



Politechnika Bydgoska
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy

**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY
INŻYNIERIA LĄDOWA, GEODEZJA I TRANSPORT**

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Monika Dybowska-Józefiak

**IDENTYFIKACJA CZYNNIKÓW DETERMINUJĄCYCH
TRWAŁOŚĆ I ESTETYKĘ ELEWACJI BUDYNKÓW**

***IDENTIFICATION OF FACTORS THAT DETERMINE THE DU-
RABILITY AND AESTHETICS OF THE FACADES OF BUILD-
INGS***

DZIEDZINA: NAUKI INŻYNIERYJNO TECHNICZNE
DYSCYPLINA: INŻYNIERIA LĄDOWA, GEODEZJA
I TRANSPORT

PROMOTOR

DR HAB. INŻ. MARIA WESOŁOWSKA, PROF. PBŚ
POLITECHNIKA BYDGOSKA IM. JANA I JĘDRZEJA
ŚNIADECKICH W BYDGOSZCZY

PROMOTOR POMOCNICZY

DR INŻ. KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, PROF. PBŚ
POLITECHNIKA BYDGOSKA IM. JANA I JĘDRZEJA
ŚNIADECKICH W BYDGOSZCZY

Bydgoszcz, rok 2023

Publikacja wydana na prawach rękopisu

*Pragnę serdecznie podziękować wszystkim osobom,
bez których praca ta nie mogłaby powstać.*

*Przede wszystkim mojej Pani Promotor i Mentorki
Pani dr hab. inż. Marii Wesołowskiej prof. PBŚ
za życzliwość, pomoc i cenne uwagi
przekazywane w trakcie przygotowywania
niniejszej pracy.*

*Chciałam również podziękować Rodzicom
za okazane wsparcie, cierpliwość i zrozumienie,
które towarzyszyły mi na każdym etapie
realizacji pracy.*

SPIS TREŚCI

WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ	9
1. WSTĘP	11
2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU ETICS.....	12
3. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA ROZWÓJ BIOKOROZJI WYPRAW TYNKARSKICH SYSTEMÓW ETICS.....	16
3.1. CZYNNIKI BIOTYCZNE.....	17
3.2. CZYNNIKI ABIOTYCZNE - ODDZIAŁYWANIE ŚRODOWISKA ZEWNĘTRZNEGO	22
3.2.1. Temperatura i wilgotność powietrza zewnętrznego	22
3.2.2. Promieniowanie krótkofalowe	23
3.2.3. Warunki atmosferyczne.....	24
3.2.4. Depozycja zanieczyszczeń.....	26
3.2.5. Zanieczyszczenie środowiska	26
3.2.6. Lokalizacja przegrody	29
3.3. CZYNNIKI ABIOTYCZNE – WŁAŚCIWOŚCI TYNKÓW	31
3.3.1. Pojemność cieplna tynku.....	31
3.3.2. Skład tynku.....	32
3.3.3. Odczyn pH tynku	34
3.3.4. Faktura tynku.....	35
3.3.5. Porowatość tynku.....	37
3.4. ROZWIĄZANIA UKŁADÓW MATERIAŁOWYCH I DETALI BUDOWLANYCH.....	38
3.4.1. Wymogi stawiane przegrodom zewnętrznym	38
3.4.2. Kolorystyka tynku.....	41
3.4.3. Układy materiałowe powłok zewnętrznych.....	44
3.4.4. Rozwiązania konstrukcyjne systemu ETICS	46
3.5. STAN WILGOTNOŚCIOWY POWŁOK JAKO EFEKT ODDZIAŁYWANIA CZYNNIKÓW ABIOTYCZNYCH	48
3.6. PODSUMOWANIE.....	52
4. PRZEDMIOT, CEL, TEZY BADAWCZE I ZAKRES PRACY	53
5. PRZEPROWADZONE BADANIA I STOSOWANE METODY.....	54
5.1. MATERIAŁY	54
5.2. STANOWISKO BADAWCZE	54
5.3. PRÓBKI LABRATORYJNE	61
5.4. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO BADAŃ	62
5.5. METODY BADAŃ.....	67
5.5.1. Określenie intensywności biokorozji na powierzchni tynków	67
5.5.2. Badanie mikrostruktury metodą porozymetrii rtęciowej (MIP)	70
5.5.3. Badanie absorpcji wody	71
5.5.4. Ocena zawilgocenia styropianu i jego wpływ na izolacyjność cieplną przegrody.....	73
6. WYNIKI BADAŃ WŁASNYCH WRAZ Z ANALIZĄ	75

6.1.	OKREŚLENIE INTENSYWNOŚCI BIAKOROZJI NA POWIERZCHNI TYNKÓW	75
6.1.1.	Wyniki badań laboratoryjnych wybranych tynków.....	75
6.1.2.	Podsumowanie analiz.....	93
6.2.	MIKROSTRUKTURA	100
6.2.1.	Wyniki badań laboratoryjnych wybranych tynków.....	100
6.2.2.	Podsumowanie analiz.....	112
6.3.	ABSORPCJA WODY.....	115
6.3.1.	Wyniki badań laboratoryjnych wybranych tynków.....	115
6.3.2.	Podsumowanie analiz.....	131
6.4.	STAN WILGOTNOŚCIOWY MATERIAŁU TERMOIZOLACYJNEGO POD WYPRAWĄ TYNKARSKĄ	135
6.4.1.	Wyniki badań laboratoryjnych.....	135
6.4.2.	Podsumowanie analiz.....	140
7.	ZAKOŃCZENIE.....	145
7.1.	PODSUMOWANIE.....	145
7.2.	WNIOSKI	146
7.3.	KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ.....	148
	LITERATURA.....	149
	STRESZCZENIE.....	166
	SUMMARY	167
	ZAŁĄCZNIKI.....	168

WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

A_w	współczynnik absorpcji wody dla czasu w sekundach [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$],
d	grubość materiału [m],
d_i	grubość paska próbki [m],
<i>EIFS</i>	(ang. Exterior Insulation Finishing Systems) – systemy wykończeniowe izolacji zewnętrznej,
<i>ETICS</i>	(ang. External Thermal Insulation Composite System) – zewnętrzny system termoizolacji kompozytowej,
<i>EPS</i>	(ang. Extracellular Polymeric Substances) pozakomórkowe substancje polimerowe,
<i>EPS</i>	ekspandowany polistyren formowany,
<i>EWI</i>	(ang. External Wall Insulation) - izolacja ścian zewnętrznych,
f_ψ	współczynnik konwersji uwzględniający wilgotność dla styropianu,
<i>HBW</i>	współczynnik odbicia światła rozproszonego,
<i>ICB</i>	ekspandowany aglomerat korkowy,
m	masa próbki przed wysuszeniem [g],
m_0	masa próbki po wysuszeniu [g],
<i>MW</i>	wełna mineralna,
P	porowatość ogólna [%],
R_ψ	sumaryczny opór cieplny [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$],
S_D	opór dyfuzyjny [m],
T_{air}	temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$],
t_f	czas badania [s], [h],
T_{sky}	temperatura nocnego czystego nieba [$^{\circ}\text{C}$],
<i>TIV</i>	całkowita intruzja rtęci [mL/g],
$q_{dyfuzja}$	dyfuzja pary wodnej,
$q_{deszcz,pionowy}$	woda deszczowa spływająca po ścianie,

$q_{deszcz,poziomy}$	wilgoć z zacinającego deszczu,
$q_{kondensacja}$	kondensacja pary wodnej,
$q_{konwekcja}$	konwekcja wilgoci,
q_{ssanie}	zasysanie skroplonej kapilarnie wody,
U_c	współczynnik przenikania ciepła [W/m ² K]
U_{cap}	pory odpowiedzialne za transport kapilarny [%]
U_{frost}	pory odpowiedzialne za mrozoodporność [%]
UHI	(ang. Urban Heat Island) miejska wyspa ciepła,
V	całkowita objętość próbki przed wysuszeniem [m ³],
V_w	objętość wody zawartej w próbce [m ³],
W_w	współczynnik absorpcji wody dla czasu w godzinach [kg/m ² h],
$\Delta m'_0$	wartość Δm odczytana z linii prostej czasu t_f dla $t_f = 0$, [kg/m ²],
$\Delta m'_{t_f}$	wartość Δm odczytana z linii prostej czasu t_f [kg/m ²],
θ	wilgotność objętościowa [%],
λ_D	wartość deklarowana współczynnika przewodzenia ciepła [W/mK],
λ_Ψ	wartość współczynnika przewodzenia ciepła przy wilgotności objętościowej Ψ [W/mK],
λ_{Ψ_i}	wartość współczynnika przewodzenia ciepła styropianu w pasku „i” przy wilgotności objętościowej Ψ_i [W/mK],
μ	współczynnik oporu dyfuzyjnego,
μ_m	wilgotność masowa [%],
Ψ_1	objętościowa zawartość wilgoci próbek do wyznaczenia λ_D ,
Ψ_2	objętościowa zawartość wilgoci dla próbek ze stanowiska badawczego,
IV_{frost}	objętość porów o średnicy od 100 do 1 000 nm,
IV_{cap}	objętość porów o średnicy od 100 do 100 000 nm

1. WSTĘP

Zaostrzające się w ostatnich latach wymagania izolacyjności termicznej przegród i oszczędności energii doprowadziły do zmian w sposobie wznoszenia budynków ogrzewanych. Jednym z najczęściej stosowanych rozwiązań ocieplenia zewnętrznych ścian budynków jest system ETICS (External Thermal Insulation Composite System), bazujący na styropianie. Niewielki ciężar i łatwość obróbki mechanicznej powoduje, że udział tego materiału w wykonywanych w Polsce realizacjach systemu ETICS wynosi blisko 90%. W tym rozwiązaniu styropian jest zabezpieczony cienkowarstwowym tynkiem wykonanym na zbrojonym podkładzie z kleju. Trwałość takiego systemu ocenia się na 25 lat, ale bardzo często już po kilku latach obserwuje się proces degradacji o różnym nasileniu. Pod względem trwałości najsłabszym elementem jest warstwa tynku i strefa styku z podkładem. Wspomniana warstwa poza oczywistymi uszkodzeniami mechanicznymi, narażona jest na bezpośrednie działanie czynników zewnętrznych, takich jak promieniowanie słoneczne, deszcz, mróz, wilgoć, które w połączeniu z właściwościami tych tynków prowadzą do obniżenia jakości estetycznej elewacji. W efekcie tych oddziaływań na powierzchniach elewacji, często już w deklarowanym okresie trwałości, zasiedlają się mikroorganizmy. Nawet jeśli problem w odbiorze społecznym ma jedynie charakter estetyczny, to skutki porażenia elewacji glonami należy traktować jako naruszenie trwałości powłoki tynkarskiej.

Polska nie jest jedynym krajem, który doświadcza biologicznego skażenia na nowo wybudowanych systemach ETICS. W przeglądzie literaturowym uwzględniono prace m.in. z Niemiec, Czech, czy Portugalii, które odnoszą się do tego samego problemu, jednak opisane w nich badania zwykle dotyczą biologicznego porostu na fasadach. Rozważania dotyczące tynków są rzadkością. Jest to związane z tym, że ochrona przed zagrożeniem biologicznym jest problemem interdyscyplinarnym, który łączy w sobie elementy wiedzy biologicznej i technicznej. Przedstawiona analiza stanu wiedzy z tego obszaru tematycznego pozwoliła na wyodrębnienie dwóch grup czynników wpływających na proces biokorozji. Można je określić jako czynniki biotyczne i czynniki abiotyczne.

Celem badań naukowych, opisanych w niniejszej pracy, jest zdefiniowanie czynników abiotycznych uruchamiających procesy korozyjne cienkowarstwowych wypraw tynkarskich na ścianach zewnętrznych, ocieplonych metodą ETICS. Jednym z podjętych tematów jest ocena zmian właściwości fizycznych tynków poddanych długotrwałemu oddziaływaniu środowiska zewnętrznego. Główny nacisk położono na zmienność porowatości tynków oraz ich nasiąkliwość. Cechy te przekładają się na wilgotność powierzchni, która decyduje o warunkach wzrostu mikroorganizmów na elewacji, co z kolei może mieć wpływ na zmiany w mikrostrukturze tynków. Konsekwencją tej współzależności są zmiany wilgotności materiału termoizolacyjnego, które rzutują na izolacyjność termiczną systemu.

2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU ETICS

ETICS to skrót nazwy External Thermal Insulation Composite System (w Ameryce Północnej ten system budowlany jest często nazywany EIFS – Exterior Insulation Finishing Systems, a w Wielkiej Brytanii określane jako External Wall Insulation – EWI) [1], [2], [3]. Zewnętrzny system termoizolacji kompozytowej to zestawy, które składają się z płyty izolacyjnej (klejonej lub klejonej i mocowanej mechanicznie) ze zbrojonym podkładem i dekoracyjnymi powłokami wykończeniowymi. Składa się z szerokiego wyboru klejów, podkładów, tynków i powłok dekoracyjnych o różnej kolorystyce [4], [2]. Zapewnia różnorodność rozwiązań w zależności od wymagań projektu budowlanego, inwestorów i pracowników budowlanych. Zewnętrzny system izolacji termicznej (ETICS) jest szeroko stosowany w nowym budownictwie, przebudowie i renowacji starych budynków. Główną funkcją ETICS jest poprawa właściwości termicznych obudów i spełnienie wymagań krajowych przepisów budowlanych dotyczących charakterystyki cieplnej budynków [5]. Systemy ETICS oparte na EPS oferują szeroką gamę rozwiązań dla wszystkich typów budynków. Są w pełni certyfikowane zgodnie z krajowymi i europejskimi dokumentami oceny. Ich specyfikacja i parametry techniczne spełniają wymagania każdego projektu, zarówno mieszkaniowego, jak i komercyjnego, zgodnie z obowiązującymi przepisami budowlanymi w Polsce.

System ten został opracowany w Niemczech w 1950 i 1960 roku [6], gdzie wiele domów murowanych wymagało dodatkowej izolacji termicznej. Warstwę izolacji termicznej umieszczano wówczas na zewnętrznej stronie oryginalnej fasady i pokrywano tynkiem. Rozwiązanie stało się także popularne w krajach skandynawskich podczas kryzysu energetycznego w latach 70. XX wieku [7]. Aktualnie stosowane jest w całej Europie, Stanach Zjednoczonych i Kanadzie. Według Duarte [8], jest obecnie szczególnie popularne w Niemczech, Polsce i Czechach. System ten stosuje się zarówno w obiektach nowych, jak i remontowanych.

Zestawy ETICS składają się z materiału termoizolacyjnego, który jest nakładany na ścianę zewnętrzną za pomocą kleju i/lub mocowania mechanicznego. Następnie na izolację nakłada się cienki system tynkarski z siatką zbrojącą w zaprawie podkładowej. Najczęściej stosowanym materiałem izolacyjnym w ETICS jest ekspandowany polistyren formowany (EPS) [9] ze względu na jego znane zalety i niższy koszt [10]. Jednakże inne izolacje termiczne, takie jak wełna mineralna (MW) czy ekspandowany korek wełna mineralna (MW), czy ekspandowany aglomerat korkowy (ICB) są również stosowane [11].

Ocieplenie ścian zewnętrznych budynków przy zastosowaniu tego systemu jest realizowane wg specyfikacji technicznej EAD 040083-00-0404 [12], która wyparła wcześniej stosowany EOTA ETAG 004 [13]. W zależności od sposobu mocowania izolacji termicznej wyróżnia się cztery odmiany systemu ETICS:

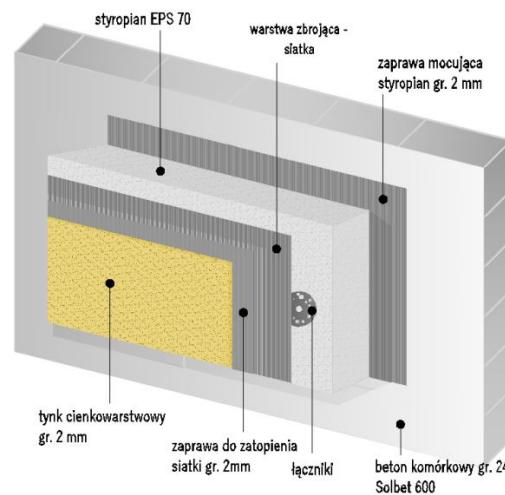
- klejony z minimalną powierzchnią klejenia 20%,
- klejony z dodatkowym mocowaniem mechanicznym z minimalną powierzchnią klejenia 20%,
- mocowany mechanicznie z dodatkowym klejem o minimalnej powierzchni klejenia 20%,
- mocowany mechanicznie z powierzchnią klejenia mniejszą niż 20%.

Podstawowymi komponentami zestawu są:

- zaprawa klejąca do mocowania płyt materiału termoizolacyjnego do podłoża,

- płyty materiału termoizolacyjnego (wyroby do izolacji cieplnej, które można ocenić zgodnie z metodami wymienionymi w EAD) [12],
- łączniki mechaniczne,
- warstwa wykończeniowa składająca się z następujących komponentów:
 - ~ zaprawa lub masa klejąca do zatapiania siatki zbrojącej,
 - ~ siatka z włókna szklanego lub siatka metalowa,
 - ~ opcjonalnie:
 - środek gruntujący pod wyprawę zewnętrzną,
 - cienkowarstwowa zaprawa lub masa tynkarska,
 - farba elewacyjna wraz z podkładem dostosowanym do rodzaju farby.

Podłożem do izolacji mogą być ściany murowane (z cegieł, bloczków) lub betonowane (monolityczne lub prefabrykowane) z systemami tynkarskimi lub bez. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy schemat zastosowania systemu ETICS według wymagań europejskich.



Rysunek 1. Schemat systemu ETICS (opracowanie własne)

Te systemy kompozytowe zapewniają zwiększoną odporność termiczną przegród zewnętrznych budynku [14], [15] i mają szereg zalet w porównaniu z innymi rozwiązaniami termoizolacyjnymi, takich jak korekta mostków termicznych, ochrona muru i elementów konstrukcyjnych przed naprężeniami termicznymi i wilgocią, a także stosunkowo niskie koszty montażu [16], [17]. ETICS znacznie zmniejszają straty energii, a tym samym przyczyniają się do zmniejszenia wpływu budynków na środowisko przez cały okres ich użytkowania [18], [19], [20].

Korzystne, długoterminowe, właściwości użytkowe w połączeniu z doskonałą ochroną przed zacinającym deszczem i wysoką jakością izolacji termicznej to powody,

dla których ETICS stał się tak popularny w Europie Środkowej. Polski rynek ETICS, szacowany na ok. 40 mln m²/rok, należy do czołowych w Europie [21], [21]. Wielowarstwowa powłoka zewnętrzna była oceniana jako rozwiązanie o mniejszej podatności na uszkodzenia niż tradycyjne wyprawy tynkarskie [6], [16], [22]. Jednak wcześniejsze zastosowania ETICS ujawniły szczególnie niską odporność na uderzenia i porażenie biologiczne tynków [23].

Jednakże ich długoterminowa trwałość pozostaje powszechnym problemem, a niektóre systemy wykazują istotne anomalie po kilku latach od ich zastosowania [24]. W świetle doświadczeń praktycznych i badań teoretycznych trwałość systemu ociepleń zależy w dużej mierze od właściwości poszczególnych elementów, takich jak płyty styropianowe, warstwa gruntująca, zaprawa klejowa i warstwy tynku oraz od sposobu ich łączenia. Najbardziej z nich jest tynk elewacyjny, który powoduje takie wady jak spękania powierzchni, łuszczenie się lub odrywanie się od podłoża, a czasem odpadanie [25], [26]. Zmiany na powierzchni elewacji, spowodowane rozwojem mikroorganizmów są ogólnie akceptowane jako „patyna”, o ile są równomiernie rozłożone, podczas gdy lokalne stężenia zanieczyszczeń lub glonów są często oceniane jako „wizualnie niekorzystny wpływ” [6] – rys. 2. Kolonizacja ścian zewnętrznych przez mikroorganizmy jest czynnikiem obniżającym podstawową żywotność ETICS o 3-4 lata. W warunkach ekstremalnych, biorąc pod uwagę projekt, jego wykonanie oraz konserwację i użyteczność, żywotność może osiągnąć tylko połowę przewidywanej wartości [27].



Rysunek 2. Zmiany na powierzchni elewacji (archiwum własne)

Tradycyjne procesy czyszczenia elewacji mogą być niebezpieczne, pracochłonne i utrudniać utrzymanie elewacji w dobrym stanie. W związku z tym, w celu zwiększenia możliwości utrzymania systemów elewacyjnych, zarządcy fasad poszukują nowych metod, które pozwoliłyby na usprawnienie tych procesów [28]. Metody zwalczania grzybów w budynkach polegają na stwierdzeniu i usunięciu przyczyny zagrzybienia, usunięciu porażonego materiału i wykonaniu zabiegów dezynfekcyjnych z zastosowaniem środków chemicznych [29], [30], [31].

Podstawowe właściwości systemu ETICS określa specyfikacja techniczna EAD 040083-00-0404 [12]. Obok wymagań ochrony przeciwpożarowej, cieplnej i akustycznej systemu ociepleń, w dokumencie tym zdefiniowana została również grupa cech fizycznych, dotyczących wyprawy zewnętrznej: wymywanie substancji, absorpcja wody, wodoszczelność, odporność na działanie mrozu, odporność na uderzenia, przepuszczalność pary wodnej. Dokument ten nie zawiera jednak bezpośrednich wymagań dotyczących ochrony przed korozją biologiczną. Zjawisko to zmienia estetykę materiałów, a w późniejszym etapie może nawet zagrozić trwałości konstrukcji poprzez korozję lub fizyczną degradację wywołaną przez mikroorganizmy [32].

Na przestrzeni lat prowadzone są badania, których celem jest ocena trwałości ETICS, a także zaproponowanie innowacyjnych metod oceny. Według Lewry'ego i Crewdsona [33], ocena trwałości może być przeprowadzona z uwzględnieniem czterech różnych podejść: testów porównawczych, zwykle poprzez testy przyspieszonego starzenia; testów porównawczych, pozwalających na kalibrację metody, materiałów i sprzętu; testów środowiskowych lub stresowych; oraz testów terenowych, poprzez naturalne narażenie/starzenie się lub monitoring in-situ. Biorąc pod uwagę badania przyspieszone, większość dostępnych w literaturze badań dotyczących ETICS uwzględnia wpływ temperatury i wilgoci (zachowanie higrotermiczne) oraz promieniowania słonecznego (testy UV) [34], [35], [36], [37], [38], które silnie wpływają na trwałość ETICS.

Różne informacje na temat trwałości tych systemów możemy znaleźć we wcześniejszych badaniach Bochen [39], Daniotti [40], [34], Nilica [41], Topcu [42], Stazi [43], Kvande [7]. Żywotność ETICS powszechnie zależy od procesów starzenia się tynków: korozji, zmęczenia, utraty koloru, przebarwień, zabrudzeń, spękań, utraty przyczepności itp. Zazwyczaj tynki są narażone na działanie złożonych czynników atmosferycznych, takich jak promieniowanie UV, wilgoć (deszcz i rosa), wiatr, zmiany temperatury, które mogą powodować pęknięcia powierzchni, deformacje zewnętrznej cienkiej warstwy [44]. Zewnętrzna warstwa systemu, o typowej grubości 1-3 mm, musi być odporna na największe działanie czynników atmosferycznych. Cienka warstwa tynku absorbuje ciekłą wodę do swoich porów i kapilar. Dlatego maksymalny negatywny efekt występuje w mikrostrukturze tynku: zmiany promienia wewnętrznego porów cylindrycznych kapilary zginania długości porów [45], [39], [38]. Wiadomo, że mniejsza absorpcja wilgoci powoduje dłuższą żywotność [42]. Badania przyspieszonego starzenia się w warunkach klimatycznych przeprowadza się w celu zbadania trwałości różnych materiałów budowlanych w znacznie krótszym okresie czasu, niż pozwoliłoby na to naturalne starzenie się w warunkach atmosferycznych. Przyspieszone starzenie klimatyczne mogłoby pomóc w zrozumieniu procesów degradacji systemu ETICS. Ponadto, przyspieszone starzenie powinno być tak samo podobne do starzenia naturalnego. Przeprowadzono kilka eksperymentów dotyczących żywotności ETICS i uzyskano różne wyniki ze względu na różne metody badań (Shohet i Paciuk [46], Daniotti i Paolini [40], Bochen i inni [39], Jelle i inni [47], Daniotti i Paolini [34], Bochen [45], Bochen i Gil [38], Koči i inni [48], Norvaišienė i inni [49]).

Wcześniejsze badania [17], [34], [50] wykazały, że większość trybów awarii ETICS wystąpiła, gdy jeden lub więcej czynników środowiskowych działało synergicznie z wodą. W rzeczywistości ważne mechanizmy degradacji, takie jak zamrażanie/rozmarzanie, krystalizacja soli i kolonizacja biologiczna są silnie związane z obecnością wody [35]. Dlatego też stosowanie hydrofobowych powłok wykończeniowych ma fundamentalne znaczenie dla ochrony ETICS przed różnymi czynnikami degradacji [36], [37].

3. CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA ROZWÓJ BIOKOROZJI WYPRAW TYNKARSKICH SYSTEMÓW ETICS

Spośród wszystkich materiałów budowlanych do budowy najszerzej stosowane są te sztuczne, jak zaprawy. Biologiczny rozkład zapraw stanowi poważny problem, ponieważ około 30% widocznych zmian na materiałach budowlanych jest wynikiem oddziaływania mikroorganizmów [51], [52]. Oddziaływanie mikroorganizmów na elewacje budynków jest odpowiedzialne za pogorszenie stanu estetycznego, biogeofizycznego i biogeochemicznego [53].

Porażenie tynków systemów ETICS korozją biologiczną jest efektem działania czynników biotycznych (biologicznych) i abiotycznych (fizycznych i chemicznych). Funkcjonujące na elewacjach organizmy mają różne wymagania w stosunku do tych czynników. Ich wzajemna interakcja decyduje o tym, czy organizm może rozwijać się w danym środowisku [54].

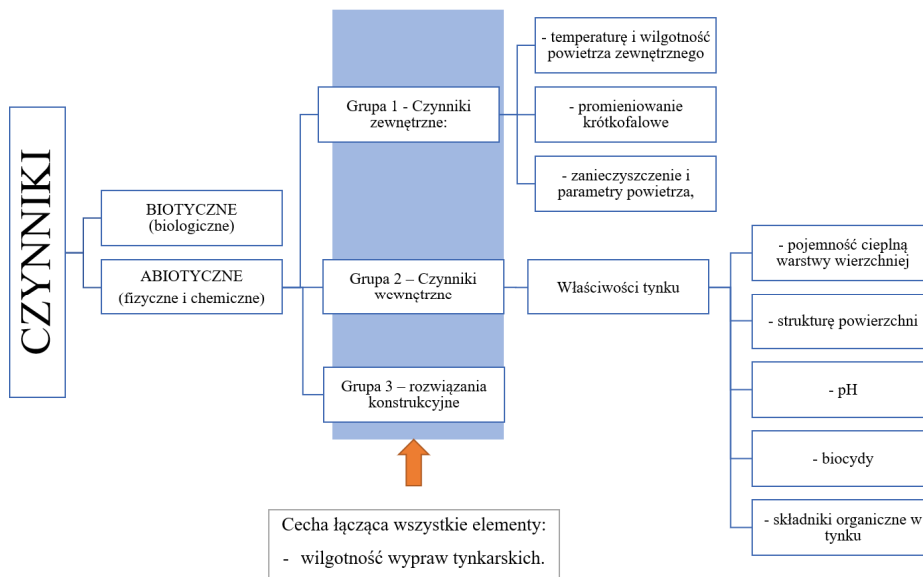
Jakość estetyczna elewacji budynków jest poważnie pogorszona przez rozwój plam biologicznych. Plamy biologiczne powstają w wyniku rozwoju mikroorganizmów, wśród których organizmy fototroficzne powodują powstawanie pierwszych widocznych plam. Mikroorganizmy fototroficzne, takie jak algi i sinice, będą kolonizować materiały budowlane, gdy tylko pojawi się odpowiednia kombinacja wilgoci, ciepła i światła [55]. Oprócz warunków środowiskowych, tempo rozwoju plam w dużej mierze zależy od biopodatności materiału. Bioreceptywność, która odnosi się do zdolności materiału do kolonizacji przez organizmy żywe, jest związana z właściwościami materiału, które przyczyniają się do zakotwiczenia i rozwoju różnych rodzajów organizmów. W przypadku materiałów budowlanych, takich jak kamień i beton, odnosi się ona do chropowatości powierzchni, zawartości wilgoci, składu chemicznego, struktury i tekstury materiału. Materiały budowlane, które mają wysoką szorstkość i wysoką makroporowatość, takie jak gazobeton, wykazują zatem wysoką bioreceptywność [56].

Znajomość biotycznych i abiotycznych czynników wpływających na wzrost biokorozji oraz ich interakcje z transportem ciepła i wilgoci przez struktury budynku jest niezbędna do głębszego zrozumienia problemu [1]– rys. 3.

Czynniki abiotyczne można sklasyfikować do trzech grup:

- **Grupa 1** - oddziaływanie środowiska zewnętrznego w postaci temperatury i wilgotności powietrza zewnętrznego, promieniowania krótkofalowego, opadów atmosferycznych, wiatru oraz zanieczyszczenia powietrza.
- **Grupa 2** - wpływ czynników wewnętrznych: właściwości tynku (pojemność cieplna, skład tynku, struktura powierzchni)
- **Grupa 3**- rozwiązania układów materiałowych i detali budowlanych.

