

Rafał L. Górny, Marcin Cyprowski, Agata Stobnicka,
Małgorzata Gołofit-Szymczak, Anna Ławniczek-Wałczyk

Bezpieczeństwo biologiczne w muzeach i pracowniach konserwacji zabytków



Rafał L. Górny, Marcin Cyprowski, Agata Stobnicka,
Małgorzata Gołofit-Szymczak, Anna Ławniczek-Wałczyk

Bezpieczeństwo biologiczne w muzeach i pracowniach konserwacji zabytków

CIOP  **PIB**

Warszawa 2013

Opracowano i wydano w ramach II etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2011-2013) finansowanego w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autorzy

dr hab. n. med. Rafał L. Górny, prof. CIOP-PIB, dr Marcin Cyprowski,
mgr inż. Agata Stobnicka, dr Małgorzata Gołofit-Szymczak,
mgr Anna Ławniczek-Wałczyk
– Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Projekt okładki

Jolanta Maj

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2013

ISBN 978-83-7373-153-0



Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (22) 623 36 98, fax (22) 623 36 93, 623 36 95, www.ciop.pl

Spis treści

1. Wprowadzenie	5
2. Biodeterioracja zabytków i jej przyczyny	6
3. Drobnoustroje odpowiedzialne za biokorozję dzieł sztuki	9
4. Mikrobiologiczna korozja materiałów artystycznych	12
4.1. Papier	12
4.2. Drewno	13
4.3. Tkaniny	14
4.4. Farby i pigmenty.....	15
4.5. Pergamin i skóra	16
4.6. Kamień i tynk	17
4.7. Metale	18
4.8. Tworzywa sztuczne	19
4.9. Szkło	19
5. Metody oceny skażenia mikrobiologicznego dzieł sztuki	20
6. Metody zwalczania drobnoustrojów na przedmiotach zabytkowych	24
6.1. Gazowanie	24
6.2. Działanie parami.....	26
6.3. Spryskiwanie	27
6.4. Smarowanie	27
6.5. Kąpiele	28
6.6. Iniekcje.....	28
6.7. Pastowanie	28
6.8. Zasyпки.....	29

6.9. Nanocząstki srebra.....	29
6.10. Ogrzewanie i zamrażanie	29
6.11. Oczyszczanie mikrofalowe	30
6.12. Oczyszczanie radiacyjne	31
6.13. Oczyszczanie laserowe	31
7. Sposoby zabezpieczania dzieł sztuki przed korozją biologiczną	32
8. Ochrona przed zagrożeniami mikrobiologicznymi pracowników muzeów i pracowni konserwacji zabytków	36
9. Piśmiennictwo uzupełniające	37
10. Normy i regulacje prawne	39

1. *Wprowadzenie*

W Polsce w 2012 r. działalność prowadziło 768 muzeów i oddziałów muzealnych oraz 344 galerie i salony sztuki zatrudniające 43 tys. osób. Grupą pracowników ściśle związanych z tym sektorem są konserwatorzy dzieł sztuki. Ocenia się, że w naszym kraju działa ok. 400 prywatnych i państwowych firm konserwatorskich, w których szacunkowo oceniana liczba miejsc pracy sięga 2 tys. Obie te grupy zatrudnionych sprawują opiekę nad 15,7 mln muzealiów, a każdy eksponat może z czasem ulec działaniu czynników powodujących jego uszkodzenie lub nawet całkowitą destrukcję. Szczególnie niebezpieczne pod tym względem są szkodliwe czynniki mikrobiologiczne. W sprzyjających dla siebie, a niekorzystnych z punktu widzenia przechowywania zbiorów warunkach środowiskowych, są one zdolne do zainicjowania zmian korozyjnych, które mogą stać się groźne zarówno dla stanu zachowania dóbr kultury, jak i zdrowia osób tego stanu strzegących. Niniejsza broszura została poświęcona zagadnieniom szeroko rozumianego bezpieczeństwa biologicznego w muzeach i pracowniach konserwacji zabytków. Omówiono przyczyny biodeterioracji zabytków, scharakteryzowano grupy drobnoustrojów odpowiedzialnych za biodeteriorację najważniejszych materiałów, z których wykonane są dzieła sztuki, przedstawiono metody oceny, sposoby zwalczania i zabezpieczenia dzieł sztuki przed mikrobiologicznym skażeniem oraz opisano działania, jakie należy podjąć w celu ochrony zdrowia pracowników muzeów i pracowni konserwacji zabytków przed zagrożeniami mikrobiologicznymi występującymi w ich środowisku pracy.

2. *Biodeterioracja zabytków i jej przyczyny*

Zarówno pomieszczenia muzealne, jak i pracownie konserwacji zabytków ze względu na swój ściśle określony charakter użytkowy są specyficznymi mikrośrodkami. W tego typu wnętrzach może występować zwiększone zanieczyszczenie szkodliwymi czynnikami biologicznymi, którymi są zwykle drobnoustroje rozwijające się na gromadzonych obiektach lub też na powierzchniach pomieszczeń. Koncentracja mikroorganizmów w tego typu środowisku może być nawet tysiąckrotnie większa niż w pomieszczeniach przeznaczonych do normalnego bytowania człowieka (takich jak mieszkania, budynki użyteczności publicznej itp.) i sięgać 1 mln drobnoustrojów w 1 m³ powietrza.

Mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza wewnątrz pochodzi ze środowiska zewnętrznego lub jest wynikiem emisji w samym pomieszczeniu. Powietrze atmosferyczne transportuje bardzo dużą liczbę cząstek biologicznych należących głównie do niechorobotwórczej mikrobioty saprofitycznej. Może ono przenikać do pomieszczeń w sposób niekontrolowany przez nieszczelności koperty budynku oraz w sposób kontrolowany poprzez systemy wentylacyjne. Natomiast głównym źródłem cząstek biologicznych w pomieszczeniach są organizmy żywe (ludzie, zwierzęta, rośliny), a także gromadzone obiekty, materiały i surowce.

Proces mikrobiologicznego rozkładu materiałów i surowców ekonomicznie ważnych dla człowieka i gospodarki jest definiowany jako **biodeterioracja**. W biodeterioracji materiałów wyróżnia się trzy główne mechanizmy: rozkład (dokonywany dzięki enzymom i kwasom wydzielanym przez mikroorganizmy), korozję powodowaną przez drobnoustroje i obrastanie materiałów

(związane z tworzeniem przez nie biofilmów). W tych procesach główną rolę odgrywają bakterie i grzyby. Mikroorganizmy te, rozwijając się na materiałach, z których są wytworzone dzieła sztuki, powodują zmiany ich właściwości fizycznych. Osłabiają ich cechy użytkowe (np. wytrzymałość na rozciąganie, kruszenie, rozwarstwianie), a ponadto stwarzają zagrożenie dla zdrowia osób pracujących w ich otoczeniu, ponieważ emitują do powietrza szkodliwe struktury i substancje biologicznie aktywne (alergeny, mikotoksyny, endotoksyny).

Aktywność metaboliczna, związana z nią zdolność przeżycia i rozprzestrzenianie się drobnoustrojów w środowisku zależą nie tylko od ich budowy i wynikających z niej funkcji (np. rozmiaru czy zdolności do wytwarzania form przetrwalnych), lecz także od licznych czynników środowiskowych, takich jak temperatura, wilgotność względna powietrza, zawartość tlenu, występowanie organicznych i nieorganicznych źródeł substancji odżywczych, oddziaływania elektrostatyczne i jonowe. Mikroorganizmy, w zależności od ich właściwości i warunków środowiska, są zdolne do życia tylko przez pewien czas. Wiele z nich zachowuje żywotność w środowisku znacznie dłużej niż większe mikroorganizmy (np. spory grzybów pleśniowych z rodzaju *Aspergillus* mogą zachować żywotność przez ponad 22 lata).

Kluczowymi parametrami środowiskowymi, z punktu widzenia możliwości kolonizacyjnych mikroorganizmów (inicjacja rozwoju, przeżywalność), są temperatura i wilgotność względna (RH) powietrza. Temperatura w sposób ścisły warunkuje aktywność wodną i jako parametr fizyczny środowiska może pośrednio lub bezpośrednio wpływać na wzrost mikroorganizmów. Drobnoustroje nie mają wewnętrznych mechanizmów regulacji temperatury i w obrębie komórki jest ona determinowana warunkami panującymi na zewnątrz. Większość bakterii rozpowszechnionych w przyrodzie zalicza się do grupy organizmów mezofilnych, których optymalna temperatura wzrostu waha się, w zależności od gatunku, od 20 °C do 40 °C. Grzyby i promieniowce charakteryzuje duża tolerancja temperaturowa. Maksymalny wzrost grzybów najczęściej spotykanych w środowisku wewnątrz następuje w przedziale temperatury od 22 °C do 35 °C, ale rosną również w niskiej temperaturze – od

5 °C do 10 °C, a także w wysokiej – od 35 °C do 52 °C. W zakresie od 50 °C do 60 °C wzrost większości grzybów ulega zahamowaniu i zamiera. W przypadku promieniowców optimum temperaturowe umożliwiające maksymalny wzrost leży w przedziale 22 – 35 °C lub znacznie powyżej, np. dla niektórych termofilnych gatunków (np. *Thermoactinomyces*) mieści się w przedziale 50 – 60 °C.

