

dr inż. Monika Dybowska-Józefiak^{1*)}

ORCID: 0000-0003-3913-3364

dr hab. inż. Maria Wesołowska, prof. PBS¹⁾

ORCID: 0000-0001-7914-6077

Intensity of biocorrosion on the surface of plasters made on EPS substrate

Intensywność biokorozji na powierzchni tynków wykonywanych na podłożu EPS

DOI: 10.15199/33.2025.06.08

Abstract. One of the most common solutions for insulating the exterior walls of buildings is the ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*), based on polystyrene. The durability of such a system is estimated at 25 years, but very often a degradation process of varying severity is observed after just a few years. The article deals with the changes occurring on thin-film plasters after prolonged exposure to the external environment in different orientations with respect to the world's sides and the resulting biocorrosion infestation.

Keywords: biocorrosion; plaster coatings; ETICS.

Streszczenie. Jednym z najczęściej stosowanych rozwiązań ocieplenia zewnętrznych ścian budynków jest system ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*), bazujący na styropianie. Trwałość takiego systemu ocenia się na 25 lat, ale bardzo często już po kilku latach obserwuje się proces degradacji o różnym nasileniu. Artykuł dotyczy zmian zachodzących na tynkach cienkowarstwowych, po długotrwałej ekspozycji na środowisko zewnętrzne, w różnych orientacjach względem stron świata i wynikającego z nich zainfekowania biokorozją.

Słowa kluczowe: biokorozja; wyprawy tynkarskie; ETICS.

Expanded polystyrene (EPS) plays a key role during the thermal modernization of buildings. One of the most commonly used solutions for insulating external walls is the ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*), based on EPS [1 ÷ 3]. Its insulating properties, light weight, ease of mechanical processing and low price mean that the share of this material of ETICS insulations performed in Poland is almost 90% [4, 5]. EPS is protected by a thin-coat plaster made on a reinforced adhesive backing. However, despite its many advantages, EPS is susceptible to the growth of microorganisms, which leads to the phenomenon of biocorrosion [6, 7]. The durability of an EPS-based ETICS system is estimated at 25 years, but very often a degradation process of varying severity is observed after just a few years [8]. This process can significantly degrade the durability and aesthetics of the facade, which will consequently require costly renovations [5, 9, 10].

The purpose of this article is a comprehensive analysis of the intensity of biocorrosion on the surface of plasters made on EPS after six years of service. The analysis is based on the results of samples taken on a polygon test stand [4,5]. The influence of the type of plaster and its orientation with respect to the sides of the world was evaluated. The results obtained will allow a better understanding of the mechanisms of biocorrosion and the development of effective methods to prevent this phenomenon [4].

Materials and test methods

For the study, an ETICS system based on EPS70-042 was adopted, with four thin-coat plasters: acrylic (A); mineral (M); silicate (SA) and silicone (SO) of equal texture.

Podczas termomodernizacji budynków kluczową rolę odgrywa ekspandowany polistyren (EPS). Jednym z najczęściej stosowanych rozwiązań ocieplania zewnętrznych ścian jest system ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*), bazujący na EPS [1 ÷ 3]. Jego właściwości izolacyjne, niewielki ciężar, łatwość obróbki mechanicznej i niska cena powodują, że udział tego materiału w wykonywanych w Polsce ociepleniach w systemie ETICS wynosi prawie 90% [4, 5]. EPS jest zabezpieczony cienkowarstwowym tynkiem wykonanym na zbrojonym podkładzie z kleju. Mimo wielu zalet, EPS jest jednak podatny na rozwój mikroorganizmów, co prowadzi do zjawiska biokorozji [6, 7]. Trwałość systemu ETICS na bazie EPS ocenia się na 25 lat, ale bardzo często już po kilku latach obserwuje się proces degradacji o różnym nasileniu [8]. Proces ten może znacznie zmniejszyć trwałość i estetykę elewacji, która w konsekwencji będzie wymagać kosztownych remontów [5, 9, 10].

