskiej firmy Biomist Technology Co<sup>12</sup>, zwłaszcza że substancjami aktywnymi w tym systemie są ekstrakty i olejki eteryczne z ziół występujących w Korei. Gdyby udało się potwierdzić skuteczność jego działania (dostępna literatura omawiająca wyniki badań systemu – oprócz ulotek i broszur reklamowych – jest wyłącznie w języku koreańskim) i w dalszej kolejności brak negatywnego wpływu na obiekty papierowe (i optymalnie również pergaminowe i ze skóry), to zastosowanie w nim wyłącznie naturalnych ekstraktów i olejków eterycznych byłoby cenną alternatywą dla fumigacji tlenkiem etylenu.

---

10 I. Pannenko, M. Draniak, *Ekologiczna metoda dezynfekcji zbiorów muzealnych i archiwalnych oraz pomieszczeń do ekspozycji i magazynowania zbiorów dziedzictwa narodowego*, „Instal” 2012, nr 3.

11 I. Pannenko, M. Draniak, *Wykorzystanie biobójczych właściwości olejków naturalnych w muzealnictwie. Wpływ olejku rozmarynowego na wybrane gatunki grzybów strzępkowych*, „Biuletyn Informacyjny Konserwatorów Dzieł Sztuki” 2005, nr 16.

12 <http://www.biomist.co.kr/> [dostęp: grudzień 2017].

## Opis systemu

Czynnikiem aktywnym systemu fumigacyjnego BIO-MASTER (oraz pochodnych UltraPel® do zamgławiania pomieszczeń i ArchiPer® – spray do użytku ręcznego<sup>13</sup>) jest chroniona patentem mieszanina wyciągów z ziół zawierająca również olejki eteryczne. Sam system jest komorą fumigacyjną dostępną w kilku rozmiarach (od 0,28 do 3,56 m<sup>3</sup> pojemności roboczej), zasilaną standardowym prądem zmiennym 220 V. Proces jest automatyczny i nie wymaga od operatora specjalnego przeszkolenia.

Najbardziej dokładny opis cyklu dezynfekcji, trwającego 24 godziny, znajdziemy na stronie producenta<sup>14</sup> i w instrukcji obsługi (dzięki uprzejmości Pani Ruty Arunaite z firmy Sentios dysponuję instrukcją obsługi urządzenia, nie zawiera ona jednak wartości skrajnych parametrów, które użytkownik może ustawić):

- w komorze wytwarzana jest próżnia pomiędzy 260 a 50 mmHg w celu usunięcia tlenu i zwiększenia penetracji czynnika w materiał dezynfekowany,
- dysza wytwarza aerozol o rozmiarze cząstek 5 do 10 µm,
- źródłem czynnika aktywnego jest jednorazowy kartridż z granulatem umieszczony w gnieździe za wentylatorem;

pełna sekwencja etapów procesu jest następująca:

- ładowanie materiałów – wprowadzenie kartridża (granulat nasączony czynnikiem w ażurowej plastikowej obudowie) – ustawienie parametrów cyklu – pierwsza fumigacja – wprowadzenie azotu – druga fumigacja (właściwa) – wentylacja – zakończenie procesu,
- według prezentowanych wyników sama fumigacja może być 24- i 48-godzinna (prawdopodobnie chodzi o podwójną fumigację, według uproszczonej instrukcji obsługi: 20 do 24 godzin),

---

<sup>13</sup> <http://www.sentios.lt/upload/files/Catalog%20Biomist.pdf> [dostęp: grudzień 2017].

<sup>14</sup> [https://biomist.en.ec21.com/Archives\\_Cultural\\_Properties\\_Sterilizer--822883\\_823017.html](https://biomist.en.ec21.com/Archives_Cultural_Properties_Sterilizer--822883_823017.html) [dostęp: grudzień 2017].

- zmienne ustawiane przez operatora: temperatura fumigacji (na ilustracji w instrukcji: 35°C), wytwarzanie podciśnienia (na ilustracji: 260 mmHg), liczba fumigacji wstępnych (na ilustracji: 1), wprowadzanie N<sub>2</sub> (na ilustracji: 460 mmHg), długość właściwej (drugiej) fumigacji (na ilustracji: 20 godzin), wentylacja (na ilustracji: 30 minut),
- wszystkie parametry cykli są zapisywane i przechowywane w formacie Excel,
- uwaga własna odnośnie wentylacji: zarówno obiekty po dezynfekcji, jak i sam kartridż z granulatem wydzielają wyjątkowo silny cytrynowy zapach.

