

dr inż. Jerzy Karyś¹⁾
ORCID: 0000-0001-6222-8666

Czynniki mikrobiologiczne a profilaktyka i rewaloryzacja budynków mieszkalnych

The microbiological agents and the prophylaxis and revalorization in habitable buildings

DOI: 10.15199/33.2021.05.01

Streszczenie. Podatność obiektów budowlanych na czynniki mikrobiologiczne jest duża i dotyczy wszystkich konstrukcji, zarówno pracujących w warunkach podwyższonej wilgotności, jak i w temperaturze optymalnej dla egzystencji człowieka. Nadmierny rozwój tych czynników związany jest z błędami projektowania, wznoszenia i eksploatacji budynków. Analiza koincydencji trwałości obiektów i zdrowia mieszkańców z fizjologią i morfologią czynników pozwala na prowadzenie określonej profilaktyki i rewaloryzacji mikrobiologicznej w budynkach.

Słowa kluczowe: budynek; mikrobiologia; profilaktyka; rewaloryzacja.

Abstract. Suppleness of building objects on microbiological agents is big and concerns all of constructions, which work in the high moisture and in the optimum temperature for the man. Excessive development of microbiological agents is connected the first of all with bad projecting, realization or exploitation of buildings. The analysis of the coincidence of the durability of objects and the health of tenants with physiology and morphology these agents permits on the conducting the prophylaxis and microbiological revalorization in buildings.

Keywords: building; microbiology; prophylaxis; revalorization.

Pomimo rozwoju nauki i techniki, w obiektach budowlanych, zarówno starych, jak i nowych, mamy często do czynienia z procesami biologicznymi, a w decydującej mierze mikrobiologicznymi, mającymi wpływ zarówno na zdrowie użytkowników, jak i na trwałość obiektów. Wymiary mikroorganizmów mieszczą się w skali mikrometrycznej, a wymiary wirusów określane są w skali nanometrycznej. Ich duża zdolność akomodacji do warunków otoczenia sprawia, że mogą kolonizować różne materiały, zarówno organiczne, jak i nieorganiczne. Obecnie w skali mikrometrycznej dominują grzyby pleśniowe, które są najbardziej szkodliwe dla człowieka. W nadmiernej ilości występują one w 20 – 45% budynków wzniesionych w Europie i USA [2, 7].

Proces degradacji konstrukcji wywołany przez czynniki biologiczne uzależniony jest od ich metabolizmu – pierwotnego (materiał jako źródło pożywienia) i wtórnego (materiał jako środowisko narażone na wydzieliny czynników biologicznych) oraz od warunków sprzyjających życiu biologicznemu (tempera-

tura, wilgotność środowiska, w tym wilgotność wtórna powodowana również przez czynniki mikrobiologiczne, dostęp tlenu, pH podłoża). Oto klasyfikacja etiologiczna tych czynników: **1. Bakterie (Bacteria); 2. Glony (Algae)** 2.1. Zielonice (*Chlorophyta*), 2.2. Brunatnice (*Chrysochyta*); **3. Grzyby (Fungi)**, a wśród nich następujące typy: *Ascomycota*, *Basidiomycota*, *Chytridiomycota*, *Glomeromycota*, *Microspora*, *Zygomycota*, *Neocallimastigomycota*, *Blastocladiomycota* oraz jeden nieprzypisany [8]. Popularnie spotykane w budynkach są następujące typy: 3.1. Sprzężniaki (*Zygomycota*); 3.2. Workowce (*Ascomycota*); 3.3. Podstawczaki (*Basidiomycota*); **4. Porosty (Lichenes)**.

Ponadto w obiektach budowlanych mogą występować inne czynniki biologiczne, spoza skali mikrometrycznej: **mchy**, paprocie, rośliny nasienne, owady: chrząszcze, motyle, błonkówki, termity oraz odmienne organizmy zwierzęce: małże, skorupiaki, nicienie, roztocza.