Celem artykułu jest kompleksowa analiza intensywności biokorozji na powierzchni tynków wykonywanych na EPS po sześcioletnim okresie eksploatacji. Podstawą analizy są wyniki badania próbek pobranych na poligonowym stanowisku badawczym [4, 5]. Ocenie poddano wpływ rodzaju tynku i jego orientację względem stron świata. Uzyskane wyniki badań pozwolą na lepsze zrozumienie mechanizmów biokorozji oraz opracowanie skutecznych metod zapobiegania temu zjawisku [4].

Materiały i metody badań

Do badań przyjęto system ETICS bazujący na EPS70-042 z czterema cienkowarstwowymi wyprawami tynkarskimi: akrylową (A); mineralną (M); silikatową (SA) i silikonową (SO) o jednakowej fakturze.

¹⁾ Bydgoszcz University of Science and Technology

^{*)} Correspondence address: Monika.Dybowska-Jozefiak@pbs.edu.pl

The field test site consists of four walls made of 24 cm thick autoclaved cellular concrete, insulated with 15 cm thick EPS70-042 perimeter insulation. The surface of the plaster coatings was oriented with respect to the four, main directions of the world. Four types of plaster were made on each surface, separated by expansion joint profiles (Photo 1a). The training ground site, located in Bydgoszcz, was operated in the environment for 6 years (from VII 2016 to IV 2022).



Poligonowe stanowisko badawcze składa się z czterech ścian wykonanych z autoklawizowanego betonu komórkowego o grubości 24 cm, izolowanych obwodowo EPS70-042 o grubości 15 cm. Powierzchnia powłok tynkarskich była zorientowana względem czterech, głównych kierunków świata. Na każdej powierzchni wykonano cztery rodzaje tynków oddzielone profilami dylatacyjnymi (fotografia 1a). Stanowisko poligonowe, zlokalizowane w Bydgoszczy, funkcjonowało w środowisku naturalnym przez 6 lat (od VII 2016 r. do IV 2022 r.).

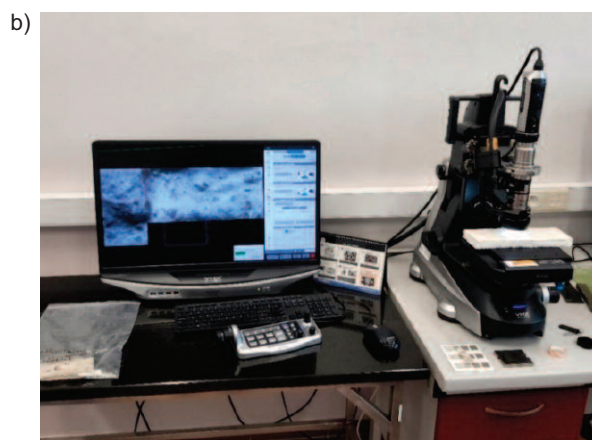


Photo 1. Test stand on the campus of the Bydgoszcz University of Technology during tests with the Keyence Series VHX-7000 microscope (a) field, (b) laboratory

Fot. 1. Stanowisko badawcze: a) poligonowe; b) laboratoryjne na terenie kampusu Politechniki Bydgoskiej podczas badań mikroskopem Keyence Seria VHX-7000

Photo: own archive

Fot. archiwum własne

Macroscopic photographs of plaster surfaces. In order to document and visually assess the development of biocorrosion on the surface of the exposed plasters, macroscopic photographic analysis was carried out at the field site. Photographic documentation was performed periodically. Changes occurring on the surface of plaster samples during their six-year exposure to natural conditions (from 2016 to 2022) were recorded. Already after the first year of operation of the site, symptoms of fouling were observed on selected plaster patches. Symptoms of biological corrosion, in the form of specific tarnishes and discoloration, appeared after two years of exposure to environmental factors. The intensity of the development of biocorrosion showed variation depending on the orientation of the plaster samples in relation to the sides of the world. Macroscopic photographic analysis was a key element in monitoring the progression of bioerosion processes and identifying environmental factors affecting their intensity.

Determination of the intensity of biocorrosion on the plaster surface. After a period of 6 years, a detailed microscopic analysis of samples taken from external exposure was performed and compared with the initial samples. The study focused on assessing the degree of infestation and analyzing the effect of the orientation of the plasters with respect to the world's sides on the intensity of biocorrosion.