Biblioteka Uniwersytecka w Wilnie posiada model BM-6oAC i to właśnie skuteczność tego urządzenia była testowana. Dostawcą była litewska firma biotechnologiczna Sentios<sup>15</sup> i w momencie testowania było to jedyne tego typu urządzenie w Europie. Według dostępnych na miejscu materiałów charakterystyka urządzenia jest następująca:

- pojemność – około 60 woluminów formatu A4, 400 stron (200 kart),
- wymiary wewnętrzne komory (pionowy prostopadłościan z półkami): 57 × 57 × 87 cm (ok. 0,3 m<sup>3</sup>),
- wymiary zewnętrzne całego urządzenia: 78 × 77 × 176 cm,
- masa: 260 kg (urządzenie na kółkach umożliwiającym przemieszczanie)<sup>16</sup>.

Według przywoływanej wyżej ulotki użytkownikami systemu dostarczonego przez Sentios są:

- 21 instytucji w Korei Południowej (w tym Archiwa Narodowe i Biblioteka Narodowa),
- 3 instytucje w Japonii (w tym Bookkeeper Japan),
- 3 instytucje w Malesji (w tym Archiwa Narodowe),
- 1 instytucja w Omanie (Archiwa Narodowe),
- 1 instytucja na Litwie (Biblioteka Uniwersytecka w Wilnie).

---

<sup>15</sup> <http://sentios.lt/en> [dostęp: grudzień 2017].

<sup>16</sup> Specyfikacja wymiarów wewnętrznych i zewnętrznych modeli dostępna jest tutaj: <http://1999-00632.gobizkorea.com/id=1123544> [dostęp: grudzień 2017].



System w Wilnie uruchomiony został w 2014 roku. Dostawca, firma Sentios, przesłała informację o instalacji Bibliotece Narodowej w Warszawie, w wyniku czego zdecydowano się nawiązać współpracę i przeprowadzić opisany poniżej eksperyment.

Podczas obserwacji procesu dezynfekcji w Wilnie odnotowano niepokojącą zasadę, że książki do fumigacji są ustawiane w pozycji pionowej i lekko rozłożone, w celu zwiększenia ekspozycji na aerozol. Ogranicza to poważnie masowość metody, zwiększa nakład pracy przy ładowaniu systemu i wyklucza obiekty cienkie, uszkodzone, o osłabionej konstrukcji. Według informacji ustnych – niezależnie od licznych certyfikatów i zaświadczeń patentowych prezentowanych przez producenta – skuteczność systemu było oceniana przez dwa niezależne ośrodki badawcze w Rosji. Jedno z badań wykazało skuteczność systemu, drugie wręcz przeciwnie, wyników nie opublikowano. Aktualnie dostępne materiały nie zawierają nazw gatunkowych roślin, z których uzyskano wyciągi do właściwego preparatu aktywnego.

### **Założenia eksperymentu**

O ile działanie grzybobójcze albo tylko fungistatyczne wybranych olejków eterycznych jest potwierdzone literaturowo w warunkach eksperymentalnych, o tyle zautomatyzowany system oparty na takich substancjach jest rozwiązaniem nowatorskim, bardzo atrakcyjnym i przyjaznym środowisku. Najważniejszą jego zaletą jest automatyzacja i możliwość działania na dziesiątki obiektów jednocześnie. Jednak biorąc pod uwagę sposób funkcjonowania i masowość (czytaj: przerób) dostępnych systemów fumigacji opartych na – stosowanym szeroko w sterylizacji medycznej – tlenku etylenu, ewentualna konkurencyjność metody (w porównaniu z dostępnymi komercyjnie systemami dezynfekcji opartymi o tlenek etylenu) wymagała przygotowania i eksponowania prób testowych w sposób, w jaki był testowany system dezynfekcji tlenkiem etylenu w BN.