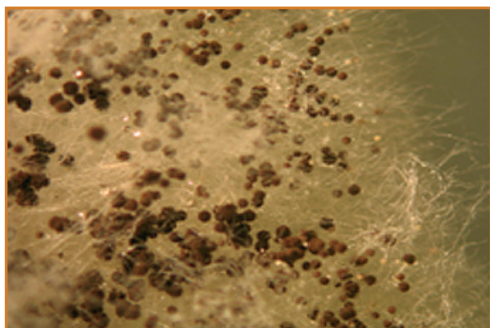
PAMIĘTAJ!
Wilgoć to kluczowy czynnik inicjujący
skażenie mikrobiologiczne!

Istotnym czynnikiem wpływającym na proces kolonizacji przez mikroorganizmy środowiska wewnątrz jest stopień, w jakim dany materiał może zaspokoić wymagania określonego mikroorganizmu pod względem ilości wilgoci niezbędnej do zainicjowania jego wzrostu i rozwoju. Dostępność wilgoci dla drobnoustrojów określa się tzw. aktywnością wodną, a_w , zwaną też równowagą higroskopijną, *ERH*. Najmniejsza wartość a_w , która może zainicjować wzrost mikroorganizmów na danym materiale dysponującym wystarczającą ilością substancji odżywczych, wynosi 0,65 (co odpowiada *ERH* = 65%). Aktywność mikroorganizmów i zdolność kolonizowania przez nie nowych powierzchni zwiększa się, gdy a_w zbliża się do 1, czyli gdy woda jest swobodnie dostępna. Natomiast, gdy a_w wynosi poniżej 0,55, wówczas dochodzi do zatrzymania ich funkcji życiowych na skutek denaturacji kwasów nukleinowych komórek. Opierając się na wartościach parametru a_w , mikroorganizmy można zaliczyć do pierwszo- ($a_w < 0,85$), drugo- ($a_w = 0,85 - 0,90$) i trzeciorzędowych ($a_w > 0,90$) kolonizatorów.

3. *Drobnoustroje odpowiedzialne za biokorozję dzieł sztuki*

Spośród szkodliwych czynników biologicznych największe znaczenie dla zachowania trwałości przechowywanych zbiorów oraz stanu zdrowia narażonych na kontakt z nimi pracowników mają grzyby i bakterie. Mikroorganizmy te stanowią stały element środowiska. Łatwość ich rozprzestrzeniania się drogą powietrzną sprawia, że w sprzyjających warunkach mikroklimatycznych mogą nie tylko zakażać zbiory, inicjując w konsekwencji proces ich biodeterioracji, ale też wywierać negatywny wpływ na zdrowie osób przebywających lub zatrudnionych w tego typu pomieszczeniach, oddychających powietrzem zanieczyszczonym mikrobiologicznie.

Grzyby pleśniowe są organizmami występującymi zarówno w środowisku zewnętrznym, jak i w pomieszczeniach. Dzięki produkcji znacznej liczby spor są w stanie przedostawać się do powietrza i w ten sposób kolonizować nowe obszary. Ze względu na wymianę powietrza przez wentylację i infiltrację, spory grzybów są stale obecne w budynkach. Najczęściej i najliczniej w środowisku wewnątrz, zarówno w powietrzu jak i na powierzchniach, są spotykane gatunki z rodzajów *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* i *Alternaria*. W budynkach, w których wystąpiły zniszczenia wodne, powodując ich trwałe zawilgocenie, dodatkowo

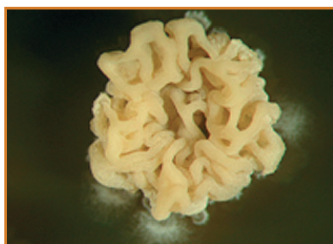


spotyka się gatunki z rodzajów *Stachybotrys*, *Chaetomium*, *Fusarium*, *Trichoderma* i *Paecilomyces*. Grzyby są źródłem wielu szkodliwych struk-

tur i związków, w tym: alergenów (w większości będących mieszaniną protein, glikoprotein, polisacharydów i innych substancji), glukanów (nie-rozpuszczalnych w wodzie polimerów glukozy wchodzących w skład ich ściany komórkowej), mikotoksyn (nieletnych, drobnocząsteczkowych metabolitów, głównie pleśni) i lotnych związków organicznych (aldehidów, alkoholi, ketonów, terpenów, estrów i amin).

Bakterie powodujące biokorozję można podzielić na następujące grupy:

- promieniowce: grupa nitkowatych bakterii, o zdolności przeżycia na ska-



łach, roślinach, zwierzętach, odzieży, środkach spożywczych itp. dzięki właściwości spor umożliwiającej przetrwanie długich okresów przesychania i przeżycie w warunkach małej zawartości wilgoci w podłożu, na którym rosną. Są powszechnie spotykane

w powietrzu pomieszczeń, w których stwierdza się odory powstające wskutek gnicia materiałów. Mogą produkować toksyny, są też źródłem alergenów

- bakterie redukujące siarczany (SRB): grupa drobnoustrojów beztlenowych (np. z rodzaju *Desulfovibrio*) prowadzących dysymilacyjną redukcję związków siarki, takich jak siarczany, siarczyny, tiosiarczany i siarka elementarna, do siarczków
- bakterie redukujące metale (MRB): wpływają na korozję żelaza i jego stopów przez rozpuszczanie pasywnych osadów na powierzchni metalu lub przez przemianę osadu do mniej stabilnej postaci zredukowanej; zaliczane do tej grupy bakterie z rodzajów *Pseudomonas* i *Shewanella* mają zdolność do redukcji tlenków żelaza i manganu
- bakterie deponujące metale, z rodzajów *Siderocapsa*, *Gallionella*, *Leptothrix*, *Sphaerotilus*, *Crenothrix* i *Clonothrix*, uczestniczą w biotransformacji tlenków żelaza i manganu; powodują korozję wżerową
- bakterie produkujące podczas rozwoju biofilmu duże ilości pozakomórkowych substancji polimerowych ułatwiających przyczepianie się i na-

mnazanie innych bakterii (np. *Clostridium*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* i *Pseudomonas*)

- bakterie produkujące kwasy nieorganiczne oraz organiczne, jako produkty uboczne metabolizmu; kwasolubne bakterie *Thiobacillus* utleniają zredukowane formy siarki do siarczanów, natomiast proste kwasy organiczne (octowy, mrówkowy i mlekowy) są metabolitami bakterii heterotroficznych.

Grzyby i bakterie pod względem wymagań odżywczych są niezwykle elastyczne i mają ogromne możliwości adaptacyjne. Organizmy te zdobywają podstawowe substancje odżywcze (bogate w węgiel i azot) przez dekompozycję materii organicznej. Większość grzybów występujących w środowisku wewnątrz to saprofity, co oznacza, że w pomieszczeniach pozyskują substancje odżywcze z martwej wilgotnej materii, takiej jak drewno, papier, farby, kleje, materia roślinna gleby, pył, cząstki jedzenia itp. Jednakże z równym powodzeniem mogą rosnąć na powierzchniach złożonych z wilgotnej materii nieorganicznej (takiej jak szkło, włókno szklane, plastik, metal czy beton) pokrytej osiadłymi na jej powierzchni pyłami, zanieczyszczeniami powietrza czy nawet odciskami palców tworzącymi cienką, niewidoczną warstwę biofilmu. Podobnie rzecz się ma z promieniocami. Bakterie te odgrywają ważną rolę w dekompozycji wielu związków organicznych, m.in. ligniny, celulozy, pektyny, chityny, keratyny, kolagenu, elastyny i skrobi.



Wymienione grupy mikroorganizmów w czasie wzrostu swych kolonii produkują i wydzielają wiele silnie działających enzymów i kwasów, które mogą w bardzo wydajny sposób doprowadzać materię organiczną do całkowitego rozkładu lub częściowej dezintegracji. Wśród grzybów są mikroorganizmy silnie celulolityczne (m.in. *Trichoderma*, *Botrytis*, *Chaetomium*, *Alternaria*, *Stemphylium*), proteolityczne (m.in. *Mucor*, *Chaetomium*, *Aureobasidium*, *Gymnoascus*, *Trichoderma*, *Verticillium* i *Epicoccum*) oraz lipolityczne (jw. oraz

Paecilomyces). Może też wtedy dochodzić do wzrostu produkcji mikotoksyn. W odniesieniu do promieniowców (zwłaszcza wśród rodzaju *Streptomyces*) podkreślane są przede wszystkim ich zdolności proteo- i kolagenolityczne.