Grzyby domowe nie zawierają chlorofilu i nie przetwarzają CO₂ z powietrza, muszą więc żywić się substancją organiczną. Dzieli się na pasożyty i saprofity, ale wyróżnia się również półpasożyty i półsaprofity. Grzyby domowe wymagają dużej ilości pożywienia, na-

tomiasz grzybom pleśniowym wystarczy mała ilość. Oznaką infekcji jest kielkowanie zarodników.

Optymalne warunki do rozwoju grzybów, w tym przede wszystkim grzybów domowych, uzależnione są od: obecności substancji pokarmowych; wilgotności podłoża; temperatury powietrza; dostępu tlenu z powietrza; odczynu pH podłoża; dostępu lub braku światła.

Skutki działania grzybów domowych na materiały budowlane i ludzi

Ważnym skutkiem działania grzybów domowych na konstrukcje budowlane wykonane z materiałów organicznych jest zmniejszenie nośności, a co najmniej przydatności do użytkowania konstrukcji. Struktura zniszczonego drewna wskazuje na działanie określonego gatunku grzyba domowego. Z tego względu wyróżnia się następujące typy rozkładu drewna (ocena makroskopowa):

- **pryzmatyczny**, objawiający się pekaniem klockowym;
- **proszkowaty**, co można stwierdzić przez kruszenie i rozcieranie w palcach;
- **jamkowy**, kiedy stwierdzamy istnienie białych plam, z których drewno łatwo wypada;

¹⁾ Ekspert i rzeczoznawca Polskiego Stowarzyszenia Mykologów Budownictwa; pozzwroclaw@wp.pl

- **plytkowy**, kiedy drewno łatwo opada się na cienkie płytki, zgodnie ze słojami rocznymi.

Zmiana właściwości fizycznych porażonego drewna objawia się ubytkiem masy, zmianą barwy, struktury, zapachu oraz zmniejszeniem gęstości objętościowej. W przypadku konstrukcji budowlanych bardzo istotna jest zmiana właściwości mechanicznych porażonego drewna i innych materiałów organicznych. Największe zniszczenia notowane są w przypadku wystąpienia grzyba domowego właściwego (*Serpula lacrymans*), który w skrajnych przypadkach powoduje całkowitą utratę wytrzymałości mechanicznej drewna po półrocznym okresie ekspozycji. Zbliżone skutki związane z degradacją drewna notowane są w przypadku pojawienia się grzyba domowego białego (*Poria vaporaria*) i grzyba piwnicznego (*Coniophora puteana*).

Produkty metabolizmu wtórnego grzybów, bakterii, glonów, porostów i mchów działają również negatywnie na materiały nieorganiczne (zagrożenie korozyjne). Grzyby wytwarzają takie metabolity, które powodują zachodzenie korozji węglanowej i kwasowej, powstanie CO₂, a następnie kwasu węglowego oraz kwasów organicznych. Proces ten występuje z udziałem roztworu związków chemicznych. Niezbędna jest więc podwyższona wilgotność podłoża, którą zapewnia woda opadająca w przypadku powierzchni zewnętrznych i woda kondensacyjna w przypadku powierzchni wewnętrznych lub przekrojów przegród budowlanych. Korozja węglanowa dominuje w środowisku wewnętrznym, natomiast w środowisku zewnętrznym mamy do czynienia przede wszystkim z korozją mrozową i ługującą, która pojawia się w wyniku działania miękkiej wody opadowej na związki wapniowe, głównie na portlandyt Ca(OH)₂.

Grzyby tworzące się w warunkach mniej korzystnych z punktu widzenia temperatury i wilgotności otoczenia wytwarzają dużą ilość kwasów organicznych: jabłkowego; octowego; malonowego; bursztynowego, które wykazują dużą agresywność względem tworzyw wapiennych, cementowych i cementopodobnych. Produktami korozji są nierozpuszczalne octany wapniowe lub inne wy-

mywalne produkty zachodzącego procesu dysocjacji [1, 3, 6].

Margiel (CaCO₃) zawarty w ceramice czerwonej, popularnie stosowanej w budownictwie, również podlega korozji węglanowej. Ma ona wówczas charakter lokalny (punktowy) i może być wzmacniana korozją mrozową. Skutkiem tego procesu jest odpadanie tynków czy degradacja gzymsów w okolicach rynien i rur spustowych.