Two groups of samples were prepared as part of the study: unexposed (baseline samples) and those subjected to long-term outdoor exposure. Microscopic analysis was a key stage

Zdjęcia makroskopowe powierzchni tynków. W celu udokumentowania i oceny wizualnej rozwoju biokorozji na powierzchni eksponowanych tynków przeprowadzono makroskopową analizę fotograficzną na stanowisku poligonowym. Dokumentacja fotograficzna wykonywana była cyklicznie. Rejestrowano zmiany zachodzące na powierzchni próbek tynków w czasie ich sześciolletniej ekspozycji w warunkach naturalnych (od 2016 r. do 2022 r.). Już po pierwszym roku funkcjonowania stanowiska zaobserwowano objawy zabrudzeń na wybranych wyprawach tynkarskich. Symptomy korozji biologicznej, w formie specyficznych nalotów i przebarwień, pojawiły się po dwóch latach oddziaływania czynników środowiskowych. Intensywność rozwoju biokorozji wykazywała zróżnicowanie w zależności od orientacji próbek tynków względem stron świata. Makroskopowa analiza fotograficzna stanowiła kluczowy element w monitorowaniu progresji procesów bioerozji i identyfikacji czynników środowiskowych wpływających na ich intensywność.

Określenie intensywności biokorozji na powierzchni tynków. Po okresie sześciu lat wykonano szczegółową analizę mikroskopową próbek pobranych z ekspozycji zewnętrznej i porównano je z próbkami wyjściowymi. Badania skupiły się na ocenie stopnia zainfekowania oraz na analizie wpływu orientacji tynków względem stron świata na intensywność biokorozji.

W ramach badań przygotowano dwie grupy próbek: nieekspozowane (próbki wyjściowe) oraz poddane długotrwałej ekspozycji w warunkach zewnętrznych. Analiza mikroskopowa była kluczowym etapem badania. Dzięki niej szczegó-

of the study. Through it, the surfaces of the plasters were examined in detail and the intensity of biocorrosion was determined. Comparison of the initial samples with the exposed ones made it possible to determine the areas of plaster susceptible to the development of biocorrosion and the degree of their coverage by microorganisms.

Microscopic images of the initial samples (group A) and samples taken from the test stand (Photo 1a), intended for laboratory testing (group C), were taken, documenting the degree of infection of the analyzed plasters. The images used for analysis were taken under field conditions (pilot study) and laboratory conditions. A high-resolution digital microscope Keyence VHX-7000 was used for the study, along with a VH-Z100R objective lens, which allows high magnifications (Photo 1b). In order to establish measurement conditions, observations were realized in 2D and 3D images under different angles and illumination options. Finally, in the case of the 2D image, comparison series were established with dimensions of: 1.2 x 1.2 mm, with constant light intensity and at 300x magnification.

The image analysis system enabled precise determination of biocorrosion-infected surfaces through interactive measurement tools, defining the range of colors characteristic of biocorrosion and automatically identifying it on the tested surface (Photo 2). Quantitative assessment of the degree of biocorrosion was carried out by analyzing microscopic images of five independent measurements on randomly selected fields of view of each sample. Then, using image analysis software, the percentage of biofilm-covered area relative to the total area analyzed was determined. This allowed us to obtain representative data on the degree of infection of the samples.

łowo zbadano powierzchnię tynków i określono intensywność biokorozji. Porównanie próbek wyjściowych z eksponowanymi pozwoliło na ustalenie obszarów tynków podatnych na rozwój biokorozji oraz stopnia ich pokrycia przez mikroorganizmy.

Wykonano zdjęcia mikroskopowe próbek wyjściowych (grupa A) oraz próbek pobranych ze stanowiska badawczego (fotografia 1a), przeznaczonych do badań laboratoryjnych (grupa C), dokumentujące stopień zainfekowania analizowanych tynków. Obrazy wykorzystane do analizy wykonane zostały w warunkach poligonowych (badanie pilotażowe) i warunkach laboratoryjnych. Do badań wykorzystano mikroskop cyfrowy o dużej rozdzielczości Keyence VHX-7000 wraz z obiektywem VH-Z100R, umożliwiającym uzyskanie wysokich powiększeń (fotografia 1b). W celu ustalenia warunków pomiarowych obserwacje zrealizowano w obrazie 2D oraz 3D pod różnymi kątami i opcjami oświetlenia. Ostatecznie w przypadku obrazu 2D ustalono serie porównawcze o wymiarach: 1,2 x 1,2 mm, ze stałym natężeniem światła oraz w powiększeniu 300x.