4. *Mikrobiologiczna korozja materiałów artystycznych*

Dzieła sztuki ze względu na pochodzenie materiału, z którego są wykonane, mogą być złożone zarówno z organicznych, jak i nieorganicznych substancji i związków chemicznych. Ich różnorodność sprawia, iż mogą być swobodnie wykorzystywane jako bogate źródło substancji odżywczych zapewniających dogodne warunki do rozwoju różnym grupom bakterii i grzybów pleśniowych.

4.1. Papier

Papier jest produktem złożonym głównie z materiałów włóknistych, najczęściej pochodzących z surowców roślinnych (nieprzetworzonych, np. celulozy, ścieru drzewnego, słomy, trzciny, bawełny, lnu, konopi, bambusu) lub przetworzonych (np. makulatury) z dodatkiem substancji niewłóknistych (np. skrobi ziemniaczanej), nieorganicznych (tj. kaolinu, talku, gipsu, kredy) i barwników. Jako taki jest oprócz celulozy znakomitym źródłem ligniny, hemicelulozy, pektyn, wosków, tanin i protein. Kluczowym czynnikiem w biokorozji papieru jest wilgotność materiału – gdy przekroczy ona 10% (co zdarza się zazwyczaj, gdy wilgotność względna powietrza przekracza 60%) wyroby papierowe

mogą zostać bez przeszkód skolonizowane przez bakterie i grzyby pleśniowe. W warunkach archiwalnych lub muzealnych rozwój drobnoustrojów prowadzi do enzymatycznego rozkładu składników strukturalnych papieru, a w konsekwencji do jego degradacji objawiającej się nadżerkami, utratą kształtu i właściwości mechanicznych, a więc do zniszczenia pierwotnej struktury skażonego obiektu. Należy pamiętać, że biokorozji ulegają nie tylko książki, lecz także inne obiekty o zabytkowym charakterze, jak obrazy na papierze (akwarele, pastele), grafiki, materiały fotograficzne, plakaty czy rzeźby i artystyczne instalacje. W zaawansowanej postaci korozji biologicznej można zaobserwować zjawiska tzw. kamienienia książek, będące wynikiem enzymatycznego rozkładu całych fragmentów woluminów, w których rozłożony papier jest spojony plechą drobnoustrojów, lub foxingu, czyli powstawania drobnych plamek na papierze w wyniku destrukcyjnego działania promieniowców i grzybów pleśniowych.



4.2. Drewno

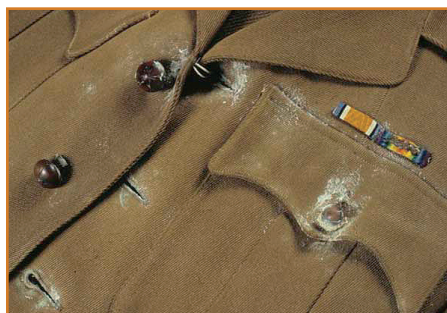
Głównym czynnikiem sprawczym biokorozji są tu grzyby, które mogą się rozwijać już w warunkach wilgotności drewna ok. 25–30%. Ze względu na sposób działania można je podzielić na dwie grupy: grzyby powodujące gnicie drewna oraz grzyby powodujące jego trwałe zabarwienie. Te z pierwszej grupy mają zdolność rozkładania celulozy zawartej w drewnie, co się przyczynia do istotnego osłabienia lub trwałego uszkodzenia elementów drewnianych. Najbardziej rozpowszechnionym w Europie przedstawicielem tej grupy grzybów jest *Serpula lacrymans* (Stroczek domowy), rozkładający miękkie drewna iglaste i wywołujący destrukcyjną zgniliznę zwaną brunatną. Drugą grupę sta-



nowią grzyby pleśniowe penetrujące elementy drewniane i trwale zmieniające strukturę i naturalny kolor drewna (np. na szarobrunatny lub niebieski), przez co znacznie zmniejszają jego jakość. Grzyby te atakują drewno w warunkach dużej wilgotności względnej powietrza (powyżej 80%). Ich destrukcyjne działanie, określane jako zgnilizna szara, polega na rozkładzie zarówno celulozy jak i ligniny drewna. Do tej grupy należy zaliczyć także grzyby pleśniowe (głównie z rodzajów *Fusarium*, *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Cephalosporium*, *Stemphylium*, *Alternaria*, *Cladosporium* oraz *Penicillium*), które rozwijają się najczęściej na powierzchni elementów.

4.3. Tkaniny

Tkaniny, z których są wykonane eksponaty muzealne, mogą być pochodzenia naturalnego, w tym roślinnego (materiały celulozowe: bawełna, juta, konopie, len i szał) i zwierzęcego (materiały białkowe: jedwab, wełna) oraz sztucznego (tkaniny syntetyczne: poliamidowe, poliestrowe, polipropylenowe i poliakrylonitrylowe). Wszystkie one, niezależnie od pochodzenia, mogą



ulec destrukcji mikrobiologicznej na skutek enzymatycznego rozkładu ich strukturalnych składników prowadzonego przez drobnoustroje bakteryjne i grzybowe. Skutkiem działań biodeteriacyjnych jest zmniejszenie wytrzymałości tych materiałów na rozciąganie, ubytki w ich masie i strukturze, powstanie przebarwień czy

nieprzyjemnego zapachu. Wśród gatunków odpowiedzialnych za większość zniszczeń zabytków wykonanych z tkanin naturalnych znajdują się przede wszystkim grzyby o silnych właściwościach celulolitycznych należące do rodzajów *Trichoderma*, *Botrytis*, *Penicillium*, *Epicoccum*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Stemphylium*, *Aspergillus*, *Culvularia*, *Stachybotrys*

i *Rhodotorula* oraz dysponujące tym panelem enzymatycznym bakterie z rodzajów *Bacillus*, *Cellulomonas*, *Cellvibrio*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Sporocytophaga*, *Micromonospora* i *Streptomyces*. Gatunki z rodzajów *Chaetomium*, *Verticillium* i *Botrytis* szczególnie łatwo rozkładają płótno lniane obrazów. Wśród gatunków o właściwościach proteolitycznych, powodujących zniszczenia naturalnych tkanin pochodzenia zwierzęcego, są grzyby należące do rodzajów *Trichophyton*, *Chaetomium*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Acremonium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Torulopsis*, *Fusarium* i *Phoma* oraz bakterie z rodzajów *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Microsporum*, *Pseudomonas*, *Proteus* i *Streptomyces*. Wiele spośród wymienionych drobnoustrojów może też powodować rozkład tkanin syntetycznych (m.in. *Trichoderma*, *Penicillium*, *Chaetomium*, *Paecilomyces*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Stachybotrys*; *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*).

4.4. Farby i pigmenty

Wzrost drobnoustrojów rozpoczyna się na podłożu, a dopiero w drugiej kolejności bakterie i grzyby wykorzystują istniejącą na nim powłokę malarską jako źródło substancji odżywczych. Kluczowym czynnikiem korozji biologicznej, również i w tym przypadku, jest dostępność źródeł węgla i azotu w farbach, odpowiednia temperatura i wilgotność względna powietrza oraz podłoża, występowanie zanieczyszczeń i udział toksycznych związków chemicznych w powłoce malarskiej. Wśród spoiw malarskich najbardziej wrażliwe na biodeteriorację są kazeina, tempera jajowa i emulsyjna, metyloceluloza, alkohol poliwinylowy i poliocetan winylu. Tam, gdzie spoiwa przeważają ilościowo nad pigmentami, biokorozja przebiega szybciej. Przewaga pigmentów, które często zawierają znaczne ilości metali ciężkich (ołowiu, cynku, rtęci, miedzi czy chromu), sprawia, że pro-



ces ten jest znacznie spowolniony. Farby, które zawierają tzw. barwniki ziemne (sienę czy umbrę), ze względu na znaczną higroskopijność bardzo łatwo ulegają zniszczeniom powodowanym przez grzyby pleśniowe z rodzajów *Penicillium*, *Verticillium* oraz *Trichothecium*. Zdolność rozkładu malowideł olejnych i temperowych mają też gatunki grzybów z rodzajów *Aspergillus*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Chaetomium*, *Stemphylium*, *Cephalosporium*, *Sporotrichum* i *Geotrichum* oraz promieniowce z rodzaju *Streptomyces*. Grzyby z rodzajów *Mucor* i *Rhizopus* oraz promieniowce *Streptomyces* kolonizują warstwy klejowe na odwrocie obrazów.