Działanie grzybów domowych na ludzi może mieć charakter pierwotny (bezpośredni) i wtórny (pośredni). **Działanie pierwotne** polega na wpływie na człowieka elementów grzyba i stworzonego przez grzyb środowiska (nadmierna wilgotność). **Działanie wtórne** związane jest z metabolizmem grzybów i rozkładem substancji budowlanej. Może to być drażniący zapach, jako skutek rozkładu białka oraz tworzenia się aldehydów i ketonów, albo też bezpośrednie działanie zarodników powodujących złe samopoczucie lub odczyn alergiczny oraz nieregularność oddychania, powodującą niedotlenienie organizmu. Inne objawy to zaburzenia żołądkowe, nadwrażliwość ogólnoustrojowa, anemia. Odporność organizmu człowieka na negatywne działanie grzybów jest zróżnicowana i ma charakter odporności osobniczej.

Właściwości grzybów pleśniowych

Grzyby pleśniowe, dominujące obecnie w budownictwie, nazywane są również grzybami strzępkowymi. Większość grzybów pleśniowych należy do grupy saprofitów i pasożytów. Są organizmami tlenowymi, ale popularnie występujące w budynkach gatunki *Fusarium* i *Mucor* mogą rozwijać się również w warunkach beztlenowych. Optymalna temperatura wzrostu wynosi 20 – 35°C. Znoszą jednak również temperaturę od –12°C do 62°C [2, 3, 6]. Najlepiej rozwijają się w środowisku o pH = 5 – 6. Występują jednak i takie gatunki, które mogą rozwijać się przy pH = 1 – 10, a nawet nieco wyższym, ponieważ jednym z produktów metabolizmu grzybów są kwasy organiczne, które pozwalają grzybom na neutralizację środowiska alkalicznego. Wyjątek stanowią dermatofity, w przypadku których optymalna wartość

pH = 7. Światło ma ograniczony wpływ na rozwój grzybów pleśniowych, ale w niektórych przypadkach może stwarzać procesem rozwoju [2, 3, 6, 9].

Głównym czynnikiem wpływającym na wzrost grzybów pleśniowych jest zawartość wody w podłożu. Najefektywniej rozwijają się przy tzw. aktywności wody (a_w) w granicach 0,98 – 0,99. Natomiast minimalna wartość tego parametru wynosi 0,6 – 0,7. Grzyby pleśniowe wykazują więc dużą zdolność akomodacyjną, co umożliwia im przetrwanie w niekorzystnych warunkach środowiskowych.

Degradacja obiektów w wyniku działania grzybów pleśniowych

Korozja o charakterze mikrobiologicznym może mieć różny mechanizm:

- a) może to być biodegradacja;
- b) korozja wzbudzona czynnikami biologicznymi wtórnymi;
- c) obrastanie powierzchni materiałów.

Biodegradacja asymilacyjna dotyczy organicznych materiałów budowlanych. Grzyby pleśniowe rodzajów *Alternaria*, *Penicillium* i *Aspergillus* mogą powodować tzw. siniznę drewna, czego skutkiem są przebarwienia i pogorszenie jego jakości. Powoduje ona kumulację wody w materiale i stwarza warunki do rozwoju np. grzybów domowych. Nieorganiczne materiały budowlane ulegają biodegradacji dysymilacyjnej. Procesy te prowadzą do wzrostu rozpuszczalności składników materiału na skutek tworzenia się związków wapnia, glinu, krzemu, żelaza, manganu i magnezu lub rozpuszczalnych soli. Razem z korozją ługującą i mrozową wywołują powstawanie wysoleń i pękanie tynków [3, 6, 7, 8].

Obrastanie może powodować przekroczenie stanu nośności elementów wykonanych z materiałów organicznych i co najmniej przekroczenie stanu zdolności do użytkowania konstrukcji wykonanych z innych materiałów. W przypadku materiałów organicznych istnieją 3 stopnie degradacji podłoża, związane ze zmniejszeniem ich wytrzymałości na rozciąganie podczas zginania lub grubości elementu [3]. Ostatecznym kryterium kwalifikacji wszystkich konstrukcji jest normowa ocena ich nośności i przydatności do użytkowania.

