



Ochrona przed mikrobiologiczną biodeterioracją w muzealnictwie

Beata Gutarowska, Małgorzata Piotrowska, Anna Koziróg, Zofia Żakowska
Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechnika Łódzka
ul. Wólczańska 171/174, 90-924 Łódź; ul. 426313470, e-mail: gustaw@p.lodz.pl

W obszarze negatywnych skutków działalności drobnoustrojów niezwykle ważne miejsce zajmują problemy wynikające z rozkładu i korozji mikrobiologicznej (biodeterioracji) materiałów, które są dziedzictwem kultury narodu lub dokumentem historycznym. Dotyczy to zarówno budynków, jak i zasobów w nich zgromadzonych – przedmiotów zabytkowych (książek, archiwaliów, grafik, tkanin, wyrobów ze skóry, rzeźb, pomników, itp.). Nieodpowiednio zabezpieczone, nieremontowane, pozostawione na działanie czynników zewnętrznych niszczejają bezpowrotnie.

Mikroorganizmy naniesione ruchem powietrza zasiedlają przedmioty zabytkowe i uaktywniają się szczególnie na tych, które w swoim składzie zawierają celulozę i białka (drewno, papier, tkaniny lniane, bawełniane, skórę, pergamin). Materiały te są enzymatycznie rozkładane do prostych związków, przyswajalnych przez drobnoustroje i wykorzystywanych w ich procesach życiowych. Również materiały zabytkowe pochodzenia mineralnego, np. kamienie i metal mogą ulec zniszczeniu w wyniku działania mikroorganizmów na skutek wydzielania związków kwaśnych i innych metabolitów. Szczególnie aktywne w tych procesach są grzyby strzępkowe i promieniowce, w warunkach wysokiej wilgotności także bakterie, ale również bardzo aktywne na materiałach drewnianych są grzyby wyższe tzw. domowe. W wyniku rozkładu lub korozji mikrobiologicznej dochodzi do osłabienia struktury materiałów, kruszenia, spadku wytrzymałości, przebarwień, aż do całkowitego zniszczenia.

Mikroorganizmy wykazują wysoką tolerancję na niekorzystne warunki otoczenia, tolerują niską wilgotność i temperaturę, zarówno wysokie jak i niskie pH; do życia wystarcza im niewielka ilość substancji organicznej np. w postaci kurzu. Szybko przystosowują się do warunków panujących na przedmiotach, na których żyją. Oligotroficzny charakter odżywiania (małe wymagania pokarmowe) oraz zdolność do rozprzestrzeniania się i łatwej reprodukcji są głównymi cechami mikroorganizmów, dzięki którym opanowały niemal wszystkie środowiska, w tym również zabytkowe.

Istnieje zatem pilna potrzeba identyfikacji mikroorganizmów niszczących materiały zabytkowe, szczególnie wobec ciągłej zmienności i adaptacji drobnoustrojów do warunków środowiskowych. Znajomość rodzajów bakterii i grzybów zasiedlających materiały zabytkowe oraz warunków ich rozwoju pozwala wskazać odpowiednie działania profilaktyczne, warunkujące jakość i trwałość obiektów. Sposoby zabezpieczania materiałów zabytkowych muszą obejmować zarówno warunki ich przechowywania (temperatury, wilgotności, czystości mikrobiologicznej powietrza, obiektów), jak również stosowanie odpowiednich sposobów dezynfekcji obiektów zanieczyszczonych mikrobiologicznie przez wprowadzeniem ich do magazynów np. z użyciem właściwych związków chemicznych – biocydów o różnym działaniu, a także promieniowania UV, promieniowania gamma, tlenu etylenu, itd.

Zagadnienia biodeterioracji obiektów zabytkowych, archiwów były od lat podejmowane przez Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej w Zakładzie Mikrobiologii Technicznej w zespole kierowanym przez prof. dr hab. Zofię Żakowską.