Efektom oddziaływania tych trzech grup jest przede wszystkim stan wilgotnościowy wypraw tynkarskich.



Rysunek 3. Czynniki wpływające na rozwój biokorozji (opracowanie własne)

3.1. CZYNNIKI BIOTYCZNE

Występowanie mikroorganizmów na materiałach budowlanych ma niekorzystny wpływ prowadzący do postępującej degradacji i rozkładu.

Korozja biologiczna w budownictwie to zróżnicowane formy niszczenia elementów budowli wywołane działaniem organizmów żywych. Są to przede wszystkim grzyby domowe, grzyby pleśniowe, jednokomórkowe drożdże, glony, porosty oraz w przypadku drewna także owady – szkodniki drewna [57], [58], [59]. Ze względu na charakter biodeterioracji oraz zależnie od tego czy materiał stanowi główne pożywienie organizmów żywych, czy tylko na nim się rozwijają korzystając z innych źródeł pożywienia można wyróżnić następujące formy:

- mechaniczne - gdy materiał ulega uszkodzeniu w wyniku bezpośredniego działania organizmów, np. wyboje na drodze spowodowane przez korzenie drzew,
- chemiczną asymilacyjną biodeterioracją - gdy materiał ulega degradacji ze względu na zawartość substancji odżywczych, dotyczy głównie produktów organicznych, np. włókien czy drewna. Procesowi chemicznej biodeterioracji podlegają takie materiały jak: wyroby papiernicze, w tym płyty G-K, materiały drewniane i drewnopochodne, materiały i powłoki malarskie, kleje i kity [57], [58], [59], [60],
- chemiczną dysymilacyjną biodeterioracją - zachodzi, gdy metabolity organizmów uszkadzają strukturę materiału wchodząc z nim w reakcje powodując korozję, pigmentację lub wydzielanie toksycznych metabolitów do materiału. Przykładem jest biologiczna korozja metali, betonu, cegieł, zapraw murarskich i tynkarskich, skał oraz szkła [57], [58], [59].

- kolonizacja powierzchni materiałów przez organizmy, tzw. biofoulingi - występuje wtedy, gdy obecność organizmów lub ich wydzieliny stają się niepożądane dla materiału. Powszechnym przykładem jest zamulanie kadłubów statków, tuż przy linii wodnej, przez organizmy tworzące bujne zarośla.

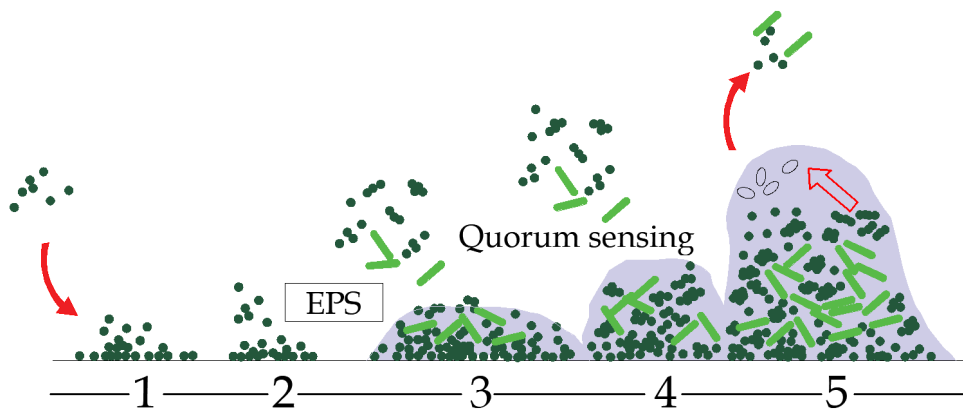
Tak więc korozja biologiczna materiałów budowlanych jest wynikiem chemicznego i mechanicznego oddziaływania komórek glonów, grzybów, mchów, porostów i ich metabolitów na porowatą strukturę budowli. Inwazji biologicznej sprzyjają czynniki abiotyczne, takie jak duża wilgotność, podwyższone stężenie dwutlenku węgla oraz stała niezbyt wysoka temperatura i dla organizmów fotosyntetyzujących – światło.

Drobnoustroje, kolonizujące elewacje, wykorzystują składniki odżywcze, pochodzące z zanieczyszczeń na powierzchni, a następnie w miarę dostępności, korzystają ze związków zawartych w materiale. Szczególnie łatwo degradacji ulegają materiały posiadające wartość odżywczą [61], [62]. Materiały techniczne można podzielić na: organiczne i nieorganiczne [63]. 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 szczawowego, glukonowego, cytrynowego), które tworzą kompleksy z jonami np. wapna i magnezu, pobieranymi z materiału, przyczyniając się do osłabienia jego struktury [64], [65].

Mikroorganizmy tworzą błonę biologiczną (biofilm) na kolonizowanych powierzchniach. W procesie powstawania biofilmu bakteryjnego wyróżnia się kilka etapów:

- adhezję pojedynczych komórek powierzchni – wyróżnia się adhezję początkową (odwracalna) i adhezję zasadniczą (nieodwracalna),
- tworzenie mikrokolonii,
- różnicowanie się osiadłej populacji bakterii i utworzenie dojrzałej formy biofilmu,
- migracja.

Proces formowania jest złożony (rys. 4) i rozpoczyna się w momencie osadzenia na powierzchni pojedynczych komórek [66]. Mikroorganizmy ulegające adhezji tworzą trwałe, cienkie warstewki nazywane błonami biologicznymi lub biofilmami. Biofilmy są obecnie definiowane jako złożone, wielokomórkowe struktury bakteryjne otoczone warstwą substancji organicznych i nieorganicznych, produkowanych przez te drobnoustroje, wykazujące adhezję do powierzchni biologicznych i abiotycznych [67], [68]. Zgodnie z tą definicją pod pojęciem biofilmu rozumie się również wszelkie agregaty utworzone przez komórki mikroorganizmów oraz populacje bakterii przylegających do ścianek porów w substancjach o niejednorodnych powierzchniach. Biofilm bakteryjny może być utworzony przez komórki drobnoustrojów należących do jednego lub nawet kilkunastu gatunków [69], [66].



Rysunek 4. Formowanie biofilmu na powierzchniach: 1- adhezja początkowa, 2 – adhezja zasadnicza, 3 – tworzenie mikrokolonii, 4 – dojrzewanie biofilmu, 5 – migracja (na podstawie [66])

Adhezja mikroorganizmów do powierzchni stałych zachodzi w dwóch fazach (w zależności od odległości pomiędzy komórką a podłożem) [66]:

- faza początkowa (odległość pomiędzy komórką a podłożem wynosi ponad 150nm): największą rolę odgrywają tutaj oddziaływania fizyczne - siły hydrodynamiczne, dyfuzja, grawitacja, siły termodynamiczne (ruchy Browna), siły van der Waalsa, elektrostatyczny ładunek powierzchni, a także ruchliwość samych komórek;
- faza zasadnicza (odległość pomiędzy komórką a podłożem wynosi ok. 3 nm): tutaj zasadnicze znaczenie dla utworzenia biofilmu odgrywają siły chemiczne - wiązania wodorowe, tworzenie par i kompleksów jonowych. Główną rolę odgrywają tutaj wiązania kowalencyjne typu węgiel-węgiel. Całkowita energia tych słabych interakcji potęgowana jest przez dużą liczbę potencjalnych miejsc nowych wiązań. Interakcje te uważa się za czynniki stabilizujące matrycę każdego biofilmu [70].

Mikroorganizmy stabilizują całą strukturę poprzez produkcję substancji polimerowych, tzw. EPS (extracellular polymeric substances). Obejmują one różne rodzaje makromolekuł, takie jak polisacharydy, białka, kwasy nukleinowe czy fosfolipidy. Synteza do środowiska zewnętrznego substancji EPS przez organizmy prokariotyczne (bakterie) i eukariotyczne (algi, grzyby) wynika bezpośrednio z adaptacji do danych warunków otoczenia. Związki te uważane są za podstawowe komponenty każdego biofilmu, ponieważ determinują jego biologiczne i fizykochemiczne cechy. Ogólne proporcje komponentów EPS w biofilmie są zróżnicowane. Zawartość materii organicznej waha się w granicach od 50 do 90%. Zróżnicowana ich koncentracja oraz specyficzny charakter tych substancji może stanowić ochronę takiej formy rozwoju drobnoustrojów [66], [69]. W celu utrzymania kolonii wykorzystują one swoisty sposób przekazywania informacji, wynikający z zagęszczenia. Gdy osiągną kworum, wysyłają sygnał chemiczny do innych komórek w biofilmie, informując je o stanie i potrzebach kolonii. Ta zdolność do komunikacji została określona jako "quorum sensing" [71].

W skupiskach mikroorganizmy wykazują inne cechy niż komórki żyjące w pojedynczej, wolnej formie [71], [72]. Pełnią nowe funkcje, współpracują przekazując sobie składniki odżywcze, otaczają się warstwą wydzielanego przez siebie śluzu [73].

Po osiągnięciu pewnej krytycznej grubości, komórki odrywają się od peryferyjnych części biofilmu i przemieszczają się w kierunku nowych powierzchni [66]. Poszczególne obszary biofilmu różnią się gęstością, dostępnością materii organicznej oraz 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. biocydów) i zwiększają możliwość przetrwania kolonii [71].

Biofilm wpływa na zmiany wyglądu i struktury materiału budowlanego – tab.1.

Tabela1. Zmiany wyglądu i struktury kamieni wywołane przez mikroorganizmy [74]

Mikroorganizm	Zmiana
Bakterie autotroficzne	Czarna skorupa, czarno-brązowe patyny, odwarstwianie, proszkowanie
Bakterie heterotroficzne	Czarna skorupa, czarne patyny, odwarstwianie, zmiana koloru
Promieniowce	Białawo-szary proszek, patyny, biały wykwit (nalot krystaliczny)
Sinice	Patyny i warstwy różnego koloru i konsystencji
Grzyby	Kolorowe plamy i łaty, odwarstwianie, wżery
Głony	Patyny i warstwy różnego koloru i konsystencji
Porosty	Skorupy, łaty i wżery

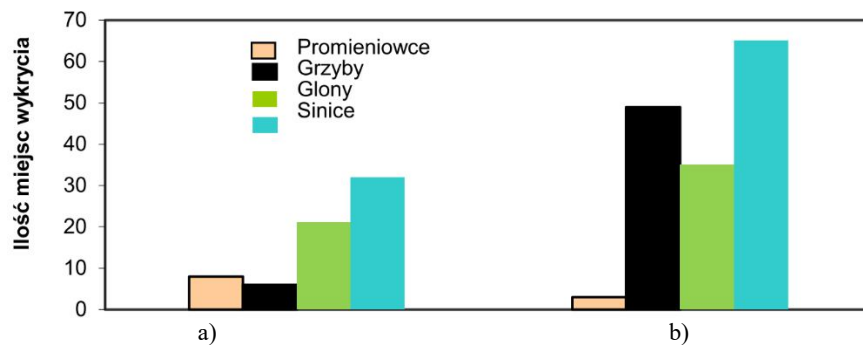
Obiekty mogą być zanieczyszczone przez wiele gatunków grzybów, glonów, mchów i porostów. Szczególnie czytelne i kłopotliwe jest pojawienie się pleśni. Sprzyjają temu zmiany mikroklimatyczne (zmniejszanie się zawartości SO_2 i SO_3 w powietrzu, a zwiększanie CO_2), a także wprowadzanie nowych, niesprawdzonych jeszcze w długotrwałej eksploatacji technik wykonywania przegród budowlanych [57].

Mikroorganizmy na ścianach budynków stanowią złożony ekosystem, który rozwija się w różny sposób, w zależności od warunków środowiskowych i właściwości fizykochemicznych danego materiału [75]. Większość naukowych do badań korozji biologicznej angażuje w proces bakterie i grzyby, jednak rosnąca troska o zachowanie dobrej jakości materiałów technicznych na zewnętrznych ścianach budynków spowodowała wzrost zainteresowania udziałem sinic w biodeterioracji na zewnętrznych ścianach budynków. Do problemu degradacji elewacji należy podejść, zapoznając się najpierw z organizmami, które je powodują. Głównymi agresorami są: glony (powodujące wybijane zarastanie), pleśnie (szaro - czarne plamy pleśniowe) czy porosty powstałe w wyniku symbiotycznego rozwoju glonów i grzybów (zielono - czarne plamy). Ich budowa, sposób rozmnażania, procesy metaboliczne, a także wpływ produktów odpadowych przemiany materii na materiały budowlane stanowią bazę wiedzy dla działań mających na celu zapobieganie korozji [76]. W przeważającej części elewacje są kolonizowane przez bakterie i glony aerofityczne [77], [78].

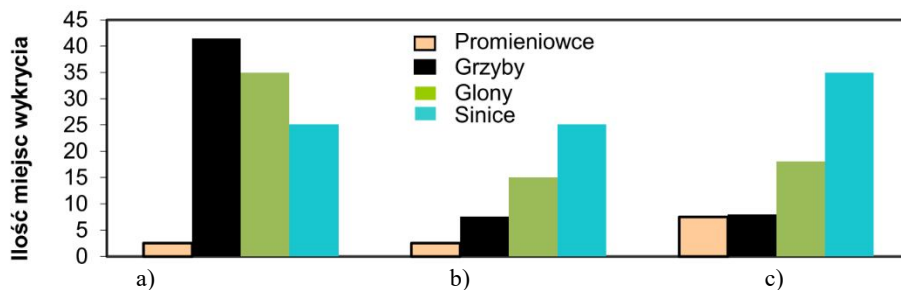
Mikroorganizmy kolonizujące powierzchnie elewacji początkowo nie powodują zauważalnych zmian, jednak z czasem mogą powodować zmiany wizualne oraz uszkodzenia fizykochemiczne materiału technicznego. Najczęściej występującymi organizmami na powierzchniach budowlanych są: bakterie, sinice, aktynobakterie, glony, grzyby i pierwotniaki. Ze względu na odporność na deficyt wody i niekorzystne promieniowanie UV, sinice, grzyby i glony stanowią większość biomasy w zakwitach na zewnętrznych ścianach budynków częściej niż inne organizmy [79]. Aerofityczne cyjanobakterie tworzą środowiska symbiotyczne z organizmami heterotroficznymi (bakterie, pleśnie). W procesach metabolicznych wytwarzają substancje alkaliczne lub agresywne

kwasy (kwas siarkowy, azotowy i inne), a także substancje powierzchniowo czynne [80], które reagując z substratem powodują nieodwracalne zmiany w strukturze ścian, umożliwiając mikroorganizmom przenikanie przez materiał techniczny.

Badania składu jakościowego biofilmów występujących na zewnętrznych ścianach budynków przeprowadzone w Europie i Ameryce Łacińskiej określiły, że sinice były najczęściej występującymi organizmami w zakwitach na budynkach w Ameryce, natomiast w Europie uplasowały się na drugim miejscu po glonach – rys. 5 [79]. Elewacje w zależności od położenia geograficznego i rodzaju materiału są kolonizowane przez grupy organizmów z różnym nasileniem – rys. 6 [79].



Rysunek 5. Ilościowe zestawienie miejsc, w których wykryto organizmy z danej grupy jako główny składnik biomasy na budynkach w: a) Europie, b) Ameryce Łacińskiej [79]



Rysunek 6. Porównanie ilościowe miejsc, w których grupy mikroorganizmów miały największy udział w biomacie biofilmu utworzonego na : a) farbie, b) spoiwie, c) kamieniu [79]

Różnice w składzie ilościowym wynikają z odmiennych warunków klimatycznych na obu kontynentach. Autorzy stwierdzili, że skład gatunkowy badanych biofilmów zależał od klimatu, a nie od składu podłoża. Badania prowadzone w różnych częściach świata wskazują, że organizmy wykorzystują również związki zawarte w materiale, na którym się osadzają.

Gatunki sinic występujące na tynkach budynków mieszkalnych, podobnie jak lityfy, pozyskują składniki pokarmowe z atmosfery, opadów atmosferycznych, a także kurzu i pyłu. Procesy biodeterioracji, w których biorą udział sinice, wynikają częściowo z wydzielania żrących kwasów, gromadzenia siarki i wapnia w komórkach lub z ich przenikania do materiału technicznego, co prowadzi do zmian poziomu naprężeń

i jego degradacji [80]. Inicjują one proces biodeterioracji ze względu na swoje niewielkie wymagania. W późniejszym czasie, w konsekwencji mikroklimatu biofilmowego, który tworzą w stadium rozwiniętym, mogą zapewnić korzystne warunki dla rozwoju innych organizmów. Przykładem są porosty, czyli grzyby żyjące w symbiozie z glonami i chętnie kolonizujące miejsca wilgotne. Według różnych ekspertyz [81], najczęściej spotykane glony należą do trzech taksonów glonów z rodziny Chlorophyceae. Absolutnie dominującym gatunkiem glonów na elewacjach budynków mieszkalnych jest *Apatococcus vulgaris*. Należy on do taksonów powszechnie występujących. Na wysokości ok. 0,5 m rozwinęły się zielone glony nitkowate: *Chlorohormidium flaccidum* i *falacidum*, a także, przy wyraźnych plamach wody, typowo wodny gatunek *Ulothrix oscillarina*, dość odporny na wysychanie. Występują zwykle w pobliżu systemów rynnowych, rur spustowych i wnek ściennych, a więc w miejscach najbardziej wilgotnych. Rzadko występującym na elewacjach glonem jest sinica, która często jest składnikiem zbiorowisk aerofitów. Biomasa glonów, sinic i grzybów ułatwia rozwój mchów i porostów, które mogą pogłębiać degradację powierzchni w wyniku ingerencji w strukturę materiału. W wyniku przemian metabolicznych porosty wytwarzają biogenne kwasy organiczne i inne czynniki o działaniu chemicznym, powodujące występowanie na powierzchni ubytków, pęknięć i wżerów korozyjnych. Najbardziej podatne na ich degradacyjne działanie są minerały węglanowe i krzemiany żelazowo-magnezowe, a najmniej skalenie [74].

3.2. CZYNNIKI ABIOTYCZNE - ODDZIAŁYWANIE ŚRODOWISKA ZEWNĘTRZNEGO

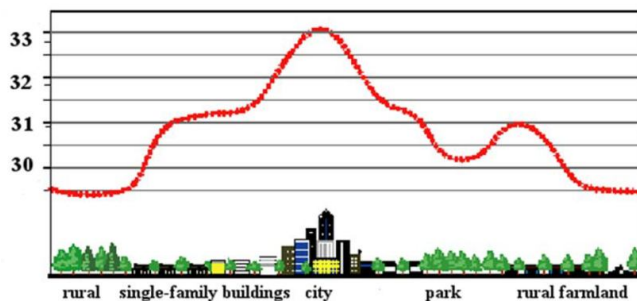
3.2.1. Temperatura i wilgotność powietrza zewnętrznego

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 [61]. Średnia roczna temperatura w ciągu 10 lat wzrosła o ok. 1°C. Wyższa temperatura i brak mroźnych zim sprzyjają rozwojowi organizmów [82]. Glony, czyli tzw. organizmy pionierskie, które pojawiają się na powierzchniach tynków, w zależności od rodzaju, rozwijają się w temperaturze od 0 do 70 °C, ale dla większości z nich, szczególnie w klimacie środkowej Europy, optymalna temperatura wzrostu mieści się w przedziale 15 – 20 °C [83].

Temperatura i wilgotność względna powietrza kontrolują ciśnienie cząstkowe pary wodnej. Wpływają również na temperaturę powierzchni, a w konsekwencji na ciśnienie nasycenia pary wodnej na powierzchni. Badania M. Krus, D. Rosler, i K. Sedlbauer [84] potwierdziły, że obniżenie temperatury powietrza powoduje obniżenie temperatury powierzchni i spadek ciśnienia dla punktu rosy, co powoduje kondensację. Natomiast w procesie suszenia wpływ temperatury i wilgotności względnej nie ma większego znaczenia, co przedstawiono w pracy [23].

3.2.2. Promieniowanie krótkofalowe

Obserwowana wzmożona aktywność mikroorganizmów w obrębie aglomeracji miejskich rozpatrywana jest w powiązaniu ze strefami przemysłowymi, gęstą zabudową i konsekwencjami klimatycznymi [85]. Poznanie specyfiki klimatu, który będąc pod wpływem działalności człowieka, różni się znacznie od obszarów wiejskich czy leśnych jest podstawą właściwej oceny wpływu środowiska zewnętrznego. Jednym z charakterystycznych zjawisk na obszarach zurbanizowanych jest miejska wyspa ciepła (UHI). Promieniowanie słoneczne padające i odbijające się od powierzchni budynków i ulic powoduje, że temperatura powietrza staje się wyższa niż na otaczających terenach podmiejskich. W dużych aglomeracjach miejskich z koncentracją budynków, różnica ta może wynosić nawet 10 °C [82]. Rysunek 7 przedstawia izotermę obrazującą charakterystyczne wzrosty na obszarze miasta, zwane efektem miejskiej wyspy ciepła.



Rysunek 7. Rozkład temperatury w zależności od zagospodarowania terenu [82]

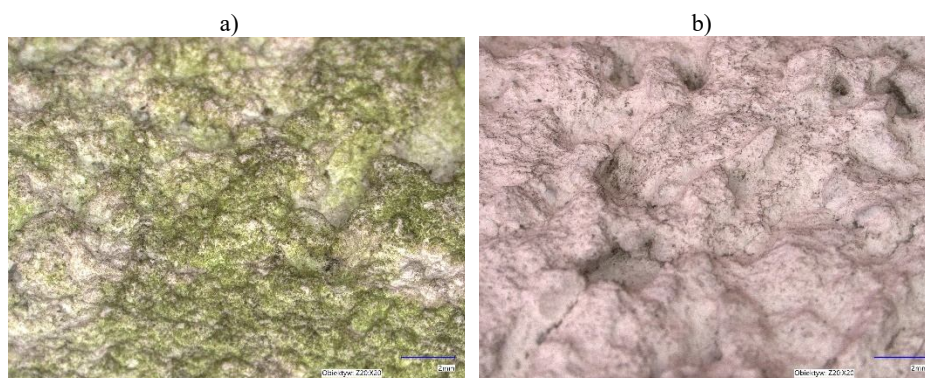
Temperatury osiągają maksimum w skupiskach budynków, ulic i chodników, a niższe wartości w obszarach podmiejskich lub zalesionych oraz w rejonie zbiorników wodnych. Zjawisko to jest skutkiem wielu czynników:

- wzrostu udziału długofalowego promieniowania ciepłego, pochodzącego z różnych kierunków powierzchni budynków, w wyniku emisji i odbicia od ulic przy jednoczesnym zmniejszeniu strat do atmosfery,
- korelacji wymiarów budynków znajdujących się w sąsiedztwie: wysokość, długość i odległość między nimi, przyczyniają się do zmniejszenia prędkości wiatru w obszarze zabudowanym (zmniejszenie wentylacji pomieszczeń), jak również na ogólny wzrost temperatury,
- wysokiego udziału ciepła, zakumulowanego w materiałach elewacyjnych, a także duże powierzchnie przekazujące promieniowanie ciepła odbitego (długofalowego),
- zmniejszenia działania wiatru (zmniejszenie jego prędkości), które przyczynia się do zmniejszonego przewietrzania ulic,
- emisją do atmosfery ciepła, powstającego w związku produkcją energii i procesem spalania oraz transportu [82].

Promieniowanie słoneczne jest zazwyczaj czynnikiem pozytywnym, ponieważ ogrzewa i w konsekwencji osusza ściany, zawilgocone od deszczu lub nocnej kondensacji np. słońce osuszy fasady zwrócone na wschód wcześniej w ciągu dnia, podczas gdy fasady zwrócone na zachód będą dłużej mokre (rys. 8 i rys. 9).



Rysunek 8. Widok na elewację obiektu kampusu PBŚ: a) elewacja północna, b) elewacja południowa (archiwum autora)



Rysunek 9. Rozwój biokorozji na tynkach systemu ETICS po 5 latach funkcjonowania. Zdjęcia mikroskopowe x 100: a) elewacja północna, b) elewacja południowa (archiwum autora)

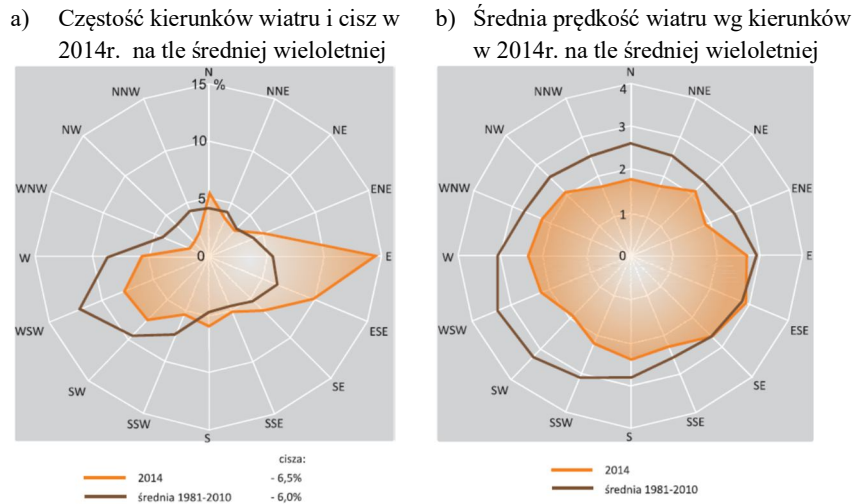
Przypadkiem negatywnego wpływu promieniowania jest tak zwana „letnia kondensacja”, kiedy intensywne promieniowanie słoneczne kieruje wilgoć w ścianie do jej wewnętrznych warstw, gdzie może się ona skraplać [1] – opis zjawiska w punkcie 3.5. Ważnym czynnikiem jest również współczynnik absorpcji α , który w przypadku promieniowania krótkofalowego zależy w dużym stopniu od koloru powierzchni.

3.2.3. Warunki atmosferyczne

Wskutek działania opadów atmosferycznych, rosy i mgły woda i wilgoć mają możliwość przenikania do wnętrza struktury materiału. Badania, które prowadzili: Piontek [60], Stanaczek-Tomala [82], czy Wiejak [86] pokazują, że ilość opadów sprzyjająca rozwojowi mikroorganizmów wynosi ponad 800mm/rok, a średnia temperatura powietrza minimum 6-8 °C. Przy wyższych sumach opadów i wyższych temperaturach nie obserwuje się zwiększonej kolonizacji glonów, co wskazuje na większy wpływ temperatury niż wilgotności [82]. Young [87] wykazał, że utrzymywanie się wysokiej wilgotności

Monika Dybowska-Józefiak | Identyfikacja czynników determinujących trwałość i estetykę elewacji budynków

fasady sprzyja rozwojowi alg i roślin wyższych. Dlatego też, fasady są bardziej podatne na biokorozję w regionach deszczowych [88]. Wpływ deszczu jest powiązany z dominującym kierunkiem wiatru. W Europie środkowej przeważa cyrkulacja zachodnia (rys. 10).



Rysunek 10. Róża wiatrów na terenie Polski [89]

Badania symulacyjne Klemm i in. [90] wskazują, że w zależności od lokalizacji i wysokości obiektu prędkość wiatru przy elewacji może wzrosnąć nawet o 200%. Rozkład prędkości wiatru jest asymetryczny z różnicą na jednej elewacji nawet do 3m/s. Przekłada się to bezpośrednio na lokalne narażenia na zacinający deszcz. Przy niekorzystnym usytuowaniu budynku w terenie i lokalnie występujących deszczach elewacja jest narażona na wysokie obciążenie zacinającym deszczem. Wpływ zacinającego deszczu na stan wilgotnościowy tynków analizował m.in. Witczak, Kunzel oraz Gawin [91].

Silny wiatr często niesie znaczne ilości pyłu, piasku i drobnych zanieczyszczeń, a w skrajnych warunkach także drobne przedmioty. Materiał taki ma zdecydowane właściwości ściernie, a w przypadku anomalii pogodowych uderzenia przedmiotów unoszonych przez porywy wiatru mogą powodować poważne uszkodzenia powierzchni fasady.

Kontakt elewacji z wodą pochodzącą z opadów atmosferycznych, to głównie oddziaływanie deszczu przy wietrze bocznym. Napór wiatru na budynek może powodować wtłaczanie wody deszczowej w nieszczelności elewacji, co jest czynnikiem powodującym niszczenie techniczne ścian zewnętrznych budowli [92].

Wysychanie tynku jest ograniczane przez trwałe zacienienie, brak nasłonecznienia i przewiewu, obfite zaciekanie wody opadowej lub intensywne zadrzewienie (intensywna emisja pary wodnej i pylenie) [93]. Proces jest dodatkowo utrudniony przez znaczne ograniczenie emisji ciepła przez przegrodę. W zimnym klimacie, na elewacji północnej i zachodniej, proces suszenia jest praktycznie niemożliwy od listopada do marca [94].

Do określenia wpływu deszczu należy wyznaczyć współczynnik absorpcji wody wg PN- EN ISO 15148 [95].

3.2.4. Depozycja zanieczyszczeń

Mechanizmy przenoszenia zanieczyszczeń na powierzchnie materiałów obejmują procesy suchej i mokrej depozycji. W przypadku osadzania suchego, w procesie degradacji biorą udział głównie zanieczyszczenia gazowe, przy czym powierzchnia materiału ma różną wilgotność [96]. W przypadku osadzania mokrego, roztwory soli, na przykład "kwaśne deszcze", stanowią agresywne medium dla degradacji materiału. Procesy wietrzenia są złożone i wiele czynników jest związanych z rozkładem i degradacją materiałów. Aby umożliwić ilościowe określenie różnych indywidualnych czynników wpływających na rozkład materiałów, zastosowano w badaniu Martineza komory laboratoryjne [97], [98].

