

PIONTEK MARLENA*, LECHÓW HANNA**

DETERIORACJA ELEWACJI ZEWNĘTRZNYCH WYWOŁANA BIOFILMEM

Streszczenie

Zewnętrzne elewacje ulegają niszczeniu w wyniku obecności mikroorganizmów, które tworzą na nich czynną warstwę, określaną jako biofilm. Zjawisko prowadzi do zmian w strukturze materiału oraz obniżenia ich wartości użytkowej. Ochrona elewacji zewnętrznych polega na redukowaniu lub eliminowaniu czynników sprzyjających korozji biologicznej. Artykuł stanowi kompendium wiedzy na temat zjawiska deterioracji elewacji wywołanej czynnikami biologicznymi.

Słowa kluczowe: biofilm, deterioracja, elewacje zewnętrzne

WSTĘP

Trwałość elewacji zewnętrznych oraz jak najdłuższe zachowanie odpowiedniej ich estetyki, są dla użytkowników budynku bardzo istotne. Deterioracja (od łacińskiego „*deterior*” – słabszy, gorszy) jest zjawiskiem niepożądanym, związanym z osłabieniem cech użytkowych. Wszystkie materiały techniczne, stosowane na elewacjach (drewno, kamień, klinkier, szkło, aluminium i inne), są narażone na działanie mikroorganizmów, występujących w środowisku naturalnym [Zyska i Żakowska 2005, Gutarowska 2009]. Drobnoustroje *osadzają się na powierzchniach, tworząc skupiska, otoczone ochronną warstwą śluzu, które noszą nazwę biofilmów lub błon biologicznych*. Proces biologicznego niszczenia materiałów jest określany jako biodeterioracja, biokorozja lub korozja biologiczna i ściśle wiąże się z metabolizmem organizmów. Powstanie biofilmu mogą inicjować drobnoustroje należące do jednego lub różnych, pod względem taksonomicznym, gatunków. Najczęściej materiały techniczne kolonizowane są przez: bakterie, sinice, promieniowce, grzyby, glony, mchy i porosty [Gaylarde 2005, Zyska i Żakowska 2005, Piontek i Lechów 2012]. Konstrukcja

* Zakład Ekologii Stosowanej, Instytut Inż. Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski

** doktorantka kierunku inżynieria środowiska, WILiŚ UZ

biofilmu jest bardzo złożona i zwiększa ochronę skupionych w nim organizmów, przed niekorzystnymi czynnikami zewnętrznymi. Z tego względu usunięcie biofilmu jest trudniejsze, niż pojedynczych organizmów [Kołwzan 2011].

Zadziwiające zdolności adaptacyjne mikroorganizmów do zmiennych warunków otoczenia sprawiają, że rozkład materiałów technicznych jest zjawiskiem nagminnym [Żakowska 2006].

Biokorożja dotyczy zarówno elewacji budynków starych, pozbawionych płaszcza ochronnego, jak i nowych z ociepleniem, na których stosuje się cienkowarstwowe tynki mineralne [Piontek i Lechów 2012]. Zjawisko powoduje straty ekonomiczne, zagrożenie budowlane, na skutek osłabienia cech użytkowych materiału oraz zmniejszenie estetyki wizualnej. Widoczne oznaki istnienia biokorożji manifestują się często pod postacią barwnych nalotów (fot. 1), które wywołują barwniki wytwarzane przez komórki organizmów zasiedlających powierzchnię (np. chlorofile, karotenoidy) [Gaylarde i in. 2011].