W latach 2002-2003 prowadzono we współpracy z Instytutem Techniki Radiacyjnej PŁ badania obuwia więziarskiego z Państwowego Muzeum na Majdanku (Perkowski i Goździecki, 2003; 2004). Wykazały one wysoki poziom zanieczyszczenia bakteriami i grzybami powierzchni skóry (bakterie – $2,5 \times 10^7$ jtk/100 cm², grzyby – $9,7 \times 10^3$ jtk/100 cm²), co było przyczyną postępującej destrukcji obuwia. Około 70% prób obuwia było nadmiernie zanieczyszczonych bakteriami i grzybami. Przeprowadzono dezynfekcję promieniowaniem jonizującym i sprawdzono skuteczność tego procesu. Zastosowana metoda była skuteczna w procesie dezaktywacji mikroorganizmów kolonizujących obuwie muzealne, liczba drobnoustrojów została zredukowana do wartości uznawanych za wysokie kryteria higieniczne.

Metodę promieniowania gamma wykorzystano również do dezynfekcji tkanin zabytkowych pochodzenia naturalnego (len, bawełna, jedwab) (współpraca z Instytutem Techniki Radiacyjnej PŁ oraz Wydziałem Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów PŁ) (Machnowski i in., 2010). Badano odporność tkanin poddanych promieniowaniu radiacyjnemu na zasiedlenie przez drobnoustroje i w następstwie proces biodeterioracji. Stwierdzono, iż dezynfekcja radiacyjna nie wpłynęła zasadniczo na zasiedlanie bawełny i lnu przez grzyby, natomiast jedwab okazał się materiałem, który po dezynfekcji był podatniejszy na zasiedlanie i niszczenie przez bakterie. Różnice te wynikają z budowy chemicznej i strukturalnej badanych włókien naturalnych (dane przygotowane do publikacji).

Badania zabytkowych papierów czerpanych i pergaminów pochodzących z Archiwów Państwowych w Oświęcimiu i Żywcu prowadzone w naszym Instytucie wykazały, iż w warunkach wysokiej wilgotności na powierzchni tych materiałów bez dodatkowych źródeł węgla już po upływie 2 tygodni obserwowano wzrost grzybów strzępkowych (Helbig i Gutarowska, 2010). Po miesiącu przechowywania w zależności od materiału od 15% do 100% powierzchni były porośnięte przez pleśnie należące do rodzajów *Penicillium* i *Scopulariopsis*. Grzyby należące do gatunków chorobotwórczych -*P.funiculosum*, *S.brevicaulis* charakteryzowały się bardzo wysoką aktywnością w rozkładzie celulozy (współczynnik Q>5). Badania powierzchni papierów przechowywanych w pomieszczeniach archiwalnych wykazały, iż pleśnie o wysokiej aktywności celulolitycznej (Q>2) stanowią około 50% wszystkich szczepów obecnych w tym środowisku. W warunkach wysokiej wilgotności istnieje zatem zagrożenie wzrostu grzybów rozkładających papier i niszczenia zbiorów archiwalnych (Helbig i Gutarowska, 2010).

Podobne wyniki uzyskano badając obiekty biblioteczne pochodzące z Polskiej Biblioteki w Paryżu oraz materiały muzealne z Polskiego Muzeum w Chicago. Szczepy wyizolowane z tych obiektów wykazywały właściwości celulolityczne i lipolityczne. Stwierdzono ponadto, iż materiały zabytkowe gromadzone w pomieszczeniach muzealnych, archiwalnych są zasiedlane przez specyficzne mikroorganizmy (Pajewski i Żakowska, 2006)

W badaniach mikrobiologicznych materiałów technicznych, obiektów zabytkowych i różnych środowisk, wykorzystujemy tradycyjne metody hodowlane, jak również nowoczesne metody analityczne. Jedną z nich jest metoda oparta na oznaczaniu ergosterolu – markera obecności grzybów w środowisku. Metoda ta ze względu na wysoką czułość, szybkość analizy oraz oznaczanie grzybów zarówno aktywnych (zdolnych do wzrostu), jak i nieaktywnych, ma dużą przewagę nad metodami tradycyjnymi. Na podstawie oznaczania ergosterolu można stwierdzić, iż proces rozwoju grzybów w materiale odbywał się w przeszłości i oszacować skalę zjawiska. Matematyczne opracowania modelowe i kryteria zaproponowane w literaturze pozwalają oceniać różne materiały techniczne np. materiały

budowlane, surowce roślinne, papier (Gutarowska i Żakowska, 2002; 2010, Gutarowska i Cichocka, 2010). Metoda może mieć również aplikacje do obiektów zabytkowych.