W okresie przebiegu suchej depozycji zaobserwowano, że woda była szybko wchłaniana, po codziennym dodawaniu, w przypadku zaprawy o stosunku $w/c=0,4$ w porównaniu z zaprawami o stosunku o stosunku w/c wynoszącym 0,6. W związku z tym objętość zebranego odpływu dla zapraw o niższym wskaźniku w/c była znacznie mniejsza niż w przypadku zapraw o stosunku $w/c=0,6$ [97].

3.2.5. Zanieczyszczenie środowiska

Szczególnie w aglomeracjach miejskich wzrasta zawartość CO_2 w powietrzu, co ułatwia pozyskiwanie węgla, potrzebnego roślinom autotroficznym jako składnik pokarmowy. Badania dowodzą, że na tempo zasiedlania przez mikroorganizmy ma wpływ również niska jakość powietrza [82].

Czynnikiem przyspieszającym korozję biologiczną w miastach jest również korelacja pomiędzy jakością powietrza, a intensywnością zabrudzenia elewacji. Wpływ środowiska eksploatacji na trwałość materiałów był systematycznie badany i opisywany od lat 20-tych XX wieku [99]. Monitoring korozyjny jako metoda stałej, systematycznej obserwacji, opisywania albo mierzenia postępu korozji w funkcji czasu stał się podstawą znormalizowanych metodyk doboru odpowiednich ochronnych systemów zabezpieczających materiał konstrukcyjny przed działaniem lub wnikaniem szkodliwych substancji. Umożliwia to zidentyfikowanie parametrów środowiskowych będących przyczyną uszkodzeń korozyjnych jak i skutków ich działania. Analiza statystyczna tych danych umożliwia wyznaczenie czynników atmosferycznych istotnie wpływających na postęp korozji.

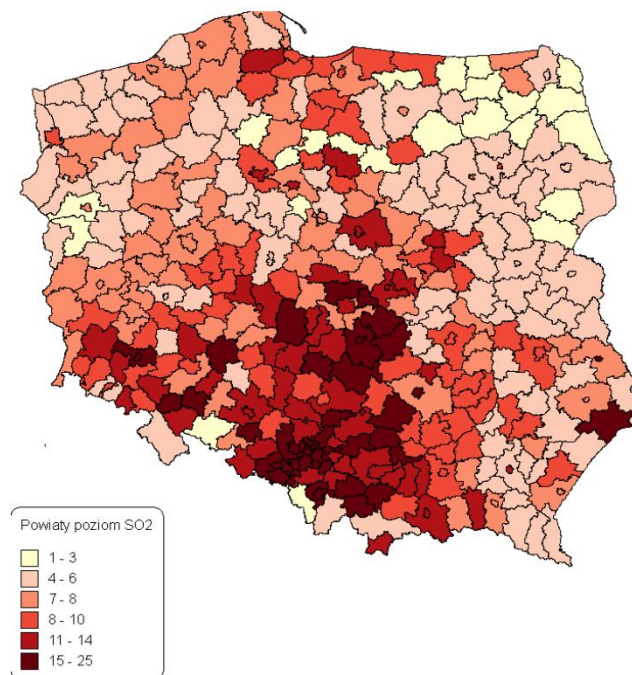
Rozkład terytorialny danych obrazujących stan środowiska, rozprzestrzenienia się zanieczyszczeń i szybkość korozji za pomocą map jest dogodną i komunikatywną metodą wizualizacji i prezentacji wyników obserwacji i modelowania. Metoda ta stosowana od lat 60-tych XX wieku wraz z rozwojem oprogramowania do modelowania i obrazowania jest rozwijana i udoskonalana na całym świecie również do obrazowania postępu korozji [100], [101].

Programy edytujące mapy stanu środowiska i skutków jego oddziaływań składają się zazwyczaj z następujących sekwencji [101]:

- bazy danych wybranych parametrów klimatycznych i zanieczyszczenia atmosfery,
- algorytmu (np. równań opisujących zależność średnich rocznych ubytków korozyjnych od wybranych parametrów zagrożeń korozyjnych),
- bazy ubytków korozyjnych wyznaczonych na podstawie w/w algorytmu,
- programu edycji bazowej mapy obszaru,

- programu edycji mapy stanu środowiska i ubytków korozyjnych na analizowanym obszarze.

Przy zastosowaniu oprogramowania do przestrzennej wizualizacji można przedstawić rozkład powierzchniowy wielkości stężeń zanieczyszczeń atmosfery jak i ubytków korozyjnych na danym terenie. Obrazowanie obszaru może być realizowane w formie rastrowej tzn. siatki o dowolnym boku kwadratu lub w układzie administracyjnym z podziałem na powiaty lub gminy. Dane dla dowolnych obszarów mogą być przedstawione w postaci barwnych stref jak dla przykładu poziom stężenia SO_2 na rysunku 11.



Rysunek 11. Poziom stężenia SO_2 na obszarach powiatów w 2012 r. [85]

Stacje korozyjne służą także do monitorowania skuteczności już stosowanych i nowo opracowanych materiałów korozyjnych i zabezpieczeń antykorozyjnych oraz weryfikacji ich trwałości w porównaniu z wynikami badań laboratoryjnych. Analiza statystyczna danych umożliwia wyznaczenie czynników atmosferycznych istotnie wpływających na postęp korozji, ustalenie powiązań pomiędzy nimi, ranking ważności wpływu na korozję materiałów i rodzaj zależności [85].

Tempo korozji atmosferycznej zależy od stężenia czynników korozyjnych, a te z kolei od postępu technologicznego i stosowania niskoemisyjnych technologii. Przedstawione metody monitorowania i modelowania korozji atmosferycznej umożliwiają przewidywanie przyszłych zanieczyszczeń korozyjnych na podstawie scenariuszy zmian emisji i stężenia zanieczyszczeń [102].

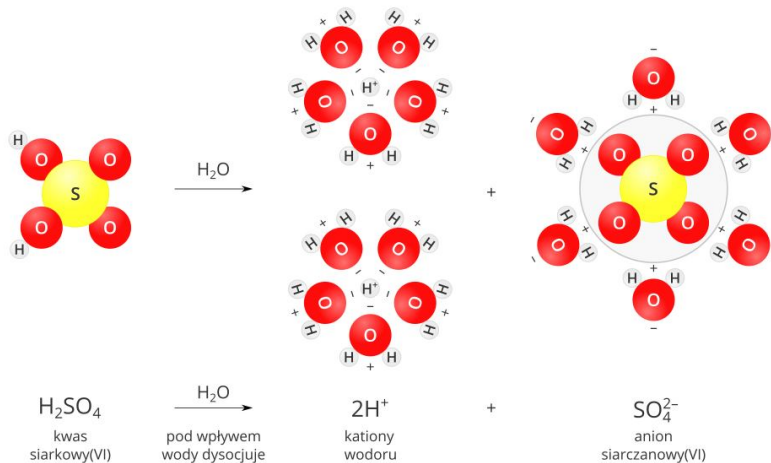
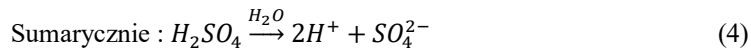
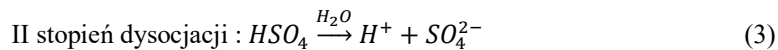
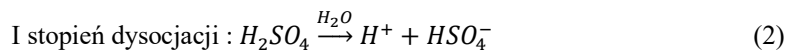
Związki chemiczne obecne w zanieczyszczeniach powietrza m.in. w smogu w efekcie naturalnych ruchów powietrza osiadają na elewacjach i z biegiem czasu mogą oddziaływać korozyjnie na wiele materiałów budowlanych. Emitowane do atmosfery gazy,

przede wszystkim dwutlenek i tlenek węgla (CO_2 , CO), dwutlenek siarki (SO_2), tlenki azotu (NO_x), lotne związki organiczne (LZO), trwałe związki organiczne (jak np. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne – WWA – dioksyny, freony) oraz pyły o różnej granulacji cząstek, a także zanieczyszczenia wtórne, powstające w troposferze na skutek zachodzących w niej reakcji chemicznych (zwłaszcza fotochemicznych), przede wszystkim ozon (O_3) oraz cząstki wtórne, negatywnie wpływają na stan zasobów (wód, gleb, lasów, budynków) oraz na zdrowie ludzkie [103]. Działanie destrukcyjne zwiększają również opady. Woda wnika w szczeliny na fasadzie, co skutkuje wprowadzeniem szkodliwych substancji w głąb warstw zewnętrznych [85].

W przypadku palenia węglem do atmosfery emitowany jest dwutlenek węgla oraz dwutlenek siarki. Związki te w momencie zetknięcia się z parą wodną tworzą aerozole, które zawierają m.in. kwas siarkowy, który jest szczególnie niebezpieczny dla powłok zewnętrznych, gdyż może powodować miejscowe uszkodzenie elewacji. Dwutlenek siarki to silnie toksyczny gaz o gryzącym i duszącym zapachu, przechodzi w atmosferze szereg przemian chemicznych: utlenia się do trójtlenku siarki, który wskutek reakcji z wodą obecną w powietrzu tworzy kwas siarkowy wg równania poniżej [103]:



Ten z kolei ulega dysocjacji elektrolitycznej podczas kontaktu z kropelkami wody i rozpada się na jony SO_4^{2-} i H^+ zgodnie równaniem (rys.12) [103]:



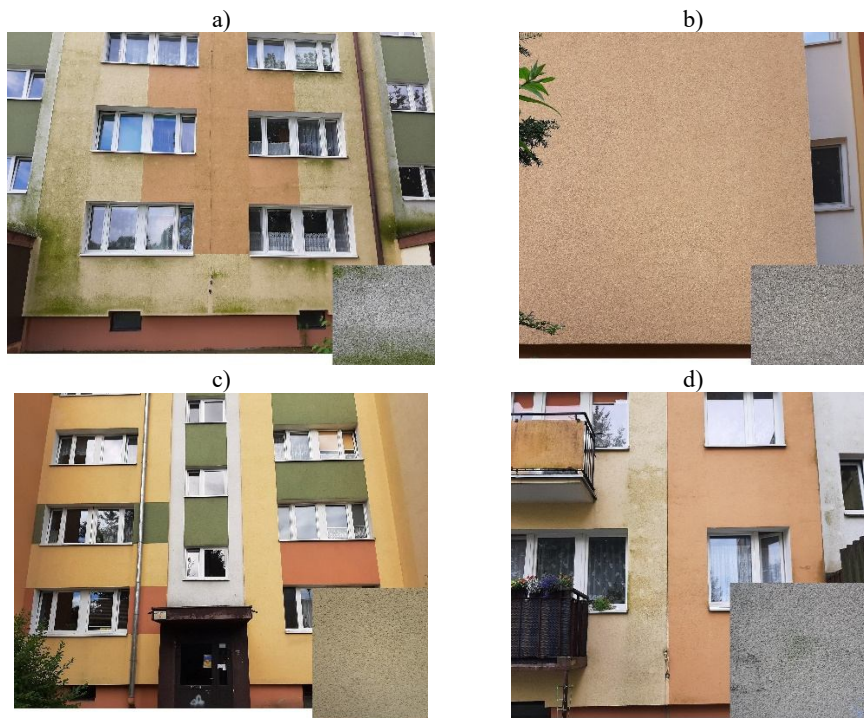
Rysunek 12. Schemat procesu dysocjacji kwasu siarkowego [103]

Związki te mają silne działanie zakwaszające i na szereg sposobów wpływają szkodliwie na środowisko, m.in. pod postacią kwaśnych deszczów.

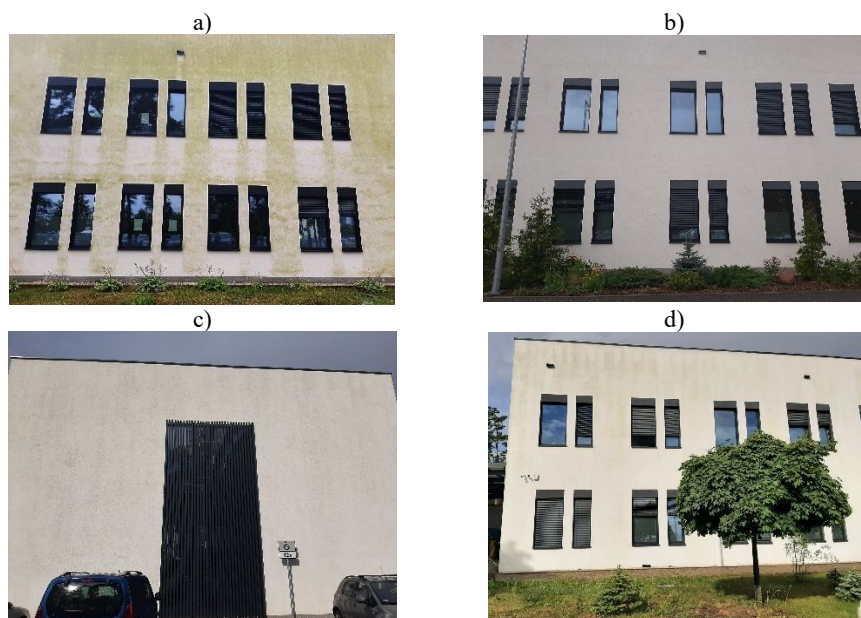
W poprzednich dziesięcioleciach główną przyczyną obniżenia estetyki elewacji było zanieczyszczenie powietrza, szczególnie widoczne w pobliżu ośrodków przemysłowych i głównych obszarów komunikacyjnych. Wg Künzeli inni [6] zanieczyszczenie elewacji było wówczas widoczne głównie w obszarach ścian o różnym narażeniu na deszcz: obszary o dużej ekspozycji na deszcz były wyraźnie czystsze niż obszary chronione, np. poniżej wystających dachów lub parapetów. Obecnie ma miejsce sytuacja odwrotna: obszary elewacji, które są często narażone na deszcz są atakowane przez glony. Künzel uważa, że jest to efekt zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza oraz stężenia dwutlenku siarki SO_2 . Dwutlenek siarki SO_2 jest silnym biocydem, stąd konsekwencją jego zniknięcia jest stymulowanie wzrostu mikroorganizmów na elewacjach, takich jak glony, grzyby i bakterie [104].

3.2.6. Lokalizacja przegrody

Wzrost mikroorganizmów występuje głównie na północnych i zachodnich elewacjach budynków [105]. Jest to skutkiem zacienienia powierzchni przegród, gdzie nasłonecznienie nie występuje lub jest znacznie ograniczone, a tym samym temperatura na powierzchni jest niższa i występuje gorsze odparowanie wilgoci. Na rysunkach 13 i 14 przedstawiono zdjęcia ścian budynków, na których zaobserwowano biokorozję.



Rysunek 13. Blok mieszkalny w Bydgoszczy elewacja: a) północna, b) południowa, c) wschodnia, d) zachodnia (archiwum autora)



Rysunek 14. Budynek w Bydgoszczy elewacja: a) północna, b) południowa, c) wschodnia, d) zachodnia (archiwum autora)

Rozrostowi mikroorganizmów sprzyja położenie w sąsiedztwie drzew i krzewów, a także w pobliżu zbiorników wodnych (rys. 15).



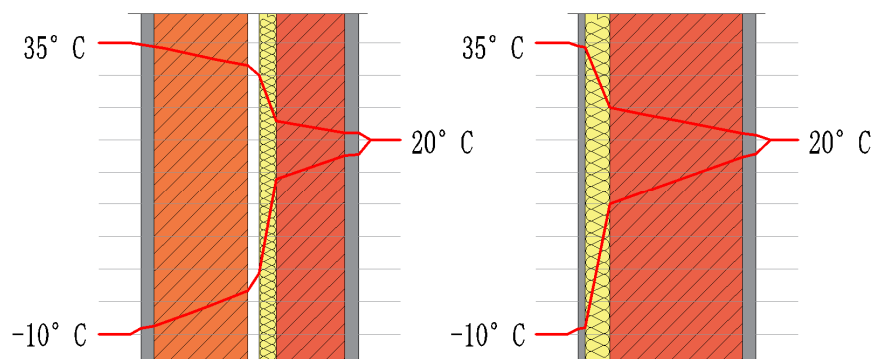
Rysunek 15. Zanieczyszczona elewacja w sąsiedztwie drzew (archiwum autora)

3.3. CZYNNIKI ABIOTYCZNE – WŁAŚCIWOŚCI TYNKÓW

Tynk to cienka (jedno- lub wielowarstwowa) wyprawa (powłoka) z zaprawy budowlanej wykonana na murze, pełniąca przede wszystkim funkcję ochronną oraz dekoracyjną. W niektórych sytuacjach może służyć do poprawy parametrów technicznych muru. W przypadku systemów dociepleń należy zwrócić uwagę na kompatybilność tynku z systemem ETICS (dobór poszczególnych materiałów nie jest przypadkowy) [106], [107].

3.3.1. Pojemność cieplna tynku

Pojemność cieplna tynku cienkowarstwowego jest niska i nie zapewnia wystarczającej bezwładności cieplnej, aby uniknąć obniżenia temperatury powierzchni w nocy. Z zewnętrznej warstwy systemu ETICS ciepło wypromieniowuje dużo szybciej niż w przypadku tradycyjnej przegrody, przez co znacznie spada temperatura powierzchni [108]. Wahania temperatury powierzchni w ciągu dnia na elewacjach z cienkimi pokryciami są znacznie wyższe niż na ciężkich elewacjach, ponieważ słońce ogrzewa powierzchnię przez promieniowanie krótkofalowe. Jednakże w nocy lekkie fasady stają się chłodniejsze niż ciężkie fasady, ze względu na ich mniejszą bezwładność cieplną. Ciężkie fasady ze względu na większą bezwładność cieplną mogą magazynować ciepło od dnia do nocy. Ponadto, ze względu na promieniowanie długofalowe z powierzchni nieba, lekka fasada może osiągnąć temperatury nawet poniżej temperatury otoczenia. Dzieje się tak szczególnie w nocy z czystym zimnym niebem, co jest typowe dla przejściowych pór roku. Zjawisko to nigdy nie występuje w przypadku ciężkich elewacji, ze względu na większą bezwładność cieplną tej konstrukcji [107]. Powierzchnie wykończenia ścian zewnętrznych o niskiej bezwładności cieplnej pozostają dłużej mokre w wyniku kondensacji niż ciężkie wykończenia ścian zewnętrznych ze względu na niższą temperaturę i dłuższy czas schnięcia. Jeżeli proces suszenia nie jest wystarczająco szybki, wilgotność powierzchni pozostaje przez długi czas wysoka i zwiększa ryzyko rozwoju mikrobiologicznego [84]. Najbardziej istotnymi parametrami w procesie suszenia są absorpcja promieniowania krótkofalowego, promieniowanie słoneczne i orientacja [21]. Izolacja znajduje się na zewnątrz ściany, co powoduje zwiększenie masy termicznej wewnątrz. Zwiększa to komfort cieplny w zimnej porze roku, ponieważ zwiększają się również zyski słoneczne, oraz w ciepłej porze roku, opóźniając i łagodząc wahania przepływu ciepła, co pomaga w utrzymaniu temperatury w budynku. Zwiększa się trwałość elewacji, ponieważ mur jest lepiej chroniony przed obciążeniami klimatycznymi (gradientem termicznym – rys. 16, deszczem wywołanym przez wiatr, itp.).



Rysunek 16. Zmienność temperatury w ścianach zewnętrznych [23]

Jednym z przyszłych trendów w rozwoju materiałów budowlanych jest aktywacja nieprzezroczystych fasad w celu uzyskania materiałów hybrydowych o zmiennym przewodnictwie i izotermicznym magazynowaniu ciepła. Simo Ilometet [109] proponują metodę opracowania aktywowanego energetycznie systemu kompozytowego zewnętrznej izolacji termicznej (En-ActivETICS) dla inteligentnych przegród budowlanych. Pomysł jak opracować inteligentny, samoregulujący się aktywny energetycznie element przegrody budowlanej, opiera się na połączeniu ETICS z materiałem zmiennofazowym (PCM) i elastycznymi ogniwami fotowoltaicznymi (FPV). PCM to substancja, która ma zdolność do przechowywania i uwalniania dużej ilości energii podczas przemiany fazowej. Proces jest półizotermiczny, co powoduje okresową stabilizację medium na zaprojektowanym poziomie temperatury [109].

3.3.2. Skład tynku

W ostatnich latach w budownictwie stosowane są dwa rodzaje zapraw powłokowych: dwu- lub trójwarstwowe zaprawy cementowo-piaskowe mieszane na budowie (tynki tradycyjne) oraz fabryczne zaprawy z cementu, piasku, domieszek i dodatków w jednej warstwie (tynki gotowe) [110], gdzie warstwę wykończeniową stanowi sam tynk ("zaprawy jednowarstwowe") lub inne materiały (np. farba). Stosowanie fabrycznych zapraw rozpoczęło się w latach 90. XX wieku w Portugalii [106] i stale nabiera tempa [111], [112].

Pod względem funkcjonalnym zewnętrzne zaprawy tynkarskie w istotny sposób przyczyniają się do zwiększenia szczelności konstrukcji ścian (funkcja pierwotna), warunkują ich estetykę (funkcja wtórna) oraz mają decydujący wpływ na ich trwałość [110], [113].

Funkcję ochronną w systemach ETICS pełnią głównie tynki strukturalne. Zastosowanie tynków strukturalnych w systemach ETICS powinno wynikać z budowy systemu i wyników obliczeń cieplno-wilgotnościowych (wyeliminowanie kondensacji międzywarstwowej), ale także z miejsca wbudowania oraz analiz innych cech i właściwości. Powinny one charakteryzować się następującymi właściwościami: małą nasiąkliwością; dyfuzyjnością; odpornością na zabrudzenia; odpornością na porażenie biologiczne; odpornością na UV [106], [92], [114].

Do podstawowych tynków strukturalnych zaliczyć można:

- tynki mineralne (mineralno-polimerowe), jest to sucha mieszanka cementu, wapna, kruszywa i dodatków organicznych. Są trwałe, paroprzepuszczalne, mało nasiąkliwe i trudne w myciu. Są odporne na działanie warunków atmosferycznych, natomiast wrażliwe na warunki wykonawcze [86]. Nowa powłoka wykonana z tego tynku ma zasadowy charakter i stanowi w ona w naturalny sposób barierę dla wzrastania mikroorganizmów. W procesie karbonatyzacji na powierzchni tynków, na których nie pojawiły się solne wykwity, z biegiem czasu tworzy się cienka warstwa węglanu wapnia. Posiada ona niższą wartość pH, co pozwala rozwijać się mikroorganizmom. Dostępne w ograniczonej gamie kolorystycznej, zwykle pastelowej.
- tynki akrylowe, które charakteryzują się dużą elastycznością przy małej paroprzepuszczalności oraz dobrą przyczepnością do podłoża. Tynki akrylowe stanowią szczelną barierę dla przenikania pary wodnej (mają duży opór dyfuzyjny). Są odporne na niekorzystne warunki wykonania [115], [86]. Tynki akrylowe są produktami na bazie żywic syntetycznych (akrylowych) z różnymi dodatkami. Oferowane w bogatej gamie kolorystycznej, są nienasiąkliwe i odporne na wodę. Ich podstawową wadą, oprócz niewielkiej paroprzepuszczalności, jest podatność na zabrudzenia z racji właściwości elektrostatycznych i odczynu pH bliskiego obojętnemu. Dlatego bywają modyfikowane np. dodatkiem teflonu, co zmniejsza podatność na zabrudzenia oraz ułatwia ich zmywanie. Zawierają związki organiczne będące dobrym podłożem pod glony, pleśnie i inne mikroorganizmy.
- tynki silikatowe – ich bazą jest szkło wodne potasowe z dodatkiem dyspersji żywicy polimerowej i modyfikatorów zmniejszających nasiąkliwość. Są paroprzepuszczalne i odporne na deszcz [116]. Tynki silikatowe mogą być z powodzeniem stosowane zarówno w towarzystwie styropianu, jak i wełny mineralnej. Wiązanie z warstwą zaprawy klejowej lub innym docelowym podłożem jest wyjątkowo mocne, ze względu na zachodzącą podczas kontaktu reakcję chemiczną. Tynki silikatowe reagują ze składnikami mineralnymi zastosowanego podłoża, w otoczeniu zawartego w powietrzu dwutlenku węgla. Są odporne na działanie czynników atmosferycznych, łatwe w utrzymaniu czystości, wynika to z ich silnie zasadowego odczynu i trwalsze od tynków mineralnych czy akrylowych [86]. Wodne szkło potasowe zastosowane jako spoiwo jest wysoko alkaliczne, dzięki czemu w trakcie procesu wiązania reaguje ze wszystkimi składnikami powietrza - zarówno związkami mineralnymi, jak i CO₂. Ze względu na alkaliczność dostępne w ograniczonej palecie kolorystycznej,
- tynki silikonowe, które łączą zalety tynków mineralnych i żywicznych. Są wyrobami polimerowymi (na bazie żywic syntetycznych), podobnie jak akrylowe, jednak istotnie się od nich różnią. Identycznie jak akrylowy składa się ze spoiwa syntetycznego, a to co go wyróżnia to dodatek silikonu. Silikon zmniejsza nasiąkliwość tynku, a jednocześnie podnosi jego paroprzepuszczalność. Dzięki wyższej odporności na wodę staje się obojętny na działanie mrozu. Woda praktycznie nie wsiąka w jego strukturę a jej cząsteczki, które zwiększają swoją objętość podczas zamarzania, nie niszczą zespolonych minerałów. Przede wszystkim są paroprzepuszczalne, czyli można je stosować również na wełnie mineralnej. Charakteryzują się dużą elastycznością i przyczepnością. Dzięki

swojej mikrostrukturze i braku tworzenia się na powierzchni ładunków elektrostatycznych, mają cechę usuwania wszelkich zabrudzeń, np. pod wpływem opadów atmosferycznych (tzw. efekt samooczyszczania). Ich powierzchnia jest niezwilżana przez wodę, dzięki czemu opady atmosferyczne zmywają zanieczyszczenia z elewacji. Są bardzo trwałe, odporne na wiele czynników.

Podstawowym kryterium pozwalającym klasyfikować tynki jest rodzaj zawartego w nich spoiwa, czyli substancji wiążącej. Tynki dzielimy na mineralne i organiczne. Wśród tynków mineralnych wyróżniamy:

- mineralne – na bazie cementu i wapna,
- silikatowe – określane jako krzemianowe, na bazie szkła wodnego potasowego.

Do tynków organicznych zaliczamy:

- akrylowe – na bazie żywicy syntetycznej,
- silikonowe – określane jako krzemo-organiczne, na bazie żywicy silikonowej.

Wyprawy elewacyjne są barwione w masie lub malowane farbami elewacyjnymi na bazie wodnych dyspersji akrylowych, silikatowych lub silikonowych [117]. Tynki akrylowe i silikonowe, dzięki swoim właściwościom hydrofobowym, nie przyciągają cząsteczek wody i utrudniają osadzanie się zanieczyszczeń. Natomiast do tynków hydrofilowych zalicza się tynki mineralne i standardowe tynki silikatowe, które charakteryzują się dużą chłonnością. Tynki silikatowe i silikonowe są w rzeczywistości tynkami silikatowymi, które są modyfikowane specjalnym rodzajem żywicy silikonowej o dodatkowych właściwościach wiążących. W ten sposób została zmniejszona ich chłonność i wrażliwość na warunki zewnętrzne.

W rzeczywistości krzemiany potasu w powłoce (zarówno w powłoce kluczowej, jak i w farbie) fizycznie wiążą się chemicznie (krzemionkują) z wapniem i innymi nieorganicznymi substancjami mineralnymi w powłoce podstawowej [118]. W ten sposób powłoka bazowa i powłoka wykończeniowa kończą jako jeden związek i/lub o silnej adhezji, zapewniając systemowi ETICS lepsze właściwości hydrofobowe.

Z kolei powłoki polimerowe fizycznie przylegają do podłoża i tworzą interfejs, w rzeczywistości tworzenie kopolimeru akrylowo-siloksanowego (hybrydowa struktura poliakrylowo-polisiloksanowa) może zapewnić hydrofobowość (dzięki grupom metylowym), hamowanie wzrostu bakterii i zwiększone właściwości adhezyjne [119], [120], [121]. W ten sposób warstwa akrylowa nie jest chemicznie związana z podłożem, co uzasadnia jej nieco większą chłonność wody, w porównaniu z powłoką z farbą silikatową.

Badania dotyczące porażenia glonami ścian zewnętrznych w polskich warunkach klimatycznych wykazują, że największe porażenie glonami występuje na tynkach mineralnych (54%). Pozostałe rodzaje tynków osiągają od kilku do kilkunastu procent: 13% w przypadku tynków polimerowych, 10% dla tynków silikonowych, 5% dla tynków silikatowych i 18% dla pozostałych rodzajów [118], [122].

3.3.3. Odczyn pH tynku

Istotnym parametrem jest także wartość pH. Większość mikroorganizmów najlepiej rozwija się przy pH bliskim obojętnemu, to znaczy w zakresie pH 5-8. Jednak wiele z nich, takie jak na przykład: grzyby strzępkowe lub drożdże, dobrze rozwijają się przy odczynie w zakresie pH 4,5-5 [123].

Przyjmuje się, że wyższe pH, charakterystyczne dla powierzchni tynków mineralnych i silikatowych, stwarza większą barierę dla zasiedlenia ich powierzchni przez mikroorganizmy. Tym samym powinny być one bardziej odporne na wzrost niż charakteryzujące się pH w granicach 7-9 tynki polimerowe czy silikonowe [124].