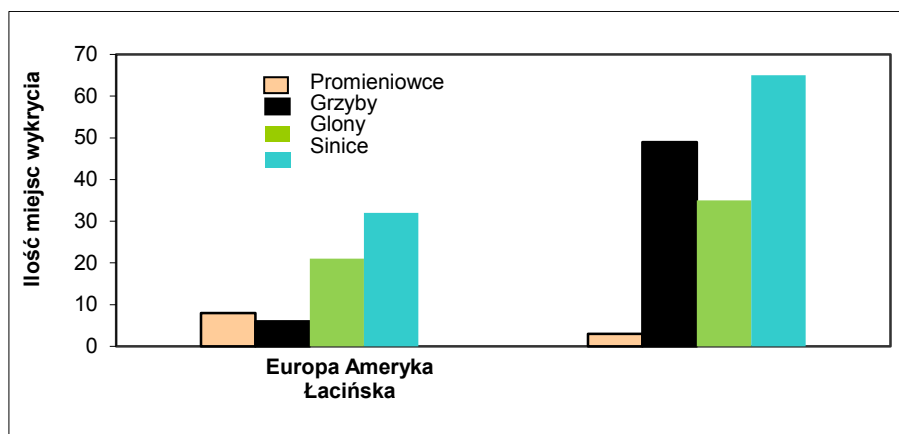
Fot. 1. Przykładowa elewacja z widoczną korożją biologiczną - budynek stołówki do remontu, UZ

Phot. 1. Sample elevation with a visible biological corrosion - canteen building for renovation, University of Zielona Góra

WYNIKI I DYSKUSJA

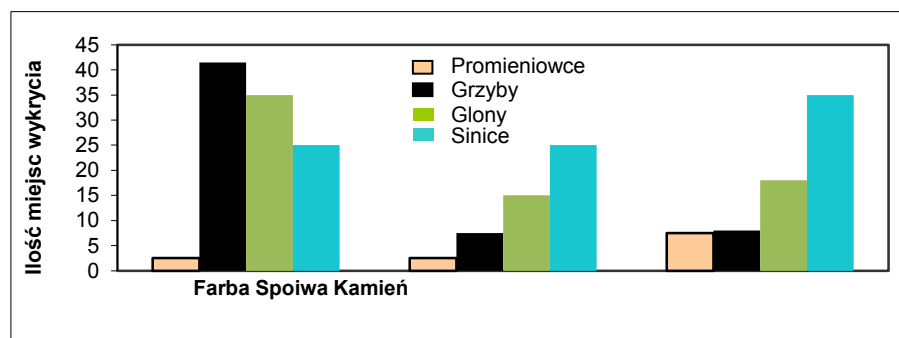
Powstanie biologicznej deterioracji warunkuje szereg czynników. Najważniejszymi z nich są: odpowiednia dla rozwoju mikroorganizmów wilgotność, pH, właściwości fizyko-chemiczne materiału oraz warunki klimatyczne [Warscheid i Braams 2000, Zyska 2001]. Do czynników środowiskowych należy zaliczyć: temperaturę i wilgotność powietrza, prędkość i kierunek wiatru, nasłonecznienie oraz sąsiedztwo zieleni zwiększające emisję zanieczyszczenia biologicznego [Karyś 2010].

Elewacje w zależności od położenia geograficznego i rodzaju materiału są kolonizowane przez grupy organizmów z różnym nasileniem (rys. 1, 2) [Gaylarde i Gaylarde 2005].



Rys. 1. Ilościowe zestawienie miejsc, w których wykryto organizmy z danej grupy jako główny składnik biomasy na budynkach w Europie i Ameryce Łacińskiej [Gaylarde i Gaylarde 2005]

Fig.1. Total number of sites where each microbial group was detected as major biomass on buildings in Europe and Latin America [Gaylarde i Gaylarde 2005].



Rys.2. Porównanie ilościowe miejsc, w których poszczególne grupy mikroorganizmów miały największy udział w biomacie biofilmu utworzonego na farbie, spoiwie oraz kamieniu [Gaylarde i Gaylarde 2005]

Fig.2. Comparison of total number of sites at which each of the various groups of microorganisms was the major biomass in biofilms on paint, composites and stone [Gaylarde i Gaylarde 2005].