4.5. Pergamin i skóra

Pergamin jest wyprawioną, ale niegarbowaną skórą, pozyskiwaną najczęściej z młodych zwierząt (cieląt, owiec, kóz, leśnej zwierzyny płowej). Aby można było na nim pisać z użyciem tuszu lub atramentu, często pokrywano go roztworem białka jaj kurzych lub formaliną, jeśli miał służyć jako powierzchnia do malowania. Skóra tzw. gruba, pozyskiwana z bydła, lub cienka, uzyskiwa-



na z kóz, owiec, świń, dzikich zwierząt, jest zazwyczaj wyprawiana z zastosowaniem garbników roślinnych, soli glinu i chromu, tranu czy dymu. Głównym budulcem obu tych rodzajów skóry są włókna kolagenowe, keratyna i elastyna (z małymi dodatkami albumin, globulin i związków lipidowych). One to wraz ze starzeniem

się materiału ulegają depolimeryzacji oraz denaturacji i w takiej postaci są podatne na mikrobiologiczny rozkład. Ponadto zarówno pergamin, jak i skóra są materiałami o dużej higroskopijności, łatwo zatrzymującymi wodę w swej strukturze, przez co zapewniają drobnoustrojom w czasie procesu kontaminacji niezbędny jej zasób. Rozkład mikrobiologiczny pergaminu prowadzi do

powstania wilgotnej, galaretowatej masy w miejscu pierwotnego ataku drobnoustrojów, następnie zacieku, a w końcowej fazie destrukcji do kamienienia kart zmiękczonej wcześniej na skutek rozkładu kolagenu lub do całkowitego ich zaniku na skutek działania enzymów proteolitycznych. Za mikrobiologiczną destrukcję pergaminu odpowiedzialne są głównie promieniowce, rzadziej grzyby. W przypadku skóry, destrukcji mogą ulegać nie tylko jej elementy budulcowe, lecz także garbniki oraz tłuszcze używane w procesie jej technicznej obróbki. Do garbników łatwo ulegających mikologicznej destrukcji należą te z kory dębowej i kasztana jadalnego. Z kolei tłuszcze łatwiej ulegają rozkładowi z udziałem bakterii.

4.6. Kamień i tynk

Biokorozja kamienia jest procesem długotrwałym (trwającym zwykle dziesiątki lat), inicjowanym przez drobnoustroje, porosty i mchy. Czynnikiem sprzyjającym kolonizacji jest porowatość jego struktury (mogąca dochodzić do 18% objętości). Przy odpowiednio dużym zawilgoceniu pory tego materiału są penetrowane przez bakterie, grzyby i glony. Biodeterioracja powoduje utratę spójności kamienia, wzrost jego porowatości oraz powstanie przebarwień, wykwitów i nalotów na powierzchni. Wszystko to prowadzi do zmian właściwości termicznych, wilgotnościowych i chemicznych niszczących materiał. W biokorozji główną rolę odgrywają drobnoustroje heterotroficzne, autotroficzne i nitryfikujące. Drobnoustroje heterotroficzne to bakterie i grzyby o celulo-, proteo-, chityno- i lipolitycznych właściwościach, mające zdolność produkcji kwasów (mlekowego, cytrynowego czy szczawiowego), których działanie zmienia pH podłoża, prowadząc do rozpuszczenia i nadtrawienia powierzchni kamiennych zabytków. Mikroorganizmy autotroficzne można z kolei podzielić na dwie grupy, tj. drobnoustroje



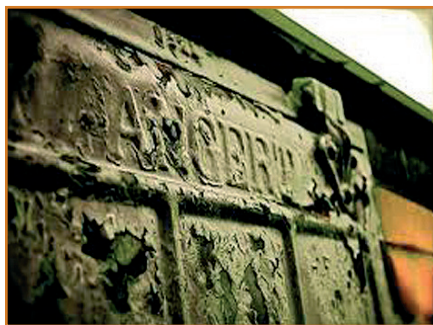
chemo- i fotosyntezujące. W pierwszej grupie znajdują się bakterie siarkowe i nitryfikujące; do drugiej zalicza się cyjanobakterie oraz inne organizmy (zieleńce, glony, mchy, porosty i rośliny wyższe). Bakterie siarkowe są odpowiedzialne za tzw. niszczenie płytowe kamienia, charakteryzujące się warstwowym łuszczeniem jego powierzchni. Bakterie nitryfikujące niszczą powierzchnię kamieni tworząc w niej nadżerki i ubytki w wyniku działania na materiał mocnego kwasu azotowego. Cyjanobakterie nie tylko barwią powierzchnie kamienne na czarno, ale wraz z innymi autotrofami przygotowują zaatakowane warstwy materiału do ich kolonizacji przez organizmy heterotroficzne.

Przyczyną korozji biologicznej tynku są głównie bakterie i grzyby. Zaprawy wapienne są bardziej (niż zaprawy cementowe) narażone na działanie bakterii nitryfikujących (utleniających amoniak i azotyny).

4.7. Metale

Główną rolę w biokorozji metali odgrywają bakterie z rodzajów: *Thiobacillus* (utleniające siarkę, tiosiarczany, siarczki i inne związki polisiatrkowe do siarczanów, powodując powstawanie kwasów), *Desulfovibrio* i *Desulfotomaculum* (utleniające siarczek żelaza do kwasu siarkowego) oraz bakterie

żelazowe *Gallionella* i *Sphaerotilus*. Odróżnienie korozji elektrochemicznej od tej spowodowanej działalnością drobnoustrojów w praktyce nie jest łatwe. Niektóre metale wykorzystywane w pracy artystycznej (np. miedź, ołów) mają właściwości toksyczne lub powstrzymujące rozwój drobnoustrojów. Niemniej jednak, gdy dojdzie już do



rozwoju biologicznego ataku na zabytkowe materiały, wówczas biokorozja zachodzi głównie pod wpływem kwasów wydzielanych na powierzchnię danego obiektu, które powodują destrukcję warstw ochronnych metalu. Je-

śli dojdzie do neutralizacji inhibitorów korozji, proces ten może postępować z dużą szybkością (dochodzącą w ciągu doby do 885 mg/dm^2).

4.8. Tworzywa sztuczne

Tworzywa sztuczne to wytworzone przez człowieka materiały polimerowe lub naturalnie występujące polimery zmodyfikowane przez dodanie do nich środków w postaci m.in. stabilizatorów termicznych, uniepalniczy, środków antystatycznych, spieniających, biocydów, barwników itp. Tworzywa sztuczne są z reguły dość odporne na biokorozję. Są one jednak źródłem węgla i dlatego mogą ulec biologicznemu atakowi. Mikroorganizmy wsparte przez warunki mikroklimatyczne i środowiskowe (ekspozycja na światło, ciepło, wodę, wiatr, swobodny dostęp tlenu) mogą dokonać kolonizacji także tego rodzaju powierzchni. W nowoczesnej twórczości artystycznej stosowanie materiałów z żywic akrylowych, silikonowych czy winylowych nie jest rzadkością (np. elementy dekoracji, skład pigmentów). Do głównych destruktorów tego typu materiałów należy zaliczyć przede wszystkim grzyby z rodzajów *Aspergillus*, *Penicillium*, *Ulocladium*, *Trichoderma* i *Chaetomium* oraz (gdy wilgotność środowiska jest bardzo duża) bakterie.



4.9. Szkło

Szkło, jako materiał krzemionkowy, jest stosunkowo odporne na atak biologiczny. Może jednak ulec biokorozji w sytuacji, w której na jego powierzchni pojawiają się zarówno woda, jak i dostateczna ilość substancji odżywczych. Organizmami odpowiedzialnymi za biodeteriorację szkła są bakterie, glony,



porosty i rzadziej grzyby. Mogą one wywołać zmętnienie jego powierzchni, spowodować pojawienie się ciemnych plam, zaczerwień, a w konsekwencji powstanie otworów i dziur (czasem o średnicy 5-6 mm) na zewnętrznych i wewnętrznych powierzchniach. Ze szklanych powierzchni często są izolowane te same mikroorganizmy, które odpowiadają za biologiczną korozję materiałów z kamienia.