Konkretnie chodzi o zdolność penetracji tlenu etylenu do obiektu opakowanego niehermetycznie. Zwracam uwagę, że o ile standardowe narzędzie mikrobiologii, szalka Petriego, nie jest układem hermetycznym, to jednak eliminuje wymianę jednostek tworzących kolonie z otoczeniem i umożliwia utrzymanie monokultur i prace na nich. W przypadku materiałów testowych zakażanych monokulturami w warunkach laboratoryjnych odpowiednikiem szalki jest sterylna koperta papierowa (sterylizowany arkusz papieru, zazwyczaj offset, składany co najmniej dwukrotnie na wszystkich skrajnych bokach: pionowych i poziomych). Zakładamy, że próbka (arkusz badanego papieru) zapakowany w ten sposób w sterylnych warunkach (pomieszczenie szczepień, komora laminarna) nie będzie eksponowany na jednostki tworzące kolonie mikroorganizmów obecnych w otoczeniu, a więc całość funkcjonuje jak szalka Petriego. Taki układ z próbką (odpowiednikiem obiektu) w środku odpowiada fumigacji obiektów w niehermetycznych opakowaniach zbiorczych (penetracja tlenu etylenu w takie układy jest w zasadzie nieograniczona). Z tego właśnie powodu zdecydowano się na testowanie systemu BIO-MASTER na próbkach papieru infekowanych zawiesiną zawierającą jednostki tworzące kolonie wybranych grzybów pleśniowych z założeniem, że próbki będą opakowane w opisane powyżej kopertki. Pozytywny wynik takiego testu oznaczałby skuteczność systemu BIO-MASTER porównywalną z systemem dezynfekcji tlenkiem etylenu.

### **Przebieg eksperymentu**

Próbki przygotowano na trzech rodzajach papieru:

- filtracyjna bibuła Whatmana,
- filtracyjna bibuła Whatmana zaklejona żelatyną 2%,
- papier drukarkowy Xerox o gramaturze 80 g/m<sup>3</sup>.

Próbki infekowano w następujący sposób:

- wyhodowano monokultury grzybów pleśniowych izolowanych z obiektów bibliotecznych:

*Penicillium funiculosum*,  
*Penicillium ochraceum*,  
*Aspergillus niger*,  
*Aspergillus versicolor*,  
*Botryotrichum piluliferum*,

- wykonano roztwory podstawowe przez przeniesienie materiału mikrobiologicznego z szalek do próbek ze sterylną wodą zdejonizowaną,
- wykonano rozcieńczenia roztworów podstawowych: 1/10, 1/100, 1/1000,
- nanoszono roztwory rozcieńczeń na serie papierów testowych oraz porównawczo na podłoże MEA i pilotażowe próby na bibule Whatmana, w celu określenia ilości jednostek tworzących kolonie naniesionych na próbkę papieru testowego.

Odczyty testowe liczby kolonii na szalkach z bibułą Whatmana wyglądały następująco:

*Penicillium funiculosum*

Rozcieńczenie	1/10	1/100	1/1000
Kolonii na szalce	niepoliczalne	213, 130, 182, 188, 146	9, 12, 16, 21, 20
Zakres	-	130-213	9-21
Średnia	-	172	16

*Penicillium ochraceum*

Rozcieńczenie	1/10	1/100	1/1000
Kolonii na szalce	niepoliczalne	223, 236, 241, 232, 239	13, 17, 15, 13, 12
Zakres	-	223-241	12-17
Średnia	-	234	14

*Aspergillus niger*

Rozcieńczenie	1/10	1/100	1/1000
Kolonii na szalce	niepoliczalne	169, 151, 188, 175, 171	33, 34, 26, 36, 16
Zakres	-	151-188	16-34
Średnia	-	171	29

*Aspergillus versicolor*

Rozcieńczenie	1/10	1/100	1/1000
Kolonii na szalce	niepoliczalne	302, 274, 237, 283, 344	27, 16, 21, 17, 27
Zakres	–	237–344	16–27
Średnia	–	288	22

*Botryotrichum piluliferum*

Rozcieńczenie	1/10	1/100	1/1000
Jtk	99, 64, 39, 43, 27	10, 11, 8, 7, 6	0, 0, 2, 2, 0
Zakres	27–99	6–11	0–2
Średnia	54	21	1

Ze względu na liczbę kolonii na próbach pilotażowych zdecydowano się użyć do dalszych prac prób infekowanych rozcieńczeniem 1/1000.

Próby serii dla trzech papierów w dwu wariantach (dezynfekcja jednokrotna i dwukrotna) infekowano na szalkach Petriego (suchych, bez podłoża) roztworami 1/1000 (przez nakroplenie 100 µl zawiesiny) i pozostawiono do wyschnięcia.

Suche zainfekowane próby zostały zapakowane w sterylne kopertki.

Zainfekowane próby osobiście dostarczyłem do Wilna, gdzie zostały poddane odpowiednio dwukrotnej i jednokrotnej dezynfekcji w kopertkach (20 godzin ekspozycji podczas jednorazowej dezynfekcji) w systemie BIO-MASTER BM60-AC.