Zachodzące w ostatnich latach zmiany klimatyczne, często łagodniejsze zimy oraz wilgotne i ciepłe pory letnie, przyczyniają się do powstania bardziej dogodnych warunków rozwoju biokorozji na elewacjach. W większym stopniu

narażone na biodeteriorację są powierzchnie uszkodzone. Przyczyną wstępnej degradacji materiałów technicznych mogą być zanieczyszczenia, znajdujące się w powietrzu atmosferycznym (agresywne pyły i gazy) oraz kwaśne deszcze [Lorenc i Mazurek 2007]. Mikroorganizmy, wraz z wilgocią, wnikają, przez powstałe szczeliny i pęknięcia, w strukturę materiału, powodując jego naprężenia, a w konsekwencji fizyczne uszkodzenia [Warscheid i Braams 2000, Cwalińska 2003]. Natężenie porażenia biologicznego powierzchni zależy również od porowatości materiału. Drobnoustroje chętnie osiadają w osłoniętych od wiatru wnękach elewacji lub głębokich załamaniach (fot. 2). Intensywność biokolonizacji powierzchni porowatych jest zdecydowanie większa, niż powierzchni gładkich [Gaylarde i Gaylarde 2005].

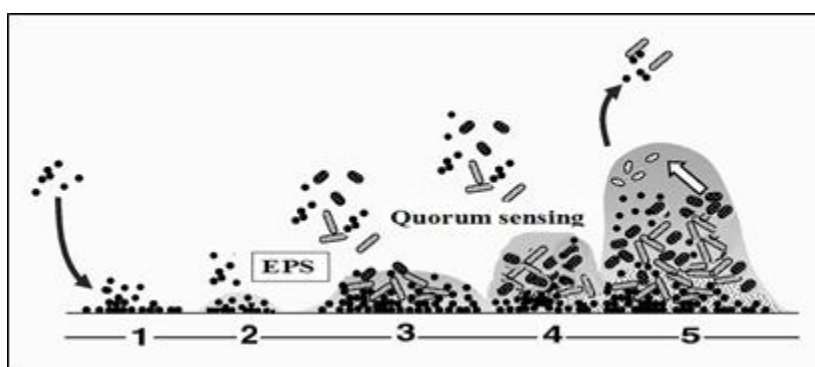


Fot. 2. Załamanie ściany z biokorozją – Hala Sportowa UZ
Phot. 2. The collapse of the walls with biocorrosion – *Sports Hall of UZ*

Najważniejszym czynnikiem inicjującym powstanie biokorozji jest wilgoć w materiale, jak i w otaczającym powietrzu. Wilgotność materiału budowlanego zależy od jego właściwości sorpcyjnych [Karyś i Marszałek 2001]. Ze względu na małe nasłonecznienie, a przez to wyższą wilgotność, najbardziej na biodeteriorację narażone są elewacje północne oraz elewacje niezabezpieczone przed wilgocią. Często przyczyną zawilgocenia fasad są błędy wykonawcze, spowodowane złą obróbką blacharską, niewłaściwym zastosowaniem materiałów wykończeniowych, powodującym brak możliwości akumulowania wilgoci oraz jej oddawania błędami montażu lub nieszczelnościami rynien, zadaszeń i innych elementów mających za zadanie ochronę przed nadmiernym zawilgoceniem [Rogiński 2005]. Dodatkowym czynnikiem potęgującym zjawisko są niedociągnięcia oraz zaniechania izolacji pionowej fundamentów i ścian, powodujące zawilgocenie i wytwarzanie korozyjnych roztworów wodnych związków chemicznych podciąganych z gruntu [Karyś i Marszałek 2001].

Drobnoustroje, kolonizujące elewacje, wykorzystują składniki odżywcze, pochodzące z zanieczyszczeń na powierzchni, a następnie w miarę dostępności, korzystają ze związków zawartych w materiale. Łatwo degradowane są materiały z powodu swojej wartości odżywczej [Zyska 2001]. Materiały techniczne można podzielić na: organiczne i nieorganiczne [Szymański 1997]. W pierwszych (np. drewno) dochodzi do rozkładu substancji organicznej i jej całkowitego przekształcenia na potrzeby pokarmowe mikroorganizmów pod wpływem enzymów, wydzielanych do środowiska zewnętrznego. Materiały nieorganiczne (kamień, zaprawy beton, cegły, szkło, tworzywa sztuczne) są natomiast narażone na korozję pod wpływem wytwarzanych przez drobnoustroje kwaśnych metabolitów (np. kwasu szczawiowego, glukonowego, cytrynowego), które tworzą kompleksy z jonami np. wapna i magnezu, pobieranymi z materiału, przyczyniając się do osłabienia jego struktury [Żakowska 2006, Gutarowska 2009].