5. *Metody oceny skażenia mikrobiologicznego dziej sztuki*

Do pobierania próbek z zanieczyszczonych mikrobiologicznie powierzchni wykorzystuje się następujące metody:

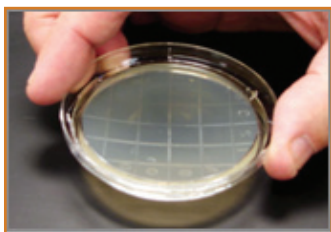
- odciskową z zastosowaniem taśmy samoprzylepnej (taśma dociśnięta do zanieczyszczonej mikrobiologicznie powierzchni może być bezpośrednio przeniesiona na szkiełko mikroskopowe i poddana analizie); technikę tę stosuje się na płaskich i gładkich powierzchniach





► wymazów (sterylny wacik zwilżony odpowiednim płynem – sterylną wodą, solą fizjologiczną, wodą peptonową itp. – służy do zebrania zdeponowanych na skażonej powierzchni mikroorganizmów, które następnie zawiesza się w większej objętości

płynu, zwykle identycznego z zastosowanym do pobrania próbki, i laboratoryjnie opracowuje zebrany materiał metodą seryjnych rozcieńczeń); technikę tę stosuje się na pofałdowanych i porowatych powierzchniach



► płytek kontaktowych/odciskowych (stosuje się specjalne płytki mikrobiologiczne typu RODAC wypełnione odpowiednim podłożem hodowlanym tworzącym menisk wypukły, zwykle o powierzchni styku nie mniejszej niż 20 cm², które dociska się przez kilka sekund

do skażonej biologicznie powierzchni; bywa, że w tym samym celu jest stosowana taśma agarowa); tę technikę pobierania stosuje się na płaskich i gładkich powierzchniach



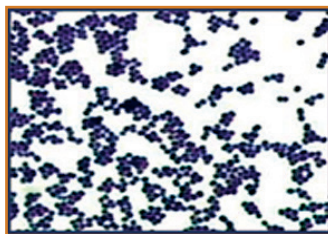
► odkurzania (materiał jest pobierany odkurzaczem na jednorazowe filtry bawełniane, na których jest najpierw oceniany grawimetrycznie, a potem poddawany analizie mikrobiologicznej metodą seryjnych rozcieńczeń); technikę tę można stosować na każdym rodzaju powierzchni.

PAMIĘTAJ!

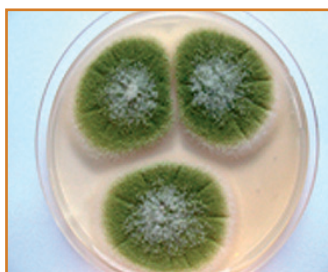
Regularna kontrola skażenia mikrobiologicznego dzieł sztuki umożliwi ich efektywną ochronę!

Do wyznaczenia stężenia i oznaczenia składu gatunkowego drobnoustrojów występujących w próbkach pobranych ze skażonej mikrobiologicznie powierzchni można zastosować następujące metody analityczne:

- mikroskopowe, polegające na ocenie liczby komórek drobnoustrojów (np. spor grzybów) w mikroskopie świetlnym, a następnie obliczeniu ich zawartości na badanej powierzchni; zaletą metody jest rejestrowanie wszystkich drobnoustrojów, tj. żywych i martwych, a wadą – brak możliwości precyzyjnej identyfikacji gatunkowej; bardziej precyzyjnych informacji może dostarczyć obserwacja preparatów za pomocą stereomikroskopu lub elektronowego mikroskopu skaningowego, ale aparatura badawcza tego typu nie jest jeszcze powszechnie dostępna



- hodowlane, umożliwiające określenie liczby drobnoustrojów żywych i zdolnych do rozmnażania się; stężenie wyraża się w jednostkach tworzących kolonie, jtk, w badanej objętości powietrza lub na badanej powierzchni; metody hodowlane umożliwiają pełną identyfikację izolowanych drobnoustrojów do szczepu rodzaju lub gatunku



- metaboliczne i molekularne, w których stężenia mikroorganizmów występujących w powietrzu czy pobranych z zanieczyszczonych powierzchni są wyznaczane na podstawie stwierdzenia obecności produktów ich metabolizmu,





wykorzystywania źródeł węgla, nieswoistego i swoistego oznaczenia DNA czy próby genowej; często korzysta się też z metod immunologicznych, opartych na stosowaniu przeciwciał mono- i poliklonalnych czy markerów, w tym markerów immunologicznych, które ujawniają występowanie określonych

grup czy szczepów mikroorganizmów; wykorzystuje się techniki biologii molekularnej z zastosowaniem komplementarnych sond fluorescencyjnych identyfikujących gen 16S rRNA, łańcuchowej reakcji polimerazy (PCR) lub ilościowej łańcuchowej reakcji polimerazy (qPCR), które umożliwiają identyfikację pojedynczych gatunków mikroorganizmów.

Pomiary szkodliwych czynników mikrobiologicznych, w celu kontroli higienicznej służącej ocenie czystości mikrobiologicznej muzeów i pracowni konserwacji zabytków, powinny być wykonywane przez laboratoria, których pracownicy mają niezbędną wiedzę i doświadczenie (najlepiej wieloletnie) w tego rodzaju analizach. Posiadanie przez dane laboratorium akredytacji jest niewątpliwie dodatkowym atutem. Jednak, zlecając tego rodzaju pomiary, należy zwracać szczególną uwagę na to, jakimi metodami jest pobierany materiał do badań, czy są one zgodne z zaleceniami stosownych norm, czy wyniki są oceniane z uwzględnieniem obowiązujących aktów prawnych (m.in. dyrektywy 2000/54/WE, rozporządzenia ministra zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. ze zm.) i propozycji dopuszczalnych stężeń dla badanych szkodliwych czynników biologicznych.

6. *Metody zwalczania drobnoustrojów na przedmiotach zabytkowych*

Pierwszym krokiem warunkującym powstrzymanie mikrobiologicznej destrukcji przedmiotów zabytkowych jest likwidacja przyczyny zawilgocenia, zarówno samego dzieła, które uległo biokorozji, jak i wnętrza, w którym się ono znajdowało. Pozostawienie aktywnego źródła wilgoci sprawia, że nawet oczyszczony z mikrobiologicznej korozji obiekt może ponownie, w relatywnie krótkim czasie, zostać porażony przez drobnoustroje odpowiedzialne za jego destrukcję.

PAMIĘTAJ!

**Skuteczne zwalczanie drobnoustrojów
na przedmiotach zabytkowych powierzaj tylko osobom,
które mają w tym zakresie dużą wiedzę i doświadczenie!**

Mikrobiologiczną korozję przedmiotów zabytkowych można zwalczać z użyciem czynników chemicznych i fizycznych, stosując metody: gazowania, działania parami, spryskiwania, smarowania, kąpania, iniekcji, nakładania past, zasypek, oczyszczania mikrofalowego oraz laserowego.

6.1. Gazowanie

Gazowanie można przeprowadzać w specjalnych, przeznaczonych do tego celu komorach próżniowych lub foliowych (rękawach) oraz tzw.

metodą in situ, tj. dezynfekując bezpośrednio w obiekcie lub miejscu skażenia. Gazowanie w komorach próżniowych i foliowych jest ograniczone do obiektów, których rozmiary umożliwiają zastosowanie tego rodzaju metody. Jest stosowane w przypadku masowej dezynfekcji skażonych obiektów lub w celu ich zabezpieczenia przed skażeniem, które może przedostać się z zewnątrz do czystych wewnątrz wraz z transportowanymi do nich obiektami. Środkiem czynnym jest tu zazwyczaj tlenek etylenu. Jest to bardzo dobry środek dezynfekcyjny (szczególnie jako fungicyd), jednakże skrajnie łatwopalny. Jako wysoce reaktywny gaz tworzy mieszaniny wybuchowe z powietrzem (zapłon może nastąpić od otwartego płomienia, iskry lub gorącej powierzchni; mieszanina z powietrzem o stężeniu 3% tlenku etylenu jest wybuchowa). Stosując tę metodę, należy pamiętać, że tlenek etylenu zmienia fizyczne i chemiczne właściwości obiektów muzealnych, szczególnie tych wykonanych z papieru, pergaminu czy skóry, które zawierają dużo tłuszczu. Nie bez znaczenia jest też jego szkodliwość dla zdrowia ludzi. Tlenek etylenu działa toksycznie przez drogi oddechowe, drażniąc na oczy, drogi oddechowe i skórę, może powodować raka i dziedziczne wady genetyczne.

Do sterylizacji skażonych dóbr kultury można zastosować również specjalne foliowe komory wypełnione azotem, które nie przepuszczają tlenu i w których jego zawartość jest zmniejszona do poziomu 0,1 – 0,3%. W czasie zabiegu do komory zawierającej oczyszczany materiał podaje się sprężone powietrze, z którego usuwa się tlen z taką wydajnością, że podawany jest prawie wyłącznie azot. Metodą tą oczyszcza się najczęściej książki, ramy obrazów, rzeźby z drewna, zbiory entomologiczne czy meble. Przedmioty można umieszczać pojedynczo lub łączyć poszczególne komory zawierające różne przedmioty w ciąg gazoszczelnych rękawów za pomocą zaworów i przewodów. W czasie zabiegu aparat zastosowany do podawania gazu może nawilżać



lub osuszać powietrze wprowadzane do foliowych komór do poziomu wilgotności względnej, w jakiej trzymane były oczyszczane zbiory przed zabiegiem, co chroni je przed uszkodzeniami wynikającymi z przesuszenia lub zbyt dużego nawilżenia. Pełna skuteczność zabiegu, tj. 100-procentowa śmiertelność wszystkich szkodników i ich stadiów rozwojowych (jaj, larw, poczwerek, osobników dorosłych) oraz zahamowanie rozwoju bakterii i grzybów pleśniowych, jest osiągnięta po trzech tygodniach ekspozycji przedmiotu na warunki stworzone w komorze.