Działanie grzybów pleśniowych na ludzi

Działanie to odbywa się drogą oddechową, pokarmową lub skórą. Szczególne zagrożenie stwarzają aerozole będące komplementarnym nośnikiem części grzybni, zarodników i metabolitów [3, 7]. Większość grzybów powoduje zakażenia tylko u osób ze słabym układem immunologicznym. Czynnikiem destruktywnym jest czas ekspozycji. Grzyby pleśniowe mogą być przyczyną mikoz (grzybic), alergii, miktotoksykozy, a także zespołów chorobowych związanych z budownictwem. Grzyby pleśniowe stanowią także alergeny inhalacyjne. Alergia na te organizmy dotyczy 3–40% populacji europejskiej [2]. Skutki to astma oskrzelowa, nieżyt błony śluzowej nosa, zapalenia spojówek, zapalenia skóry, zapalenie pęcherzyków płucnych [7, 10, 11]. Ustępują po zakończeniu narażenia, ale po ponowieniu stabilizują stan chorobowy.

Na organizm człowieka wpływa również glukan (składnik ściany komórkowej grzybów). W środowisku powietrznym może powodować podrażnienie oczu i gardła, kaszel i swędzenie skóry [7, 11]. W budynku mogą się jeszcze znajdować inne lotne związki organiczne o charakterze zapachowym – pochodne alkoholi, aldehydów, estrów, ketonów oraz węglowodorów aromatycznych. Dolegliwości związane z wydzielaniem przez grzyby związków lotnych to bóle i zawroty głowy, zapalenie i podrażnienie gardła, suchy kaszel, trudności w koncentracji. Objawy te ustępują po zaprzestaniu narażenia [7, 11].

Identyfikacja grzybów pleśniowych prowadzona jest przez laboratoria mikrobiologiczne, a środki zaradcze i ich aplikacja należą do wyspecjalizowanych służb inżynierskich.

Glony i porosty

Glony (*Algae*) stanowią poważny problem na elewacjach budynków, nie tylko ze względów estetycznych, ale również dlatego, że pojawiająca się z nimi duża retencja wody powoduje korozję mrozową i ługującą. Dominują one w budynkach ocieplonych, przy dużym zakrzewieniu w otaczającym środowisku. W komórkach zawierają barwniki – na obiektach budowlanych

przeważnie chlorofile, barwiące na zielono.

Porosty (*Lichenes*), to organizmy składające się z komórek glonów i grzybów. W budownictwie występują najczęściej wspólnie z glonami i grzybami pleśniowymi. Porosty zbudowane są z komórek sinic lub zielenic i grzybów przeważnie typu *Ascomycota*. Są wytrzymałe na skrajne warunki ciepłe i wilgotnościowe. W budownictwie najpopularniej występują gatunki rodzaju *Verrucaria* i *Dermatocarpon*.

Glony i porosty są czułe na zanieczyszczenia, dlatego stanowią wskaźnik czystości środowiska naturalnego. Ich identyfikacja podlega służbom mikrobiologicznym, a środki zaradcze służbom inżynierskim. Podobnie należy traktować **mchy** (*Musci*) powstające w miejscach o bardzo dużym zawilgoceniu i komasacji pożywienia.