Próby po dezynfekcji zostały wyjęte z kopertek, wyłożone na podłoże MEA i inkubowane przez 14 dni, a następnie zliczono kolonie widoczne na próbach.

Wyniki (liczba kolonii) na próbach po dezynfekcji zestawiono z wartościami kontrolnymi odczytanymi z prób na bibule infekowanych rozcieńczeniem 1/1000 (i niepoddawanych dezynfekcji).

## Wyniki

Tabele prezentują liczby kolonii obserwowanych na próbach papierów infekowanych wybranymi grzybami pleśniowymi po jednokrotnej (1 ×) i dwukrotnej (2 ×) dezynfekcji (20 godzin ekspozycji na cykl dezynfekcji) w systemie BIO-MASTER w porównaniu z próbami kontrolnymi (ten sam roztwór infekujący w rozcieńczeniu 1/1000 naniesiony na próby z bibuły Whatmana). Dla jednokrotnej dezynfekcji wykonano dwa powtórzenia dla układu grzyb/papier, dla dwukrotnej trzy, dla kontroli pięć. Kolumna jtk – zakres wartości wymienia w odpowiednich wierszach wszystkie obserwowane na powtórzeniach liczby kolonii, kolumna średnia [jtk] podaje wartość średnią z poprzedniej kolumny.

### Penicillium funiculosum

	jtk – zakres wartości	Średnia [jtk]
Bibuła Whatmana 1 × dezynfekcja	32, 36	34
Bibuła Whatmana 2 × dezynfekcja	25, 37, 38	33,3
Bibuła Whatmana + żelatyna 2% 1 × dezynfekcja	11, 14	12,5
Bibuła Whatmana + żelatyna 2% 2 × dezynfekcja	14, 25, 46	28,3
Papier Xerox 80 g/m <sup>2</sup> 1 × dezynfekcja	57, 61	59
Papier Xerox 80 g/m <sup>2</sup> 2 × dezynfekcja	66, 67, 69	67,3
Kontrola	9, 12, 16, 21, 20	15,6

### Penicillium ochraceum

	jtk – zakres wartości	Średnia [jtk]
Bibuła Whatmana 1 × dezynfekcja	15, 21	18
Bibuła Whatmana 2 × dezynfekcja	10, 13, 14	12,2
Bibuła Whatmana + żelatyna 2% 1 × dezynfekcja	14, 22	18
Bibuła Whatmana + żelatyna 2% 2 × dezynfekcja	14, 17, 20	17
Papier Xerox 80 g/m <sup>2</sup> 1 × dezynfekcja	15, 17	16
Papier Xerox 80 g/m <sup>2</sup> 2 × dezynfekcja	11, 13, 15	13
Kontrola	12, 13, 13, 15, 17	14

*Aspergillus niger*

	jtk – zakres wartości	Średnia [jtk]
Bibuła Whatmana 1 × dezynfekcja	8, 13	10,5
Bibuła Whatmana 2 × dezynfekcja	5, 5, 6	5,3
Bibuła Whatmana + żelatyna 2% 1 × dezynfekcja	10, 15	12,5
Bibuła Whatmana + żelatyna 2% 2 × dezynfekcja	8, 11, 13	10,7
Papier Xerox 80 g/m <sup>2</sup> 1 × dezynfekcja	44, 67	55,5
Papier Xerox 80 g/m <sup>2</sup> 2 × dezynfekcja	55, 61, 62	59,3
Kontrola	16, 26, 33, 34, 36	29

*Aspergillus versicolor*

	jtk – zakres wartości	Średnia [jtk]
Bibuła Whatmana 1 × dezynfekcja	25, 46	35,3
Bibuła Whatmana 2 × dezynfekcja	25, 40, 43	36
Bibuła Whatmana + żelatyna 2% 1 × dezynfekcja	21, 28	24,5
Bibuła Whatmana + żelatyna 2% 2 × dezynfekcja	22, 25, 28	25
Papier Xerox 80 g/m <sup>2</sup> 1 × dezynfekcja	22, 28	25
Papier Xerox 80 g/m <sup>2</sup> 2 × dezynfekcja	13, 29, 30	24
Kontrola	16, 17, 21, 27, 27	21,6