Plastikowych worków można też użyć do gazowania zabytkowych obiektów z wykorzystaniem dwutlenku węgla. Metoda ta jest szczególnie skuteczna w usuwaniu zniszczeń wywołanych obecnością owadów w obiektach drewnianych. Plastikowe worki o grubych ścianach, z przeznaczonymi do gazowania przedmiotami, wypełnia się dwutlenkiem węgla, usuwając z nich powietrze. Tak przygotowane komory pozostawia się na około miesiąca w temperaturze 20 – 30 °C, co zapewnia oczekiwaną skuteczność zabiegu.

Gazowanie in situ jest stosowane do dużych skażonych obiektów, zazwyczaj drewnianych i wbudowanych w strukturę budowli na stałe. Ponieważ gazowanie odbywa się w całości bryły obiektu, podczas zabiegu trzeba go odpowiednio oznakować i zabezpieczyć przed dostępem niepowołanych osób. Ze względu na reaktywność stosowanych środków (np. fosforowodoru) należy bezwzględnie przestrzegać zasad postępowania z nimi, a sam zabieg musi być prowadzony przez specjalistyczną firmę.

6.2. Działanie parami

W dezynfekcji zabytków tą metodą wykorzystuje się związki chemiczne o dużej lotności, takie jak: *p*-chloro-*m*-krezol, dichlorofen, *p*-nitrofenol. Środki chemiczne w formie par wnikają do wnętrza materiału, z którego jest wykonany obiekt, i pozostają w jego porach w formie skryształizowanej (mikrokryształy), co dezynfekuje i zabezpiecza dany obiekt przed ponownym destrukcyj-

nym atakiem drobnoustrojów. Metodę tę stosuje się do dezynfekcji zabytków z papieru (książki, grafiki), malarstwa (pasteli, akwareli), fotografii lub skóry, najczęściej w formie tzw. przekładek (tj. arkuszy, np. bibuły, nasyconych środkiem dezynfekcyjnym).

6.3. Spryskiwanie

W metodzie tej wykorzystuje się roztwory dezynfektantów w odpowiednich dla nich rozpuszczalnikach. Zabieg spryskiwania nie narusza powierzchni obiektu. Metodę tę stosuje się do dużych powierzchni malowideł ściennych lub sztalugowych czy zabytków wykonanych z kamienia. Ze względu na charakter chemiczny i sposób aplikacji środka czynnego, zabiegi spryskiwania należy przeprowadzać w dobrze wentylowanych pomieszczeniach. Powtórzenie tego rodzaju zabiegu w odstępie kilku dni zwiększa jego skuteczność dezynfekcyjną.

6.4. Smarowanie

W metodzie tej dezynfektant jest наносzony na powierzchnię skażonego obiektu za pomocą pędzla, szczotki, tamponu lub watałki malarskiej. Smarowanie jest stosowane zazwyczaj do obiektów o niewielkich rozmiarach wy-



konanych z drewna. Głębokość wnikania zależy od właściwości наносzonego środka i cech drewna, ale zazwyczaj nie przekracza 2 – 4 mm. Słabą stroną tej meto-

dy jest nierównomierne pokrywanie środkiem dezynfekującym powierzchni odczyszczonego materiału. Tak jak w przypadku spryskiwania, powtórzenie zabiegu smarowania w odstępie kilku dni zwiększa jego skuteczność dezynfekcyjną.

6.5. Kąpiele

Kąpiele zazwyczaj są stosowane do zabezpieczenia drewna przed zniszczeniem przez grzyby i owady. Polegają na umieszczeniu przedmiotu w stosunkowo dużej objętości dezynfekcyjnego preparatu w taki sposób, by cała jego



powierzchnia mogła nasycić się zastosowanym środkiem biobójczym. Tego rodzaju zabiegi mogą być wykonywane na zimno, gorąco lub w obu tych temperaturach. Zimne kąpiele (temperatura impregnatu wynosi ok. 20 °C) są krótkotrwałe (30 – 180 min) lub długotrwałe (1 – 8 dni), co przekłada się na małą

(3 – 6 mm) lub większą (10 – 30 mm) głębokość penetracji zabezpieczanego materiału. W kąpieeli gorąco-zimnej w pierwszej fazie zabezpieczania impregnat ma temperaturę 60 – 70 °C lub 80 – 90 °C, jeśli jest to impregnat odpowiednio solny lub oleisty, a następnie temperaturę 15 – 20 °C, w której impregnowany obiekt stygnie. Poszczególne fazy zabiegów mogą trwać od 2 do 4 godzin.

6.6. Miekcje

Zabiegi tego typu stosowane są zazwyczaj w celu zabezpieczenia elementów drewnianych przed niekorzystnym działaniem grzybów i owadów. Preparat bójczy w płynnej formie wprowadza się do istniejących już w obiekcie otworów, aby powoli się wchłaniał.

6.7. Pastowanie

Stosowane jest zwykle w celu zabezpieczenia elementów wykonanych z drewna. Polega na nałożeniu na zabezpieczany element pasty grzybobój-

czej. Pasta, ulegając uwodnieniu, wnika do drewna na zasadzie dyfuzji i przesyca je do głębokości sięgającej nawet 30 mm.

6.8. Zasyпки

Zasyпки działają na zasadzie podobnej do działania past, zabezpieczając drewno przed zagrzybieniem.

6.9. Nanocząstki srebra



Drobne cząstki nanosrebra (o średnicach poniżej 10 nm) mogą być stosowane w postaci mgły, która w koloidalnej formie może penetrować w głąb oczyszczanego materiału i trwale się w nim osadzać. Stosowane w tej metodzie stężenie cząstek wynosi od 45 ppm do 90 ppm. Nanocząstki srebra zachowują trwałość dłużej, jeśli oczyszczany materiał ma podwyższoną wilgotność. Metoda ta nie wpływa niekorzystnie na fizyczne cechy dezynfekowanych obiektów.

6.10. Ogrzewanie i zamrażanie

Obie te metody są stosowane w celu oczyszczenia elementów drewnianych z zagrażających im owadów w różnych stadiach ich rozwoju. Zazwyczaj temperatura na poziomie 55 °C jest w stanie zabić owady we wszystkich ich stadiach rozwojowych. W podobny sposób działa temperatura -20 °C utrzymywana przez kilka dni. Należy jednak zaznaczyć, że żadna z tych metod nie nadaje się do usuwania zanieczyszczeń, których przyczyną są drobnoustroje. Tego rodzaju zabiegi nie mogą być stosowane jako zabezpieczenie przeciwko bakteriom i grzybom, ponieważ większość z nich tole-

ruje zmiany temperatury otoczenia w tym zakresie i tego typu ekspozycja może jedynie spowodować czasowe wstrzymanie ich rozwoju.

6.11. Oczyszczanie mikrofalowe

Technika mikrofalowa polega na przetwarzaniu energii pola elektromagnetycznego w obszarze promieniowania mikrofalowego (PM) o częstotliwości 2,5 MHz – 300 GHz w energię ciepłą w eksponowanym środowisku. Technika mikrofalowa daje możliwość swobodnego kształtowania wielkości obszaru oddziaływania mikrofal, ale ze względów bezpieczeństwa wymaga ukierunkowania pola elektromagnetycznego i kontroli temperatury osuszanego materiału. Zaletami techniki mikrofalowej są: szybkość osuszania; skuteczność (możliwa jest penetracja mikrofal 2,5 m w głąb materiału); bezinwazyjność (nie naruusza struktury osuszanego materiału); kompleksowość działania (niszczy żywe organizmy); brak „efektów ubocznych” w postaci wysoleń; brak emisji hałasu podczas aplikacji promieniowania; niskie koszty. Właściwie przeprowadzone „oczyszczanie” mikrofalowe w większości przypadków może pomóc w efektywnej ochronie skażonych przedmiotów, powstrzymując ich mikrobiologiczną kontaminację przez zmniejszenie przeżywalności i cytotoksyczności komórek drobnoustrojów odpowiedzialnych za jej wywołanie. W przypadku drobnoustrojów należących do tzw. pierwszo- i drugorzędowych kolonizatorów (tj. drobnoustrojów kserofilnych o małych, $a_w < 0,85$, i średnich, $a_w = 0,85 - 0,90$, wymaganiach wilgotnościowych, np. *Penicillium brevicompactum*, *Cladosporium cladosporioides* i *Aspergillus versicolor*), najbardziej efektywne parametry PM (czas działania i gęstość mocy), istotnie zmniejszające przeżywalność i cytotoksyczność ich spor, to 60-minutowa ekspozycja na pole o gęstości mocy 10 i 60 mW/cm². Lecz nawet 5-minutowa ekspozycja w polu o gęstości mocy 60 mW/cm² może zmniejszyć cytotoksyczność spor grzybów pleśniowych. W odniesieniu do tzw. trzeciorzędowych kolonizatorów (tj. hydrofilnych drobnoustrojów o wysokich wymaganiach wilgotnościowych – $a_w > 0,90$, np. pro-

mieniowców) ekspozycja na promieniowanie mikrofalowe o gęstości mocy 10 i 60 mW/cm², trwająca 5 lub 60 min, z reguły zmniejsza przeżywalność i cytotoksyczność (zwłaszcza mokrych) spor.