W Instytucie prowadzone są badania mające na celu ocenę zanieczyszczenia grzybami strzępkowymi pomieszczeń, również zabytkowych. W badaniach tych identyfikujemy drobnoustroje obecne w pomieszczeniach/objektach, których obecność może przyczynić się do powstania alergii i różnych schorzeń. Analiza ta pozwala lekarzom (współpraca z IMP z Kliniką Chorób Zawodowych i Toksykologii z zespołem lekarzy kierowanym przez prof. dr hab. med. Cezarego Pałczyńskiego) oszacować ryzyko zdrowotne oraz często znaleźć przyczynę schorzeń związanych z miejscem pracy lub przebywania ludzi. Na zagrożenie zdrowotne narażeni są szczególnie pracownicy magazynów muzealnych, archiwalnych, konserwatorzy zabytków, którzy pracują z materiałami zanieczyszczonymi mikrobiologicznie. Od lat uczestniczymy w badaniach mających na celu ocenę zanieczyszczeń mikrobiologicznych na stanowiskach pracy w pomieszczeniach muzealnych, archiwalnych, konserwatorskich (Piotrowska i in., 2006). Współuczestniczyliśmy także w badaniach zagrożeń zdrowotnych na stanowiskach pracy w tych obiektach, prowadzonych przez Zakład Środowiskowych Zagrożeń Zdrowia Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi pod kierunkiem dr hab. med. Ireny Szadkowskiej-Stańczyk (Zielińska-Jankiewicz i in., 2008). W ramach współpracy z IMP prowadziliśmy badania w bibliotekach i archiwach w Łodzi: w Archiwum Sądowym, Archiwum Państwowym, Wojewódzkiej i Miejskiej Bibliotece Publicznej im. Marszałka J. Piłsudskiego, Instytucie Pamięci Narodowej. Badania obejmowały ocenę zagrożenia przez czynniki biologiczne na stanowiskach pracy oraz zanieczyszczenia mikrobiologicznego powierzchni materiałów archiwalnych i księgozbioru. Oceniano liczbę grzybów pleśniowych w powietrzu i na materiałach i prowadzono identyfikację dominującej mikroflory. Wyniki analizy ilościowej wykazały zanieczyszczenie mikrobiologiczne powietrza na poziomie od $1,8 \times 10^2$ jtk/m³ do $2,3 \times 10^3$ jtk/m³ w zależności od pomieszczenia. Liczebność oraz skład gatunkowy tych organizmów zmieniały się w trakcie czasu pracy i były skorelowane z rodzajem wykonywanych czynności. Łącznie wyizolowano 36 gatunków grzybów pleśniowych, należących do 19 rodzajów, w tym do rodzaju *Aspergillus*, *Penicillium*, *Humicola*, *Chaetomium*, *Acremonium*, *Cladosporium*. Większość z wyizolowanych gatunków grzybów pleśniowych należała do organizmów saprofitycznych, a ich obecność nie stwarzała zagrożenia dla zdrowia człowieka. Dwa wyizolowane gatunki, *Paecilomyces variotii* i *Aspergillus fumigatus* należały do drugiej klasy zagrożenia biologicznego. Na powierzchni materiałów gromadzonych w bibliotekach i archiwach wykazano obecność grzybów w niewielkiej liczbie od 4 jtk/100cm² do 180 jtk/100cm², co świadczy o właściwych warunkach przechowywania zbiorów. Mikroflora była reprezentowana przez gatunki, wykryte również w powietrzu, na niektórych materiałach stwierdzono obecność *Aspergillus fumigatus*, który jest gatunkiem patogennym dla człowieka i ma właściwości celulolityczne. Prowadzone badania wykazały istniejące ryzyko zdrowotne wynikające z obecności grzybów toksynotwórczych i alergicznych w środowiskach archiwów i bibliotek.

Prowadziliśmy również badania na zlecenie różnych Instytucji, np. Biblioteka Pedagogiczna w Łodzi, Archiwum Prokuratury Rejonowej w Zgierzu. We współpracy z ekspertami budowlanymi wykonano analizy mykologiczne w budynkach zabytkowych, np. Zespół Pałacowo-obronny w Czemiernikach, willa „Szczerbiec” z 1880 roku w Krynicy-Zdrój. Wyniki tych badań pozwoliły na identyfikację czynników biologicznych powodujących biodeteriorację w budynkach (grzyby pleśniowe, grzyby domowe, owady) oraz na podjęcie odpowiednich działań naprawczych, w tym zastosowanie biocydów.