System analizy obrazu umożliwiał precyzyjne określanie powierzchni zainfekowanych biokorozją przez interaktywne narzędzia pomiarowe, definiujące zakres barw charakterystycznych w przypadku biokorozji i automatycznie identyfikujące ją na badanej powierzchni (fotografia 2). Ilościową ocenę stopnia biokorozji przeprowadzono, analizując obrazy mikroskopowe pięciu niezależnych pomiarów na losowo wybranych polach widzenia każdej próbki. Następnie, za pomocą oprogramowania do analizy obrazu, określono procentowy udział powierzchni pokrytej biofilmem w stosunku do całkowitej powierzchni analizowanego obszaru. Pozwoliło to uzyskać reprezentatywne dane dotyczące stopnia zainfekowania próbek.

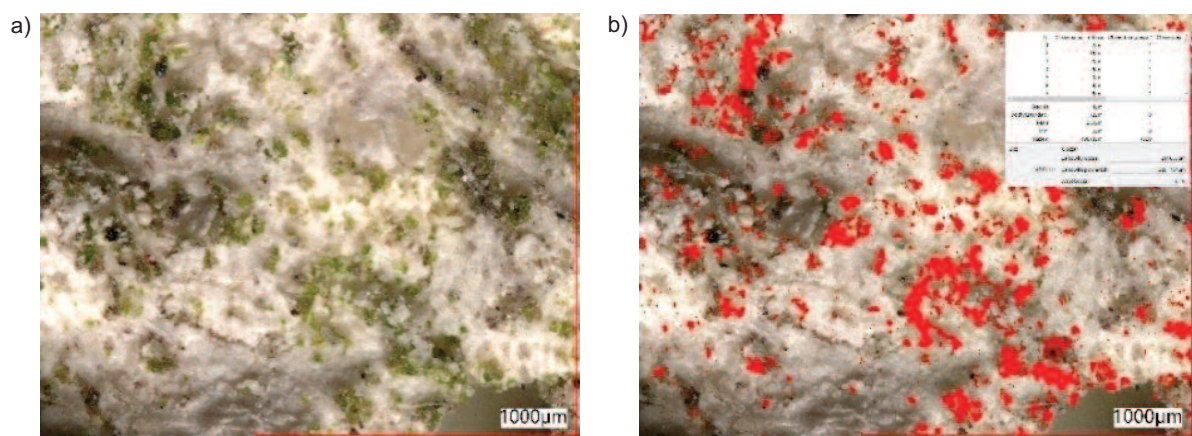


Photo 2. Surface measurement: a) area selected for measurement; b) determination of the range of colors attributed to microbial contamination

Fot. 2. Pomiar powierzchni: a) obszar wybrany do pomiaru; b) oznaczenie zakresu barw przypisywanych skażeniu mikrobiologicznemu

Photo: own archive

Fot. archiwum własne

Study results and discussion

The degree of development of biocorrosion of thin-film plasters – macroscopic observations. The photographic documentation (Photo 3) shows the varying intensity of biocorrosion occurring on four types of thin-film plaster coatings exposed in different directions of the world. The average pro-

Wyniki badań i dyskusja

Stopień rozwoju biokorozji tynków cienkowarstwowych – obserwacje makroskopowe. Dokumentacja fotograficzna (fotografia 3) przedstawia zróżnicowaną intensywność biokorozji występującej na czterech typach cienkowarstwowych wypraw tynkarskich, eksponowanych w różnych kierunkach