Odczyn pH tynków jest wyższy niż 10,5 (silnie zasadowy), co skutecznie uniemożliwia rozwój mikroorganizmów (dla których korzystna wartość pH mieści się w przedziale 7- 8,5). Świeże elewacje w pierwszych latach eksploatacji (ok. 2-3 lata w zależności od otoczenia) posiadają naturalną ochronę wynikającą z ich wartości pH. Jednak z biegiem lat efekt ten zanika. Trwałość tynków oceniana jest na 5 lat. Po upływie tego czasu mogą okazać się konieczne działania renowacyjne, takie jak czyszczenie i malowanie [82].

Badania poziomu pH przeprowadzone przez Horbik [125] dla różnych powierzchni skażonych mikroorganizmami opierały się o próbki poddane różnym okresom skażenia biologicznego. Badania prowadzono, analizując wartości wskaźnika pH dla granitu, ceramiki, betonu oraz tynku cementowo-wapiennego, w tabeli 2 przedstawiono wartości dla tynku.

Tabela 2. Oznaczone wartości odczynu pH dla tynku w zależności od rodzaju grzyba i terminu badawczego [125]

Material	Rodzaj grzyba	Próbka wzorcowa – nieskażona	pH* po 1 miesiącu od skażenia	pH* po 6 miesiącu od skażenia
Tynk	Aspergillus	12,21	12,00	9,63
	Ciadosporium		12,04	10,40
	Penicillium		12,06	10,04

W miarę upływu czasu obserwuje się spadek wartości pH, początkowo (w ciągu pierwszego miesiąca) stosunkowo mały. Kolejnych pięć miesięcy działania grzybów powoduje dalszy, znaczący spadek wartości pH o 2,5 dla tynku cementowo-wapiennego. Wydzielane przez grzyby substancje wchodzi w reakcje z fazami zawierającymi wapń i tworzą rozpuszczalne, usuwane z materiałów związki. Następuje wytrawianie tych materiałów i ich powolny rozkład [125].

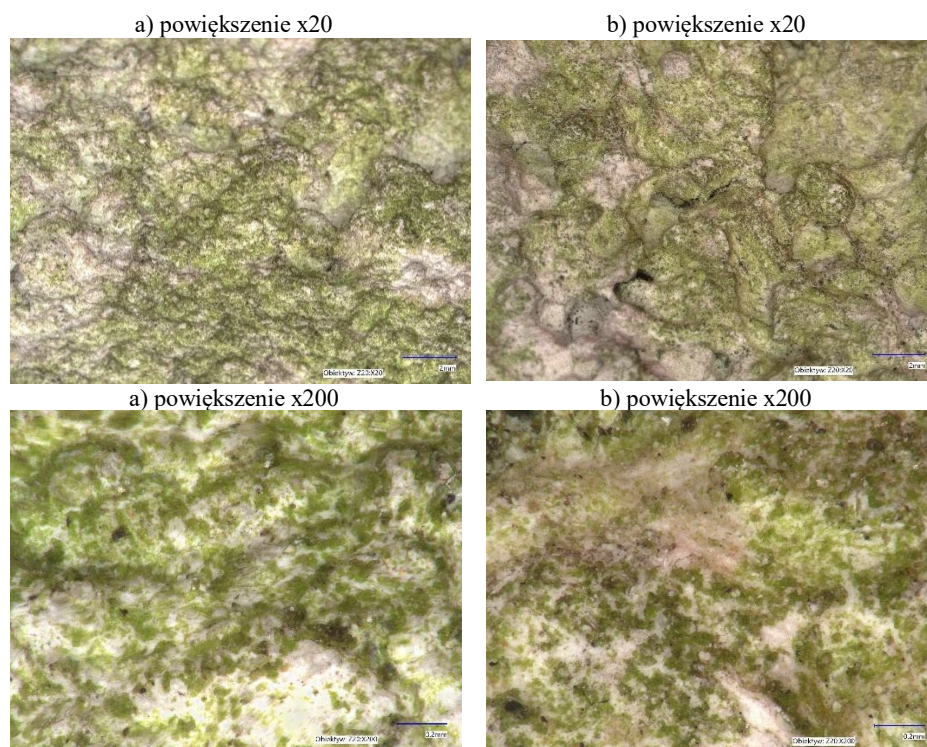
Z czasem materiały budowlane zmieniają swe pH, co czyni je bardziej podatnymi na szybki atak glonów i zarodników grzybów.

3.3.4. Faktura tynku

W ciągu ostatnich trzydziestu lat wiele badań poświęcono badaniom nad bioreceptualnością materiałów budowlanych. We wszystkich tych badaniach przeprowadzono testy eksperymentalne z zastosowaniem mniej lub bardziej przyspieszonych metod biologicznego wzrostu na materiałach. Celem tych przyspieszonych metod było skrócenie czasu trwania badań, które w warunkach rzeczywistych wymagały zwykle wielu lat [88]. Parametry eksperymentalne zostały więc zoptymalizowane tak, aby sprzyjały

wzrostowi mikroorganizmów [88]. Zgodnie z tymi wszystkimi badaniami, chropowatość materiałów wydaje się być jednym z najważniejszych parametrów. Istotnie, kolonizacja materiałów budowlanych przez mikroorganizmy jest promowana przez chropowatość powierzchni. W rzeczywistości chropowatość zapewnia wiele nierówności i w ten sposób zwiększa fizyczne zakotwiczenie tych mikroorganizmów [125]. Ten wpływ chropowatości na mikroorganizmy został potwierdzony przez obserwacje budynków w warunkach rzeczywistych [84], [126], [127], [128], [129], [130], [131].

Powierzchnie chropowate stanowią idealne podłoże do rozwoju mikroorganizmów, ponieważ struktury o grubszym, bardziej wyraźnym uziarnieniu mają tendencję do dłuższego zatrzymywania brudu w obszarze międzyziarnowym. Jest to wynikiem utrudnionego wypłukiwania zabrudzeń przez deszcz. Dlatego też warto unikać faktur o wyraźnych, wystających lub wklęsłych strukturach typu kornik lub modelowanych. Ich charakter - np. poziome rysy/wgłębienia itp. - ułatwia gromadzenie się zabrudzeń, a więc także pożywki dla mikroorganizmów [132], [82], [133], [134]. Przykłady stopni biokorozji na różnych fakturach przedstawiono na rys. 17.



Rysunek 17. Rozwój biokorozji na różnych fakturach po 6 latach eksploatacji (powiększenie: x20 i x200): a) faktura baranek, b) faktura kornik (archiwum autora)

Obecnie najczęściej stosowane tynki cienkowarstwowe mają fakturę "kamienną" lub "rustykalną", co zwiększa ich elastyczność i umożliwia ochronę przed pękaniem pod wpływem wysokich temperatur [135]. Faktury te ułatwiają również wychwytywanie

i zatrzymywanie w zagłębieniach wody opadowej, a brud i pył komunikacyjny stanowią pożywkę dla organizmów [123].

Szorstkość sprzyja fizycznemu przyleganiu mikroorganizmów, które są rozpraszane przez przepływ wody lub wiatr. W konsekwencji, im bardziej chropowata jest powierzchnia, tym wcześniej rozpoczyna się proces biologicznego zanieczyszczenia i tym szybciej następuje kolonizacja mikroorganizmów. Szorstkość powierzchni można ocenić za pomocą miernika profilu powierzchniowego Elcometer 223. Urządzenie to może mierzyć odległość między szczytami powierzchni do 2 mm, z rozdzielczością 0,001 mm. Systemy, które mają w wykończeniu farbę akrylową, prezentują wyższe wartości chropowatości powierzchni [118].

Eksperymenty przeprowadzone przez Tranai innych [88], [136] z przyspieszonym osadzaniem zanieczyszczeń potwierdzają efekt chropowatości. Zastosowane trzy stopnie chropowatości miały różny wpływ na szybkość kolonizacji. Uzyskano trzy stopnie chropowatości niezależnie od procesu utwardzania i stosunku w/c. Najgładszą powierzchnię (R1), bez wypukłości, uzyskano stosując metodę wykańczania zgodną z tą regułą. Powierzchnie bardziej chropowate uzyskano drapiąc powierzchnię próbki gąbkami. Najbardziej szorstka powierzchnia (R3) wykazywała zarówno duże wypukłości jak i dużą chropowatość. Ponadto zaobserwowano wyraźną różnicę pomiędzy najwyższą chropowatością (R3) a chropowatością pośrednią (R2). Na powierzchniach próbek o najniższej chropowatości (R1 i R2), w wyniku przepływu zawiesiny, powstały smugi porostu glonów. Ta forma zanieczyszczenia była zwykle obserwowana na zewnętrznych wykończeniach ścian budynków. W przypadku zapraw o najwyższej chropowatości (R3) zanieczyszczenie wystąpiło w wyniku powstania nierówności powierzchni, które przewodziły przepływ zawiesiny glonów. W pracy badano wpływ parametrów wewnętrznych (porowatości, chropowatości i karbonatyzacji) zapraw murarskich na wzrost biologiczny organizmów fotosyntetyzujących. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem zarówno laboratoryjnych metod przyspieszonych, jak i badań in-situ. W obu skalach badawczych wykazano wpływ chropowatości. Szorstka powierzchnia zwiększa przyczepność biologiczną. Zróznicowanie klas chropowatości było lepsze w testach przyspieszonych niż w testach w skali terenowej. Wynik ten można wytłumaczyć tym, że test przyspieszony wykonywany jest w obiegu zamkniętym z inokulacją intensywną, natomiast test in-situ polega na inokulacji naturalnej [125].

3.3.5. Porowatość tynku

Absorpcja i retencja wody w materiałach są kontrolowane przez całkowitą porowatość i rozkład wielkości porów [88]. Wpływ porowatości i jej struktury na właściwości fizyczne został potwierdzony przez Neville'a [137], Fagerlunda [138] i innych badaczy [139], [140], [141], [142], [143], [144], [145], którzy prowadzili badania na betonie, zaprawie, paście cementowej, kamieniu ceramicznym, żwirze i innych. Powszechnie wiadomo, że mniejsza objętość porów ma dobry wpływ na właściwości materiałów cementowych [140], [142], [143], [145]. Proces twardnienia, który może trwać ponad rok, może również powiększyć ilość mikroporów i mezoporów o wielkości poniżej 100 nm oraz zmniejszyć ilość porów kapilarnych, co poprawia szczelność materiału. Sprzyja to mniejszej penetracji wilgoci i agresywnych gazów SO₂, NO_x [98] w mikrostrukturę tynków, a tym samym poprawia trwałość materiału. Z tego powodu dość istotne są rodzaje i wielkość porów, zwłaszcza porów otwartych, które umożliwiają penetrację płynów

i gazów. Przykładowo, według Neville'a [137], duża liczba porów o wielkości poniżej 5nm utrudnia penetrację wody. W porach o rozmiarach 5-100 nm woda może przepływać na drodze dyfuzji. W większych porach o wielkości 0,1 μm woda może przepływać na drodze adsorpcji kapilarnej. Ponadto, w niskich temperaturach w porach o wielkości 0,1-1,0 μm , które mają duże znaczenie, zamarzająca woda powoduje największe uszkodzenia materiału [138].

Zmienność porowatości i struktury porów podczas procesów starzenia może być przydatna w badaniach starzeniowych i wytrzymałościowych, zwłaszcza w przypadku braku metody oceny trwałości tynków zewnętrznych. Bochen przeprowadził badania zmienności porowatości mineralnych tynków elewacyjnych poddawanych testom starzenia naturalnego i przyspieszonego, zgodnie z zaleceniami procedur wytrzymałościowych [39]. Do badań starzeniowych przygotowano cztery rodzaje mieszanek zapraw. Dwie zaprawy zwykłe: z cementem i mieszaniną cementowo-wapienną jako spoiwem oraz dwie cienkowarstwowe wykonane z mieszanek modyfikowanych dodatkami: cementowo-wapienną Y (system Ytong) i cementową E (system Euromix). Tynki przygotowano do uzyskania klasy M3. Zmiany porowatości przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zmiany porowatości próbek zapraw w komorze CAT poddanych działaniu środowiska symulującego[39]

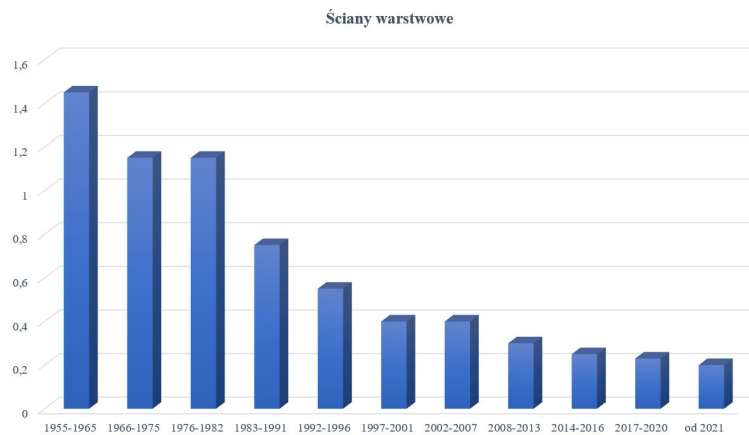
Typ zaprawy		Zmiany porowatości całkowitej (%)			
		Wyjściowe	100 cykli	200 cykli	300 cykli
Cementowa	sC	8,66	11,46	12,25	17,63
Cementowo-wapienna	sCL	10,14	12,38	15,46	19,76
Cementowo-wapienna Y	sLY	8,71	11,65	12,21	16,94
Cementowa E	sCE	8,55	10,14	12,19	16,32
Cementowa E + Ahydrosil	sCEA	10,76	12,01	14,21	17,46

3.4. ROZWIĄZANIA UKŁADÓW MATERIAŁOWYCH I DETALI BUDOWLANYCH

3.4.1. Wymogi stawiane przegrodom zewnętrznym

Kolejne zaostrzenie wymagań ochrony cieplnej spowodowało zwiększenie izolacyjności ścian, a tym samym poprawę obrazu termicznego budynku, ale niekorzystnie wpłynęło na procesy wysychania wilgoci pochodzącej z opadów atmosferycznych. W wierzchniej warstwie elewacji wykonanej metodą lekko mokrą (dawna BSO, obecnie metoda ETICS) dochodzi do kondensacji wilgoci. Zewnętrzna warstwa (tynk cienkowarstwowy) ma bardzo małą pojemność cieplną. Ciepło wypromieniowuje dużo szybciej niż w przypadku tradycyjnej przegrody, przez co znacznie częściej spada temperaturę powierzchni. Zjawisko to może być czynnikiem prowadzącym do rozwoju kolonii glonów i grzybów [108].

W ciągu ostatnich pięćdziesięciu lat wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych znacznie wzrosły. Grubość izolatora cieplnego stopniowo wzrastała. Początkowe jednowarstwowe ściany zewnętrzne stopniowo zmieniały się w konstrukcje wielowarstwowe. Kompozytowe systemy izolacji cieplnej, które osiągnęły grubość 160 mm po roku 2010, zaczęły być stosowane do jednowarstwowych ścian zewnętrznych pod koniec lat 90-tych ubiegłego wieku [146]. Rozwój współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych jest udokumentowany na rys.18, z którego wynika, że aktualna wymagana wartość współczynnika przenikania ciepła jest ustalona na $U_c = 0,20$ [W/m²K].



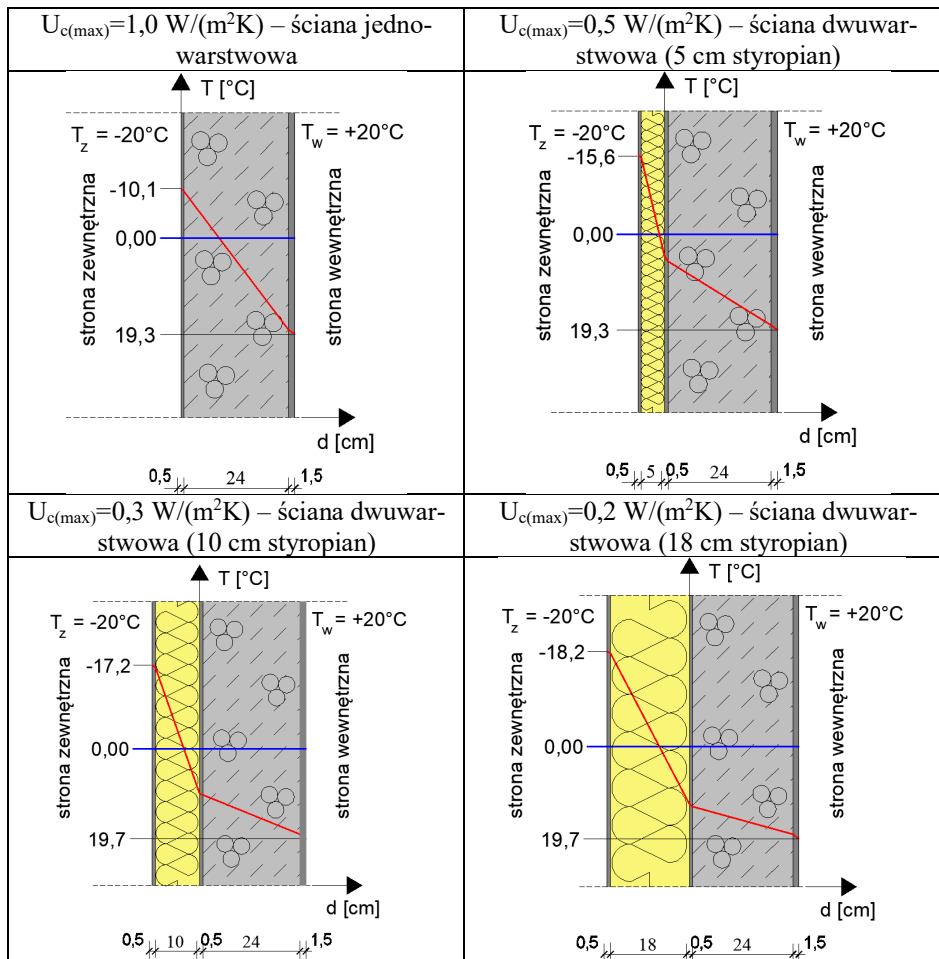
Rysunek 18. Wartości współczynnika przenikania ciepła ścian w kolejnych wydaniach norm i przepisów (opracowanie własne)

Ostatecznie od 2021 r. dopuszczalne wartości współczynników są około sześciokrotnie niższe niż we wcześniejszych wymaganiach. Poniżej przedstawiono rozkład temperatur w przykładowej przegrodzie spełniającej odpowiednie wymagania U_c na przestrzeni lat (tabela 4).

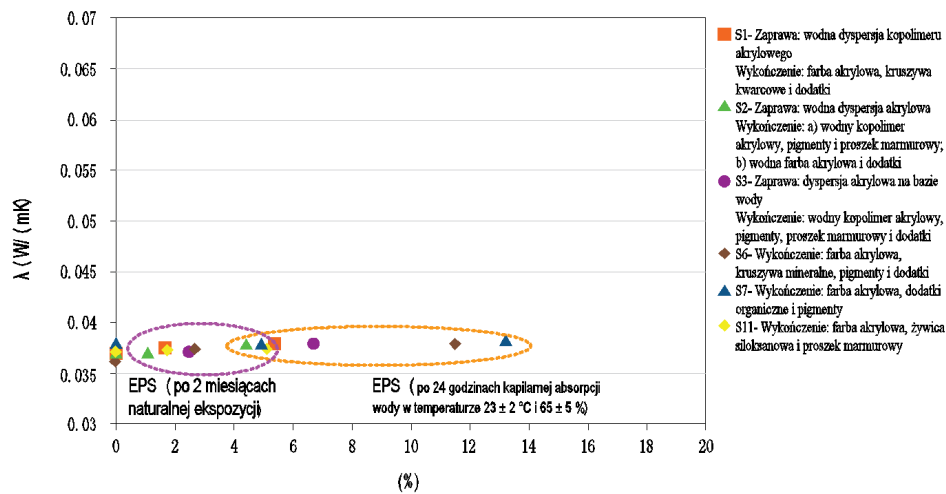
Drugim aspektem projektowania ETICS są obliczenia ciepłno-wilgotnościowe - w krajowych ocenach technicznych pojawia się wymaganie sprawdzenia system pod względem warunku cieplnego oraz spełnienia wymagań zabezpieczenia przed kondensacją. Wnikająca w przegrodę para wodna nie przenika przez nią całkowicie, gdyż napotyka opór poszczególnych jej warstw. Każda warstwa zatrzymuje pewną ilość pary wodnej, a pozostała część przenika dalej, w zimniejszą strefę muru (mniejsza grubość warstwy izolacyjnej powoduje znaczne zwiększenie strefy przemarzania) [147], [148].

Zapewnienie właściwej izolacji ścian wymaga stosowania systemów wielowarstwowych o odpowiedniej grubości izolacji termicznej. W konsekwencji temperatury na powierzchni ścian zewnętrznych są coraz niższe, co powoduje wydłużenie okresu kondensacji w przejściowych porach roku i generuje tzw. okresy letniej kondensacji [149].

Tabela 4. Rozkład temperatur dla ściany obustronnie otynkowanej z betonu komórkowego z różnymi wariantami ocieplenia (opracowanie własne)



Wpływ zmian wilgotności na przewodność cieplną warstwy izolacyjnej ETICS badali J.L. Parracha i inni [120]. Wzrost przewodności cieplnej wraz z zawartością wilgoci uzyskano dla wszystkich badanych systemów, niezależnie od zastosowanego materiału termoizolacyjnego (EPS, ICB lub MW) (rys. 19) [120].



Rysunek 19. Przewodność cieplna materiału izolacji cieplnej w funkcji wilgotności [120]

Nawet jeśli wilgoć dotrze do warstwy izolacyjnej, to nie powoduje ona istotnych zmian jej pojemności cieplnej. Można to wytłumaczyć wewnętrzną zamkniętą strukturą porów EPS, a także wysoką odpornością na przenikanie wody (zarówno w fazie ciekłej, jak i parowej) występującą w systemach EPS. Wyniki badań potwierdzają jednak, że na przewodnictwo cieplne zawsze ma wpływ zawartość wilgoci [120].

3.4.2. Kolorystyka tynku

Kolor powierzchni wpływa bezpośrednio na współczynnik absorpcji promieniowania krótkofalowego. Badania przeprowadzone przez Dylla [150] i Rokiela [106] pokazują, że białe wykończenie ścian zewnętrznych może mieć współczynnik absorpcji 0,3, podczas gdy ciemne powierzchnie mają wartości bliskie 1,0. Wynikiem tego jest nagrzewanie się ciemnych ścian zewnętrznych.

Zaprojektowanie warstwy wierzchniej ocieplenia w bardzo ciemnym kolorze oznacza, że na skutek promieniowania słonecznego tynk i warstwa zbrojona mogą pracować w zakresie temperatur od -30°C do $+80^{\circ}\text{C}$, a dobowe amplitudy temperatury w niektórych regionach mogą wynosić nawet ponad 60°C [151]. Przy wysokiej temperaturze powierzchni ściany, np. podczas nasłonecznienia, w przypadku ciemnych kolorów farb, gdy w podłożu występuje wilgoć, może dojść do powstania wysokiego ciśnienia pary wodnej, które przekracza paroprzepuszczalność farby/tynku, także tych, które są wysoko paroprzepuszczalne [151].

Naprężenia termiczne pojawiające się w warstwach izolacyjnych są ściśle związane z izolacją cienkiej powłoki od podłoża warstwą termoizolacyjną. W warunkach intensywnego nasłonecznienia warstwy tynku, pozbawione możliwości przekazywania ciepła w głąb elementu obudowy, ulegają znacznemu nagrzaniu. Efekt przenikania ciepła do systemu ETICS. W warstwach tynku o niewielkiej grubości i objętości (5-7 mm) występują intensywne naprężenia, powodujące cykliczne odkształcanie materiału, co zwykle prowadzi do mikropęknięć, a w skrajnych przypadkach nawet do uszkodzenia warstwy termoizolacyjnej.

Z drugiej strony szybsze nagrzewanie i akumulacja ciepła w ciemniejszych partiach budynków przyczynia się do mniejszej tendencji do rozwoju mikroorganizmów. Współczynnik HBW [24] dla „idealnej” bieli wynosi 100%, co oznacza całkowite odbicie, zaś dla „idealnej” czerni 0%, czyli pełne pochłanianie. Szybsze nagrzewanie się i kumulowanie ciepła przez ciemniejsze fragmenty budynków przyczynia się natomiast do zmniejszenia tendencji do wzrostu mikroorganizmów (rys.20).

O wartości HBW decyduje dokument odniesienia lub zalecenia producenta systemu. Zgodnie z wytycznymi Stowarzyszenia na Rzecz Systemów Ociepleń [152]: "Współczynnik odbicia światła rozproszonego powinien być wyższy od 20, o ile system dawca nie określił innych wymagań. Nadmierne nagrzewanie się zbyt ciemnych powierzchni może spowodować naprężenia rozciągające w wyprawie i w efekcie jej pęknięcie, w skrajnych przypadkach może nastąpić nawet uszkodzenie płyt termoizolacyjnych".



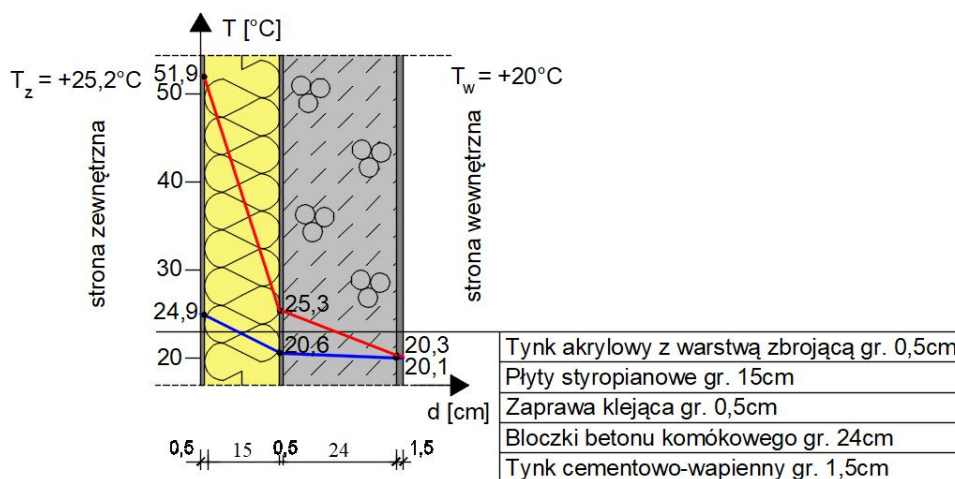
Rysunek 20. Korozja biologiczna o zróżnicowanej kolorystyce (archiwum autora)

Wyjaśnienie tego zjawiska wymaga analizy zjawisk zachodzących w ocieplonej przegrodzie oraz zachowania się materiałów pod wpływem różnicy temperatur oraz obciążenia temperaturą. W obliczeniach przeprowadzanych dla stanu stacjonarnego zakłada się pewien gradient obliczeniowej temperatury powietrza zewnętrznego oraz wewnętrznego i oblicza rozkład temperatury w przegrodzie [24].

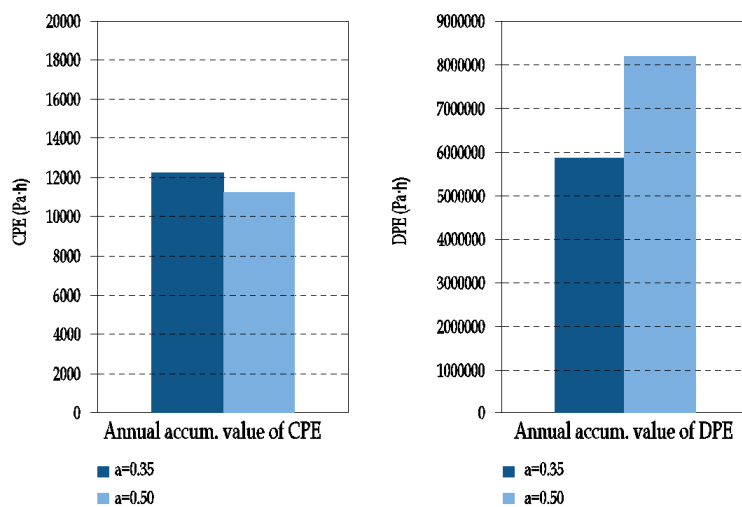
Ze względu na warunki klimatyczne Polski, temperatura powietrza zewnętrznego w okresie letnim wynosi $19,1^{\circ}\text{C}$ [150]. W wyniku absorpcji promieniowania krótkofalowego temperatura powierzchni tynku będzie wyższa. Z badań przeprowadzonych przez Rokiela [147] wynika, że temperatura izolacji z czarnego tynku strukturalnego, wystawionego na działanie promieni słonecznych, przekracza $+52^{\circ}\text{C}$, przy założeniu, że temperatura powietrza zewnętrznego w cieniu wynosi $+25,2^{\circ}\text{C}$. Konsekwencją tego jest zmiana rozkładu temperatury w całym elemencie obudowy (przykład na rysunku 21), co sprzyja wysychaniu. Jednak na granicy różnych kolorów może to powodować naprężenia rozciągające w tynku i w efekcie jego pęknięcie. W skrajnych przypadkach może nawet uszkodzić płyty termoizolacyjne.