6.12. Oczyszczanie radiacyjne

Oczyszczanie obiektów zabytkowych promieniowaniem gamma jest skuteczną metodą ich dezynfekcji i dezynsekcji. Wysokoenergetyczne promieniowanie tego rodzaju uszkadza DNA drobnoustrojów poprzez bezpośrednią absorpcję energii promieniowania lub pośrednio przez reakcje rodnikowe produktów radiolizy wody. Metodą tą można dezynfekować papier, drewno, tkaniny czy skórę. W zależności od rodzaju oczyszczanego materiału stosuje się różne dawki promieniowania. Nie powinny one być zbyt wysokie, gdyż mogą mieć niekorzystny wpływ na strukturę dzieł sztuki wykonanych z papieru, skóry czy tkanin. Zazwyczaj zalecana dawka to 15 – 18 kGy. Dawka 5 – 6 kGy jest wystarczająca do zniszczenia blisko 100% zarodników znajdujących się na papierze, a 19,4 kGy na skórze i tekstyliach w obuwiu.

6.13. Oczyszczanie laserowe

Technika laserowa jest szybką, bezpieczną i ekologiczną metodą oczyszczania powierzchni z brudu, kurzu, smarów, farb i innych nawarstwień. Za pomocą laserów o małej (50 W) i dużej (500 W) mocy można oczyścić różnego typu obiekty, w tym: fasady i detale architektoniczne budynków, rzeźby czy obrazy. Wykorzystuje się tu zjawisko tzw. ablacji, czyli odparowania wierzchniej warstwy materiału za pomocą impulsu laserowego. Przy odpowiednim dobraniu gęstości mocy pro-



mieniowania można w bezpieczny i precyzyjny sposób usuwać zanieczyszczenia z praktycznie każdej powierzchni – kamienia, metalu, drewna, ceramiki czy papieru. Zaletami oczyszczania laserowego są: całkowita eliminacja powstawania szkodliwych substancji (ograniczenie destrukcyjnego wpływu zabiegu na czyszczony obiekt), bezpyłowość zabiegu, brak oddziaływania mechanicznego i chemicznego na czyszczone podłoże (metoda bezkontaktowa), selektywność (wybiórcze usuwanie poszczególnych warstw pokrywających daną powierzchnię), szybkość (wydajność pracy lasera może wynieść do 10 m² na godzinę), wszechstronność (można oczyszczać tworzywa sztuczne, ceramikę metal, drewno, tkaniny, papier czy zabytkowe obiekty wielomateriałowe).

7. *Sposoby zabezpieczania dzieł sztuki przed korozją biologiczną*

PAMIĘTAJ!

**Profilaktyka jest łatwiejszym i często tańszym rozwiązaniem,
aniżeli usuwanie skutków niekorzystnych zdarzeń,
którym nie udało się zapobiec!**

Skutecznie przeprowadzony proces oczyszczania zabytkowych obiektów z zanieczyszczeń pochodzenia mikrobiologicznego powinien być kontynuowany poprzez ich ochronę po tego rodzaju zabiegu. Kluczowymi z punktu widzenia utrzymania prawidłowego stanu zachowania muzealiów i archi-

waliów są warunki środowiska, w jakim się one znajdują po zabiegu dekontaminacji, a szczególnie zachowanie odpowiednich parametrów temperatury i wilgotności powietrza, ograniczenie dostępu światła oraz zanieczyszczeń pyłowych i chemicznych. Należy pamiętać, że:

- stała i niska temperatura umożliwia zachowanie stabilności chemicznej i wyglądu fizycznego obiektu przed długi czas: należy ją jednak dopasować do rodzaju ochranianego obiektu
- wzrost temperatury zwykle zwiększa szybkość zachodzących reakcji chemicznych
- wzrost wilgotności względnej powietrza ponad 65% stymuluje rozwój drobnoustrojów; należy jednak pamiętać, że wilgotność wpływa znacząco na parametry fizyczne obiektu, takie jak jego elastyczność, kruchość, prawidłowy stopień uwodnienia
- zanieczyszczenia atmosferyczne dostarczają wielu groźnych dla zabytkowych obiektów związków chemicznych, które przekształcone w kwasy czy sole mogą powodować niszczenie ochranianych dzieł sztuki
- niesione wraz z powietrzem cząstki aerozoli ziarnistych, włóknistych i biologicznych mogą umożliwiać tworzenie się biofilmu na powierzchni obiektów, co w konsekwencji może doprowadzić do rozwoju nowych lub aktywacji już istniejących, a poddanych inhibicji na skutek działań remediacyjnych, procesów mikrobiologicznego skażenia
- dostęp światła do obiektów zabytkowych, jako czynnika katalizującego reakcje chemiczne, powinien być ograniczany do niezbędnego minimum.



Rekomendowane warunki klimatyczne dla długotrwałego przechowywania materiałów archiwalnych i bibliotecznych *

Rodzaj materiału	Temperatura, °C			Wilgotność względna, %		
	min.	maks.	dopuszczalne wahania dzienne	min.	maks.	dopuszczalne wahania dzienne
Papier, zabezpieczenie optymalne	2	18	± 1	30	45	± 3
Papier - obiekty często udostępniane, powierzchnie magazynowe, które są miejscem pracy personelu	14	18	± 1	35	50	± 3
Pergamin, skóra	2	18	± 1	50	60	± 3
Filmy fotograficzne: czarno-białe, srebrowo-żelatynowe na podłożu acetylocelulozy: albo lub lub		2 5 7	± 2 ± 2 ± 2		20 20 20	± 5 ± 5 ± 5
Filmy fotograficzne: czarno-białe, srebrowo-żelatynowe lub żelatynowo-barwnikowe na podłożu poliestrowym		21	± 2	20	50	± 1
Filmy fotograficzne: kolorowe (chromogeniczne), na podłożu acetylocelulozy: albo lub lub		-10 -3 2	± 2 ± 2 ± 2	20 20 20	50 50 50	± 5 ± 5 ± 5
Płyty szklane: czarno-białe, srebrowo-żelatynowe		18	± 2	30	40	± 5

Rodzaj materiału	Temperatura, °C			Wilgotność względna, %		
	min.	maks.	dopuszczalne wahania dzienne	min.	maks.	dopuszczalne wahania dzienne
Odbitki fotograficzne na papierze: czarno-białe, srebrowo-żelatynowe, diazo lub srebrowo-barwnikowe		18	± 2	30	50	± 5
Odbitki fotograficzne na papierze: kolorowe (chromogeniczne)		2	± 2	30	40	± 5
Odbitki fotograficzne na papierze: wszystkie inne techniki		-3	± 2	30	50	± 5
Mikrofilmy czarno-białe, srebrowo-żelatynowe na podłożu acetylocelulozy: albo		2	± 2	20	50	± 5
lub		5	± 2	20	40	± 5
lub		7	± 2	20	30	± 5
Płyty gramofonowe (szelakowe, acetylocelulozowe, winylowe)	16	20	± 2	30	40	± 5
Taśmy magnetyczne (data, audio, wideo) na bazie poliestru: albo	8	11	± 2	15	50	± 5
lub	8	17	± 2	15	30	± 5
lub	8	23	± 2	15	20	± 5
Inne nośniki magnetyczne	12	18	± 2	30	40	± 1
Dyski optyczne	-10	23	brak danych	20	50	± 1

* wg załącznika B normy ISO 11799 *Informacja i dokumentacja – Zalecenia dotyczące warunków przechowywania materiałów archiwalnych i bibliotecznych*.

