

dr inż. Monika Dybowska-Józefiak¹⁾
ORCID: 0000-0003-3913-3364

The effect of abiotic factors and texture on the aging of ETICS systems

Wpływ czynników abiotycznych i faktury na starzenie systemów ETICS

DOI: 10.15199/33.2026.09.16

Abstract. Exterior thermal insulation composite systems (ETICS) based on expanded polystyrene (EPS) account for approximately 90% of thermal insulation in the Polish construction industry. Under real-world conditions, these coatings undergo premature aesthetic and structural degradation. This article analyzes the impact of abiotic factors and the properties of thin-coat plasters (acrylic, mineral, silicate, and silicone) with “lambskin” and “bark beetle” textures on their aging processes after 6 years of exposure. It was demonstrated that changes in the porous microstructure and water absorption of the plasters increase their susceptibility to biocorrosion, resulting in a decrease in the thermal insulation performance of the system.

Keywords: biocorrosion; plaster coatings; ETICS; abiotic factors; microstructure; water absorption.

Streszczenie. Zewnętrzne złożone systemy izolacji cieplnej (ETICS) bazujące na ekspandowanym polistyrenie (EPS) stanowią ok. 90% termoizolacji w polskim budownictwie. W warunkach rzeczywistych powłoki ulegają przedwczesnej degradacji estetycznej i strukturalnej. W artykule przeanalizowano wpływ czynników abiotycznych oraz właściwości tynków cienkowarstwowych (akrylowego, mineralnego, silikatowego i silikonowego) o fakturze „baranek” i „kornik” na procesy ich starzenia po sześciu latach ekspozycji. Wykazano, że zmiany w mikrostrukturze porowatej i nasiąkliwości tynków zwiększają podatność na biokorozję, co skutkuje spadkiem izolacyjności termicznej układu.

Słowa kluczowe: biokorozja; wyprawy tynkarskie; ETICS; czynniki abiotyczne; mikrostruktura; nasiąkliwość.

C current regulations regarding the energy efficiency of buildings promote the widespread use of ETICS systems with EPS panels. The interior layer, consisting of a reinforcing mesh and a thin layer of plaster, is subject to aggressive environmental degradation. Gradual degradation and leaks lead to moisture penetration deep into the system, which impairs the insulating properties of the EPS core [1 ÷ 3].

During the operation of the facade, abiotic factors – such as cyclic temperature fluctuations around 0°C, moisture condensation, and atmospheric precipitation – have a destructive effect in conjunction with the material structural characteristics of the plaster (such as binder type, porosity, and texture) [4, 5]. This accelerates the physical aging of the plaster and creates optimal conditions for the growth of biofilm [6, 7]. Consequently, it reduces the service life and thermal efficiency of the entire insulation system [8 ÷ 10].

An analysis of the available literature, covering studies from, among others, Germany [11], the Czech Republic [12], and Portugal [2], indicates that although the non-biological properties of ETICS have been thoroughly investigated, there has been a lack of research on the direct influence of the physical and mechanical properties of plasters on this process [13, 14]. There is, therefore, a research gap regarding the detailed identification of abiotic factors related to the properties of plasters (porosity, water absorption, texture) and the thermal – moisture content of the partitions. The aim of the present study was to identify the abiotic factors triggering corrosion processes

W społeczne wymagania dotyczące efektywności energetycznej budynków promują powszechne stosowanie systemów ETICS z płytami EPS. Zewnętrzna warstwa, złożona z zaprawy zbrojącej oraz cienkowarstwowej wyprawy tynkarskiej, podlega agresywnej destrukcji środowiskowej. Stopniowa degradacja i nieszczelność prowadzą do penetracji wilgoci w głąb układu, co pogarsza właściwości izolacyjne rdzenia z EPS [1 ÷ 3].

Podczas eksploatacji elewacji czynniki abiotyczne, takie jak cykliczne przejście temperatury przez 0°C, kondensacja wilgoci oraz opady atmosferyczne, oddziałują destrukcyjnie w połączeniu z cechami materiałowo-strukturalnymi tynku (rodzajem spoiwa, porowatością i fakturą) [4, 5]. Przyspiesza to starzenie fizyczne wypraw oraz stwarza optymalne warunki do rozwoju biokorozji [6, 7]. W konsekwencji zmniejsza trwałość eksploatacyjną i sprawność termiczną całego systemu ociepleniowego [8 ÷ 10].

Analiza dostępnej literatury, obejmująca badania m.in. z Niemiec [11], Czech [12] czy Portugalii [2] wskazuje, że choć skażenie biologiczne ETICS jest dokładnie zbadane, brakowało badań nad bezpośrednim wpływem właściwości fizykochemicznych i strukturalnych tynków na ten proces [13, 14]. Istnieje zatem luka badawcza dotycząca szczegółowego zdefiniowania czynników abiotycznych, związanych z właściwościami tynków (porowatością, nasiąkliwością, fakturą) i parametrami cieplno-wilgotnościowymi przegród.