Współczynnik absorpcji promieniowania krótkofalowego wpływa na promieniowanie słoneczne pochłaniane przez ścianę w ciągu dnia i zmienia temperaturę powierzchni. Jego wpływ na temperaturę powierzchni jest dość istotny w ciągu dnia, ale w nocy, z powodu małej pojemności cieplnej warstwy tynku, magazynowane ciepło jest szybko tracone i temperatura wzrasta tylko nieznacznie (rys.22).

Podobne badania przeprowadzone przez Fraunhofer IBP wskazują na te same wnioski, zarówno dla emisyjności, jak i dla absorpcji promieniowania krótkofalowego, biorąc pod uwagę klimat Holzkirchen [153], [154], [155].



Rysunek 21. Obliczeniowy rozkład temperatury dla stanu stacjonarnego w przegrodzie w przypadku: temperatury zewnętrznej +25°C i wewnętrznej +20°C, temperatury nagranego tynku +52°C (opracowanie na podstawie [147])



Rysunek 22. Właściwości warstwy zewnętrznej: absorpcja promieniowania słonecznego [8]

3.4.3. Układy materiałowe powłok zewnętrznych

Dla ściany zewnętrznej dwuwarstwowej dobór układu materiałowego powłoki zewnętrznej jest zależny od przyjętego materiału termoizolacyjnego. Wesołowska w pracy [89], [156] zaproponowała warunek doboru, przy wykorzystaniu podstawowych właściwości użytkowych materiałów termoizolacyjnych i powłok [89]:

$$S_{d,izol} \geq S_{d, tynku} \geq e_w \cdot S_{d, farby} \quad (5)$$

gdzie:

$$S_{d,izol} = \mu \cdot d [m],$$

μ – współczynnik oporu dyfuzyjnego dla materiału,

d – grubość materiału,

$S_{d, tynku}$ wg tablicy 5,

$S_{d, farby}$ wg deklaracji właściwości użytkowych.

Tablica 5. Klasy paroprzepuszczalności tynków wg PN-EN 1062-1 [157]

Klasa	$s_d [m]$	Rodzaj powłoki
I	<0,14	Mineralne, silikonowe i silikatowo-organiczne
II	0,14-1,4	Akrylowe o obniżonej zawartości spoiwa
III	>1,4	Akrylowe o dużej zawartości spoiwa

Dla materiałów otwartych dyfuzyjnie należy stosować wyłącznie powłoki grupy I. Dla pozostałych materiałów dopuszczalne są wszystkie klasy powłok.

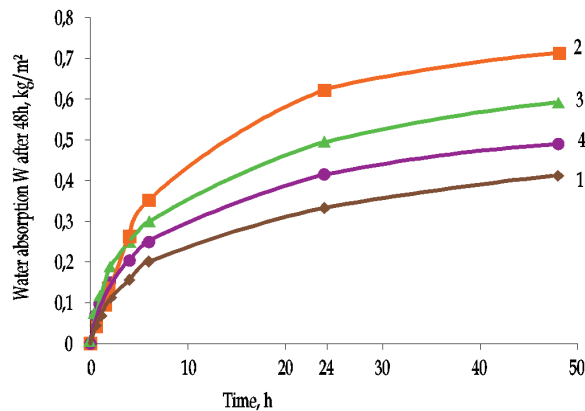
Istnieje metoda prognozowania ryzyka kolonizacji powierzchni przez czynniki biologiczne, co wiąże się z korelacją między współczynnikiem nasiąkliwości powierzchni ściany (w), a oporem dyfuzyjnym (S_d). Obie te wartości powinny być niskie i nie powinny przekraczać [150]:

$$w < 0,5 \text{ kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}) \text{ oraz } S_d < 2,0 \text{ m}, \quad (6)$$

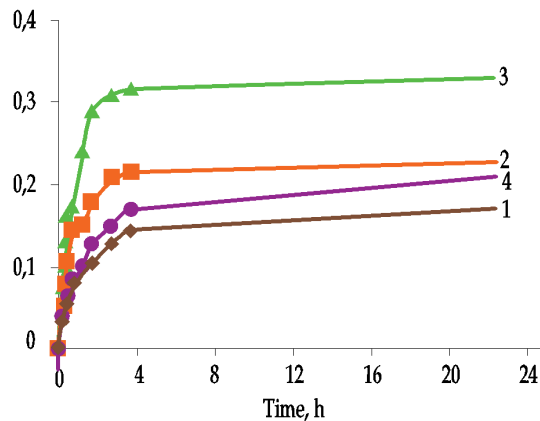
$$(w) \cdot (S_d) < 0,2 \text{ kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}) \quad (7)$$

W każdej przegrodzie, niezależnie od rodzaju materiału izolacyjnego i zastosowanego układu warstw, nieciągłe wykonanie warstwy termoizolacji lub pozostawienie szczelin na stykach płyt może powodować wykraplanie i gromadzenie się wilgoci, destrukcję materiału izolacyjnego i niszczenie przegrody [156].

Układ warstwowy systemu wpływa na absorpcję wody. Rysunek 23 przedstawia intensywność absorpcji wody dla próbek ETICS. Krzywe absorpcji wody pokazują, że po zanurzeniu próbek ETICS w wodzie, intensywność absorpcji wody spada po około 24 h. Taki sam test absorpcji wody przeprowadzono z zewnętrznymi powłokami tynkarskimi na taśmie z tworzywa sztucznego (rys. 24). Po upływie 4 h nastąpiło spowolnienie absorpcji wody, a w późniejszym czasie woda nadal jest wchłaniana bardzo powoli [5].



Rysunek 23. Chłonność wody z powierzchni wody próbek ETICS: 1 - z tynku akrylowego, 2 - z tynku silikatowego, 3 - z tynku mineralnego, 4 - z tynku silikonowego [5]



Rysunek 24. Chłonność wody z powierzchni wody próbek tynku zewnętrznego na listwie z tworzywa sztucznego: 1 - z tynku akrylowego, 2 - z tynku silikatowego, 3 - z tynku mineralnego, 4 - z tynku silikonowego[5]

Badania Griciute i inni [5], pokazują, że absorpcja wody przez cały system ETIC jest bardziej intensywna i ma wyższe wartości absorpcji wody niż absorpcja wody przez tynk zewnętrzny ETICS na tworzywie sztucznym. Dla przyspieszonego starzenia się ważne jest analizowanie zmian fizycznych całego systemu ETIC, chociaż maksymalne negatywne oddziaływanie wody występuje w zewnętrznej warstwie tynku. Chłonność wody wyhamowała po 4h, a później próbka nadal wchłaniała wodę bardzo powoli. Z badań tych wynika, że czas trwania deszczu powinien wynosić nie mniej niż 4 godziny, aby cały tynk ETICS był nasycony wodą [5].

Analiza wodochłonności systemów ETIC wykazała, że tynk silikatowy wchłaniającej ze wszystkich tynków ($0,62 \text{ kg/m}^2$ na 24 h), a tynk akrylowy mniej ($0,33 \text{ kg/m}^2$ na 24 h). Natomiast według wskaźników absorpcji wody z zewnętrznej warstwy tynku maksymalny wskaźnik absorpcji wody osiągają tynki mineralne ($0,33 \text{ kg/m}^2$ na 24 h), a minimalne - dla warstwy akrylowej ($0,17 \text{ kg/m}^2$ na 24 h). Oznacza to, że początkowe

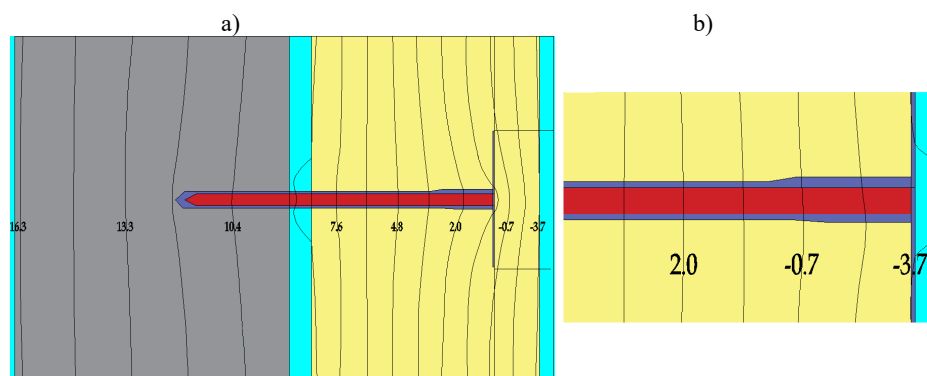
tempo absorpcji wody zależy nie tylko od rodzaju warstwy zewnętrznej, ale również od głębszych warstw ETICS, tj. warstwy zbrojącej [88], [94].

3.4.4. Rozwiązania konstrukcyjne systemu ETICS

Rodzaj i sposób montażu systemowych łączników mechanicznych wpływa na możliwość wystąpienia różnic temperatur na powierzchni elementów obudowy. Łączniki stanowią tzw. punktowe mostki termiczne, których oddziaływanie należy traktować jako zaburzenie termiczne [150]. Przez mostek termiczny występują zwiększone straty ciepła, które są wprost proporcjonalne do wielkości mostka termicznego.

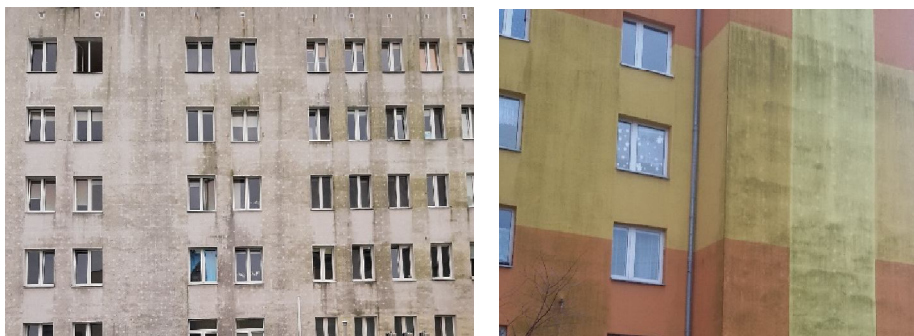
Łączniki stosowane do mocowania termoizolacji w systemach ETICS posiadają określony punktowy współczynnik przenikania ciepła, opisywany jako współczynnik χ (W/K), który jest specyfikowany i charakterystyczny dla danego łącznika – podobnie jak sztywność talerzyka oraz nośność charakterystyczna. Podczas badań termowizyjnych [158] i analiz numerycznych [159], [160], [161] obserwuje się wzrost temperatury w warstwie osadzonej wokół tulei przy montażu bez zaślepki (rys. 25). W tym miejscu wzrasta temperatura powierzchni na wykończeniu ściany zewnętrznej. Powodem jest większy strumień ciepła w miejscu połączenia, który powoduje specyficzne plamy na wykończeniu ściany zewnętrznej określane jako efekt biedronki [162], [163], [164].

Stosując metodę montażu z korkiem styropianowym, można ograniczyć pola zaburzeń temperatury wokół złącza i zapewnić praktycznie równomierny rozkład temperatury w tynku i wbudowanej warstwie tynku.



Rysunek 25. Porównywany rozkład izoterm dla dwóch typów montażu łącznika: a) montaż ze styropianem, b) montaż bez korka styropianowego (opracowanie własne)

W pierwszej fazie eksploatacji, szczególnie w okresie jesienno-zimowym, a także po okresie opadów atmosferycznych, w miejscach łączników przebijających materiał termoizolacyjny pojawia się tzw. efekt "biedronki". Jest to konsekwencja sprzyjających warunków wysychania tynku w tych miejscach: podwyższonej temperatury spowodowanej punktowym mostkiem termicznym. Później obszary te są wolne od biokorozji. Na rysunku 26 przedstawiono fragment ściany zewnętrznej, gdzie kotwy całkowicie przebiły warstwę izolacji i można zaobserwować efekt biedronki.



Rysunek 26. Widoczne punktowe mostki cieplne w miejscach kotew tzw. „efekt biedronki” (archiwum autora)

Oprócz wykorzystanych w powłokach elewacyjnych materiałów na intensywność zabrudzenia mają wpływ szczegóły architektoniczne budynku. Na pionowych częściach elewacji brud odkłada się wolniej niż na powierzchniach pochylonych lub poziomych. Większy lub mniejszy występ dachu, nawisający gzyms, podokienniki, reliefy, ornamenty również przyspieszają tempo zabrudzenia elewacji (rys.27). Wystające elementy fasady decydują, w jakim stopniu deszcz zmywa nawarstwianie brudu. W miejscach, do których woda deszczowa dociera bez przeszkód, elewacje dłużej pozostają czyste niż w miejscach, które omija.

Błędne wykonanie powierzchni zewnętrznych podokienników również może doprowadzić do przyspieszonego zabrudzenia elewacji. Na fotografii 27 b), pokazano bardzo często spotykany błąd: tynkowania powierzchni zewnętrznych podokiennika zamiast wykonania go z metalu(lub wykonanie go z niedopuszczalnie małym pochyleniem), co doprowadza do skupienia się tam cząstek brudu, których wiatr nie wywiewa, lecz zmywa je woda deszczowa. W wyniku tego po bokach i pod podokiennikiem tworzą się charakterystyczne ślady zacieków.

Jakość i dokładność wykonania powierzchni tynku i jego zatarć ma wpływ na powstanie miejsc, w których może gromadzić się zwiększona ilość zabrudzeń, stanowiących pożywkę dla mikroorganizmów.

Wszelkie elementy łączące się z ociepleniem, takie jak barierki, kotwy, a w szczególności obróbki blacharskie (rys.27 c) sprawiają, że woda opadowa może lokalnie zawilgacać warstwę wykończeniową, a tym samym stwarzać korzystne warunki do rozwoju biokorozji. Drobnoustroje chętniej osiadają w osłoniętych od wiatru wnękach lub głębokich załamaniach.



Rysunek 27. Biokorozja na elewacjach: a) narożnik ściany, b) podokienniki, c) obróbka blacharska dachu, d) powierzchnia źle zatartego tynku (archiwum autora)

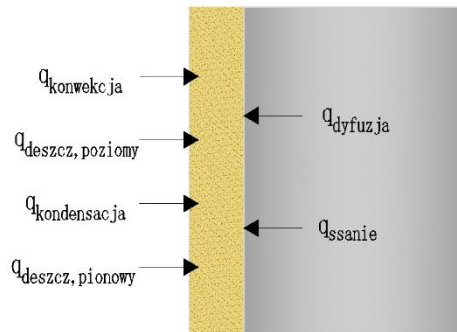
3.5. STAN WILGOTNOŚCIOWY POWŁOK JAKO EFEKT OD- DZIAŁYWANIA CZYNNIKÓW ABIOTYCZNYCH

Wzrost wilgotności powierzchni fasad można w dużej mierze przypisać lepszej izolacji cieplnej i mniejszej pojemności cieplnej ścian zewnętrznych, co prowadzi do częstej kondensacji powietrza zewnętrznego spowodowanej długofalowym promieniowaniem nieba [6], [131], [37], [165].

Badania wykonywane na systemach ETICS wskazują jako główną przyczynę korozji biologicznej wysokie wartości wilgotności powierzchniowej wyprawy tynkarskiej [166]. Wilgotność tynku wynika z połączonego dwóch podstawowych grup czynników: właściwości tynku oraz oddziaływania środowiska zewnętrznego [23], [84], [126], [127], [128], [129], [130].

Równanie stanu ustalonego dotyczące bilansu masy (wilgoci) na powierzchni elewacji można opisać wg wzoru [167]:

$$q_{dyfuzja} + q_{ssanie} + q_{konwekcja} + q_{deszcz,poziomy} + q_{kondensacja} + q_{deszcz,pionowy} = 0 \quad (8)$$



Rysunek 28. Bilans wilgotności tynku cienkowarstwowego w warunkach stacjonarnych (opracowanie własne)

Dyfuzja ($q_{dyfuzja}$) i zasysanie ($q_{śsanie}$) to sposoby transportu wilgoci z wnętrza ściany. W materiałach mineralnych dyfuzja polega głównie na transporcie w fazie gazowej w otwartych porach materiału na skutek różnic w prężności par (lub wilgotności względnej w warunkach izotermicznych). Zasysanie wywoływane jest różnicami ciśnień w skroplonej kapilarnej wodzie [168].

Konwekcja ($q_{konwekcja}$) wilgoci dotyczy wszystkich przypadków, w których wilgoć jest przenoszona drogą powietrzną. Proces może odbywać się z powierzchni elewacji do powietrza zewnętrznego. Jego efektem jest usuwanie wody z tynku, co zapobiega ciągłemu zwiększaniu zawartości wilgoci. Odprowadzanie wilgoci przez konwekcję jest znacznie zwiększone przez wiatr [169].

Kolejnym źródłem wilgoci jest deszcz ($q_{deszcz, poziomy}$), w postaci składowej poziomej (zacinający deszcz) i pionowej (spływający po ścianie film wody deszczowej $q_{deszcz, pionowy}$). Bardzo często widoczna jest linia podziału między niezainfekowaną częścią osłoniętą, np. przez zadaszenie lub wysunięty parapet, a narażoną na zawilgocenie resztą ściany (rys. 29). Najczęściej ich wzrost objawia się pojawiającym się na powierzchni zazielenieniem, aczkolwiek różne rodzaje glonów mogą mieć różne zabarwienie - od żółtych, poprzez brunatne do zielonych.



Rysunek 29. Elewacja narażona na: a) zacinający deszcz, b) deszcz spływający po ścianie (archiwum własne)

Kondensacja ($q_{\text{kondensacja}}$) na ścianach ma miejsce wtedy, gdy temperatura powierzchni ściany jest na tyle niższa od temperatury powietrza, że powietrze osiąga punkt rosy, uwalniając nadmiar pary wodnej w postaci ciekłej (mgła, rosa). Proces ten ma znaczenia tylko wtedy, gdy elewacja jest chłodzona przez nocne promieniowanie czystego nieba, które może znacznie obniżyć temperaturę elewacji [23], [54]. Promieniowanie słoneczne jest zazwyczaj czynnikiem pozytywnym, ponieważ ogrzewa i w konsekwencji osusza ściany, które stały się mokre z powodu deszczu lub nocnej kondensacji, np. czy słońce może osuszyć fasady skierowane na wschód wcześniej w ciągu dnia, podczas gdy fasady skierowane na zachód będą dłużej mokre. Przypadkiem negatywnego wpływu jest tzw. "letnia kondensacja", kiedy intensywne promieniowanie słoneczne kieruje wilgoć w ścianie do wewnętrznych części ściany, gdzie może się ona skraplać. Podczas pogodnych nocy emitowane przez atmosferę promieniowanie znacznie się zmniejsza, a promieniowanie emitowane przez powierzchnię jest większe niż to, które do niej dociera, powodując straty promieniowania w kierunku nieba. Proces ten powstaje, gdy elewacja jest chłodzona nocnym promieniowaniem jasnego nieba, które znacząco może obniżyć temperaturę elewacji. Nocne czyste niebo jest zimne i powierzchnie będą zatem chłodzone przez promieniowanie jasnego nieba. W warunkach pełnego zachmurzenia temperatura nieba będzie równa temperaturze powietrza, ale gdy jest czyste nocne niebo, jego temperatura może być znacznie niższa niż temperatura powietrza (i temperatura elewacji) [23]. Prosty model temperatury nocnego czystego nieba, który jest powszechnie stosowany w fizyce budowli przedstawia wzór poniżej [54]:

$$T_{sky} = 1,2T_{air} - 14 \quad (9)$$

gdzie:

T_{air} – temperatura powietrza w stopniach Celsjusza.

Ściany są zazwyczaj narażone na działanie nieba w 25-50%, pozostały ułamek to ziemia, inne budynki, drzewa itp. [94]. Nocna kondensacja jest zjawiskiem powszechnym na cienkich lub izolowanych obiektach, wystawionych na działanie nocnego nieba np. dachy samochodów. Na ścianach ten efekt nie jest aż tak silny, ponieważ nie są one aż tak wystawione na działanie nieba. Efekt ten występuje na elewacjach dobrze izolowanych, ale często nie jest wyrazie widoczny, dlatego trzeba dotknąć powierzchni, aby przekonać się, czy jest ona pokryta wodą (rys. 30). Zjawisko to nie będzie widoczne na tradycyjnych zaprawach cementowo-wapiennych lub gdy tynk ma zdolność do pochłaniania wody, ponieważ woda zostanie wessana do powierzchni. Natomiast, gdy zostaną zastosowane materiały organiczne, które często nie są absorbujące, a nawet mogą być hydrofobowe, woda będzie tworzyła kropelki na powierzchni tynku.

Możliwość wyschnięcia warstwy zbrojącej oraz materiału termoizolacyjnego zależy przede wszystkim od dyfuzyjności wyprawy tynkarskiej (ewentualnie z farbą). Parametrami, które w największym stopniu wpływają na kondensację powierzchniową są: wilgotność względna powietrza zewnętrznego, promieniowanie atmosferyczne, temperatura zewnętrzna i emisyjność, a następnie całkowity opór cieplny ściany oraz temperatura wewnętrzna [23].

Dążenie do spełnienia wymagań cieplnych stawianym przegrodom zewnętrznym [149] skłania do stosowania materiałów o coraz grubszych warstwach. Standardem jest stosowanie materiałów o grubości, 15cm, 20cm czy 25 cm o jak najniższym współczynniku przewodzenia ciepła λ . W oparciu o zasady fizyki budowli takie działanie

powoduje przesunięcie punktu rosy na zewnętrzną część przegrody, czyli warstwę wykończeniową.



Rysunek 30. Kondensacja wilgoci na powierzchni elewacji – efekt promieniowania jasnego nieba (archiwum autora)

Efektom tego zjawiska jest kumulacja wilgoci w warstwie zewnętrznej, wykonanej z tynku cienkowarstwowego, a niekiedy farby elewacyjnej, z której przy odpowiednich parametrach warstwy wykończeniowej może być ona łatwo odparowana [94]. Decydującym parametrem mającym wpływ na czas potrzebny do odparowania wody z nasiąkniętego tynku jest grubość warstwy tynku oraz jego struktura. Grubość warstwy wierzchniej ocieplenia odpowiada zastosowanym do jej produkcji kruszywom i zwykle wynosi 1-3mm. Im grubsza warstwa, tym dłuższy czas potrzebny do odparowania wody z powierzchni warstwy wykończeniowej. Wnikająca w przegrodę para wodna nie przenika przez nią całkowicie, gdyż napotyka opór poszczególnych warstw, który zależy od rodzaju oraz grubości materiału. Jest to tzw. równoważny opór dyfuzyjny S_d powodujący spadek cząstkowego ciśnienia pary wodnej. Możliwość wyschnięcia warstwy zbrojącej oraz styropianu lub wełny zależy przede wszystkim od dyfuzyjności wyprawy tynkarskiej. Tynk zewnętrzny zawsze będzie narażony na oddziaływanie wody/wilgoci z opadów atmosferycznych. Szczególnie niebezpieczne są silne opady atmosferyczne z porywistym wiatrem. Wchłanianie wody przez tynk i warstwę zbrojącą opisuje współczynnik nasiąkliwości powierzchniowej – w , oznaczający zdolność wchłaniania wody przez powierzchnię materiału i jej przebieg w czasie. Wchłonięta woda musi ulec odparowaniu [119], [147]. Zdolność odparowania wody zależy od równoważnego oporu dyfuzyjnego S_d warstwy tynku. Na podstawie wzoru na równoważny opór dyfuzyjny [150]:

$$S_d = \mu \cdot d \quad (10)$$

Możemy stwierdzić, że wraz z wzrostem grubości materiału wzrasta opór dyfuzyjnie równoważny, a tym samym czas potrzebny do wyschnięcia zawilgoconej warstwy tynku zewnętrznego.

W wyniku kondensacji pary, wilgotność powierzchni zewnętrznej systemu ocieplenia może okresowo wzrastać i stwarzać warunki sprzyjające dla rozwoju mikroorganizmów.

Monika Dybowska-Józefiak | Identyfikacja czynników determinujących trwałość i estetykę elewacji budynków

3.6. PODSUMOWANIE

Jak wynika z przeprowadzonej analizy, problem rozwoju mikroorganizmów na wykończeniu ścian zewnętrznych jest efektem złożonym, na który wpływa szereg współdziałających czynników związanych z warunkami biotycznymi i abiotycznymi systemu wykończenia ścian zewnętrznych.

Badania przeprowadzone na systemach ETICS wskazują na duże zawilgocenie powierzchni powłoki tynku jako główną przyczynę biokorozji. Wilgotność tynku wynika z kombinacji dwóch podstawowych grup czynników: właściwości tynku i środowiska zewnętrznego. Grubość warstwy tynku i jego mikrostruktura są decydującymi parametrami wpływającymi na czas odparowania wody z nasączonego tynku. Im grubsza warstwa, tym dłużej trwa odparowanie wody z powierzchni warstwy wykończeniowej. Przewidywanie zagrożenia biokorozją polega na korelacji tych dwóch współczynników. Naturalną barierą przed korozją jest wysokie pH podłoża, właściwe dla tynków mineralnych. Jednak wraz z upływem czasu obserwuje się jego obniżenie na skutek twardnienia i starzenia się tynków. W dłuższym okresie czasu i w połączeniu z właściwościami tynku (hydrofilowość, mikrostruktura) proces biokorozji jest bardziej intensywny.

O absorpcji i retencji wody decyduje hydrofilowość i porowatość tynku, a także rozkład porów. W przypadku tynków cementowych struktura porowatości zmienia się podczas procesu twardnienia kompozytu. Prowadzi to do zmniejszenia kapilarności, a w konsekwencji do poprawy warunków wilgotnościowych.

W warstwowym systemie ETICS wartości strumienia wilgoci zależą od przyjętego systemu materiałowego oraz klimatu wewnętrznego i zewnętrznego. Płaszczyzny kondensacji występują najczęściej na połączeniu warstwy izolacji cieplnej i warstwy zbrojonej oraz na styku tynku cienkowarstwowego i powłoki malarskiej. Intensywność tego procesu zależy od składu i mikrostruktury tynku. Zdolność wysychania warstwy zbrojącej i materiału izolacyjnego zależy przede wszystkim od dyfuzyjności tynku (ewentualnie farby). W przejściowych porach roku istotnym elementem bilansu wilgoci jest kondensacja powierzchniowa w okresie nocnym. Wynika ona z małej bezwładności cieplnej tynku oraz wpływu długofalowego promieniowania z nieba. W tym przypadku proces wysychania zależy od promieniowania słonecznego i pochłaniania promieniowania krótkofalowego przez powierzchnię wykończenia ścian zewnętrznych.

Proces suszenia na powierzchniach zacienionych zależy przede wszystkim od parametrów powietrza zewnętrznego. Jest on znacznie mniej efektywny, w związku z czym tynki na ścianach zewnętrznych wychodzących na północ pozostają wilgotne przez większą część dnia. Sprzyja to osadzaniu się zanieczyszczeń, które są pożywką dla mikroorganizmów. Chropowatość tynku potęguje retencję zanieczyszczeń w przestrzeniach międzyziarnowych, stwarzając tym samym korzystne warunki kolonizacji.

Jak widać w przeprowadzonej analizie, czynniki wewnętrzne, które bezpośrednio wpływają na kolonizację mikroorganizmów, czyli tzw. biokorozję powierzchni budynków są powszechnie znane. Jednakże nie są ocenione zmiany w mikrostrukturze wypraw tynkarskich po długotrwałej ekspozycji na warunki środowiskowe oraz brakuje informacji na temat wpływu biofilmu na degradację tych tynków. Analiza zmian zachodzących w cienkowarstwowym wyprawach tynkarskich pod wpływem długotrwałego oddziaływania środowiska była rozpatrywana tylko na podstawie badań laboratoryjnych próbek poddanych procesom przyspieszonego starzenia, natomiast brakuje badań poligonowych obrazujących zachodzące zmiany w tynkach cienkowarstwowym systemu ETICS.

4. PRZEDMIOT, CEL, TEZY BADAWCZE I ZAKRES PRACY

Celem pracy jest analiza zmian zachodzących w cienkowarstwowych wyprawach tynkarskich pod wpływem długotrwałego oddziaływania środowiska zewnętrznego i ich wpływ na podstawowe właściwości systemu ETICS (External Thermal Insulation Composite).

Przedmiotem badań były tynki cienkowarstwowe systemu ETICS, o różnych fakturach, na spoiwie:

- mineralnym (tynk mineralny i tynk silikatowy),
- organicznym (tynk akrylowy oraz tynk silikonowy).

W oparciu o dokonany przegląd literatury, przedstawiony w poprzednich rozdziałach, jak i przeprowadzone wstępne badania własne, sformułowano następujące tezy pracy:

1. Estetyka elewacji budynków jest ściśle związana z procesem biokorozji zachodzącym na powierzchni wypraw tynkarskich systemu ETICS, w zależności od ekspozycji wypraw względem stron świata.
2. Długotrwałe funkcjonowanie tynków cienkowarstwowych w środowisku zewnętrznym powoduje zmiany w ich mikrostrukturze, które przekładają się na właściwości wilgotnościowe i ich mrozoodporność.
3. Zmiany właściwości wypraw tynkarskich powstałe pod wpływem środowiska zewnętrznego w istotny sposób wpływają na izolacyjność systemu ETICS.

Podstawą pracy są własne badania doświadczalne przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych i na wykonanym w tym celu poligonowym stanowisku badawczym. Głównym celem badań poligonowych były:

1. Analiza wpływu orientacji elewacji na intensywność biokorozji i degradację tynków, definiowaną przez zmiany mikrostruktury i kapilarność.
2. Analiza wpływu orientacji elewacji na zmiany izolacyjności termicznej systemu bazującego na styropianie – najczęściej stosowanym materiale termoizolacyjnym w systemie ETICS.