Mikroorganizmy tworzą na kolonizowanych powierzchniach błonę biologiczną (biofilm). Proces formowania jest złożony (rys. 3) i rozpoczyna się w momencie osiadania pojedynczych komórek na powierzchni [Czaczyk 2009]. Całość struktury drobnoustroje stabilizują, wytwarzając substancje polimeryczne, tzw. EPS (extracellular polymeric substances). W celu utrzymania kolonii posługują się swoistym sposobem przekazywania informacji, wynikającym z zagęszczenia. W momencie osiągnięcia kworum wysyłają do innych komórek w biofilmie sygnał chemiczny, informujący o stanie i potrzebach kolonii. Ta zdolność porozumiewania się została określona jako „quorum sensing” [Kołwzan 2011].



Rys. 3. Formowanie biofilmu na powierzchniach: 1-adhezja początkowa(odwracalna), 2-adhezja zasadnicza(nieodwracalna), 3-tworzenie mikrokoloni, 4-dojrzewanie biofilmu, 5- migracja [Czaczyk 2009]

Fig. 3. Biofilm formation on surfaces: 1-initial adhesion(reversible), 2- fundamental adhesion(irreversible), 3-creation of microcolonies, 4- maturation of biofilm, 5- dispersion [Czaczyk 2009]

W skupiskach mikroorganizmy wykazują odmienne cechy, niż komórki żyjące w pojedynczej, wolnej postaci [Kołwzan 2011]. Pełnią nowe funkcje, współpracują, przekazując sobie substancje odżywcze oraz otaczają się warstwą wydzielanego przez siebie śluzu [Zyska 2001]. Po osiągnięciu pewnej grubości krytycznej następuje odrywanie się komórek z peryferyjnych części błony biologicznej i przemieszczenie w kierunku nowych powierzchni [Czaczyk 2009].

Poszczególne obszary biofilmu różnią się gęstością, dostępnością substancji organicznych, zawartością tlenu. W związku z tym, organizmy w błonie charakteryzują się różną aktywnością metaboliczną, a nawet jej brakiem. Takie zachowania minimalizują dyfuzję niekorzystnych substancji z zewnątrz (np. środków biobójczych) i zwiększają możliwości przetrwania kolonii [Kołwzan 2011].

Biofilm wpływa na zmiany wyglądu i struktury materiału technicznego (tab. 1) [Cwalina 2003].

Tab. 1. Zmiany wyglądu i struktury kamieni indukowane przez mikroorganizmy [w Cwalina 2003 wg Kumar i Kumar, 1999]

Tab. 1. Microbiologically influenced alterations in the stones appearance and structure [in Cwalina 2003 according to Kumar and Kumar, 1999]

Mikroorganizm Microorganism	Zmiana Alteration
Bakterie autotroficzne <i>Autotrophic bacteria</i>	Czarna skorupa, czarno-brązowe patyny, odwarstwianie, proskowanie Black crust, black-brown patinas, exfoliation, powdering
Bakterie heterotroficzne <i>Heterotrophic bacteria</i>	Czarna skorupa, czarne patyny, odwarstwianie, zmiana koloru Black crust, black patinas, exfoliation, colour change
Promieniowce <i>Actinomycetes</i>	Białawo-szary proszek, patyny, biały wykwit (nalot krystaliczny) Whitish-gray powder, patinas, white efflorescence
Sinice <i>Cyanobacteria</i>	Patyny i warstwy różnego koloru i konsystencji Patinas and sheets of various colours and consistency
Grzyby <i>Fungi</i>	Kolorowe plamy i łaty, odwarstwianie, wżery Coloured stains and patches, exfoliation, pitting
Głony <i>Algae</i>	Patyny i warstwy różnego koloru i konsystencji Patinas and sheets of various colours and consistency
Porosty <i>Lichens</i>	Skorupy, łaty i wżery Crusts, patches and pitting