Badania nasze obejmują także ocenę toksynotwórczości grzybów zasiedlających materiały techniczne i pomieszczenia (Gutarowska i in., 2010; Piotrowska i in., 2004). Ocena toksyczności w środowiskach wzrostu grzybów np. na materiałach technicznych pozwala oszacować zagrożenie zdrowotne dla człowieka przebywającego w ich najbliższym otoczeniu.

Celem zabezpieczenia zbiorów muzealnych, materiałów archiwalnych i bibliotecznych przed mikroorganizmami stosuje się różnego rodzaju biocydy. Do najczęściej stosowanych należą: formaldehyd, salicylanilid, związki fenolowe, p-chloro-m-krezol, parabeny, czwartorzędowe sole amoniowe. W zabiegach konserwatorskich stosuje się także środki gazowe, przede wszystkim tlenek etylenu. Część z tych związków charakteryzuje się wysoką toksycznością dla środowiska, dlatego ich zastosowanie zostało ograniczone. Coraz bardziej popularnym sposobem aplikacji staje się metoda zamglawiania, która może służyć do dezynfekcji dużej ilości zbiorów, w specjalnie przygotowanych pomieszczeniach, z wykluczeniem bezpośredniego kontaktu pracowników ze środkami chemicznymi.

Na podstawie badań z wykorzystaniem metody zamglawiania, które przeprowadzono w Instytucie Technologii Fermentacji i Mikrobiologii stwierdzono, że każda postać morfologiczna pleśni reaguje inaczej na działanie środków biobójczych. Nie bez znaczenia pozostaje także wiek szczepu. Szczepy młode są bardziej wrażliwe na działanie mikrobiocydów, w porównaniu do szczepów starych, które pozostają na powierzchni w formie konidiów (Koziróg i in., 2007). Dlatego też, przed przystąpieniem do wyboru odpowiedniego preparatu biobójczego istotne jest wykazanie jakie rodzaje mikroorganizmów występują w miejscu przeznaczonym do dezynfekcji. Bardzo ważnym jest także, by wykorzystywane do konserwacji związki chemiczne były bezpieczne nie tylko dla środowiska, ale także nie powodowały zmian konserwowanych powierzchni (Pajewski, 2007).

We współpracy z producentami preparatów chemicznych oraz urządzeń do dezynfekcji powietrza i powierzchni prowadzimy badania skuteczności procesów dezynfekcyjnych (Gutarowska, Kancler, 2009; Gutarowska i Koziróg, 2009; Gutarowska i in., 2010). Metody te mogą być wykorzystywane do dezaktywacji drobnoustrojów obecnych w powietrzu pomieszczeń magazynowych. W roku 2010 rozpoczęliśmy wspólnie z firmą INSTAL Warszawa badania w projekcie badawczo-rozwojowym finansowanym przez PARP (w priorytecie Innowacyjna Gospodarka), mającym na celu wprowadzenie w pomieszczeniach muzealnych i archiwalnych instalacji do dezynfekcji powietrza i powierzchni metodą zamglawiania chemicznego (poszukujemy zainteresowane projektem instytucje muzealne, archiwa, które chciałyby sprawdzić skuteczność takiej metody w swoich obiektach).

Od 2000 r. Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii PŁ organizuje w Łodzi konferencję międzynarodową *Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych*, w programie konferencji na stałe obecna jest sesja *Mikrobiologia zbiorów muzealnych i wyrobów artystycznych*, na której wykłady swoje prezentowali wybitni specjaliści z dziedziny mikrobiologii i konserwacji zabytków (prof. Alicja Strzelczyk, prof. Bronisław Zyska, dr Alois Orlita, prof. Jadwiga Szostak-Kot i wielu innych gości).