Wyniki tych badań zestawiono z wynikami testów laboratoryjnych, uwzględniających proces zamrażania – odmrażania w liczbie cykli odpowiadającej rzeczywistym warunkom klimatycznym z okresu funkcjonowania stanowiska poligonowego. Analiza ta pozwoliła na określenie czynników warunkujących obniżenie trwałości cienkowarstwowych wypraw tynkarskich. Badania doświadczalne dały możliwość szerszego rozpoznania zagadnienia zmian właściwości ETICS i obniżenia estetyki elewacji w odniesieniu do relacji środowisko – system.

5. PRZEPROWADZONE BADANIA I STOSOWANE METODY

5.1. MATERIAŁY

Zakres badań obejmuje analizę wybranych cech przegrody wykonanej zgodnie ze specyfikacją systemu ETICS. Do podjętych rozważań wytypowano styropian jako materiał izolacyjny w przegrodzie, zaś badanymi powierzchniami budynków były cienkowarstwowe wyprawy tynkarskie. Z uwagi na różnorodność dostępnych na rynku materiałów wykończeniowych do badań wybrano cztery różnych rodzaje tynków, każdy w dwóch wariantach fakturowych (baranek, kornik):

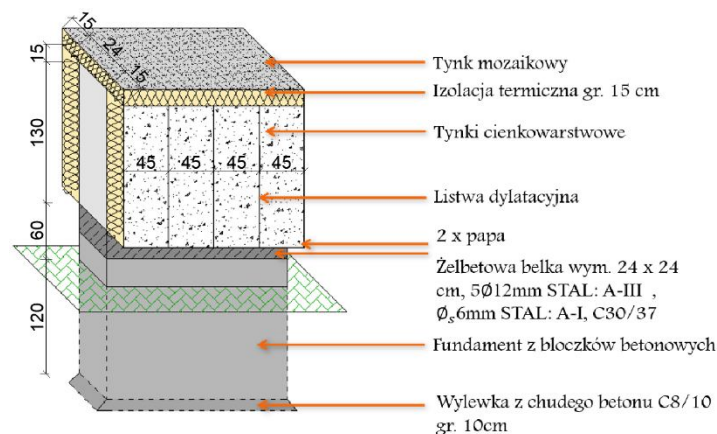
- tynk akrylowy,
- tynk mineralny,
- tynk silikatowy,
- tynk silikonowy.

Badane tego rodzaju tynki były barwione w masie na kolor biały, a ich powłok zewnętrzna nie została w żaden sposób dodatkowo zabezpieczona. Zgodnie z planowanymi badaniami wykonano pełno systemowe rozwiązanie na poligonowym stanowisku badawczym oraz próbki laboratoryjne.

5.2. STANOWISKO BADAWCZE

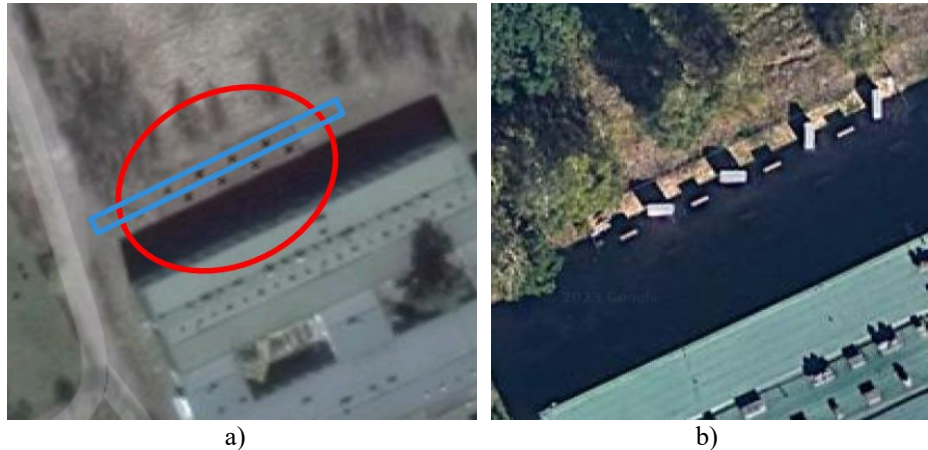
Zrealizowanie programu badawczego wymagało wykonania stanowiska poligonowego, które powstało na terenie kampusu Politechniki Bydgoskiej.

Stanowisko składa się z czterech ścian badawczych wykonanych z gazobetonu na zaprawie klejowej o grubości 24 cm, izolowanych obwodowo styropianem EPS70-042 o grubości 15 cm według schematu podanego na rysunku 31. Wybrany ETICS posiada Europejską Ocenę Techniczną (ETA) [13] i tym samym spełnia wymagania użytkowe zawarte w EAD 040083-00-0404 [12].

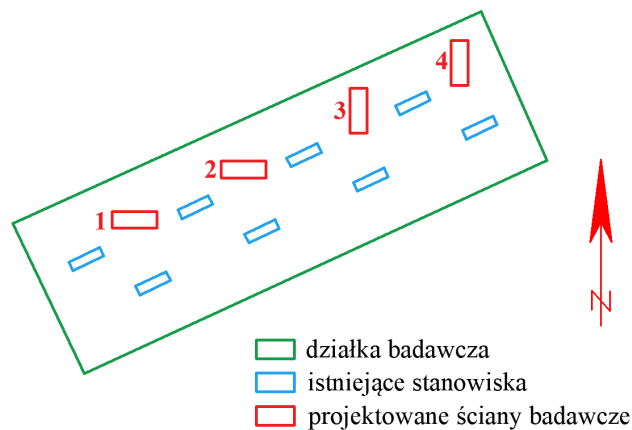


Rysunek 31. Schemat stanowiska badawczego (opracowanie własne)

Z uwagi na bliskie sąsiedztwo budynków o wysokości 8,70m zdecydowano się na wytyczenie linijki słońca w celu wykluczenia długotrwałego zacinienia (rys.32). Stowisko zaprojektowano w obrębie ternu przeznaczzonego na badania prowadzone w obrębie działalności Katedry Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli w sąsiedztwie istniejących stanowisk według podanego schematu na rysunku 33.



Rysunek 32. Lokalizacja stanowiska poligonowego na terenie kampusu PBS: a) projektowana lokalizacja ścian badawczych w sąsiedztwie istniejących obiektów przeznaczonych do badań; b) zrealizowane stanowisko poligonowe (archiwum własne)



Rysunek 33. Plan rozmieszczenia stanowisk poligonowych (opracowanie własne)

Projekt stanowiska obejmuje wykonanie czterech murków posadowionych w dwóch różnych wariantach zgodnie z orientacją wyprawy względem kierunków świata :

- północ-południe (ściany 1 i 2 wg tab. 6)
- wschód-zachód (ściany 3 i 4 wg tab. 7).

Tabela 6. Schemat stanowisk badawczych zorientowanych na północ-południe

Ściana badawcza	Orientacja	
	Północna „N” KORNIK	Południowa „S” KORNIK
1	<div style="display: flex; justify-content: space-around; text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">A</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">M</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Sa</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">So</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="width: 20px; text-align: center;">Tynk Akrylowy</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">Tynk Mineralny</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">Tynk Siilikatowy</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">Tynk Siilikonowy</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">So</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Sa</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">M</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">A</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="width: 20px; text-align: center;">Tynk Siilikonowy</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">Tynk Siilikatowy</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">Tynk Mineralny</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">Tynk Akrylowy</div> </div>
	2	<div style="display: flex; justify-content: space-around; text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">A</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">M</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Sa</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">So</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="width: 20px; text-align: center;">Tynk Akrylowy</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">Tynk Mineralny</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">Tynk Siilikatowy</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">Tynk Siilikonowy</div> </div>

Tabela 7. Schemat stanowisk badawczych zorientowanych na wschód-zachód

Ściana badawcza	Orientacja																
	Wschodnia „E”	Zachodnia „W”															
3	KORNIK	KORNIK															
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="border: none;">A</td> <td style="border: none;">M</td> <td style="border: none;">Sa</td> <td style="border: none;">So</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Tynk Akrylowy</td> <td style="border: none;">Tynk Mineralny</td> <td style="border: none;">Tynk Siilikatowy</td> <td style="border: none;">Tynk Siilikonowy</td> </tr> </table>	A	M	Sa	So	Tynk Akrylowy	Tynk Mineralny	Tynk Siilikatowy	Tynk Siilikonowy	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="border: none;">So</td> <td style="border: none;">Sa</td> <td style="border: none;">M</td> <td style="border: none;">A</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Tynk Siilikonowy</td> <td style="border: none;">Tynk Siilikatowy</td> <td style="border: none;">Tynk Mineralny</td> <td style="border: none;">Tynk Akrylowy</td> </tr> </table>	So	Sa	M	A	Tynk Siilikonowy	Tynk Siilikatowy	Tynk Mineralny
A	M	Sa	So														
Tynk Akrylowy	Tynk Mineralny	Tynk Siilikatowy	Tynk Siilikonowy														
So	Sa	M	A														
Tynk Siilikonowy	Tynk Siilikatowy	Tynk Mineralny	Tynk Akrylowy														
4	BARANEK	BARANEK															
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="border: none;">A</td> <td style="border: none;">M</td> <td style="border: none;">Sa</td> <td style="border: none;">So</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Tynk Akrylowy</td> <td style="border: none;">Tynk Mineralny</td> <td style="border: none;">Tynk Siilikatowy</td> <td style="border: none;">Tynk Siilikonowy</td> </tr> </table>	A	M	Sa	So	Tynk Akrylowy	Tynk Mineralny	Tynk Siilikatowy	Tynk Siilikonowy	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="border: none;">So</td> <td style="border: none;">Sa</td> <td style="border: none;">M</td> <td style="border: none;">A</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Tynk Siilikonowy</td> <td style="border: none;">Tynk Siilikatowy</td> <td style="border: none;">Tynk Mineralny</td> <td style="border: none;">Tynk Akrylowy</td> </tr> </table>	So	Sa	M	A	Tynk Siilikonowy	Tynk Siilikatowy	Tynk Mineralny
A	M	Sa	So														
Tynk Akrylowy	Tynk Mineralny	Tynk Siilikatowy	Tynk Siilikonowy														
So	Sa	M	A														
Tynk Siilikonowy	Tynk Siilikatowy	Tynk Mineralny	Tynk Akrylowy														

W celu dokładnego wyznaczenia kierunków stron świata posłużono się GPS-em. Realizacja stanowiska trwała od maja 2016 roku do sierpnia 2016 roku i podzielono ją etapy (rys. 34):

- wytyczenia lokalizacji,
- wykonanie wykopów,
- wylanie warstwy z betonu C8/10 gr.10cm,
- wymurowanie ścian fundamentowych z bloczków betonowych na zaprawie klejowej,
- wykonanie belki żelbetowej – w celu ewentualnego przemieszczenia stanowiska,
- ułożenie izolacji przeciwwilgociowej w postaci papy na lepiku,

- wymurowanie ściany z bloczków betonu komórkowego gr.24 cm na zaprawie klejowej,
- ułożenie obwodowo izolacji cieplnej z płyty styropianowych EPS70-042 na zaprawie klejowej,
- zakotwienie profili dylatacyjnych i narożników,
- ułożenie warstwy zbrojonej: siatka pojedyncza z włókna szklanego zatopionej w warstwie klejowej,
- ułożenie warstwy podkładowej,
- wykonanie powierzchni elewacji w postaci tynku cienkowarstwowego,
- wykończenie górnej powierzchni stanowiska przy użyciu tynku mozaikowego.

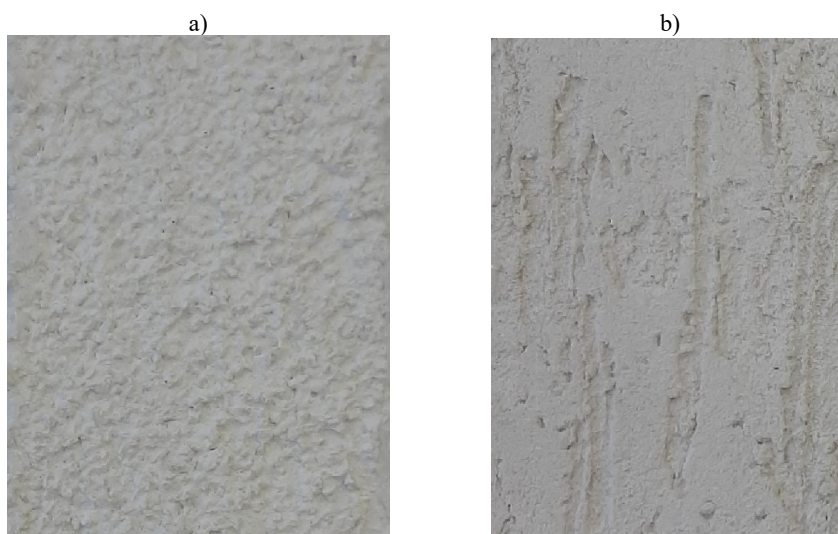


Rysunek 34. Realizacja stanowiska poligonowego

Na każdej powierzchni ściany badawczej ułożono cztery różne warstwy tynku, odcinając pola badawcze profilami dylatacyjnymi. Zdecydowano się na zastosowanie systemu ociepleń wg wytycznych i zaleceń producenta dla czterech różnych rodzajów tynków, każdy w dwóch wariantach fakturowych (baranek, kornik – rys. 35).

Tynki cienkowarstwowe wybrane do badań:

- akrylowy,
- mineralny,
- silikatowy,
- silikonowy.



Rysunek 35. Tynki cienkowarstwowe wykorzystane do badań o fakturze: a) baranek, b) kornik

Tak przygotowane tynki funkcjonowały w środowisku naturalnym przez 6 lat od 2016 – 2022 r. Zabrudzenia wypraw tynkarskich można było zaobserwować na wybranych tynkach już po pierwszym roku wybudowania stanowiska. Natomiast objawy korozji biologicznej wystąpiły po dwóch latach, przy czym wystąpiły one w różnym nasileniu w zależności od ukierunkowania względem stron świata (rys.36).

a) nowo powstałe ściany badawcze



b) 1 rok funkcjonowania stanowiska



c) 2 rok funkcjonowania stanowiska



d) 3 rok funkcjonowania stanowiska



e) 4 rok funkcjonowania stanowiska



f) 5 rok funkcjonowania stanowiska



f) 6 rok funkcjonowania stanowiska



Rysunek 36. Dokumentacja fotograficzna stanowiska poligonowego w trakcie jego funkcjonowania w latach 2016 – 2022 (archiwum własne)

5.3. PRÓBKI LABRATORYJNE

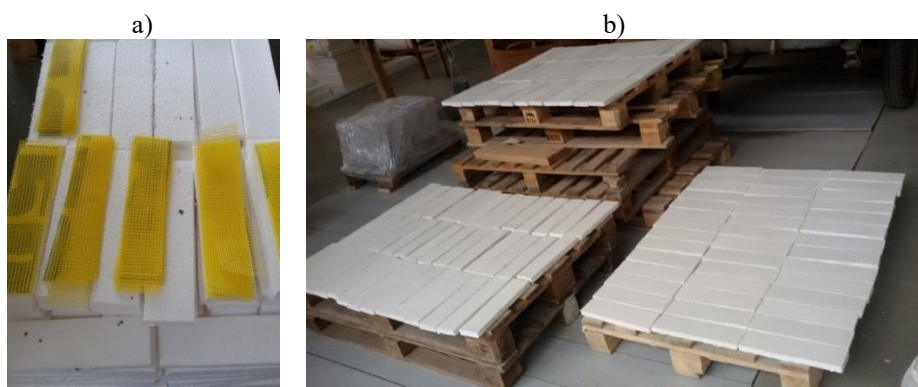
Równoległe do realizacji tego stanowiska powstały próbki do badań laboratoryjnych (rys. 37), będące odwzorowaniem schematu zastosowanego rozwiązania na stanowisku poligonowym. Próbki do badań laboratoryjnych zostały przygotowane zgodnie z specyfikacją systemu ETICS na warstwie izolacyjnej ze styropianu o grubości 2cm

Monika Dybowska-Józefiak | Identyfikacja czynników determinujących trwałość i estetykę elewacji budynków

i wymiarach 75x300 mm. Łącznie wykonano 384 próbki laboratoryjne dla wybranych tynków cienkowarstwowych zgodnie z Tabelą 8.

Tabela 8. Próbkki laboratoryjne

Rodzaj tynku cienkowarstwowego	Faktura powierzchni	Zastosowane oznaczenie	Ilość próbek [szt]
Akrylowy	Baranek	AB	48
Akrylowy	Kornik	AK	48
Mineralny	Baranek	MB	48
Mineralny	Kornik	MK	48
Silikatowy	Baranek	SaB	48
Silikatowy	Kornik	SaK	48
Silikonowy	Baranek	SoB	48
Silikonowy	Kornik	SoK	48



Rysunek 37. Widok próbek laboratoryjnych a) w trakcie przygotowania b) gotowe próbki w trakcie sezonowania

5.4. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO BADAŃ

Badania wykonano na trzech grupach próbek (tab. 9):






- próbki laboratoryjne wyjściowe (oznaczone jako **grupa A**),
- próbki laboratoryjne po cyklach zamrażania-rozmrażania (oznaczone jako **grupa B**),
- próbki pobrane z poligonowego stanowiska badawczego- z objawami biokorozji i wyczyszczone (oznaczone jako **grupa C**).

Proces czyszczenia próbek pobranych z stanowiska terenowego polegał na stwierdzeniu i usunięciu biokorozji oraz wykonaniu zabiegów dezynfekcyjnych z zastosowaniem środka chemicznego – biocydu (rys. 38).



Rysunek 38. Czyszczenie próbek przy użyciu biocydu (archiwum własne)

Tabela 9. Grupy próbek

Grupa A - wyjściowe	Grupa B - przyspieszony proces starzenia	Grupa C - naturalny proces starzenia
I wariant - faktura BARANEK		a) zanieczyszczone
		
II wariant - faktura KORNIK		b) wyczyszczone
		

Próbki grupy B zostały poddane procesowi przyspieszonego starzenia według ustalonego procesu cyklicznego zamrażania-rozmrażania. Początkowo zostały wysuszone do stałej masy w temperaturze $+ 40 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Następnie nasączono je wodą wg procedury opisanej w punkcie 3.1. Próbki umieszczono w komorze klimatycznej (rys. 39), dla której zaprogramowano następujące cykle:

- nagrzewanie do 60°C przy wilgotności 80 % w ciągu 1 godz. i utrzymywanie stałej temperatury i wilgotności przez 3 godziny,
- obniżenie temperatury do -20°C w ciągu 1 godz. i utrzymywanie jej przez 3 godziny.

Po każdym 3 pełnych cyklach (24 godziny) próbki ważono, uzupełniano poziom wilgotności próbek poprzez nasączenie wodą wg procedury opisanej w punkcie 5.5.3. i powtórnie ważono. W ten sposób wykonano 81 cykli starzenia. Liczba cykli wynikała z analizy przejść temperatury przez 0°C w okresie funkcjonowania stanowiska badawczego.



a)



b)

Rysunek 39. Proces przyspieszonego starzenia a) komora klimatyczna b) próbki poddane cyklom zamrażania i rozmrażania (archiwum własne)

Próbki do badań pobrane ze stanowiska poligonowego stanowiły fragmenty systemu ETICS wraz z pełną grubością styropianu, pobrane ze stanowiska badawczego. Próbki pobrano w kwietniu 2022 r., po 2-tygoniowym okresie bez opadów.

Dla każdego rozwiązania powłoki tynkarskiej wycięto po 6 próbek o powierzchni $100 \times 100 \text{ mm}$ z każdej orientacji elewacji – zestawienie ilości próbek w tab. 10.

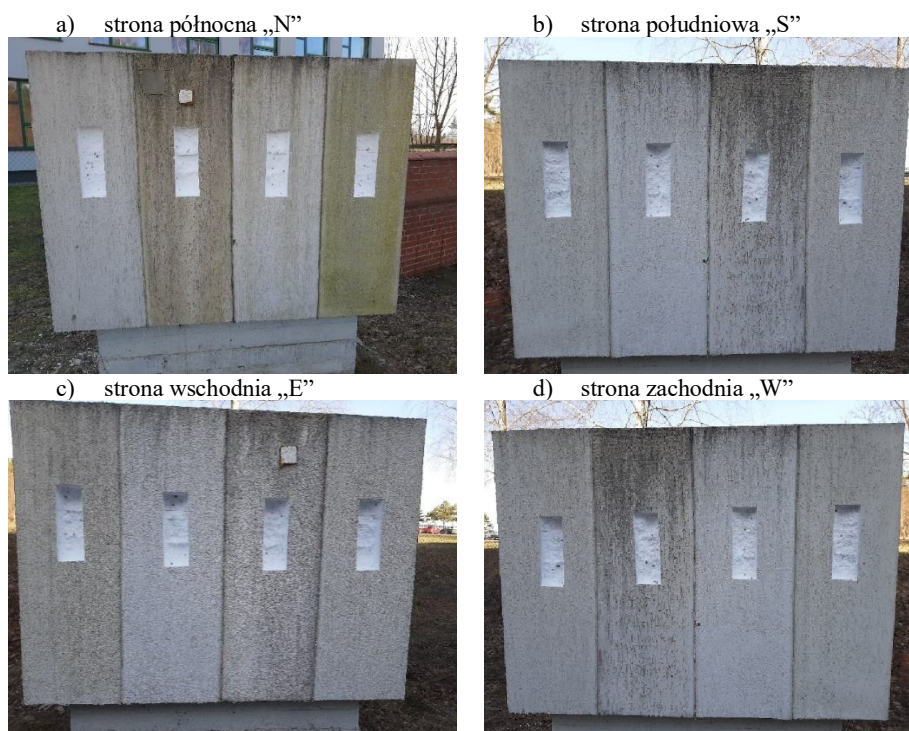
Tabela 10. Próbkę z stanowiska poligonowego

Rodzaj tynku	Orientacja	Faktura powierzchni			
		Baranek		Kornik	
		Próbek	Oznaczenie	Próbek	Oznaczenie
Akrylowy	Północna „N”	6	AB „N”	6	AK „N”
	Południowa „S”	6	AB „S”	6	AK „S”
	Wschodnia „E”	6	AB „E”	6	AK „E”
	Zachodnia „W”	6	AB „W”	6	AK „W”
Mineralny	Północna „N”	6	MB „N”	6	MK „N”
	Południowa „S”	6	MB „S”	6	MK „S”
	Wschodnia „E”	6	MB „E”	6	MK „E”
	Zachodnia „W”	6	MB „W”	6	MK „W”
Silikatowy	Północna „N”	6	SaB „N”	6	SaK „N”
	Południowa „S”	6	SaB „S”	6	SaK „S”
	Wschodnia „E”	6	SaB „E”	6	SaK „E”
	Zachodnia „W”	6	SaB „W”	6	SaK „W”
Silikonowy	Północna „N”	6	SoB „N”	6	SoK „N”
	Południowa „S”	6	SoB „S”	6	SoK „S”
	Wschodnia „E”	6	SoB „E”	6	SoK „E”
	Zachodnia „W”	6	SoB „W”	6	SoK „W”

Pobieranie próbek rozpoczęto od nacięcia powierzchni tynku za pomocą szlifierki kątowej, a następnie za pomocą noża wycięto fragmenty wraz z warstwą izolacji termicznej (rys. 40, rys. 41).



Rysunek 40. Pobieranie próbek z stanowiska poligonowego (archiwum własne)



Rysunek 41. Stanowisko poligonowe po pobraniu próbek (archiwum własne)

Bezpośrednio po wycięciu każda z pobranych próbek została podzielona na dwa odrębne elementy przeznaczone do badań (rys. 42):

- wyprawa tynkarska wraz z warstwą kleju i siatką;
- warstwa izolacyjna znajdująca się pod powierzchnią tynku, pocięta na paski, równoległe do płaszczyzny wyprawy tynkarskiej, o grubości 1,5 cm.

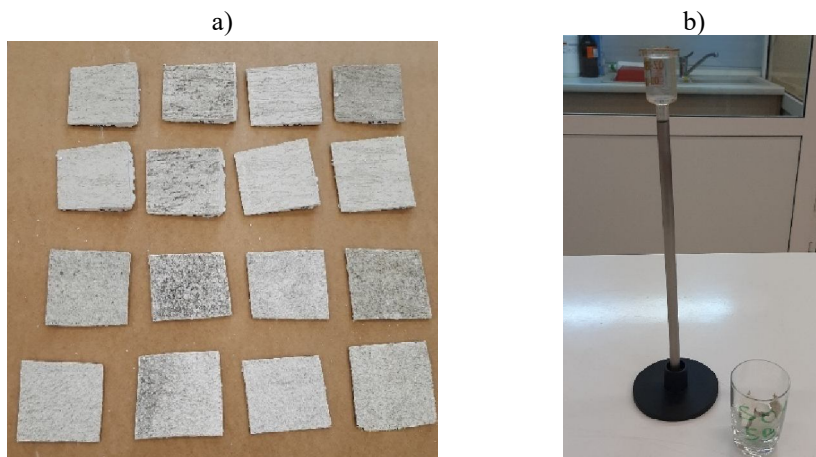


Rysunek 42. Przygotowanie próbek do badań a) cięcie materiału izolacyjnego, b) podzielona próbka badawcza (archiwum własne)

Po pobraniu próbek odcięto część styropianu, pozostawiając warstwę o grubości 2 cm. Tak przygotowane próbki typu C zostały poddane suszeniu do stałej masy w temperaturze $+ 40 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Kolejność badań przystosowano do etapów rozdrabniania próbek. W pierwszym etapie wykonano badania: absorpcji wody oraz cykle zamrażania i rozmrażania dla próbek z grupy B.

W obrębie każdej grupy próbek pobrano materiał do określenia mikrostruktury. W celu zapewnienia reprezentatywności wyników materiał był pobierany z każdej z 6 próbek, a następnie połączony. Próbkę do badań uzyskano stosując metodę kwartowania z próbki ogólnej wybrano próbkę reprezentatywną (rys. 43).



Rysunek 43. Próbkę do badań a) odspojona wyprawa, b) próbka reprezentatywna (archiwum własne)

5.5. METODY BADAŃ

5.5.1. Określenie intensywności biokorozji na powierzchni tynków

Wykonano zdjęcia mikroskopowe dokumentujące stopień zainfekowania analizowanych typów tynków cienkowarstwowych Zdjęcia wykonano dla:

- próbek wyjściowych (grupa A),
- próbek pobranych z stanowiska badawczego (rys. 44), przeznaczonych do badań laboratoryjnych (grupa C – zabrudzone),
- próbek pobranych z stanowiska badawczego poddanych czyszczeniu (grupa C – wyczyszczone).

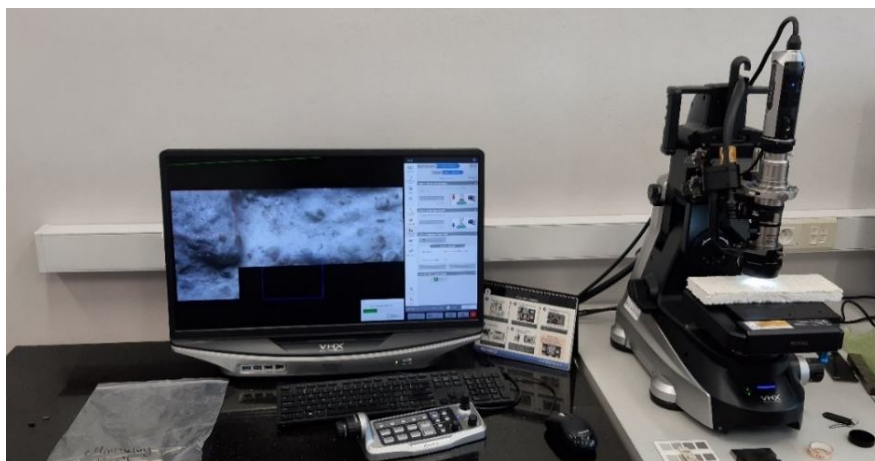
Pierwszym z etapów badań mikroskopowych było porównanie stanu powierzchni (faktury) badanych tynków. Drugi etap badań obejmował mikroskopową ocenę stopnia zainfekowania każdego z analizowanych wariantów tynków cienkowarstwowych w połączeniu z ich orientacją względem stron świata.



Rysunek 44. Stanowisko poligonowe na terenie kampusu Politechniki Bydgoskiej w trakcie badań mikroskopem Keyence Seria VHX-7000 a) orientacja N, b) orientacja S (archiwum własne)

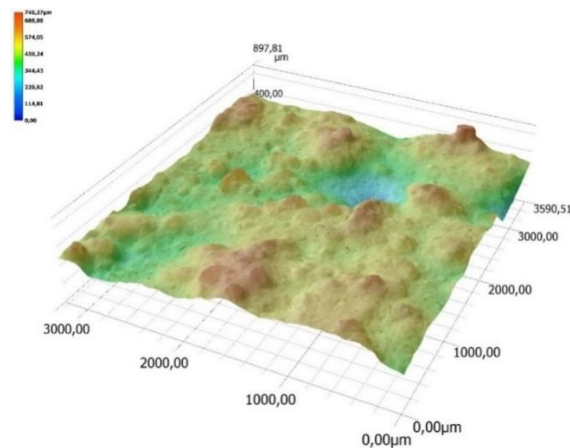
Obrazy wykorzystane do analizy wykonano w warunkach poligonowych (badanie pilotażowe) i laboratoryjnych, z zastosowaniem mikroskopu cyfrowego o wysokiej rozdzielczości Keyence VHX-7000 wraz z obiektywem VH-Z100R umożliwiającym uzyskanie wysokich powiększeń (rys. 45). Obserwacje zrealizowano w obrazie 2D oraz 3D pod różnymi kątami i opcjami oświetlenia. Wykonane zdjęcia charakteryzowały się następującym powiększeniem oraz wymiarami rzeczywistymi:

- serie porównawcze wykorzystane do analizy stanu powierzchni – powiększenie 200x, wymiary: 1,2 x 5,2 mm;
- serie porównawcze wykorzystane do analizy zanieczyszczenia – powiększenie 300x, wymiary: 1,2 x 1,2 mm.