Bakterie

W budynkach o zwiększonym zawilgoceniu lub po działaniu wód powodziowych występują również bakterie. Pożywienie zdobywają bezpośrednio z materiału organicznego lub znacznie rzadziej w wyniku chemosyntezy i fotosyntezy. Bakterie *Thiobacillus ferroxidans*, *Thiobacteria denitrificans*, *Thiooxidans* powodują przejście związków siarki w kwas siarkowy, wywołując korozję siarczanową tworzyw cementowych. Bakterie urolityczne ze związkami amonowymi tworzą CO₂, który w tym środowisku przechodzi w agresywny Ca(HCO₃)₂. Identyfikacja i usuwanie bakterii należy do służb medycznych. Mogą jednak powodować lokalne ubytki materiałowe i wówczas potrzebna jest konsultacja inżynierska. Bakterie mogą być przyczyną tworzenia się i replikowania wirusów bakteryjnych (bakteriofagów). **Wirusy** (*Virales*) nie mają własnych układów enzymatycznych związanych z procesami energetycznymi i syntezą białek, dlatego replikują się jedynie w żywych komórkach. Podstawową formą walki z nimi są szczepienia ochronne zwiększające odporność organizmu ludzkiego na skutki infekcji. Ze względu na trudności w zwalczaniu wirusów, identyfikacja oraz proces usuwania ich w budynkach należy do służb medycznych.

Profilaktyka dotycząca obiektów

W odniesieniu do wszystkich czynników mikrobiologicznych niezbędne działania profilaktyczne można sprowadzić do następujących przedsięwzięć:

a) **na etapie projektowania** jest to konieczność uwzględnienia zagadnień fizyki budowli [3, 8.], tymczasem wymagania normatywne w Polsce [12] nie są jeszcze doskonałe. Ponadto wnikliwa powinna być analiza zagadnień wilgotnościowych panujących na danym terenie. Niezbędna jest też pogłębiona analiza zagadnień materiałowych oraz znajomość konstruowania przekroju przegród budowlanych, szczególnie warstwowych;

b) **na etapie wykonywania obiektów** należy respektować zalecenia projektowe, szczególnie w odniesieniu do zagadnień fizyki budowli, np. dobrej jakości folie nie mogą być stosowane zamiennie, jeśli przy tej samej grubości różnią się oporem dyfuzyjnym;

c) **na etapie eksploatacji** konieczne jest traktowanie obiektu jako niezmiennego całości (istnieje więc konieczność remontów) oraz rozpatrywanie wszelkich zmian z niezwykłą wnikliwością.

Mikrobiologiczna rewaloryzacja obiektów

Rewaloryzacja dotyczy obiektów zarówno starych, jak i nowych, w których pojawiły się czynniki mikrobiologiczne. W pierwszym kroku powinna być wykonana **rzetelna ekspertyza mykologiczno-budowlana, a nie tylko mykologiczna**. Ekspertyza ta musi zawierać dokładną diagnostykę wilgotnościową i zinwentaryzowane mostki cieplne [3, 4]. Wartość izolacyjną przegród budowlanych należy sprawdzić na podstawie „punktu pleśniowego” obliczonego jako punkt rosy + 3°C. Należy dokonać podziału uszkodzonych konstrukcji w skali trzostopniowej, która wyklucza dalszą eksploatację konstrukcji przy stopniu 3 [3]. Prace dezynfekcyjne zaleca się prowadzić z wykorzystaniem środków biochronnych (do zabezpieczenia powierzchni) lub biobójczych (do zwalczania czynników mikrobiologicznych), posiadających tzw. pozwolenie Urzędu Rejestracji Produktów Leczni-

czych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych. Stosowane są obecnie środki solne, wodorocieńczalne, rozpuszczalnikowe, oleiste, dekoracyjno-ochronne, dyspersje, impregnaty, ale również techniki impregnacyjne, termiczne, promieniowania γ . Środki te bazują na nowych substancjach czynnych w porównaniu z tymi sprzed piętnastu lat [5]. Wykazują właściwości grzybobójcze, ale także owadobójcze i ogniochronne.

Podsumowanie

Czynniki mikrobiologiczne mają znacznie bardziej zły wpływ na obiekty budowlane i zdrowie ich użytkowników niż wskazuje na to proponowana przez Prawo budowlane profilaktyka konstrukcyjna, materiałowa i ekologiczna. Sprowadzanie zagadnienia do spełnienia jedynie wymagań § 315 – 322 i załącznika nr 2 do Prawa budowlanego [12] może być niekiedy zawodne ze względu na jego złożoność z punktu widzenia zasad fizyki budowlanej i projektowania przegród budowlanych.