8. *Ochrona przed zagrożeniami mikrobiologicznymi pracowników muzeów i pracowni konserwacji zabytków*

W naukowym piśmiennictwie można znaleźć wiele propozycji wartości dopuszczalnych stężeń szkodliwych czynników mikrobiologicznych w środowiskach, w których są przechowywane zabytkowe obiekty, tj. w muzeach, bibliotekach i archiwach. W proponowanych normatywach higienicznych dla tego typu specyficznych środowisk uwzględnia się nie tylko skutki zdrowotne wywołane oddziaływaniem czynników mikrobiologicznych na ludzi, lecz również ich wpływ na zabytkowe obiekty. Dostępne w piśmiennictwie przedmiotu wartości są następujące:

- agenda Włoskiego Ministerstwa Kultury i Sztuki (MiBAC) zaproponowała wartości progowe wyznaczające poziom ryzyka: dla bakterii heterotroficznych ich stężenia powinny być mniejsze niż 750 jtk/m^3 i dla grzybów – mniejsze niż 150 jtk/m^3
- propozycje francuskie (m.in. Francuskiej Dyrekcji Archiwów Państwowych) sugerują, że bezpieczne stężenie aerozolu grzybowego nie powinno przekraczać $100 - 120 \text{ jtk/m}^3$; po przekroczeniu tej wartości zbiory powinny być poddane dezynfekcji
- według Holenderskiego Ministerstwa Dziedzictwa Kulturalnego, jeżeli stężenia grzybów w archiwach mieszczą się w zakresie od 0 do 25 jtk/m^3 , to ich wnętrza należy uznać za niezanieczyszczone mikrobiologicznie; od 25 do 100 jtk/m^3 – występowanie źródeł emisji zanieczyszczeń jest możliwe; od 100 do 1000 jtk/m^3 – w danym wnętrzu istnieje źródło mikrobiologicznych zanieczyszczeń i występowanie grzybów jest często obserwo-

wane na zgromadzonych obiektach; stężenia ponad 1000 jtk/m³ świadczą o istnieniu aktywnego źródła zagrzybienia w pomieszczeniu. Wymienione tu wartości liczbowe odnoszą się do mieszaniny różnych szczepów grzybowych. Jeśli w danym wnętrzu wykryty został tylko jeden gatunek grzyba, to jego stężenie na poziomie 25 – 100 jtk/m³ wskazuje na skażenie obiektów.

Na tym tle propozycje polskich badaczy przedstawiają się następująco: Cieplik (1997) proponuje, by wartości dopuszczalnych stężeń ustalać w zależności od składu gatunkowego bioaerozoli i zakłada, że maksymalne stężenie nie powinno przekraczać 150 jtk/m³, jeśli bioaerozol jest mieszkanką kilku gatunków grzybów lub 50 jtk/m³, jeżeli w danym wnętrzu występuje tylko jeden gatunek drobnoustrojów. Jednocześnie jako dopuszczalne traktowane jest stężenie 500 jtk/m³, jeśli grzyby należą do drobnoustrojów typowych dla powietrza atmosferycznego, np. *Alternaria* lub *Cladosporium*. Piotrowska i wsp. (2006) oraz Karbowska-Berent i wsp. (2011) proponują przyjąć stężenie aerozolu grzybowego na poziomie 200 jtk/m³ jako wartość graniczną sygnalizującą istnienie w powietrzu bibliotek i archiwów problemu wilgoci lub występowanie wewnętrznych źródeł mikrobiologicznych zanieczyszczeń.



9. *Piśmiennictwo uzupełniające*

Art, Biology, and Conservation: Biodeterioration of Works of Art (2004) Red. R.J. Koestler, V.H. Koestler, A.E. Charola, F.E. Nieto-Fernandez. Nowy Jork, Yale University Press.

Borowski M., Czajka A., Michaś A. (2011) *Zasady postępowania z materiałami archiwalnymi: ochrona zasobu archiwalnego*. Warszawa, Naczelna Dyrekcja Archiwów Państwowych.

Cieplik Z. (1997) *Zagrzybenie księgozbioru Biblioteki Polonistycznej Wydziału Filologicznego Uniwersytetu Śląskiego*. Studia Bibliologiczne, 10, s. 107-119.

Ciferri O., Tiano P., Mastromei G. (2000) *Of microbes and art. The role of microbial communities in the degradation and protection of cultural heritage*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Cifferi O. (1999) *Microbial degradation of paintings*. Applied and Environmental Microbiology, 65, s. 879-885.

Dutkiewicz J., Górny R.L., Zapór L. (2012) *Czynniki zagrożeń biologicznych w środowisku pracy*. Wyd. 4 uaktualnione. Warszawa, CIOP-PIB.

Dutkiewicz J., Śpiewak R., Jabłoński L., Szymańska J. (2007) *Biologiczne czynniki zagrożenia zawodowego. Klasyfikacja, narażone grupy zawodowe, pomiary, profilaktyka*. Lublin, IMW.

EU-OSHA – European Agency for Safety and Health at Work (2007) Expert forecast on emerging biological risks related to occupational safety and health, European risk observatory report. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.

Flieder F., Capderou C. (1999) *Sauvegarde des collections du patrimoine: la lutte contre les détériorations biologiques*. Paryż, CNRS Editions.

Górny R.L., Cyprowski M., Ławniczek-Wałczyk A., Gołofit-Szymczak M., Zapór L. (2011) *Biohazards in the indoor environment – a role for threshold limit values in exposure assessment*. W: Management of indoor air quality. Red. M.R. Dudzińska. Leiden, CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, s. 1-20.

Gutarowska B. (2012) *Ochrona przed mikrobiologiczną biodeteriacją obiektów muzealnych, archiwalnych i bibliotecznych*. Łódź, Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii, Politechnika Łódzka.

Harkawy A., Górny R.L., Ogierman L., Wlazło A., Ławniczek-Wałczyk A., Niesler A. (2011) *Bioaerosol assessment in naturally ventilated historical library building with restricted personnel access*. Annals of Agricultural and Environmental Medicine, 18(2), s. 323-329.

Karbowska-Berent J., Górny R.L., Strzelczyk A.B., Wlazło A. (2011) *Microbial quality in selected Polish libraries and archives*. Building and Environment, 46, s. 1872-1879.

Mandrioli P., Caneva G., Sabbioni C. (2003) *Cultural heritage and aerobiology. Methods and measurement techniques for biodeterioration monitoring*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

MIBAC – the Italian Ministry of Cultural Heritage (2001) Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei, Ambito VI. D. Lgs. 112/1998 (art. 150, comma 6): Gazzetta Ufficiale, 244(Suppl.), 34–43.

Parchas M.-D. (2008) *Comment faire face aux risques biologiques?* Paryż, Direction des Archives de France.

Piotrowska M., Zielińska-Jankiewicz K., Kozajda A., Gutarowska B. (2006) *Zanieczyszczenie powietrza grzybami strzępkowymi w archiwach i bibliotekach. Ochrona przed Korozją*, 9s/A, s. 176-179.

Sterflinger K. (2010) *Fungi: their role in deterioration of cultural heritage*. Fungal Biology Reviews, 24, s. 47-55.

Strzelczyk A.B., Karbowska-Berent J. (2004) *Drobnoustroje i owady niszczące zabytki i ich zwalczanie*. Toruń, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.

Strzelczyk-Brąszkiewicz A.B. (2012) *Biodeterioration of historic objects by microorganisms and insects. Prevention and control*. Toruń, Wydawnictwo Adam Marszałek.

Zyska B. (1996) *Biologia książki, cz. 1*. Katowice, Wojewódzka Biblioteka Publiczna.

Zyska B. (1997) *Biologia książki, cz. 2*. Katowice, Wojewódzka Biblioteka Publiczna.

Zyska B., Żakowska Z. (2005) *Mikrobiologia materiałów*. Łódź, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej.

10. *Normy i regulacje prawne*

Dyrektywa 2000/54/WE Parlamentu Europejskiego oraz Rady z dnia 18 września 2000 r. dotycząca ochrony pracowników przed ryzykiem związanym z narażeniem na czynniki biologiczne w miejscu pracy. OJEC, L. 262/21, z 17.10.2000, s. 21-45.

Ustawa z dnia 14 lipca 1983 r. o narodowym zasobie archiwalnym i archiwach. DzU 2006, nr 97, poz. 673, ze zm.).

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki. DzU nr 81, poz. 716.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 lutego 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki. DzU nr 48, poz. 288.

PN-ISO 11798:2005 *Informacja i dokumentacja – Trwałość i wytrzymałość pisma, druku i kopii na papierze. Wymagania dotyczące badań.*

PN-ISO 11108: 2001 *Informacja i dokumentacja – Papier archiwalny – Wymagania dotyczące trwałości i wytrzymałości.*

PN-ISO 11799: 2006 *Informacja i dokumentacja – Zalecenia dotyczące warunków przechowywania materiałów archiwalnych i bibliotecznych.*

PN-EN ISO 9706: 2001 *Informacja i dokumentacja – Papier przeznaczony na dokumenty – Wymagania dotyczące trwałości.*

PN-ISO 14416: 2009 *Informacja i dokumentacja – Wymagania dotyczące oprawy książek, czasopism, wydawnictw ciągłych i innych dokumentów papierowych przeznaczonych do użytku w archiwach i bibliotekach. Metody i materiały.*

PN-EN ISO 9706:2001 *Informacja i Dokumentacja – Papier przeznaczony na dokumenty. Wymagania dotyczące trwałości i wytrzymałości.*

ISO 16245 *Information and documentation – Boxes, filecovers and other enclosures made from cellulosic materials, for storage of paper and parchment documents.*