Powoduje zmianę porowatości, związaną z dyfuzją pary wewnątrz materiału, absorbuje zanieczyszczenia i prowadzi do zmiany warunków tlenowych na beztlenowe w zajmowanym obszarze. Grupy mikroorganizmów w błonie, przyczyniają się w różny sposób do deterioracji materiałów technicznych [Cwalina

2003]. Często powodem niszczenia elewacji są kwasy, wytwarzane jako uboczny produkt oddychania i fotosyntezy organizmów tworzących biofilm. Taką formę biodegradacji wykazują bakterie, np. siarkowe, utleniając składniki pokarmowe zawierające siarkę do kwasu siarkowego, rozkładającego kamień, bądź bakterie nityfikacyjne z wytworzeniem korozyjnego kwasu azotowego [Warscheid 2000]. Deterioracja zainicjowana przez bakterie prowadzi do obniżenia wartości pH w materiale i powstania głębokich zniszczeń w zaprawie oraz cegle klinkierowej [Zyska i Żakowska 2005]. Promieniowce, występujące w symbiotycznym środowisku biofilmu, rozkładają przez wytwarzane enzymy zewnątrzkomórkowe związki organiczne, także o dużych cząsteczkach. Wolne tempo wzrostu promieniowców często przyczynia się do tego, że materiały są atakowane z opóźnieniem (w późniejszych etapach), prowadząc do poważniejszych uszkodzeń niż te, których dokonują np. grzyby [Aleksander 1975]. Te z kolei rozkładając wydzielają kwaśne produkty metaboliczne (np. kwas szczawowy, cytrynowy) do podłoża, powodując zmiany w strukturze materiału i w efekcie, np. kruszenie cegieł i zapraw. Wzrost bakterii i grzybów w biofilmie potęguje obecność sinic, które gromadzą zaadsorbowane związki nieorganiczne, ułatwiając przywieranie cząsteczek stałych z powietrza i wzmacniając w ten sposób strukturę błony. Bakterie, grzyby, sinice i glony są sprawcami powstania przebarwień na ścianach. Biomasa glonów, sinic i grzybów ułatwia wzrost mchów i porostów, które mogą potęgować uszkodzenia powierzchni w skutek ingerencji plechy w strukturę materiału. Porosty, w wyniku przemian metabolicznych wytwarzają biogenne kwasy organiczne i inne czynniki chelatuujące, powodując wystąpienie ubytków, pęknięć oraz wżerów powierzchni. Najbardziej podatne na ich degradujące działanie są minerały węglanowe i krzemiany żelazowo-magnezowe, a najmniej skalenie. Biodegradacji, wywołanej obecnością porostów ulegają także granit i kwarcyt [Warscheid 2000, Cwalina 2003].

WNIOSKI

Osiadanie mikroorganizmów na elewacjach, w sprzyjających warunkach, inicjuje powstanie deterioracji. Proces jest niekorzystny i dotyczy wszystkim materiałów technicznych. Najczęściej powierzchnie kolonizowane są przez: bakterie, promieniowce, grzyby, glony, sinice mchy oraz porosty. Organizmy wpływają na osłabienie właściwości użytkowych materiałów. Przyczyniają się do zmian w strukturze na skutek degradacji związanych z poborem substancji odżywczych z podłoża, bądź wydzielaniem degradujących metabolitów. Prowadzi to do zmian wytrzymałości materiału (pęknięcia, kruszenia, rozwarstwiania, powstania wżerów i ubytków). Widoczne oznaki biodeterioracji manifestują się w postaci nieestetycznych, barwnych nalotów o różnym nasileniu.

Głównym czynnikiem powodującym powstanie biokorozji jest wilgoć, utrzymująca się na powierzchni oraz w materiale technicznym. Brak odpowiedniego zabezpieczenia przed nią, warunki środowiskowe oraz skład chemiczny materiału, odpowiadający drobnoustrojom, potęgują zjawisko.

Mikroorganizmy potrafią formować na powierzchniach biofilmy, które wykazują zwiększoną odporność na działanie niekorzystnych czynników zewnętrznych oraz środków biobójczych. Biofilm stanowi zbiorowisko organizmów, chronionych warstwą wytwarzanych przez nie śluzów. Usunięcie biofilmu jest znacznie trudniejsze, niż miałyby to miejsce w przypadku pojedynczych drobnoustrojów.