Celem prezentowanych badań było zdefiniowanie czynników abiotycznych uruchamiających procesy korozyjne cienkowarstwowych wypraw tynkarskich w systemie ETICS.

¹⁾ Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich;
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska;
Monika.Dybowska-Jozefiak@pbs.edu.pl

in thin-layer lime-based coatings in the ETICS system. First and foremost, changes in the physical properties (microstructure, water absorption, porosity) of plasters subjected to long-term exposure to the indoor environment were examined.

Materials and methods

The scope of the study included an analysis of selected characteristics of a partition wall constructed in accordance with the ETICS specification. Thin-coat plaster systems were tested. Four types of thin-coat plasters with a particle size of 1.5 mm were selected:

- **acrylic (A)** – a polymer-based adhesive with low vapor permeability;
- **mineral (M)** – a cement-based binder with high vapor permeability and a naturally alkaline pH;
- **silicate (Sa)** – containing a water-glass binder that chemically bonds with the substrate;
- **siliconic (So)** – containing a binder based on siliconic resins, characterized by increased hydrophobicity.

The tested plasters were white in color, and their interior surface was not additionally protected in any way. Each plaster was tested in two factory variants: “ruffcast render” (B) and “worm render” (K).

The tests were conducted in two stages, combining a stationary test on a specially designed structure built in accordance with ETICS technology (Figure 1), located on the campus of the Bydgoszcz University of Technology, with laboratory simulations. Samples for natural curing analysis were taken from the tested walls facing the four cardinal directions (N, S, E, W). At the same time, reference samples were subjected to laboratory freezing and thawing (80 cycles), which corresponded to the actual number of times the surface temperature of the facade crossed 0°C, as recorded by the monitoring system at the field station.

In the first step, a **computer-based assessment of the extent of biocorrosion damage was conducted**, which involved digital image analysis. The images were captured under field conditions (pilot study) and in the laboratory, using a high-resolution digital microscope. The degree of biocorrosion was determined using the „contamination analysis” method, available in the operating system, which involves the automatic identification of color patterns indicative of biological conta-

Dokonano przede wszystkim zmian właściwości fizycznych (mikrostruktury, nasiąkliwości, porowatości) tynków poddanych długotrwałemu oddziaływaniu środowiska zewnętrznego.

Materiały i metody badań

Zakres badań obejmował analizę wybranych cech przegrody wykonanej zgodnie ze specyfikacją ETICS. Badano cienkowarstwowe wyprawy tynkarskie. Wybrano cztery rodzaje tynków cienkowarstwowych o uziarnieniu 1,5 mm:

- **akrylowy (A)** – polimerowe spoiwo elastyczne o małej paroprzepuszczalności;
- **mineralny (M)** – spoiwo cementowo-wapienne, o dużej paroprzepuszczalności, o naturalnym odczynie zasadowym;
- **silikatowy (Sa)** – zawierający spoiwo potasowe wodne szklane, wiążące chemicznie z podłożem;
- **silikonowy (So)** – zawierający spoiwo na bazie żywic silikonowych, charakteryzujące się zwiększoną hydrofobowością.

Badane tynki były barwione w masie na kolor biały, a ich powłoka zewnętrzna nie została w żaden sposób dodatkowo zabezpieczona. Każdy z tynków zbadano w dwóch odmianach faktury: baranek (B) oraz kornik (K).

Badania zrealizowano dwutorowo, łącząc stanowisko poligonowe specjalnie zaprojektowane i wykonane zgodnie z technologią ETICS (rysunek 1), zlokalizowane na terenie kampusu Politechniki Bydgoskiej, z symulacjami laboratoryjnymi. Próbkę do analizy naturalnego starzenia pobrano z badanych murów zorientowanych na cztery strony świata (N, S, E, W). Jednocześnie próbki referencyjne poddano laboratoryjnemu zamrażaniu i rozmrażaniu (80 cykli), co odpowiadało rzeczywistej liczbie przejść temperatury powierzchni elewacji przez 0°C, zarejestrowanej przez system monitorujący stację poligonowej.