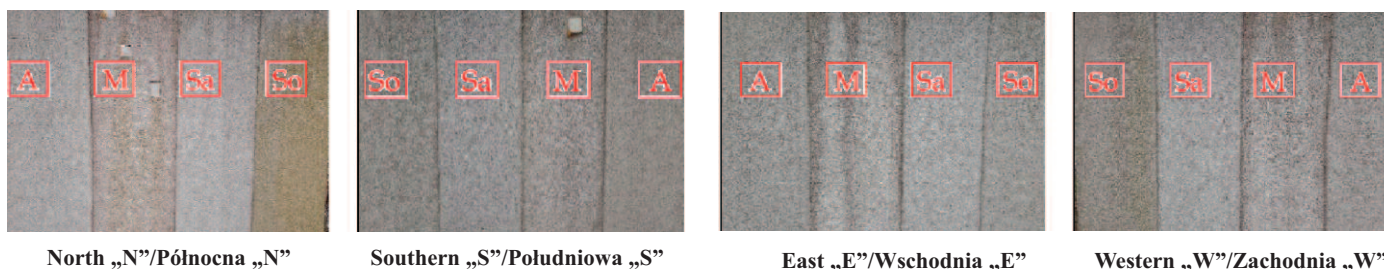


Photo 3. Research positions depending on the orientation with respect to the world

Fot. 3. Stanowiska badawcze w zależności od orientacji względem stron świata

*Photo: own archive
Fot. archiwum własne*

portion of the surface affected by biocorrosion, determined using the Keyence microscope image analysis system (Fig.), confirms the results of visual observations made on the basis of macroscopic analysis (Photo 3).

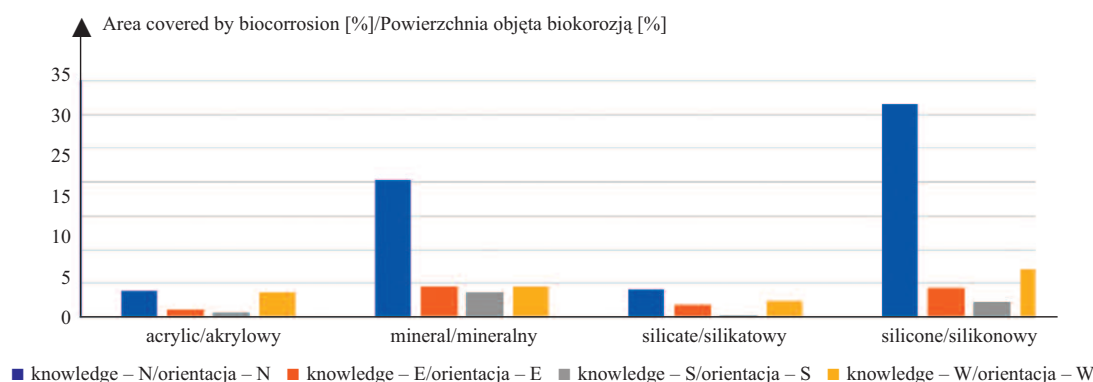
Macroscopic analysis of mineral and silicone plaster surfaces after six years of exposure showed significant biological contamination regardless of the orientation of the vertical partition. The highest degree of microbial colonization was observed on surfaces with northern exposure, while the lowest on southern facades. The intensity of biological contamination on mineral and silicone plasters was higher compared to acrylic and silicate plasters. In the case of the latter, contamination on surfaces with southern and eastern orientations was trace or absent.

Detailed analysis of mineral and silicone plaster. In order to characterize in detail the biofilm on surfaces showing the highest degree of biological infection, advanced analyses of selected plaster samples – mineral and silicone – were carried out. The quantitative and qualitative results of these analyses were synthesized in a table, including data from five representative measurement points on each tested surface. Analysis of the data showed significant differences in the degree of biological infestation between the types of plaster tested and depending on the orientation of the facade.

świata. Średni udział powierzchni objętej biokorozją, wyznaczony przy użyciu systemu analizy obrazu z mikroskopu Keyence (rysunek), potwierdza wyniki obserwacji wizualnych wykonanych na podstawie analizy makroskopowej (fotografia 3).

Analiza makroskopowa powierzchni tynków mineralnych i silikonowych po sześciolatej ekspozycji wykazała istotne skażenie biologiczne niezależnie od orientacji przegrody pionowej. Najwyższy stopień kolonizacji mikroorganizmami zaobserwowano na powierzchniach o ekspozycji północnej, natomiast najniższy na elewacjach południowych. Intensywność skażenia biologicznego na tynkach mineralnych i silikonowych była wyższa w porównaniu z tynkami akrylowymi i silikatowymi. W przypadku tych ostatnich, skażenie powierzchni o orientacji południowej i wschodniej było śladowe lub nie stwierdzono jego obecności.