*Botryotrichum piluliferum*

	jtk – zakres wartości	Średnia [jtk]
Bibuła Whatmana 1 × dezynfekcja	8, 14	11
Bibuła Whatmana 2 × dezynfekcja	5, 5, 9	6,3
Bibuła Whatmana + żelatyna 2% 1 × dezynfekcja	30, 36	33
Bibuła Whatmana + żelatyna 2% 2 × dezynfekcja	20, 21, 23	21,3
Papier Xerox 80 g/m <sup>2</sup> 1 × dezynfekcja	21, 24	22,5
Papier Xerox 80 g/m <sup>2</sup> 2 × dezynfekcja	15, 18, 19	17,3
Kontrola	0, 0, 2, 2, 0	0,8

#### *Penicillium funiculosum*

Średnia wartość na próbach kontrolnych była niższa od wszystkich innych papierów poddanych dezynfekcji z wyjątkiem jednokrotnej dezynfekcji bibuły Whatmana zaklejonej żelatyną. Wartości te są jednak tak zbliżone (średnia 12,5 przy jednokrotnej dezynfekcji i średnia 15,6 z prób kontrolnych), że nie można mówić o „działaniu dezynfekującym”.

#### *Penicillium ochraceum*

Średnia wartość na próbach kontrolnych jest niemalże identyczna ze średnimi wartościami dla wszystkich rodzajów papieru w obu wariantach dezynfekcji (jedno- i dwukrotna).

#### *Aspergillus niger*

Dla prób na bazie bibuły Whatmana wyniki po pierwszej dezynfekcji są niższe niż na próbach kontrolnych i ich wartość spada dalej po drugiej dezynfekcji. Niemniej po drugiej dezynfekcji udało się uzyskać średni spadek do około 15% w porównaniu z próbami kontrolnymi dla niezaklejonej bibuły Whatmana i około 30% dla bibuły Whatmana zaklejonej żelatyną. W przypadku papieru Xerox każda dezynfekcja powodowała zwiększenie średniej ilości obserwowanych kolonii, do niemal 200% po drugiej dezynfekcji w porównaniu z kontrolą.

#### *Aspergillus versicolor*

Średnia wartość na próbach kontrolnych jest niemalże identyczna (choć minimalnie mniejsza) ze średnimi wartościami dla wszystkich rodzajów papieru w obu wariantach dezynfekcji (jedno- i dwukrotna), z wyjątkiem niezaklejonej bibuły Whatmana – dla tego papieru fumigacja spowodowała zwiększenie o ponad 50% liczby kolonii na próbach w porównaniu z kontrolą.

#### *Botryotrichum piluliferum*

W porównaniu z próbami kontrolnymi widoczna jest następująca tendencja: jednorazowa fumigacja systemem BIO-MASTER powoduje wzrost na próbach

średnio o rząd wielkości liczby kolonii w porównaniu do kontroli, natomiast druga dezynfekcja nieznacznie zmniejsza tę wartość, utrzymując ją jednak nadal o rząd wielkości większą w porównaniu do kontroli.

## **Wnioski**

W warunkach przeprowadzonego eksperymentu (infekowanie próbek zawieszoną zawierającą jednostki tworzące kolonie, wysuszenie próbek i pakowanie próbek w kopertki symulujące opakowanie porównywalne z szalką Petriego) system BIO-MASTER okazał się całkowicie nieskuteczny, a w pojedynczych przypadkach (układach grzyb/papier) wręcz stymulujący wzrost badanych grzybów.

Obecnie nie ma perspektyw zastosowania systemu BIO-MASTER do fumigacji masowej, rozumianej jako ekspozycja obiektów w niehermetycznych opakowaniach indywidualnych lub zbiorczych, jednak umożliwiających wymianę gazów z otoczeniem.

## **Dyskusja**

System jest interesującą próbą automatyzacji badań i eksperymentów przeprowadzanych na pojedynczych obiektach przy pomocy par związków (olejków eterycznych, ekstraktów roślinnych, alkoholi alifatycznych).

W celu zbadania właściwości grzybobójczych lub fungistatycznych potrzebne są dalsze badania, zwłaszcza aplikacji czynnika aktywnego w postaci aerozolu (ArchiPer®) bezpośrednio na dezynfekowane objekty lub próby, względnie działań w komorze na pojedynczym obiekcie. Cofa to jednak całe przedsięwzięcie do fazy testów i nie uzasadnia budowy instalacji, której największe oferowane modele osiągają masę około 4 ton. Proponowane dalsze działania to testy dezynfekcji ręcznej opisanym aplikatorem aerozolu i w przypadku stwierdzenia skuteczności czynnika aktywnego przy takiej formie nanoszenia szczegółowe badania wpływu medium na nośnik i warstwy przedstawieniowe dezynfekowanych obiektów.