W pierwszym kroku **przeprowadzono komputerową ocenę stopnia porażenia biokorozją**, która polegała na cyfrowej analizie obrazu. Obrazy wykonano w warunkach poligonowych (badanie pilotażowe) i laboratoryjnych, z zastosowaniem mikroskopu cyfrowego o dużej rozdzielczości. Stopień biokorozji wyznaczono metodą „analizy zanieczyszczeń”, dostępną w systemie operacyjnym, polegającą na automatycznej

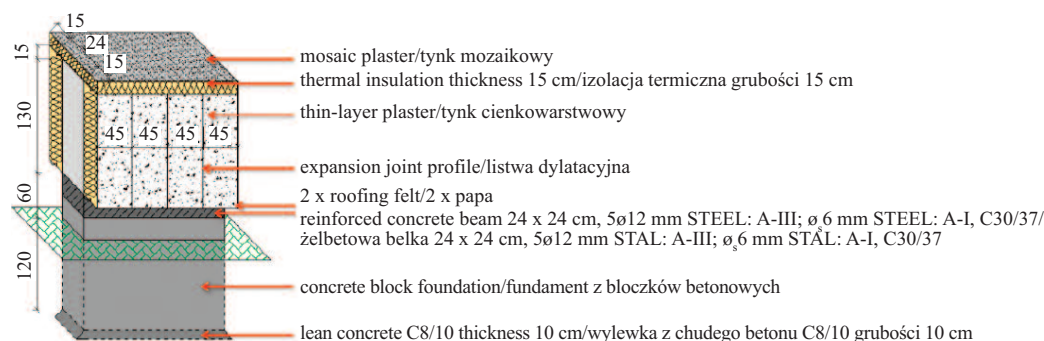


Fig. 1. Diagram of the experimental setup

Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

mination. The result was applied to the entire surface of the image, yielding a percentage contamination index. For each sample, five random measurements were taken, from which an average value was calculated. Initially, using X-ray diffraction, **the microstructure of the material was examined**, which allowed for the identification of changes in the volume distribution and average pore sizes resulting from aging processes. Microstructural analyses were performed using a porosimeter equipped with two ports: one for low pressure and one for high pressure, with a maximum value of 33,000 PSIA (228 MPa), which allows for measurements in the meso- and microporosity ranges. To ensure the representativeness of the results, material was taken from six samples that had previously been dried to a constant mass at a temperature of $40 \pm 2^\circ\text{C}$.

The next step was to test **the capillary absorption of water**, in accordance with EN ISO 15148 [15], with the aim of determining the kinetics of moisture uptake and calculating the surface wetting coefficient of the coating. The analyses were **supplemented by measurements of the mass and volumetric moisture content of the EPS core**, which allowed for an assessment of the extent of water migration into the insulation and its impact on the reduction of the thermal resistance of the tested partitions.

Research results and discussion

The rate of aging and biocorrosion in relation to the orientation and texture of plaster. After six years of outdoor exposure, varying degrees of deterioration in the appearance of the ETICS facades were observed, depending on the direction in which the facade faces, the type of insulation, and its texture. The highest intensity of biological contamination was observed on north-facing (N) and west-facing (W) facades, which is a direct result of the prolonged presence of moisture. The texture of the plaster also proved to be a key factor. Most of the samples with a bark-textured finish were more heavily contaminated and exhibited accelerated visual aging compared to plasters with a Worm render (Table 1). The exception regarding mineral plasters facing north and west stems from their high capillary water absorption and specific drying kinetics; therefore, a texture that dries more quickly (Worm render) does not prevent deep moisture penetration and intense biocorrosion.

identyfikacji zakresu barw odpowiadających skażeniu biologicznemu. Wynik odniesiono do całkowitej powierzchni zdjęcia, uzyskując procentowy wskaźnik zainfekowania. W przypadku każdej próbki wykonano pięć losowych pomiarów, z których wyciągnięto wartość średnią. Następnie, za pomocą porozymetrii ręciennej, **zbadano strukturę porowatą materiału**, co pozwoliło na identyfikację zmian w rozkładzie objętościowym i średnicy porów powstałych w wyniku procesów starzeniowych. Badania mikrostruktury wykonano na porozymetrze wyposażonym w dwa porty: niskiego i wysokiego ciśnienia o maksymalnej wartości 33000 PSIA (228 MPa), co pozwala na pomiar w zakresie mezo- i makroporów. W celu zapewnienia reprezentatywności wyników pobierano materiał z sześciu próbek, które wcześniej zostały poddane suszeniu do stałej masy w temperaturze $40 \pm 2^\circ\text{C}$.

Kolejnym etapem było **badanie absorpcji kapilarnej wody**, zgodnie z EN ISO 15148 [15], mające na celu określenie kinetyki podciągania wilgoci oraz wyznaczenie współczynnika nasiąkliwości powierzchniowej wypraw tynkarskich. Analizy zamknął **pomiar wilgotności masowej i objętościowej rdzenia EPS**, który umożliwił ocenę skali migracji wody w głąb izolacji oraz jej wpływ na zmniejszenie oporu cieplnego badanych przegród.