Analiza szczegółowa tynku mineralnego i silikonowego. W celu szczegółowej charakterystyki biofilmu na powierzchniach wykazujących najwyższy stopień infekcji biologicznej przeprowadzono zaawansowane analizy wybranych próbek tynków – mineralnego i silikonowego. Rezultaty ilościowe i jakościowe tych analiz zostały syntetycznie przedstawione w tabeli, obejmującej dane z pięciu reprezentatywnych punktów pomiarowych na każdej badanej powierzchni. Analiza danych wykazała istotne różnice w stopniu porażenia biologicznego pomiędzy badanymi rodzajami tynków oraz w zależności od orientacji elewacji.



Percentage of plaster area covered by biocorrosion depending on plaster type and facade orientation

Procent powierzchni tynku pokrytej biokorozją w zależności od rodzaju tynku i orientacji elewacji

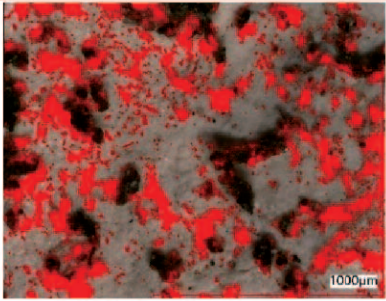
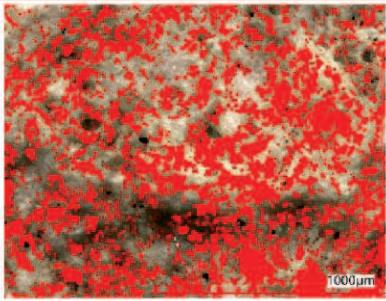
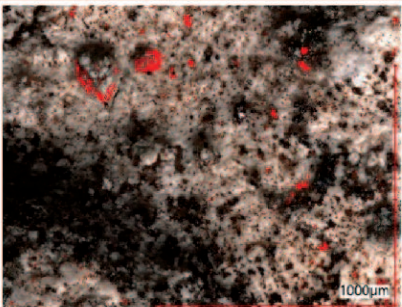
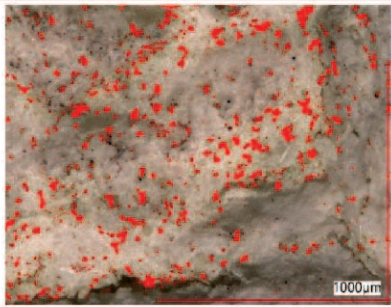
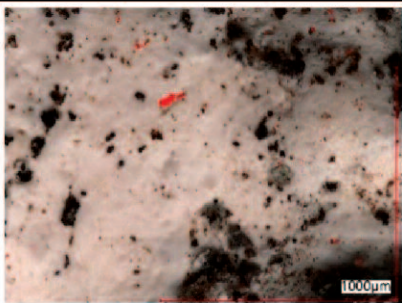
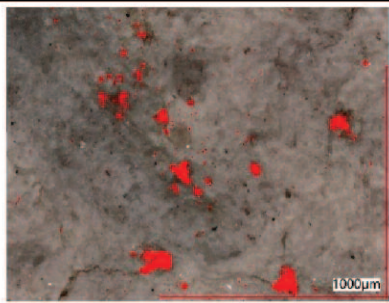
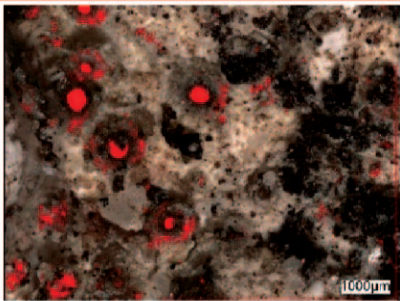
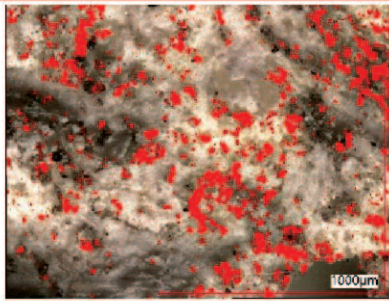
Conclusions