Do najważniejszych zagadnień w obszarze badań mikrobiologicznych obiektów i pomieszczeń zabytkowych oraz ich ochrony przed procesami biodeterioracji, które mogą być podejmowane i rozwijane należą:

- Ocena stopnia zanieczyszczenia bakteriami i grzybami obiektów muzealnych i powietrza w pomieszczeniach muzealnych, archiwalnych i konserwatorskich
- Analizy mykologiczne przegród budowlanych w pomieszczeniach muzealnych – identyfikacja czynników biologicznych odpowiedzialnych za proces deterioracji, dobór odpowiednich biocydów

- Ocena skuteczności dezynfekcji obiektów i pomieszczeń muzealnych
- Ocena podatności na biodegradację materiałów technicznych o wartości historycznej (tkanin, papieru, skór i in.)
- Ocena zdolności do tworzenia mikotoksyn oraz lotnych związków aromatycznych przez grzyby strzępkowe zanieczyszczające obiekty i pomieszczenia muzealne

Literatura

- [1] Gutarowska B., Brycki B., Koziróg A., Brycka J. (2010): Dezynfekcja powietrza metodą zamgławiania chemicznego. Instal. Teoria i Praktyka w Instalacjach 3: 30-33.
- [2] Gutarowska B., Cichocka A. (2010): Zastosowanie metody oznaczania ergosterolu do oceny zanieczyszczenia grzybami na różnych etapach produkcji papieru. Przegląd Papierniczy 1: 45-47.
- [3] Gutarowska B., Kancler M. (2009): Dezynfekcja powietrza metodą UV z zastosowaniem lamp przepływowych Medivent. Instal. Teoria i Praktyka w Instalacjach 6: 26-29.
- [4] Gutarowska B., Sulyok M., Krska R. (2010): Study of the toxicity of moulds isolated from dwellings. Indoor and Built Environment (w druku)
- [5] Gutarowska B., Żakowska Z. (2002): Elaboration and application of mathematical model for estimation of mould contamination of some building materials based on ergosterol content determination. International Biodeterioration Biodegradation 49: 299-305.
- [6] Gutarowska B., Żakowska Z. (2010): Estimation of fungal contamination of various plant materials with UV-determination of fungal ergosterol. Annals of Microbiology DOI: 10.1007/s13213-010-0057-9
- [7] Helbig A., Gutarowska B. (2010): Ocena zanieczyszczenia pleśniami pomieszczeń Oddziałów w Żywcu i Oświęcimiu Archiwum Państwowego w Katowicach. Notes Konserwatorski 13: 113-128.
- [8] Machnowski W., Perkowski J., Wrzosek H. (2010): Badania wpływu promieniowania jonizującego stosowanego w konserwacji tkanin zabytkowych na wybrane włókna naturalne. Notes Konserwatorski 13: 71-88.
- [9] Koziróg A., Pajewski Z., Żakowska Z., Brycki B. (2007) Skuteczność działania biocydów na grzyby strzępkowe rozwijające się na powierzchniach materiałów. Ochrona przed korozją 10s/A, 95-98.
- [10] Pajewski Z. (2007) Metody dezynfekcji i konserwacji tapet dla obiektów zabytkowych Ochrona przed korozją, 10s/A 135-138.
- [11] Pajewski Z., Żakowska Z. (2006) grzyby strzępkowe w procesie biodeterioracji wyrobów papierniczych. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa *Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych*. Łódź, 2006, Ochrona przed Korozją 9s/A: 146-149.
- [12] Perkowski J. Goździecki T. (2003): Zastosowanie promieniowania jonizującego do dezynfekcji obiektów muzealnych, III Konferencja Naukowa *Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych*, Łódź 2003, materiały str. 202-207.
- [13] Perkowski J. Goździecki T. (2002) Dezynfekcja obuwia więziarskiego z Państwowego Muzeum na Majdanku, Biuletyn Informacyjny Konserwatorów Dzieł Sztuki vol.13 nr. 3-4 (50-51), 76-81.
- [14] Piotrowska M., Gutarowska B., Stępnik M., Żakowska Z. (2004): Toksyczność grzybów strzępkowych wyizolowanych z pomieszczeń mieszkalnych. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowa *Mycotoxins and pathogenic mould in the environment*, Bydgoszcz, 2004, materiały str. 207-211.
- [15] Piotrowska M., Zielińska-Jankiewicz K., Kozajda A., Gutarowska B. (2006): Zanieczyszczenie powietrza grzybami strzępkowymi w archiwach i bibliotekach. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa *Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych*. Łódź, 2006, Ochrona przed Korozją 9s/A: 176-179.
- [16] Zielińska-Jankiewicz K., Kozajda A., Piotrowska M., Szadkowska-Stańczyk I. (2008) Microbiological contamination with moulds in work environment in libraries and archive storage facilities. Ann. Agric. Environ. Med. 15, 119-116.