Wyniki badań i dyskusja

Intensywność starzenia i biokorozji a orientacja i faktura tynku. Po sześciu latach ekspozycji poligonowej stwierdzono różny stopień pogorszenia estetyki elewacji ETICS w zależności od strony świata, w kierunku której jest skierowana, rodzaju tynku oraz jego faktury. Największą intensywność skażenia mikrobiologicznego zanotowano na elewacjach o orientacji północnej (N) oraz zachodniej (W), co bezpośrednio wynika z dłuższego czasu utrzymywania się wilgoci. Kluczowa okazała się również faktura tynku. Większość badanych wypraw o fakturze baranka była w większym stopniu zainfekowana oraz wykazała przyspieszone starzenie wizualne w porównaniu z tynkami o fakturze kornika (tabela 1). Wyjątek dotyczący tynków mineralnych, zorientowanych w kierunku północnym i zachodnim, wynika z ich dużej nasiąkliwości kapilarnej i specyficznej kinetyki wysychania, dlatego też łatwiej schnąca faktura (kornik) nie zapobiega głębokiemu zawilgoceniu i intensywnej biokorozji.

Table 1. Average degree of contamination of plaster surfaces [%] after 6 years of natural exposure at the field test site

Tabela 1. Średni stopień zainfekowania powierzchni wypraw tynkarskich [%] po sześciu latach ekspozycji naturalnej na stanowisku poligonowym

Plaster Type/ Rodzaj tynku	Texture/Faktura	Average percentage of surface area affected by biocorrosion [%]/ Średni udział powierzchni objętej biokorozją [%] w zależności od stron świata			
		north N/północ N	east E/wschód E	south S/południe S	west W/zachód W
Acrylic/Akrylowy	ruffcast render/baranek	4,04	1,16	0,9	3,86
	worm render/kornik	0,54	0,06	0	0,16
Mineral/Mineralny	ruffcast render/baranek	20,42	4,66	3,76	4,72
	worm render/kornik	20,46	3,76	2,42	10,76
Silicate/Silikatowy	ruffcast render/baranek	4,18	1,86	0,38	2,46
	worm render/kornik	2,84	0,14	0,06	0,3
Siliconic/Silikonowy	ruffcast render/baranek	31,54	4,42	2,24	7,22
	worm render/kornik	20,9	3,08	0,54	5,98

The documentation (photography) presents the varying intensity of biological diversity found on four thin layers of limestone formations, exhibited in various parts of the world. Analysis of the data indicates that synthetic plasters (contrary to the common belief regarding their durability) and mineral plasters suffered the most severe damage on the north-facing facade. In the case of mineral plaster, aging is associated with the carbonation process of the cement-lime matrix, which leads to a drastic reduction in the initially high pH (from values >12 to near-neutral $\sim 7-8$), paving the way for biological colonization.

Dokumentacja (fotografia) przedstawia zróżnicowaną intensywność biokorozji występującej na czterech typach cienkowarstwowych wypraw tynkarskich, eksponowanych w różnych kierunkach świata. Analiza danych wskazuje, że tynki silikonowe (wbrew powszechnej opinii o ich odporności) oraz tynki mineralne uległy najsilniejszemu porażeniu na fasadzie po stronie północnej. W przypadku tynku mineralnego starzenie wiąże się z procesem karbonatyzacji matrycy cementowo-wapiennej, co prowadzi do drastycznego zmniejszenia początkowo wysokiego pH (z wartości >12 do bliskiego neutralnemu $\sim 7-8$), otwierając drogę kolonizacji biologicznej.



Test stations with thin-layer plaster samples oriented according to the cardinal directions for the following textures: a) lambskin; b) bark beetle

Stanowiska badawcze z próbkami tynków cienkowarstwowych zorientowanymi względem stron świata w przypadku faktury: a) baranek; b) kornik

Analysis of changes in the microstructural parameters of mineral paints during aging processes. To identify structural degradation of binders subjected to abiotic influences, mercury porosimetry studies were conducted. An analysis of the volume distribution allowed for an assessment of the degree of degradation of the plaster matrix under natural service conditions and in laboratory simulations. It should be emphasized that the literature specifies a range of 100 – 1,000 nm for the thickness responsible for the frost resistance of plasters [16]. Due to the lack of data on thin-layer plasters, this range was adopted for the analysis. Table 2 summarizes the results of the total yield comparison for mineral paint (M) with a ruffcast render textured relative to the reference sample (reference).