Silicone plaster has a higher level of biofilm coverage compared to mineral plaster on all exposures analyzed. The highest average percentage of biofilm coverage, at 31.54%, was observed on the north-oriented facades. With the change

Wnioski

Tynk silikonowy charakteryzuje się wyższym poziomem pokrycia biofilmem w porównaniu z tynkiem mineralnym na wszystkich analizowanych ekspozycjach. Największą średnią wartość procentową udziału biofilmu, wynoszącą 31,54%, od-

Biocorrosion – the percentage of infestation of the plastering: a) mineral plaster, b) silicone plaster
Biokorozja – procentowy stopień zainfekowania wyprawy tynkarskiej: a) tynk mineralny, b) tynk silikonowy

Share of infected area [%]/Udział powierzchni zainfekowanej [%]						
mineral plaster „M”/tynk mineralny „M”				silicone plaster „SO”/tynk silikonowy „SO”		
designation/oznaczenie		P [%]	$\bar{P}$ [%]	designation/oznaczenie		$\bar{P}$ [%]
N		21,2	20,42		32,4	31,54
		17,1				
		15,3				
		21,1				
		27,4				
E		6,6	4,66		5,0	4,42
		3,8				
		4,4				
		3,3				
		5,2				
S		2,1	3,76		3,0	2,24
		3,3				
		2,2				
		6,0				
		5,2				
W		3,2	4,72		5,8	7,22
		6,6				
		5,9				
		4,5				
		3,4				
P [%] – percentage of the area covered with biofilm in relation to the total area of the analyzed area/ P [%] – procentowy udział powierzchni pokrytej biofilmem w odniesieniu do całkowitej powierzchni analizowanego obszaru; $\bar{P}$ [%] – the average value determined for the five analyzed/ P [%] – średnia wartość wyznaczona dla pięciu analizowanych						

of exposures to the west, east and south, a successive decrease in the average percentage of biofilm is observed. The lowest value was achieved (3.88%) on the southern elevation.

Mineral plaster shows a lower overall susceptibility to biofilm infestation compared to silicone plaster. As with silicone plaster, the highest average biofilm percentage was

notowano w przypadku elewacji o orientacji północnej. Wraz ze zmianą ekspozycji na zachodnią, wschodnią i południową, obserwuje się sukcesywne zmniejszanie średniego udziału biofilmu. Najniższą wartość (3,88%) osiągnięto na elewacji południowej.

Tynk mineralny wykazuje mniejszą ogólną podatność na porażenie biologiczne w porównaniu z tynkiem silikonowym.

observed on the north facade (20.42%). With the change in exposure, a decrease in values was found, with the lowest average biofilm percentage of (3.76%) observed on the south elevation.

Summary

Long-term (six-year) polygon studies, conducted under atmospheric exposure conditions, allowed quantitative and qualitative assessment of the degree of microbial colonization of four types of plaster: acrylic, mineral, silicate and silicone plasters with a lambda texture. The use of advanced digital microscopy, combined with an image analysis system, made it possible to precisely identify and measure the biofilm-covered surface depending on the type of plaster applied and the orientation of the facade with respect to the directions of the world.

The results of the study showed varying susceptibility of the plaster systems used to biocorrosion processes. Mineral and silicone plasters were characterized by significantly higher susceptibility compared to acrylic and silicate plasters. The most intensive biocorrosion processes were observed on the surface of silicone plaster, exposed on the northern facade.

The varying susceptibility of plaster materials to biocorrosion suggests a complex interaction between material properties, such as surface microstructure and chemical composition, and environmental conditions determined by façade orientation. The results provide a better understanding of the mechanisms of biocorrosion and the development of effective methods to prevent this phenomenon. This will allow optimal selection of finishing materials in insulation systems and minimize the risk of biological degradation in the long term of operation.

Received: 03.02.2025 r.

Revised: 07.04.2025 r.