Etap badań takiego wpływu był planowany w opisanym eksperymencie, jednak wobec braku skuteczności systemu próby takie nie miały sensu.

Natomiast sam system uwalniania czynnika aktywnego z perforowanego kartridża z granulatem zasługuje na uwagę jako układ do testowania innych substancji potencjalnie grzybobójczych lub fungistatycznych.

## Podziękowania

Dziękujemy za życzliwość, pomoc, współpracę i umożliwienie przeprowadzenia badań:

- Pani Tatianie Timczenko, kierownik Pracowni Konserwacji Biblioteki Uniwersyteckiej w Wilnie
- Pani Grecie Keraite, renowatorowi w Pracowni Konserwacji Biblioteki Uniwersyteckiej w Wilnie (operator systemu BIO-MASTER)
- Pani Rucie Arunaite, project managerowi w firmie Sentios
- Panu Algirdasowi Plioplysowi, kierownikowi Centrum Konserwacji i Restauracji Dokumentów Biblioteki Narodowej Litwy
- oraz Pracownikom Biblioteki Uniwersyteckiej w Wilnie i Biblioteki Narodowej Litwy za ciepłe przyjęcie i Pracownikom firmy Sentios za zorganizowanie kontaktów i przesłanie dostępnej dokumentacji systemu.

## Bibliografia

<http://1999-00632.gobizkorea.com/id=1123544> [dostęp: grudzień 2017].

Bacilkova Bronislava, *Study on the Effect of Butanol Vapours and Other Alcohols on Fungi*, „Restaurator” 2006, 27 (3).

<http://www.biomist.co.kr/> [dostęp: grudzień 2017].

[https://biomist.en.ec21.com/Archives\\_Cultural\\_Properties\\_Sterilizer--822883\\_823017.html](https://biomist.en.ec21.com/Archives_Cultural_Properties_Sterilizer--822883_823017.html) [dostęp: grudzień 2017].

Brokerhof Agnes W., van Zanen Bert, den Teuling Arnold, *Fluffy Stuff: Integrated Control of Mould in Archives*, Netherlands Institute for Cultural Heritage (ICN) Amsterdam, 2007, s. 10.

- Fuchs Robert, *Zwalczanie szkodników na zaatakowanym materiale bibliotecznym i archiwalnym – porównanie starych i nowych metod. Nowoczesne metody badawcze do porównania zmian w strukturze molekularnej*, tłum. Bogusław Radis, „Ochrona Zabytków” 1998, t. 51, nr 1, s. 63–80.
- Pannenko Iwona, Draniak Marcin, *Wykorzystanie biobójczych właściwości olejków naturalnych w muzealnictwie. Wpływ olejku rozmarynowego na wybrane gatunki grzybów strzępkowych*, „Biuletyn Informacyjny Konserwatorów Dzieł Sztuki” 2005, nr 16.
- PN-ISO 11799:2006 – wersja polska, *Informacja i dokumentacja – Wymagania dotyczące warunków przechowywania materiałów archiwalnych i bibliotecznych*.
- Piontek Marlena, *Grzyby pleśniowe i ocena zagrożenia mikotoksycznego w budownictwie mieszkaniowym*, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2004, s. 17.
- Sedlbauer Klaus, *Prediction of Mould Fungus Formation on the Surface of and Inside Building Components*, Fraunhofer Institute for Building Physics, Stuttgart 2001; [https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/en/documents/ks\\_dissertation\\_etcm1021-30729.pdf](https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/en/documents/ks_dissertation_etcm1021-30729.pdf) [dostęp: grudzień 2017].
- <http://www.sentios.lt/upload/files/Catalog%20Biomist.pdf> [dostęp: grudzień 2017].
- <http://sentios.lt/en> [dostęp: grudzień 2017].
- Sobucki Władysław, *Konserwacja papieru. Zagadnienia chemiczne*, Biblioteka Narodowa, Warszawa 2013.
- Strzelczyk Alicja, Karbowska-Berent Joanna, *Drobnoustroje i owady niszczące zabytki i ich zwalczanie*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2004, s. 208 i nast.
- Zerek Bogdan, *The Preservation and Protection of Library Collections. A Practical Guide to Microbiological Controls*, Chandos Publishing, 2014.