Analiza zmiany parametrów mikrostruktury tynków mineralnych w procesach starzeniowych. W celu identyfikacji destrukcji strukturalnej spoiw poddanych oddziaływaniom abiotycznym, przeprowadzono badania porozymetrii rtęciowej. Analiza rozkładu objętościowego porów pozwoliła na ocenę stopnia degradacji matrycy tynkarskiej w warunkach eksploatacji naturalnej oraz po symulacjach laboratoryjnych. Należy podkreślić, że w literaturze podano zakres porowatości odpowiedzialny za mrozoodporność tynków, który wynosi 100 – 1000 nm [16]. Ze względu na brak danych dotyczących tynków cienkowarstwowych taki zakres został przyjęty do analiz. W tabeli 2 zestawiono procentowe zwiększenie porowatości całkowitej w przypadku tynku mineralnego (M) o fakturze baranka w odniesieniu do próbki wyjściowej (referencyjnej).

Table 2. Changes in microstructural parameters for mineral plaster (percentage increase in porosity relative to the initial sample)
Tabela 2. Zmiany mikrostruktury tynku mineralnego (procentowe zwiększenie porowatości w stosunku do próbki wyjściowej)

Plaster type/Rodzaj tynku	Total porosity [%]/Porowatość ogólna [%]	Pores responsible for capillary transport [%] (100 – 10000 nm)/Pory odpowiedzialne za transport kapilarny [%] (100 – 100000 nm)	Pores responsible for cold hardiness [%] (100 – 1000 nm)/Pory odpowiedzialne za mrozoodporność [%] (100 – 1000 nm)	Dominant diameters [nm]/Średnice dominująca [nm]
Group A – starting lineup/Grupa A – wyjściowe	22,51	20,1	4,1	3000
Group B – after the climate chamber/Grupa B – po komorze klimatycznej	26,78 (19%)	21,2	8,2	1000
Group C – field sample N/Grupa C – poligonowa N	29,17 (30%)	22,8	7,7	1000
Group C – field sample E/Grupa C – poligonowa E	24,95 (11%)	19,3	11,1	1000
Group C – field sample S/Grupa C – poligonowa S	27,02 (20%)	21,8	9,4	1000
Group C – field sample W/Grupa C – poligonowa W	27,62 (23%)	20,6	11,6	1000

The overall porosity of the initial plaster samples was 22.51%. After subjecting the samples to a fixed number of freeze-thaw cycles, the porosity increased to 26.8%. The polygenic samples exhibited a higher porosity than the initial samples.

The volume fraction of pores responsible for capillary transport ($100 \div 100,000$ nm) was 20.1% for the initial samples. As a result of freeze-thaw cycles under laboratory conditions, the value increased to 21.2%. The performance of the plasters under environmental exposure conditions resulted in an increase in the initial particle content for the following orientations: S to 21.8%; N to 22.8%; W to 20.6%; and a decrease to 19.3% for the E orientation.

The proportion of particles responsible for frost resistance ($100 \div 1,000$ nm) was 4.1% for the initial samples. After freeze-thaw cycles, this proportion increased to 8.2%. For the polygenic sample, the values were as follows: S orientation – 9.4%; N orientation – 7.7%; E – 11.1%, and W – 11.6%. Based on an analysis of the cross-plots in Figure 2, it was determined that, relative to the initial sample, the volume in the 300 – 1000 nm range had increased.

Porowatość ogólna wyjściowych próbek tynku wynosiła 22,51%. Wraz z poddaniem próbek ustalonym cyklom mrożenia porowatość zwiększyła się do 26,8%. Próbki poligonowe wykazały większą porowatość niż wyjściowe.

Udział objętościowy porów odpowiedzialnych za transport kapilarny ($100 \div 100000$ nm) wynosił w przypadku próbek wyjściowych 20,1%. W wyniku cykli zamrażania i rozmrażania w warunkach laboratoryjnych wartość zwiększyła się do 21,2%. Funkcjonowanie tynków w warunkach oddziaływania środowiska spowodowało zwiększenie wartości początkowej udziału porów w przypadku orientacji: S do 21,8%; N do 22,8%; W do 20,6% oraz zmniejszenie do 19,3% w przypadku orientacji E.

Udział porów odpowiedzialnych za mrozoodporność ($100 \div 1000$ nm) wynosił w przypadku próbek wyjściowych 4,1%. Po cyklach zamrażania – odmrażania udział ten zwiększył się do 8,2%. W przypadku stanowiska poligonowego wyniósł odpowiednio: orientacji S – 9,4%; N – 7,7%; E – 11,1%, a W – 11,6%. Na podstawie analizy przebiegu krzywych z rysunku 2 stwierdzono, że w stosunku do próbki wyjściowej zwiększyła się objętość porów o wymiarach 300 – 1000 nm.