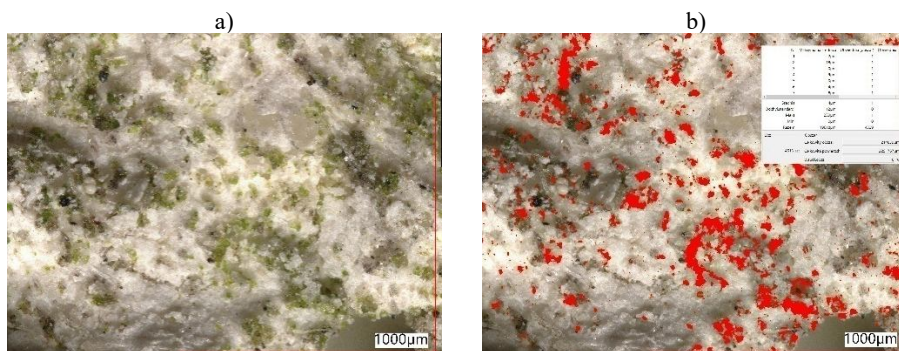
Rysunek 45. Stanowisko mikroskopowe Keyence Seria VHX-7000 (archiwum własne)

Wykorzystując rejestrację wielu obrazów podczas ruchu stolika pozwoliła na zapis danych w 3D przy jednoczesnym łączeniu obrazów. Opcja ta umożliwiła ustalenie profilu powierzchni próbki i pomiar nieregularności powierzchni (rys. 46).



Rysunek 46. Referencyjna próbka tynku mineralnego (3D) (opracowanie własne)

W przypadku analizowanych próbek (tab. 11), z uwagi na to, że powierzchnia próbek jest nierówna, w pełni wyostrzony obraz był możliwy do uzyskania poprzez użycie funkcji „kompozycja głębi”. Zostało wykonanych sto pojedynczych zdjęć między najwyższym a najniższym punktem powierzchni, które następnie zostały nałożone na siebie w celu uzyskania obrazu 3D. System operacyjny umożliwia szeroki zakres pomiarów, w tym obszar, wykonywanych w czasie rzeczywistym na ekranie za pomocą myszki. Dodatkowo, wyznaczony został procentowy udział zainfekowania każdej z powierzchni. W tym celu zastosowano funkcję analiza zanieczyszczeń. Pomiar polegał na zdefiniowaniu zakresu barw, którymi charakteryzowała się biokorozja oraz automatycznemu zidentyfikowaniu danego zakresu na całej badanej powierzchni. Tak zidentyfikowaną powierzchnię zanieczyszczenia odniesiono do całkowitego pola powierzchni wykonanego zdjęcia uzyskując procentową wartość zainfekowanej powierzchni (rys. 47).



Rysunek 47. Pomiar powierzchni: a) obszar wybrany do pomiaru, b) oznaczenie zakresu barw przypisanych skażeniu mikrobiologicznemu (opracowanie własne)

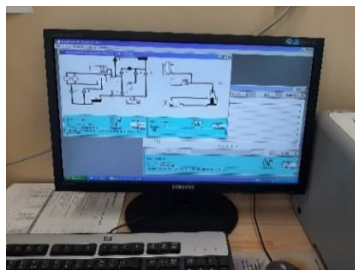
W oparciu o zdjęcia mikroskopowe wyznaczono procentowe udziały powierzchni zainfekowanej przez biokorozję w stosunku do całej powierzchni próbki. Na każdej z nich dokonano 5 osobnych pomiarów w losowo wybranych miejscach, z których wyznaczona została wartość średnia. Tabele z obrazami stopnia zainfekowania powierzchni analizowanych tynków uwzględniające: rodzaj materiału, fakturę powierzchni oraz orientację powierzchni wyprawy w stosunku do kierunku światła ponumerowano zgodnie z zestawieniem poniżej.

Tabela 11. Zestawienie analizowanych próbek - określenie obecności biokorozji na powierzchni wypraw tynkarskich

Rodzaj tynku	Faktura powierzchni	Zastosowane oznaczenie	Numer tabeli	
			Zestawienie zdjęć powierzchni tynku	Procentowy stopień zainfekowania wyprawy
Akrylowy	Baranek	AB	35	36
Akrylowy	Kornik	AK	37	38
Mineralny	Baranek	MB	39	40
Mineralny	Kornik	MK	41	42
Silikatowy	Baranek	SaB	43	44
Silikatowy	Kornik	SaK	45	46
Silikonowy	Baranek	SoB	47	48
Silikonowy	Kornik	SoK	49	50

5.5.2. Badanie mikrostruktury metodą porozymetrii ręciennej (MIP)

Badania mikrostruktury wykonano na porozymetrze AutoPore IV seria 9500 wyposażonym w dwa porty: niskiego i wysokiego ciśnienia o maksymalnej wartości 33000 psia (228MPa), co pozwala na pomiar w zakresie mezo i makroporów (rys. 48).



Rysunek 48. Badania mikrostruktury w porozymetrze AutoPore IV seria 9500 (archiwum własne)

Do badań użyto penetrometru przeznaczonego do materiału ziarnistego i pylistego. Przed badaniem przeprowadzono kalibrację penetrometru określającą objętość, ściśliwość oraz efekt termiczny użytego penetrometru. Na podstawie wcześniejszych pomiarów kontrolnych ustalono czas równowagi wynoszący 30 s. W wyniku badania MIP określono następujące parametry struktury: całkowitą objętość porów, gęstość szkieletową próbki w rtęci, rozkład objętości porów w funkcji ich średnicy jako zależność całkowitą i zależność różniczkową.

Udział objętości porów wyliczono na podstawie wzorów [89]:

- pory odpowiedzialne za mrozoodporność:

$$U_{frost} = \frac{\sum_{i=100nm}^{1,000nm} IV_{frost}}{TIV} \cdot P \quad (11)$$

- pory odpowiedzialne za transport kapilarny:

$$U_{cap} = \frac{\sum_{i=100nm}^{100,000nm} IV_{cap}}{TIV} \cdot P \quad (12)$$

gdzie:

IV_{frost} - objętość porów o średnicy od 100 do 1 000 nm,

IV_{cap} - objętość porów o średnicy od 100 do 100 000 nm,

TIV – całkowita intruzja rtęci,

P – porowatość ogólna.

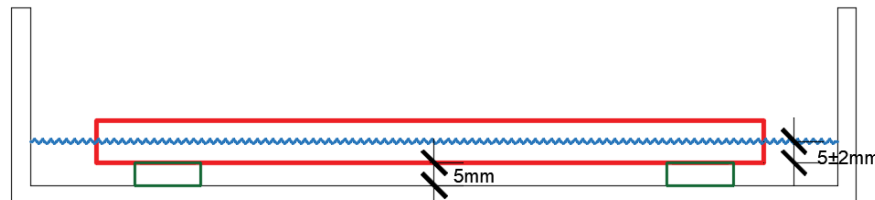
5.5.3. Badanie absorpcji wody

Absorpcję wody dla tynku określono zgodnie z normą EN ISO 15148 [22]. Ilość oraz wymiary próbek przeznaczonych do badań ustalono na podstawie założeń z normy:

- pole – min. 50 cm² (w celu lepszej dokładności powierzchnia czołowa o min. powierzchni 100cm²);
- grubość – równa na całej grubości wyrobu;
- liczba – min. 3 próbki (jeżeli pole powierzchni jednej próbki jest mniejsze niż 100 cm² to należy zbadać min. 6 próbek).

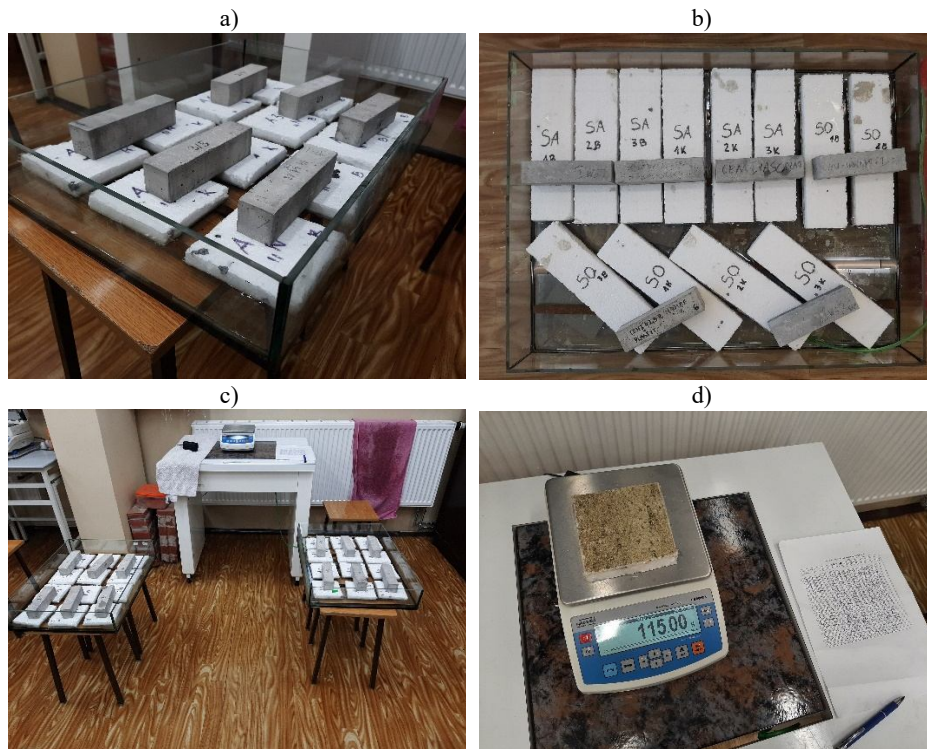
Dla każdego z rodzajów tynku przygotowano po 3 próbki, o powierzchni >100 cm² każda. Powierzchnię boczną każdej z próbek, zabezpieczono silikonem. Następnie próbki wysuszono do stałej masy i umieszczono w naczyniu z wodą wyposażonym w:

- system utrzymania stałego poziomu wody z dokładnością do ± 2 mm,
- dociążenie utrzymujące próbkę w określonym położeniu,
- podpory dystansowe utrzymujące próbkę minimum 5 mm od dna (rys. 49).



Rysunek 49. Stanowiska badawcze do badania absorpcji wody przez tynk (opracowanie własne)

Pierwszy pomiar masy wykonano po 5 minutach: próbkę wyciągnięto z wody, osuszono wilgotną gąbką i następnie zważono z dokładnością do $\pm 0,1\%$ jej masy (rys. 50). Procedura zanurzania, wyjmowania, osuszania i ważenia była powtarzana po czasie: 20 min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, 12 h, 24h.



Rysunek 50. Badanie nasiąkliwości: a) próbki poligonowe, b) próbki laboratoryjne, c) stanowisko badawcze, d) pomiar wyników (archiwum własne)

Badanie wykonano dla próbek wyjściowych - grupa A, próbek poddanych przyspieszonemu starzeniu - grupa B i próbek terenowych - grupa C. W przypadku próbek pobieranych ze stanowiska poligonowego badanie wykonano w dwóch wariantach: z biofilmem oraz po wyczyszczeniu powierzchni tynku środkiem biobójczym.

Współczynnik absorpcji wody wyznaczono na podstawie wzorów [95]:

$$A_w = \frac{\Delta m'_{t_f} - \Delta m'_0}{\sqrt{t_f}} \quad (13)$$

gdzie:

$\Delta m'_{t_f}$ – wartość Δm odczytana z linii prostej czasu t_f , w kg/m^2 ;

$\Delta m'_0$ – wartość Δm odczytana z linii prostej czasu t_f dla $t_f = 0$, w kg/m^2 ;

t_f – czas badania, w sekundach.

$$W_w = \frac{\Delta m'_{t_f} - \Delta m'_0}{\sqrt{t_f}} \quad (14)$$

gdzie:

$\Delta m'_{t_f}$ – wartość Δm odczytana z linii prostej czasu t_f , w kg/m^2 ;

$\Delta m'_0$ – wartość Δm odczytana z linii prostej czasu t_f dla $t_f = 0$, w kg/m^2 ;

t_f – czas badania, w godzinach.

5.5.4. Ocena zawilgocenia styropianu i jego wpływ na izolacyjność cieplną przegrody

Bezpośrednio po wycięciu z stanowiska poligonowego próbek, materiał izolacyjny znajdujący się pod wyprawą tynkarską został podzielony na paski, równoległe do płaszczyzny wyprawy tynkarskiej, o grubości 1,5 cm. Tak przygotowane próbki zważono z dokładnością do 0,01 g, wysuszono do stałej masy w temperaturze $+ 40 \pm 2^\circ\text{C}$ i ponownie zważono (rys. 51).



Rysunek 51. Ocena zawilgocenia styropianu a) przygotowane paski styropianu, b) suszenie próbek do stałej masy (archiwum własne)

Dla próbek wyznaczono wilgotność masową i wilgotność objętościową w % według wzoru [89]:

- wilgotność masowa – stosunek masy wody w materiale do całkowitej masy materiału wilgotnego:

$$\mu_m = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\% \quad (15)$$

gdzie:

m – masa próbki przed wysuszeniem [g],

m_0 – masa próbki po wysuszeniu [g],

- wilgotność objętościowa – stosunek objętości wody w materiale do całkowitej objętości próbki przed wysuszeniem:

$$\theta = \frac{V_w}{V} \cdot 100\% \quad (16)$$

gdzie:

V_w – objętość wody zawartej w próbce [m^3],

V – całkowita objętość próbki przed wysuszeniem [m^3].

Deklarowaną wartość przewodności cieplnej styropianu przyjęto na podstawie badań producenta. Dla każdego paska próbki wyznaczono cząstkowy opór cieplny stosując wartość obliczeniową przewodności cieplnej, otrzymaną przez konwersję z uwagi na wilgotność, zgodnie z procedurą PN EN ISO 10456 [170] według wzorów:

$$\lambda_\psi = \lambda_D \cdot e^{f_\psi \cdot (\Psi_2 - \Psi_1)} \quad (17)$$

$$\lambda_\psi = 0,042 \cdot e^{4 \cdot \Psi_2} \quad (18)$$

gdzie:

λ_ψ – wartość współczynnika przewodzenia ciepła przy wilgotności Ψ ,

λ_D – wartość deklarowana współczynnika przewodzenia ciepła, dla EPS70-042 przyjęto $\lambda_D = 0,042 \text{ W/mK}$,

f_ψ – współczynnik konwersji uwzględniający wilgotność dla styropianu, przyjęto = 4,

Ψ_1 – objętościowa zawartość wilgoci próbek do wyznaczenia λ_D , przyjęto = 0,

Ψ_2 – objętościowa zawartość wilgoci dla próbek ze stanowiska badawczego.

Sumaryczny opór cieplny warstwy styropianu pod systemem ETICS stanowi sumę cząstkowych oporów pasków próbki [150]:

$$R_\psi = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_{\psi_i}} \quad (19)$$

gdzie:

d_i – grubość paska próbki [m],

λ_{ψ_i} – wartość współczynnika przewodzenia ciepła styropianu w pasku „i”, przy wilgotności objętościowej Ψ_i [W/mK].

6. WYNIKI BADAŃ WŁASNYCH WRAZ Z ANALIZĄ

6.1. OKREŚLENIE INTENSYWNOŚCI BIOKOROZJI NA POWIERZCHNI TYNKÓW

Rozwój biokorozji, a tym samym obniżenie estetyki powłok elewacyjnych, na badanych materiałach potwierdzają badania mikroskopowe. Niektóre z charakterystycznych obrazów ilustrują tabele 15 – 30.

6.1.1. Wyniki badań laboratoryjnych wybranych tynków

Stopień rozwoju biokorozji na powierzchni ścian badawczych został przedstawiony w postaci zdjęć fotograficznych zestawionych w tablicach 13-14. Zastosowane oznaczenia dla poszczególnych tynków cienkowarstwowych przedstawiono w tablicy 12.

Tabela 12. Zestawienie tynków pobranych z stanowiska poligonowego

Ściana badawcza	Rodzaj tynku	Zastosowane oznaczenie	
		Rodzaj	Faktura powierzchni
1, 3	Akrylowy Kornik	A	K
	Mineralny Kornik	M	K
	Silikatowy Kornik	Sa	K
	Silikonowy Kornik	So	K
2, 4	Akrylowy Baranek	A	B
	Mineralny Baranek	M	B
	Silikatowy Baranek	Sa	B
	Silikonowy Baranek	So	B

Tabela 13. Stanowiska badawcze zorientowane na północ – południe

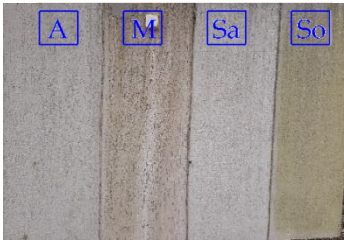



Ściana badawcza	Orientacja	
	Północna „N”	Południowa „S”
1	<p style="text-align: center;">KORNIK</p> 	<p style="text-align: center;">KORNIK</p> 
	<p style="text-align: center;">BARANEK</p> 	<p style="text-align: center;">BARANEK</p> 

Tabela 14. Stanowiska badawcze zorientowane na wschód – zachód

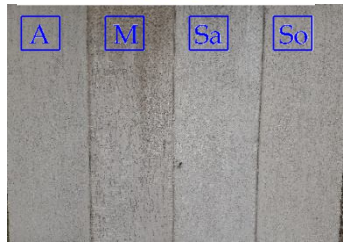
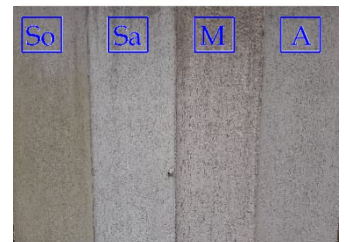
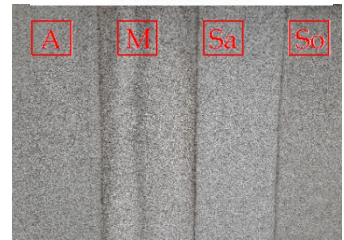

Ściana badawcza	Orientacja	
	Północna „E”	Południowa „W”
3	<p style="text-align: center;">KORNIK</p> 	<p style="text-align: center;">KORNIK</p> 
	<p style="text-align: center;">BARANEK</p> 	<p style="text-align: center;">BARANEK</p> 

Tabela 15. Zestawienie zdjęć mikroskopowych powierzchni tynku (AB)







Typ próbek		Rodzaj tynku: akrylowy	Faktura: baranek
Wyjściowa (grupa A)			
Poligonowe (grupa C) - zanieczyszczone	N		
	E		
	S		
	W		
Wyczyszczona (grupa C)			

Tabela 16. Biokorozja - procentowy stopień zainfekowania wyprawy tynkarskiej (AB)

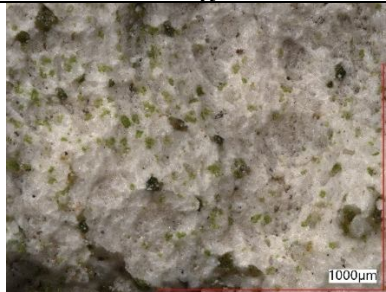
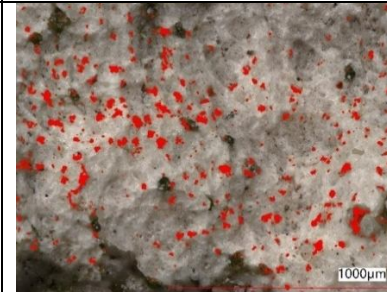

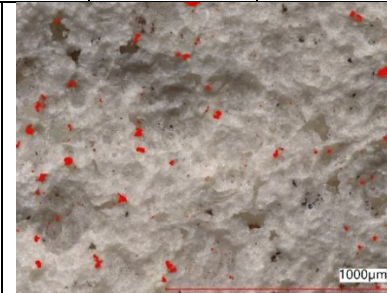

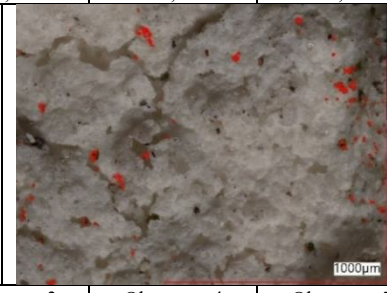

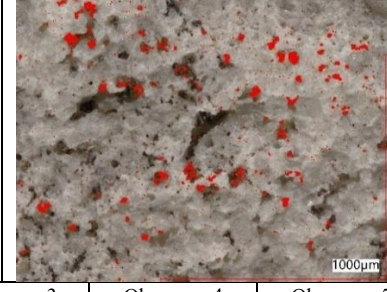
Typ próbek	Udział powierzchni zainfekowanej [%]					
	Próbka wyjściowa		Próbka oznaczona			
Tynk akrylowy – faktura :baranek	N					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		3,4	4,9	3,6	3,5	4,8
	E					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		0,9	1,6	1,1	1,4	0,8
	S					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		0,8	1,1	0,8	1,1	0,7
	W					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		3,3	5,1	2,6	5,7	2,6

Tabela 17. Zestawienie zdjęć mikroskopowych powierzchni tynku (AK)








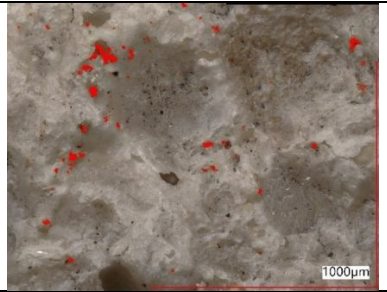

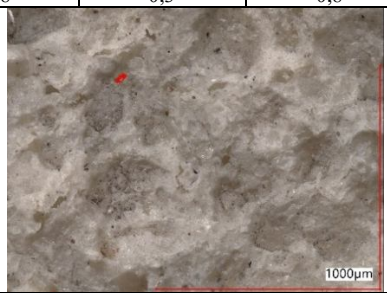
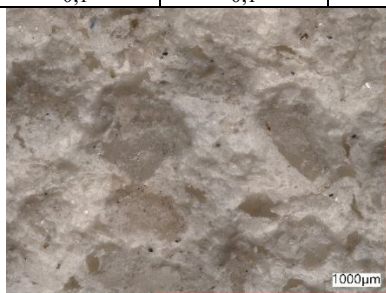
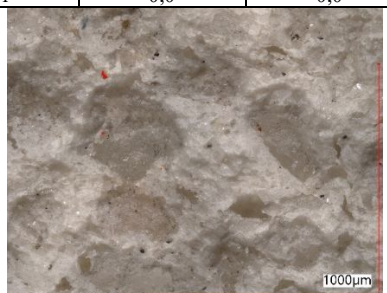

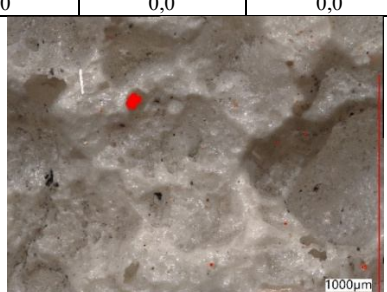
Typ próbek	Rodzaj tynku: akrylowy	Faktura: kornik
Wyjściowa (grupa A)		
Poligonowe (grupa C) - zanieczyszczone	N	
	E	
	S	
	W	
Wyczyszczona (grupa C)		

Tabela 18. Biokorozja - procentowy stopień zainfekowania wyprawy tynkarskiej (AK)

Typ próbek	Udział powierzchni zainfekowanej [%]					
	Próbka wyjściowa			Próbka oznaczona		
Tynk akrylowy – faktura :kornik	N					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		0,2	0,6	0,8	0,3	0,8
	E					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
	S					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	W					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		0,1	0,2	0,2	0,1	0,2

Monika Dybowska-Józefiak | Identyfikacja czynników determinujących trwałość i estetykę elewacji budynków

Tabela 19. Zestawienie zdjęć mikroskopowych powierzchni tynku (MB)


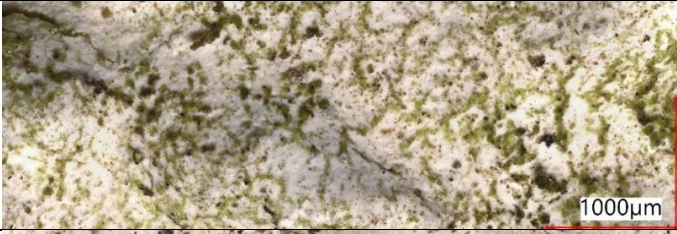




Typ próbek		Rodzaj tynku: mineralny	Faktura: baranek
Wyjściowa (grupa A)			
Poligonowe (grupa C) - zanieczyszczone	N		
	E		
	S		
	W		
Wyczyszczona (grupa C)			

Tabela 20. Biokorozja - procentowy stopień zainfekowania wyprawy tynkarskiej (MB)

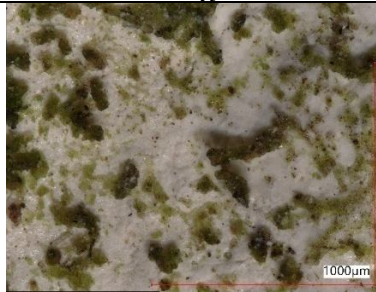
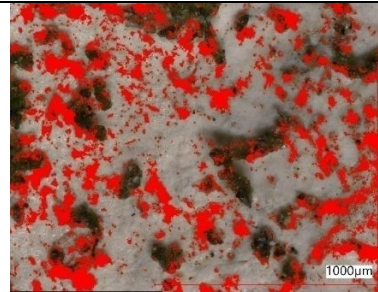
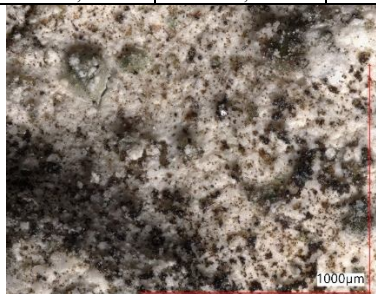
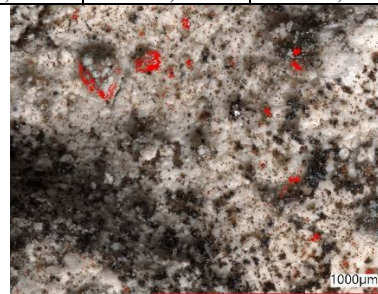

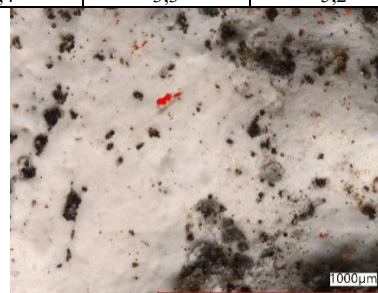
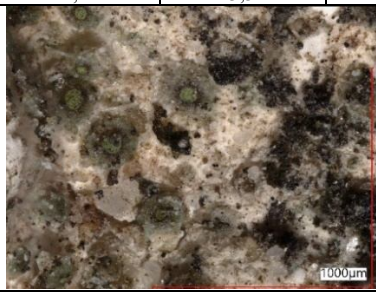
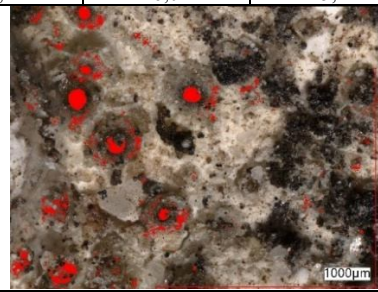
Typ próbek	Udział powierzchni zainfekowanej [%]					
	Próbka wyjściowa			Próbka oznaczona		
Tynk mineralny – faktura :baranek	N					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		21,2	17,1	15,3	21,1	27,4
	E					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		6,6	3,8	4,4	3,3	5,2
	S					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		2,1	3,3	2,2	6,0	5,2
	W					
Obszar nr 1		Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5	
	3,2	6,6	5,9	4,5	3,4	

Tabela 21. Zestawienie zdjęć mikroskopowych powierzchni tynku (MK)