Każdy z analizowanych czynników mikrobiologicznych może powodować straty materiałowe i ekologiczne w budynkach, ale **największe niebezpieczeństwo stwarzają grzyby pleśniowe** przez swoje zdolności akomodacyjne, łatwość zdobywania pożywienia (oligotrofizm), a także ze względu na współudział w morfologii i rozwoju innych organizmów, takich jak grzyby domowe, glony, porosty, bakterie, wirusy. Grzyby pleśniowe są mikroorganizmami dominującymi w obiektach budowlanych i niebezpiecznymi technicznie przez działania pierwotne (żywienie), ale i wtórne (wynikające z metabolizmu wtórnego). Przy nadmiernym rozwoju, czynniki biologiczne zagrażają

nie tylko trwałości budynku, ale przede wszystkim zdrowiu użytkowników. Profilaktyka związana jest z dbałością o obiekt na każdym etapie realizacji i eksploatacji. Istnieją środki techniczne oraz technologiczne do prawidłowej i szybkiej rewaloryzacji mikrobiologicznej budynków. Ich stosowanie należy powierzać specjalistycznym firmom.

Literatura

- [1] Cwalina Beata. 2008. „Biodeterioration of concrete”. *Architecture Civil Engineering Environment* 4.
- [2] Flannigan Brian, David J. Miller. 2001. *Microbial growth in indoor environments. Microorganisms in home and indoor work environments*. Taylor & Francis, London.
- [3] Karyś Jerzy (red.). 2014. *Ochrona przed wilgocią i korozją biologiczną w budownictwie*. Warszawa, Medium.
- [4] Karyś Jerzy. 2020. „Diagnozowanie wilgoci w budynkach”. *Materiały Budowlane* 3.
- [5] Kobiela Stanisław, Jerzy Karyś. 2011. *Komponowanie środków biochronnych i biobójczych*. XI Sympozjum PSMB, Wrocław – Augustów.
- [6] Karyś Jerzy, Jerzy Ważny. 2004. „Metabolity grzybów pleśniowych”. *Wood* 2.
- [7] Piotrowska Małgorzata, Zofia Żakowska. 2003. „Materiały budowlane źródłem mikroflory pleśniowej w obiektach budowlanych”. *Ochrona przed korozją* nr 10s/A. Zakopane.
- [8] Piotrowska Małgorzata, Zofia Żakowska. 2011. *Badania mikrobiologiczne jako istotny element ekspertyzy mykologiczno-budowlanej*, w: Karyś Jerzy (red.). *Ochrona budynków przed wilgocią i korozją biologiczną*. Monografia nr 3, tom VII, Wrocław.
- [9] Ważny Jerzy. 2007. „Warunki i mechanizm porażenia budynków przez grzyby”. *Ochrona przed korozją*, 7/S. Zakopane.
- [10] Wiszniewska Marta, Jolanta Walusiak, Beata Gutarowska, Zofia Żakowska, Cezary Palczyński. 2004. „Grzyby pleśniowe w środowisku komunalnym i w miejscu pracy – istotne zagrożenie zdrowotne”. *Medycyna Pracy* 55.
- [11] Żukiewicz-Sobczak Wioletta, Kazimierz Imbor. 2012. *Choroby powodowane przez grzyby*. Warsztaty mykologiczno-budowlane PSMB. Wrocław – Brzeg.
- [12] Dz. U. 75, tekst po zmianach z 19 września 2020 r.

Przyjęto do druku: 23.03.2021 r.



ARBOCEL P – The Power of Innovation

- nieograniczone możliwości regulacji konsystencji, – łatwe i szybkie mieszanie,
- zagęszczanie i stabilizacja tynków i farb przy jednoczesnej poprawie aplikacji



Rettenmaier Polska
Sp. z o.o.
Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B
02-366 Warszawa
mobile +48 600 423 423
Tel + 48 22 608 51 00
e-mail: arbocel@jrs.pl

Serdecznie dziękujemy
Panu dr. inż. Mariuszowi Jackiewiczowi,
Prezesowi firmy Visbud-Projekt Sp. z o.o.,
za koordynację merytoryczną tematu wydania
„Naprawa i renowacja obiektów budowlanych”.

Redakcja