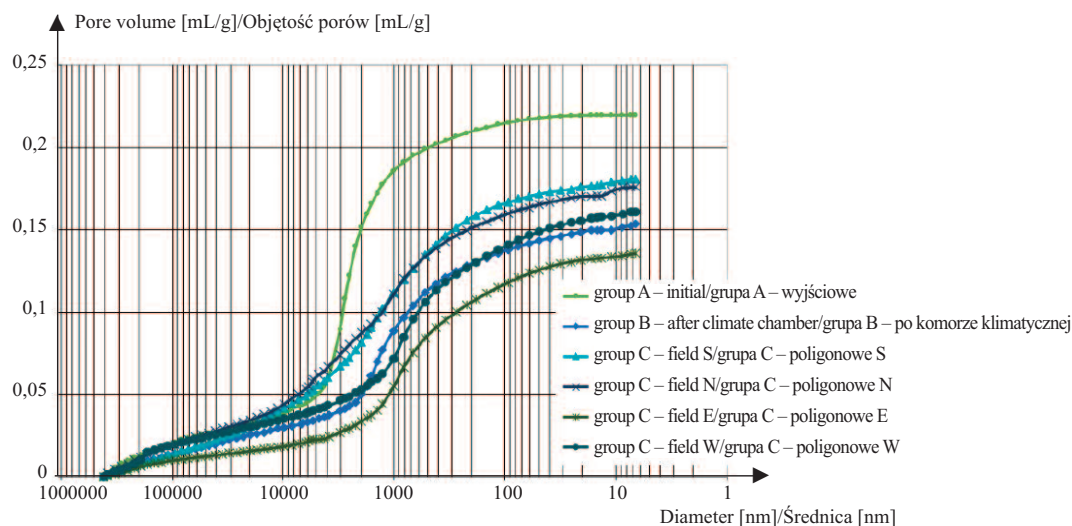


Fig. 2. Volume of pores responsible for MB's frost resistance (from 0.1 to 1 μm)

Rys. 2. Objętość porów odpowiedzialna za mrozoodporność tynku mineralnego o fakturze baranka MB (od 0,1 do 1 μm)

The effect of moisture penetration in the EPS substrate on the thermal insulation of the partition. A breach in the integrity of the interior plaster coating opens a path for unimpeded capillary moisture transport through the reinforced layer directly into the thermal insulation material. Our own tests measuring the mass moisture content of EPS panels showed that the zone of water infiltration extends into the surface insulation layer to a depth of approximately 4.5 cm. Such moisture distribution within the polystyrene structure significantly destabilizes its insulating properties (Table 3). For samples taken from the landfill site, the test was conducted in two variants: with a biofilm – “dirty” – and after cleaning the surface plaster with a biocide – “cleaned”.

The presence of water causes a sharp increase in the thermal conductivity coefficient λ_{ψ} , which directly results in a reduction in the effective thermal resistance R_{ψ} . This

Wpływ zawilgocenia podłoża EPS na izolacyjność termiczną przegrody. Przełamanie szczelności zewnętrznej powłoki tynkarskiej otwiera drogę do nieskrępowanego transportu wilgoci kapilarnej przez warstwę zbrojoną wprost do materiału termoizolacyjnego. Przeprowadzone badania własne oznaczenia wilgotności masowej płyt EPS wykazały, że strefa infiltracji wodnej obejmuje przypowierzchniową warstwę izolacji do głębokości ok. 4,5 cm. Taka dystrybucja wilgoci w strukturze styropianu drastycznie destabilizuje jego właściwości izolacyjne (tabela 3). W przypadku próbek pobieranych ze stanowiska poligonowego badanie wykonano w dwóch wariantach: z biofilmem – „brudne” oraz po wyczyszczeniu powierzchni tynku środkiem biobójczym – „wyczyszczone”.

Obecność wody wywołuje gwałtowne zwiększenie współczynnika przewodzenia ciepła λ_{ψ} , czego bezpośrednim skutkiem jest redukcja realnego oporu cieplnego R_{ψ} . Zjawisko

Table 3. Water absorption coefficients $\bar{A}_w$ and $\bar{W}_w$ of mineral plaster with a lambskin texture (MB)
Tabela 3. Średni współczynnik absorpcji wody $\bar{A}_w$ i $\bar{W}_w$ tynku mineralnego o fakturze baranka (MB)

Parameter/Parametr ¹⁾	Sample type/Typ próbek	Water absorption coefficient/Współczynnik absorpcji wody					
		group A/grupa A	group B/grupa B	N	E	S	W
$\bar{A}_w$ [kg/(m ² ·s ^{0.5})]	dirty/brudne	0,0023	0,0011	0,0008	0,0007	0,0007	0,0008
	cleaned/wyczyszczone			0,0036	0,0022	0,0016	0,0030
$\bar{W}_w$ [kg/(m ² ·h ^{0.5})]	dirty/brudne	0,1372	0,0656	0,0466	0,0405	0,0433	0,0493
	cleaned/wyczyszczone			0,2177	0,1347	0,0969	0,1800

¹⁾ średni współczynnik absorpcji wody: $\bar{A}_w$ – masowy; $\bar{W}_w$ – objętościowy

phenomenon was most pronounced on the northern (N) facade of the building, which was finished with mineral plaster with a bark texture (MB) – thermal resistance decreased by approx. 10% (Figure 3) compared to the calculated values for dry material.

to najsilniej zaobserwowano na elewacji północnej (N) w układzie z tynkiem mineralnym o fakturze baranka (MB) – opór cieplny zmniejszył się o ok. 10% (rysunek 3) w odniesieniu do wartości obliczeniowych dotyczących materiału suchego.