Dotychczas stosowane metody w celu zredukowania, a najlepiej całkowitego wyeliminowania deterioracji elewacji przez mikroorganizmy nie przyniosły definitywnego rozwiązania. Dlatego ważne jest dalsze analizowanie tego zjawiska, a w efekcie poprawa skuteczności metod przeciwdziałania.

LITERATURA

1. ALEKSANDER M.; 1975. Ekologia mikroorganizmów. PWN Warszawa.
2. CWALINA B.; 2003. Rola mikroorganizmów w deterioracji naturalnych kamieni budowlanych. *Journal of Polish Mineral Engineering Society*. Vol. 1, 39-48.
3. CZACZYK, K.; 2009. Czynniki warunkujące tworzenie się biofilmów na powierzchniach abiotycznych. Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych. V Konferencja Naukowa Łódź. Politechnika Łódzka, 20-30
4. GAYLARDE, C., C.; GAYLARDE, P.,M; 2005. A comparative study of the major microbial biomass of biofilms on exteriors of buildings in Europe and Latin America. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Volume 55, 131-139.
5. GAYLARDE, C.C.; MORTON, L.H.G.; LOH, K.; SHIRAKAWA, M.A.; 2011. Biodeterioration of external architectural paint films - A review. *International Biodeterioration & Biodegradation* , Nr 3, 1189 -1198.
6. GUTAROWSKA, B.: 2009. Niszczenie materiałów technicznych przez drobnoustroje, Centralna Biblioteka Rolnicza im. M. Oczapowskiego, 2009, <http://www.cbr.edu.pl/relacje/rfn2009/niszczenie.pdf>
7. KARYŚ, J.; 2010. Różnorodne formy korozji biologicznej występujące na elewacjach budynków. *Ochrona przed korozją*. Nr 2 (53), 38-46.
8. KARYŚ, J.; MARSZAŁEK, K.; 2001. Czynniki fizyczne warunkujące porażenie budynków przez grzyby i owady w: J. Ważny, J. Karyś (red), *Ochrona budynków przed korozją biologiczną*, Arkady, 201-218.

9. KOŁWZAN, B.; 2011. Analiza zjawiska biofilmu. *Ochrona Środowiska*; Nr 4, 3-14.
10. LORENC, M., W.; MAZUREK, S.; 2007. Wykorzystać kamień. Studio JASA, Wrocław, 107-114.
11. PIONTEK, M.; LECHÓW H.; 2012. Ocena skuteczności biocydów w zastosowaniach zewnętrznych w budownictwie. *Ochrona przed korozją*. Nr 9s/A, ss 276.
12. ROGIŃSKI, J.; 2005. *Korozja w budownictwie WSZOP Katowice*.
13. SZYMAŃSKI, E.; 1997. *Materiałoznawstwo budowlane, WSiP Warszawa*.
14. WARSCHIED, T.; BRAAMS, J.; 2000. Biodeterioration of stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation, Volume 46*, 343–368.
15. ZYSKA, B.; 2001. *Katastrofy, awarie i zagrożenia mikrobiologiczne w przemyśle i budownictwie, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej*.
16. ZYSKA, B.; ŻAKOWSKA, Z.; (red.); 2005. *Mikrobiologia materiałów, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej*.
17. ŻAKOWSKA, Z.; 2006. Mikroorganizmy w procesie biodeterioracji i biodegradacji materiałów technicznych. *Ochrona przed korozją*. Nr 9s/A, 12-15.

DETERIORATION OF THE EXTERNAL FAÇADE CAUSED BY BIOFILM

S u m m a r y

The external elevations are destroyed as a result of the presence of microorganisms that make them active layer known as a biofilm. This phenomenon leads to changes in the structure of the material and reduce their value. Privacy exteriors is reducing or eliminating factors that contribute to biological corrosion. The article is a compendium of knowledge about the phenomenon of deterioration elevation caused by biological factors.

Key words: biofilms, deterioration, external facades