Published: 24.06.2025 r.

wym. Podobnie jak w przypadku tynku silikonowego, najwyższy średni procentowy udział biofilmu zaobserwowano na elewacji północnej (20,42%). Wraz ze zmianą ekspozycji, stwierdzono spadek wartości, przy czym najmniejszy średni udział biofilmu, wynoszący 3,76%, odnotowano na elewacji południowej.

Podsumowanie

Długoterminowe (sześćoletnie) badania poligonowe, prowadzone w warunkach ekspozycji atmosferycznej, pozwoliły na ilościową i jakościową ocenę stopnia kolonizacji mikroorganizmami czterech typów tynków: akrylowego, mineralnego, silikatowego i silikonowego o fakturze baranka. Wykorzystanie zaawansowanej mikroskopii cyfrowej w połączeniu z systemem analizy obrazu umożliwiło precyzyjną identyfikację i pomiar powierzchni pokrytej biofilmem w zależności od rodzaju zastosowanej wyprawy tynkarskiej oraz orientacji elewacji względem kierunków świata.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały zróżnicowaną podatność zastosowanych systemów tynkarskich na procesy biokorozji. Tynki mineralne i silikonowe charakteryzowały się istotnie większą podatnością w porównaniu z tynkami akrylowymi i silikatowymi. Najintensywniejsze procesy biokorozji zaobserwowano na powierzchni tynku silikonowego, ekspozowanego na północnej elewacji.

Zróżnicowana podatność materiałów tynkarskich na biokorozję sugeruje złożoną interakcję pomiędzy właściwościami materiałowymi, takimi jak mikrostruktura powierzchni i skład chemiczny, a warunkami środowiskowymi determinowanymi orientacją elewacji. Uzyskane wyniki umożliwiają lepsze zrozumienie mechanizmów biokorozji oraz opracowanie skutecznych metod zapobiegania temu zjawisku. Pozwoli to na optymalny dobór materiałów wykończeniowych w systemach ociepleń i minimalizację ryzyka degradacji biologicznej w długoterminowej perspektywie eksploatacji.

Artykuł wpłynął do redakcji: 03.02.2025 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 07.04.2025 r.

Opublikowano: 24.06.2025 r.

Literature

- [1] Barberousse H, Brayner R, Do Rego M, Castaing J, Beurdeley-Saudou P, Colombet J. Adhesion of facade coating colonisers, as mediated by physico-chemical properties. *Biofouling*. 2007; pp. 15 – 24, 23.
- [2] Barreira E, Freitas VP. External Thermal Insulation Composite Systems: Critical Parameters for Surface Hygrothermal Behaviour. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2014; pp. 1-16.
- [3] Duarte C. The Europe of mortars and ETICS. Trends, perspectives and opportunities. IX SBTA – Brazilian Symposium on Mortars Technology. 2011, pp. 7-16.
- [4] Dybowska-Józefiak M. Identyfikacja czynników determinujących trwałość i estetykę elewacji budynków. *Politechnika Bydgoska, Bydgoszcz*. 2023.
- [5] Dybowska-Józefiak M, Wesołowska M. The Influence of selected plaster coatings on thermal performance of ETICS system. *Construction of optimized energy potential*. 2023; pp. 107-115.

- [6] Krus M, Rosler D, Sedlbauer K. New model for the hygrothermal calculation of condensate on the external building surface, *Proceedings of the 3rd International Building Physics Conference – Research in Building Physics and Building Engineering*. 2006; pp. 329-333.
- [7] Ksist B, Horbik D. Zanieczyszczenia biologiczne elewacji. *Builder*. 2015; 4: 80 – 83.
- [8] Parracha J, Borsoi G, Flores-Colen I, Veiga R, Nunes L, Dionisio A, Gomes M, Faria P. Performance parameters of ETICS: Correlating water resistance, bio-susceptibility and surface properties, *Construction and Building Materials*. 2021; pp. 121956-121970, 272.
- [9] Sedlbauer K, Krus M. Mold growth on ETICS (EIFS) as a result of bad workmanship, *Thermal Envelope and Building Science*. 2002; pp. 117-121, 26.
- [10] Venzmer H, Von Werder J, Lesnych N, Koss Krus L. Algal defacement of facade materials – results of long term natural weathering tests obtained by new diagnostic tools, *8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*. 2008; Copenhagen, Denmark, pp. 277-284.