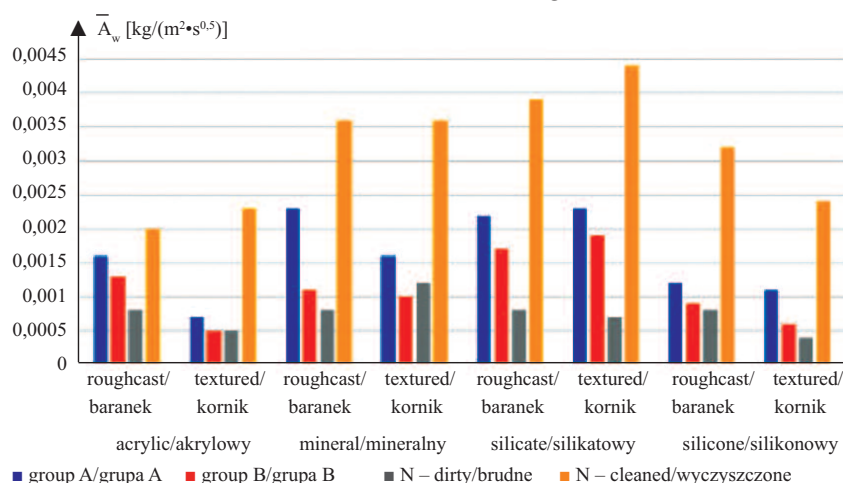


Fig. 3. Water absorption coefficient $\bar{A}_w$ for north-facing (N) samples

Rys. 3. Średni współczynnik absorpcji wody $\bar{A}_w$ próbek zlokalizowanych w orientacji północnej (N)

Studies show that the aesthetic and structural degradation of the plaster is not merely a visual defect, but a process that actually worsens the energy performance of the partition. It is worth noting that while surface texture affects the characteristics of aesthetic aging, it has no statistically significant impact on moisture transfer into the insulation. This process is entirely controlled by the destruction of the binder's microstructure.

Badania pokazują, że degradacja estetyczno-strukturalna tynku nie jest jedynie defektem wizualnym, lecz procesem, który realnie pogarsza parametry energetyczne przegrody. Warto zauważyć, że o ile faktura powierzchni różnicuje charakterystykę starzenia estetycznego, o tyle nie ma ona statystycznie istotnego wpływu na transfer wilgoci do wnętrza izolacji. Proces ten jest w pełni kontrolowany przez destrukcję mikrostruktury spoiwa.

Summary

A six-year field exposure study provided empirical evidence that premature degradation of ETICS is not merely an aesthetic issue, but results from profound changes in the material's microstructure. It was demonstrated that the cyclic effects of atmospheric factors (temperature transitions through 0°C, moisture absorption) initiate physical aging processes, manifested by an increase in the proportion of pillar-like pores in the plaster structure. The broadening of the pore size distribution, particularly in the range of 300–1000 nm, directly correlates with an increase in the material's water absorption, which drastically reduces its frost resistance.

Podsumowanie

Sześcioletnia ekspozycja poligonowa dostarczyła empirycznych dowodów, że przedwczesna degradacja ETICS nie jest jedynie kwestią estetyczną, lecz wynika z głębokich przemian w mikrostrukturze materiału. Wykazano, że cykliczne oddziaływanie czynników atmosferycznych (przejścia temperatury przez 0°C, absorpcja wilgoci) inicjuje procesy starzenia fizycznego, objawiające się zwiększeniem udziału porów kapilarnych w strukturze tynku. Rozszerzenie rozkładu wielkości porów, szczególnie w zakresie 300–1000 nm, bezpośrednio koreluje ze zwiększeniem nasiąkliwości materiału, co drastycznie zmniejsza jego mrozoodporność.

Microscopic analysis confirmed that the texture of the substrate is a determining factor in the kinetics of microbial colonization. Samples of the “ruffcast render” texture, characterized by a higher degree of light scattering and greater water retention, show a higher susceptibility to the growth of biofilms compared to the “worm render” texture.

Statistically significant differences in the degree of microbiological contamination were identified depending on exposure. Surfaces facing north and west, due to prolonged exposure to higher humidity, pose the highest risk of biocorrosion. Biocorrosion processes and the accompanying moisture accumulation in the thermal insulation layer (EPS) lead to a deterioration of the system’s thermal performance. Measurements have shown that the progressive degradation of the protective coating reduces the nominal thermal resistance of the building envelope by as much as 10% (in the case of mineral plasters on facades with unfavorable exposure). These results have significant practical implications for optimizing material selection and designing ETICS systems with enhanced durability.

Analiza mikroobrazowa potwierdziła, że faktura tynku jest czynnikiem determinującym kinetykę kolonizacji mikrobiologicznej. Wyprawy o fakturze baranka, charakteryzujące się większym stopniem rozproszenia światła i większą retencją wody, wykazują większą podatność na rozwój biofilmów w porównaniu z fakturą kornik.

Zidentyfikowano istotne statystycznie różnice w stopniu infekcji mikrobiologicznej w zależności od ekspozycji. Powierzchnie zorientowane na północ i zachód, ze względu na długi czas utrzymywania się podwyższonej wilgotności, stanowią środowisko o najwyższym ryzyku biokorozji. Procesy biokorozyjne oraz towarzyszące im zawilgocenie warstwy termoizolacyjnej (EPS) prowadzą do pogorszenia parametrów cieplnych systemu. Pomiar wykazały, że postępująca degradacja powłoki ochronnej redukuje nominalny opór cieplny przegrody nawet 10% (w przypadku tynków mineralnych na elewacjach o niekorzystnej ekspozycji). Wyniki te mają istotne znaczenie aplikacyjne w przypadku optymalizacji doboru materiałów oraz projektowania ETICS o zwiększonej trwałości.

Received: 02.03.2026

Revised: 18.05.2026

Published: 23.09.2026

Artykuł wpłynął do redakcji: 02.03.2026 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 18.05.2026 r.

Opublikowano: 23.09.2026 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; <https://doi.org/10.1080/08927010601093026>.
- [2] Barreira E, Freitas VP. External Thermal Insulation Composite Systems: Critical Parameters for Surface Hygrothermal Behaviour, Advances in Materials Science and Engineering. 2014; <https://doi.org/10.1155/2014/650752>
- [3] Duarte C. The Europe of mortars and ETICS. Trends, perspectives and opportunities. IX SBTA – Brazilian Symposium on Mortars Technology, Belo Horizonte, Brazil, 18 Maj 2011, pp. 7-16.
- [4] Dybowska-Józefiak M. Identyfikacja czynników determinujących trwałość i estetykę elewacji budynków. Politechnika Bydgoska, Bydgoszcz. 2023.
- [5] Xu H, Wang H, Huo Q, Qin Y, Zhou H. Comparative study of Chinese, European and ISO external thermal insulation composite system (ETICS) standards and technical recommendations. Building Engineering. 2023; p. 105687, 68.
- [6] 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.
- [7] Gonçalves M, N. Simoes N, Serra C, Almeida J, Flores-Colen I, Vieira de Castro N, Duarte L. Onsite monitoring of ETICS comparing different exposure conditions and insulation materials. Building Engineering; <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103067>.
- [8] 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.
- [9] Ksit B, Horbik D. Zanieczyszczenia biologiczne elewacji, Builder. 2015; pp. 80-83, 4.
- [10] Parracha J, Borsoi G, Flores-Colen I, Veiga R, Nunes L, Dionisio A, Gomes M, Far-ia P. Performance parameters of ETICS: Correlating water resistance, bio-susceptibility and surface properties, Construction and Building Materials. 2021; <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121956>.
- [11] Künzel H, Künzel HM, Sedlbauer K, Künzel H, Künzel HM, Sedlbauer K.: Long-Term Performance of External Thermal Insulation Systems (ETICS). Acta Scientiarum Polonorum, Architectura. 2006; s. 11-24, 5 (1).
- [12] Ryparova P, Tresarek P, Racova Z, i Trejbal J. External thermal insulation composite system and problem with biodegradation, w Central Europe Towards Sustainable Building CESB16, Praga, 2016
- [13] Sedlbauer K, Krus M. Mold growth on ETICS (EIFS) as a result of bad workmanship, Thermal Envelope and Building Science. 2002; <https://doi.org/10.1177/0075424202026002782>.
- [14] 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, Copenhagen. 2008; Denmark, pp. 277-284.
- [15] PN-EN ISO 15148 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe materiałów i wyrobów budowlanych – Określanie współczynnika absorpcji wody przez częściowe zanurzenie.
- [16] Fagerlund G. Trwałość konstrukcji betonowych. Warszawa: Arkady, 1997; <https://doi.org/10.1007/s13369-010-0033-5>.