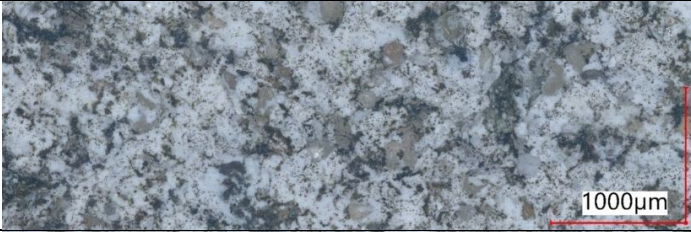


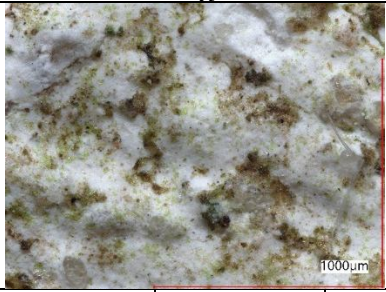
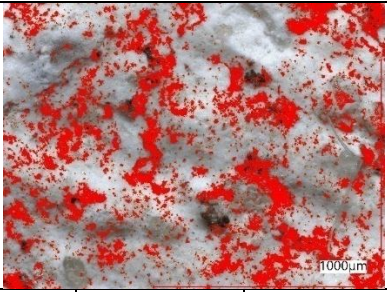
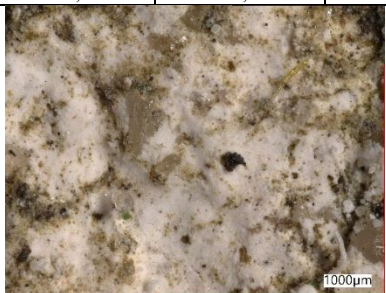
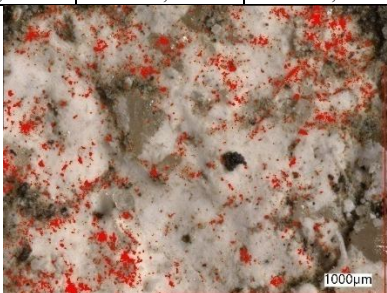
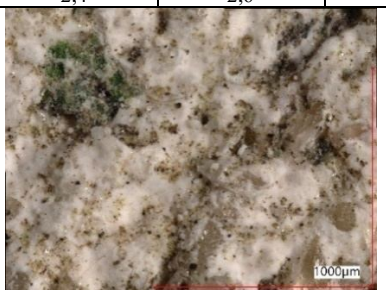
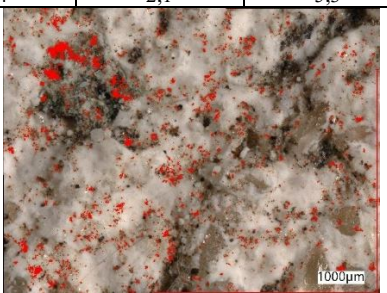
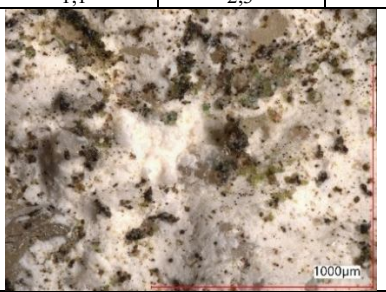
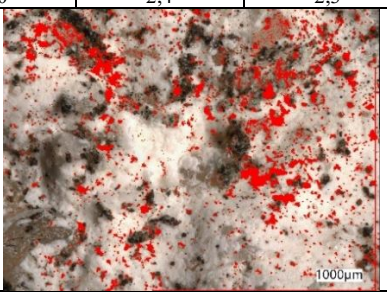
Typ próbek		Rodzaj tynku: mineralny	Faktura: kornik
Wyściowa (grupa A)			
Poligonowe (grupa C) - zanieczyszczone	N		
	E		
	S		
	W		
Wyczyszczona (grupa C)			

Tabela 22. Biokorozja - procentowy stopień zainfekowania wyprawy tynkarskiej (MK)

Typ próbek	Udział powierzchni zainfekowanej [%]					
	Próbka wyjściowa		Próbka oznaczona			
Tynk mineralny – faktura:kornik	N					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		23,2	17,1	20,4	18,3	23,3
	E					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		2,4	2,6	6,4	2,1	5,3
	S					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		1,1	2,3	4,0	2,4	2,3
	W					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		16,4	7,1	8,2	9,1	13,0

Monika Dybowska-Józefiak | Identyfikacja czynników determinujących trwałość i estetykę elewacji budynków

Tabela 23. Zestawienie zdjęć mikroskopowych powierzchni tynku (SaB)








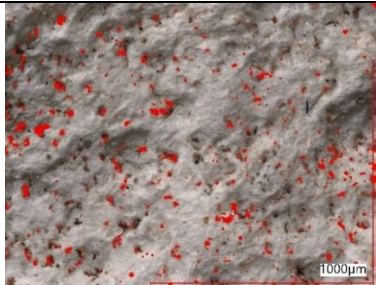

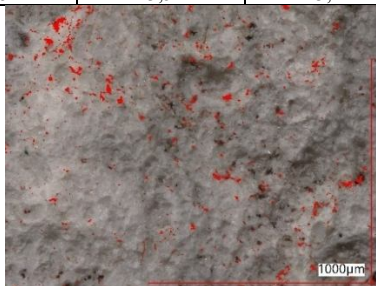

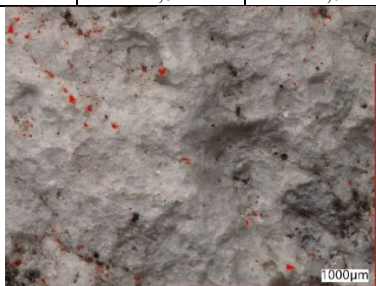

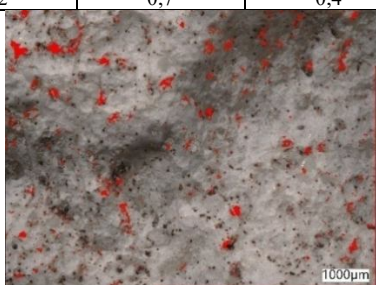
Typ próbek		Rodzaj tynku: silikatowy	Faktura: baranek
Wyjściowa (grupa A)			
Poligonowe (grupa C) - zanieczyszczone	N		
	E		
	S		
	W		
Wyczyszczona (grupa C)			

Tabela 24. Biokorozja - procentowy stopień zainfekowania wyprawy tynkarskiej (SaB)

Typ próbek	Udział powierzchni zainfekowanej [%]					
	Próbka wyjściowa		Próbka oznaczona			
Tynk silikatowy – faktura:baranek	N					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		3,4	6,8	3,8	3,5	3,4
	E					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		2,5	1,8	2,4	1,6	1,0
	S					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		0,1	0,5	0,2	0,7	0,4
	W					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		2,7	1,8	2,6	2,4	2,8

Monika Dybowska-Józefiak | Identyfikacja czynników determinujących trwałość i estetykę elewacji budynków

Tabela 25. Zestawienie zdjęć mikroskopowych powierzchni tynku (SaK)







Typ próbek		Rodzaj tynku: silikatowy	Faktura: kornik
Wyjściowa (grupa A)			
Poligonowe (grupa C) - zanieczyszczone	N		
	E		
	S		
	W		
Wyczyszczona (grupa C)			

Tabela 26. Biokorozja - procentowy stopień zainfekowania wyprawy tynkarskiej (SaK)

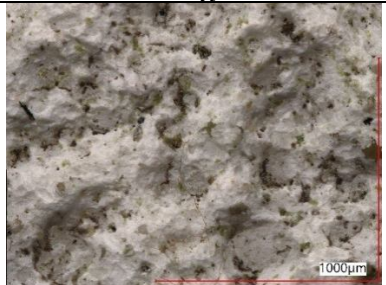
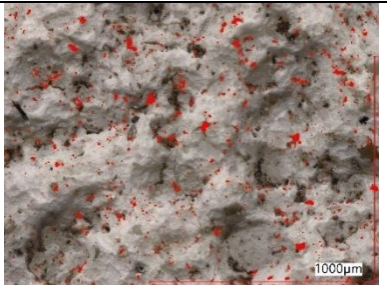

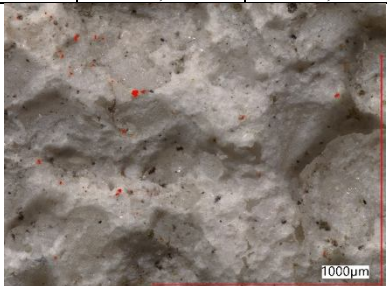
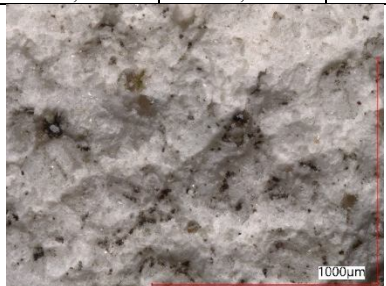
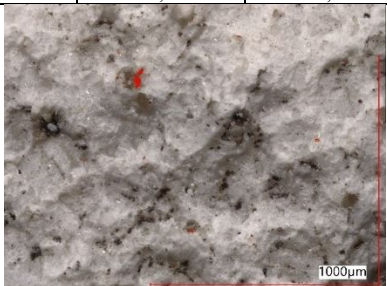
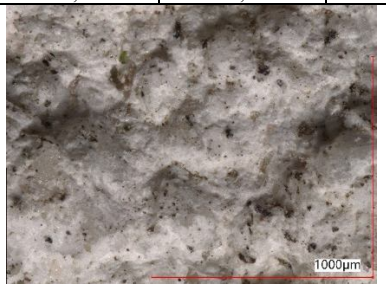
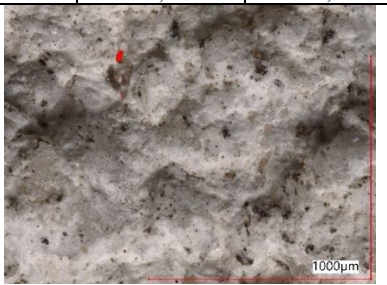
Typ próbek	Udział powierzchni zainfekowanej [%]					
	Próbka wyjściowa		Próbka oznaczona			
Tynk silikatowy – faktura:kornik	N					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		1,7	3,3	3,1	2,7	3,4
	E					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
	S					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		0,0	0,2	0,1	0,0	0,0
	W					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		0,0	0,1	0,2	0,7	0,5

Tabela 27. Zestawienie zdjęć mikroskopowych powierzchni tynku (SoB)







Typ próbek	Rodzaj tynku: silikonowy	Faktura: baranek
Wyjściowa (grupa A)		
Poligonowe (grupa C) - zanieczyszczone	N	
	E	
	S	
	W	
Wyczyszczona (grupa C)		

Tabela 28. Biokorozja - procentowy stopień zainfekowania wyprawy tynkarskiej (SoB)

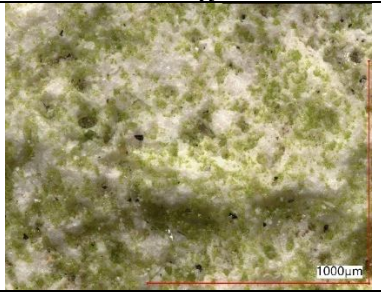
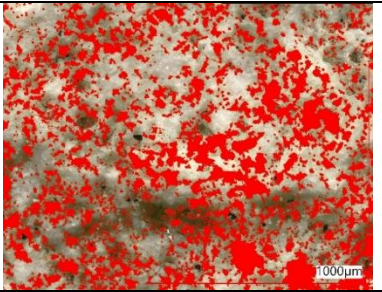
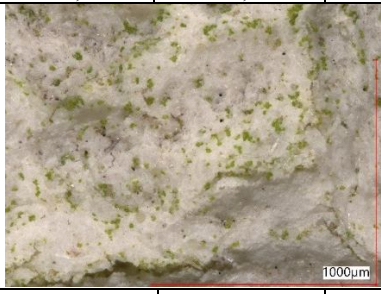
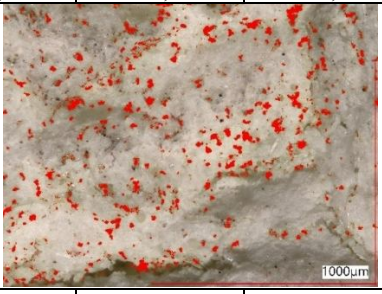

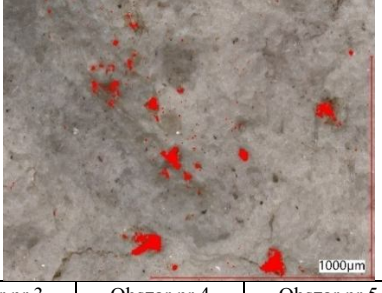

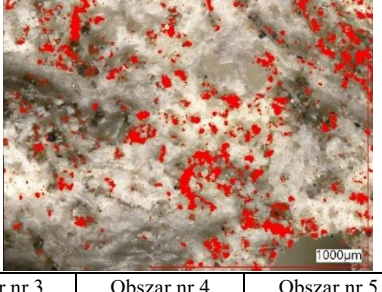
Typ próbek	Udział powierzchni zainfekowanej [%]					
	Próbka wyjściowa		Próbka oznaczona			
Tynk silikonowy – faktura: kornik	N					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		32,4	29,2	33,0	29,4	33,7
	E					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		5,0	4,4	3,1	3,5	6,1
	S					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		3,0	2,2	2,1	1,7	2,2
	W					
Obszar nr 1		Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5	
	5,8	10,1	7,3	6,5	6,4	

Tabela 29. Zestawienie zdjęć mikroskopowych powierzchni tynku (SoK)


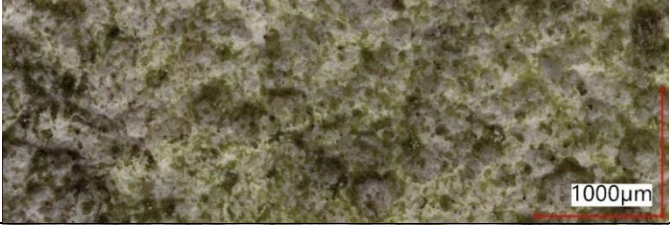





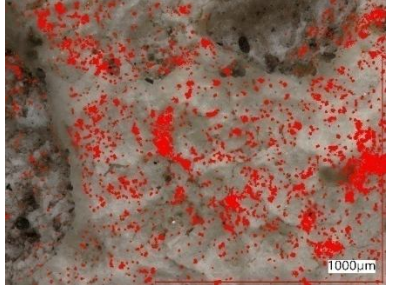

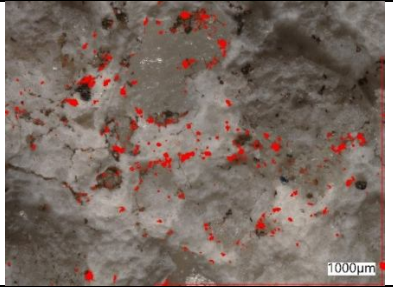



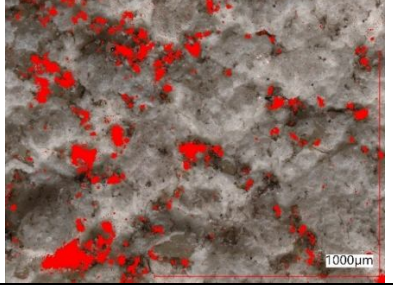
Typ próbek		Rodzaj tynku: silikonowy	Faktura: kornik
Wyjściowa (grupa A)			
Poligonowe (grupa C) - zanieczyszczone	N		
	E		
	S		
	W		
Wyczyszczona (grupa C)			

Tabela 30. Biokorozja - procentowy stopień zainfekowania wyprawy tynkarskiej (SoK)

Typ próbek	Udział powierzchni zainfekowanej [%]					
	Próbka wyjściowa			Próbka oznaczona		
Tynk silikonowy – faktura:kornik	N					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		12,4	15,7	31,5	23,0	21,9
	E					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		2,1	2,8	1,7	4,2	4,6
	S					
		Obszar nr 1	Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5
		0,3	0,2	1,1	0,3	0,8
	W					
Obszar nr 1		Obszar nr 2	Obszar nr 3	Obszar nr 4	Obszar nr 5	
	1,7	7,3	7,8	5,6	7,5	

Monika Dybowska-Józefiak | Identyfikacja czynników determinujących trwałość i estetykę elewacji budynków

6.1.2. Podsumowanie analiz

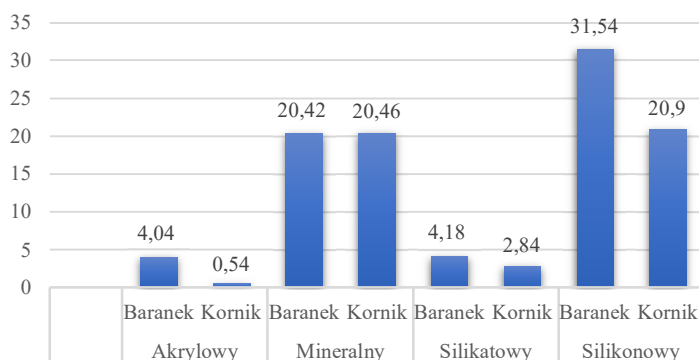
Analizując wyniki badań wypraw tynkarskich zorientowanych w kierunku północnym (rys. 52 – 53), największy poziom porażania mikroorganizmami wyznaczono dla tynku silikonowego, zarówno w przypadku faktury baranek jak i kornik. Zanieczyszczenie próbki w postaci biofilmu jest rozłożone równomiernie na powierzchni próbki (rys. 53d). Poziom zainfekowania jest wyższy dla faktury baranek niż faktury kornik i odpowiednio poziom zainfekowania powierzchni wynosi 31,54% dla baranka, a 20,9% dla kornika. Zależność tą również widać w pozostałych tynkach cienkowarstwowych.

Jako kolejny pod względem stopnia zainfekowania powierzchni tynkiem dla orientacji północnej jest tynk mineralny, gdzie odpowiednio dla obu struktur jest zbliżony i dla baranka wynosi 20,42%, a dla kornika 20,46%.

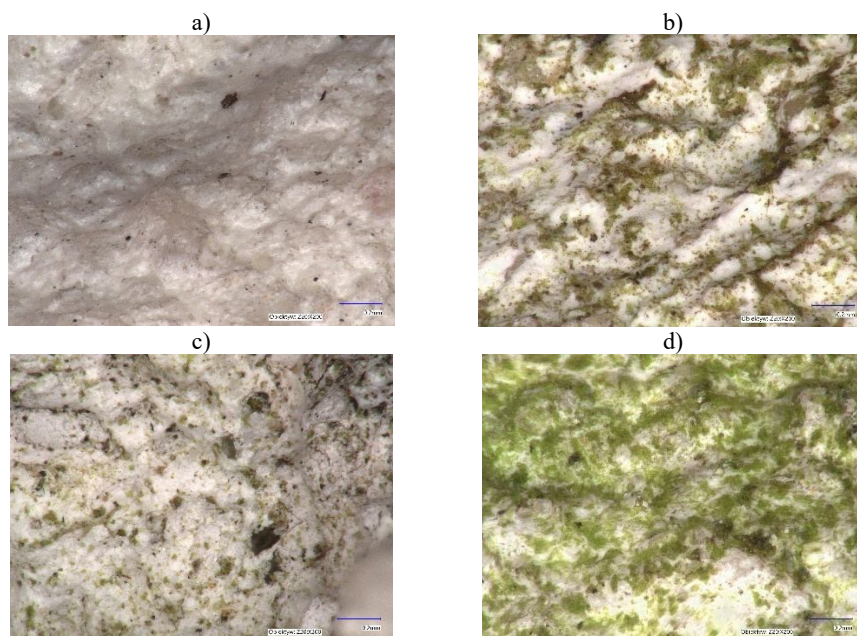
W przypadku tynku silikatowego baranek wykazuje on pięciokrotnie niższe zainfekowanie niż tynk mineralny baranek, a tynk silikatowy kornik prawie dziesięciokrotnie niższe skażenie, niż tynk mineralny kornik. Dla tynku silikatowego udział zainfekowanej powierzchni w przypadku faktury baranek wynosi 4,18%, a dla faktury kornik 2,84%.

Tynkiem, który wykazał się najmniejszym poziomem porażenia mikroorganizmami jest tynk akrylowy. Poziom skażenia dla tego tynku w przypadku faktury baranek wyniósł 4,04%, a dla wyprawy typu kornik 0,54%.

Najbardziej zainfekowaną powierzchnią była silikonowa wyprawa tynkarska typu baranek – 31,54%, zaś najmniejszy rozwój biokorozji wyznaczono na tynku akrylowym typu kornik – 0,54%.



Rysunek 52. Orientacja N - powierzchnia objęta biokorozją [%]



Rysunek 53. Zdjęcia mikroskopowe muru badawczego nr 1 (kornik) o orientacji północnej – N: a) tynk akrylowy, b) tynk mineralny, c) tynk silikatowy, d) tynk silikonowy

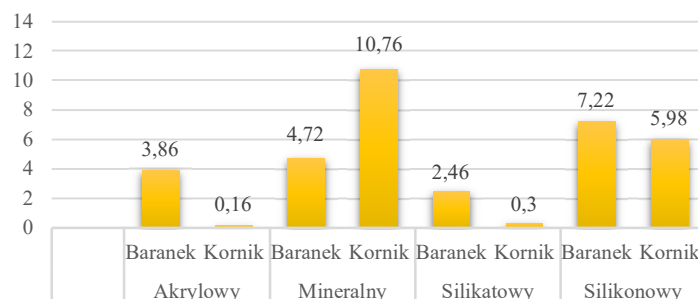
Drugą pod względem poziomu porażenia mikroorganizmami jest elewacja muru badawczego zorientowana w kierunku zachodnim (rys. 54 – 55). Największy poziom skażenia wyznaczono dla tynku mineralnego o fakturze kornik i wynosił on 10,76%. W przypadku faktury baranek wyniósł on 4,72%. Poziom zainfekowania powierzchni faktury kornik był wyższy niż faktury baranka. W przypadku pozostałych analizowanych tynków zależność ta jest odwrotna – poziom zainfekowania porażenia mikroorganizmami faktury baranek jest wyższy niż faktury kornik.

Drugim tynkiem dla orientacji zachodniej pod względem poziomu porażenia mikroorganizmami jest tynk silikonowy, gdzie odpowiednio dla obu struktur jest zbliżony i dla baranka wynosi 7,22%, a dla kornika 5,98%.

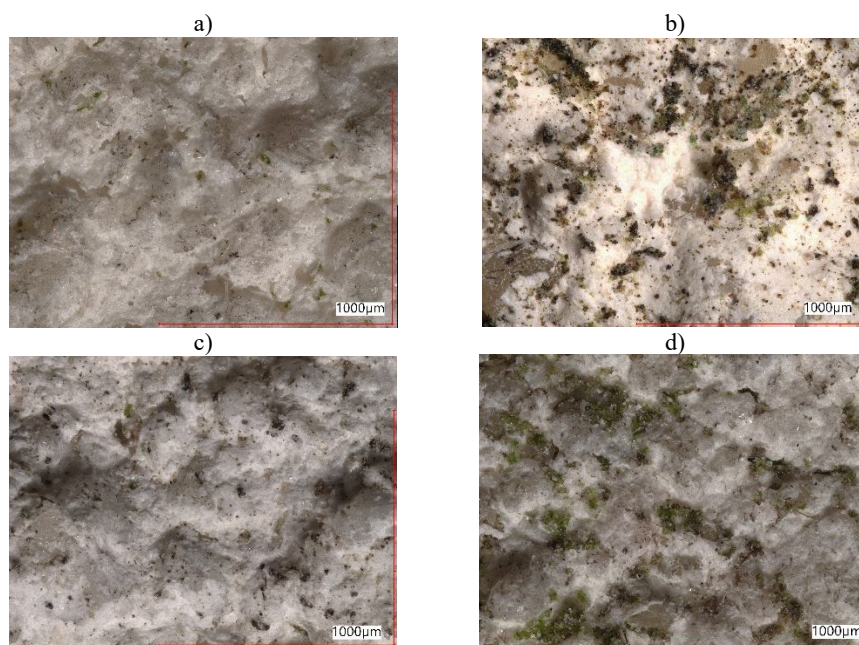
W przypadku tynku silikatowego baranek wykazuje on dwukrotnie niższe zainfekowanie niż tynk mineralny baranek, a tynk silikatowy kornik trzydziestopięciokrotnie niższe skażenie, niż tynk mineralny kornik. Dla tynku silikatowego udział zainfekowanej powierzchni w przypadku faktury baranek wynosi 2,46%, a dla faktury kornik 0,3%.

Tynkiem, który wykazał się najmniejszym poziomem porażenia mikroorganizmami jest tynk akrylowy. Poziom skażenia dla tego tynku w przypadku faktury baranek wyniósł 3,86%, a dla wyprawy typu kornik 0,16%.

Najbardziej zainfekowaną powierzchnią była mineralna wyprawa tynkarska typu kornik – 10,76%, zaś najmniejszy rozwój poziom skażenia wyznaczono na tynku akrylowym typu kornik – 0,16%.



Rysunek 54. Orientacja W - powierzchnia objęta biokorozją [%]



Rysunek 55. Zdjęcia mikroskopowe muru badawczego nr 3 (kornik) o orientacji zachodniej – W: a) tynk akrylowy, b) tynk mineralny, c) tynk silikatowy, d) tynk silikonowy

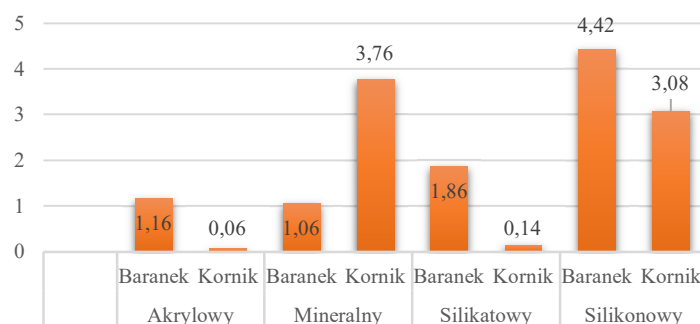
Analizując wyniki badań wypraw tynkarskich zorientowanych w kierunku wschodnim największy poziom skażenia mikrobiologicznego wyznaczono dla tynku mineralnego, zarówno w przypadku faktury baranek jak i kornik (rys. 56 – 57). Poziom zainfekowania jest wyższy dla faktury baranek, niż faktury kornik i odpowiednio poziom zainfekowania powierzchni wynosi 4,66% dla baranka, a 3,76% dla kornika. Zależność tą widać w przypadku pozostałych tynków cienkowarstwowych.

Drugim tynkiem dla orientacji wschodniej pod względem poziomu biokorozji jest tynk silikonowy, gdzie odpowiednio dla obu struktur jest zbliżony i dla baranka wynosi 4,42%, a dla kornika 3,08%

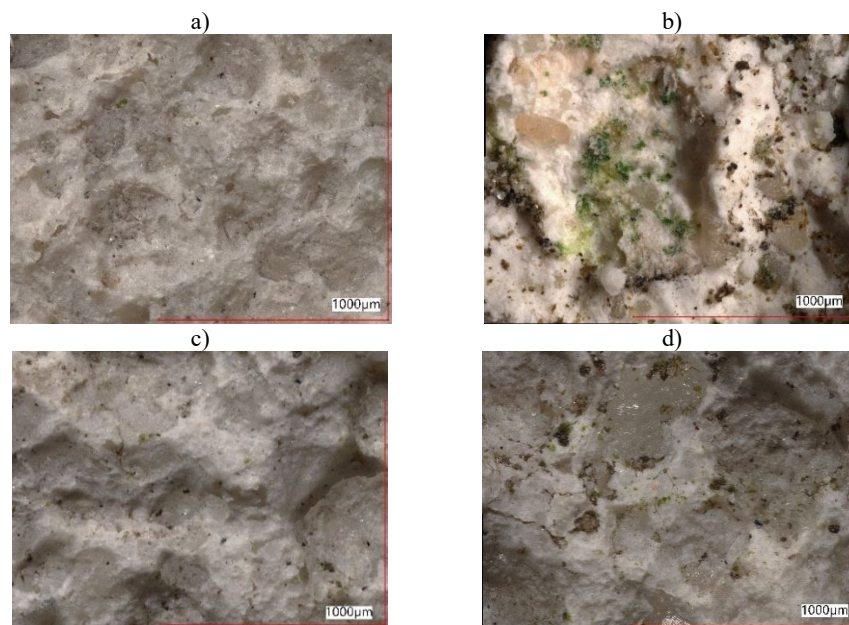
W przypadku tynku silikatowego baranek wykazuje on ponad dwukrotnie niższe zainfekowanie niż tynk mineralny baranek, a tynk silikatowy kornik ponad trzydziestokrotnie niższe skażenie, niż tynk mineralny kornik. Dla tynku silikatowego w przypadku faktury baranek wynosi 1,86%, a dla faktury kornik 0,14%.

Tynkiem, który wykazał się najmniejszym poziomem porażenia mikroorganizmami jest tynk akrylowy. Poziom skażenia dla tego tynku w przypadku faktury baranek wyniósł 1,16%, a dla wyprawy typu kornik 0,06%.

Najbardziej zainfekowaną powierzchnią była mineralna wyprawa tynkarska typu baranek – 4,66%, zaś najmniejszy rozwój biokorozji wyznaczono na tynku akrylowym typu kornik – 0,06%.



Rysunek 56. Orientacja E - powierzchnia objęta biokorozją [%]



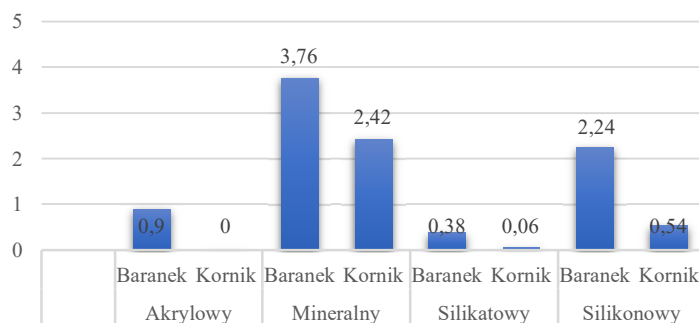
Rysunek 57. Zdjęcia mikroskopowe muru badawczego nr 3 (kornik) o orientacji wschodniej – E: a) tynk akrylowy, b) tynk mineralny, c) tynk silikatowy, d) tynk silikonowy

Analizując wyniki badań wypraw tynkarskich zorientowanych w kierunku południowym (rys. 58 – 59) największy poziom porażenia mikroorganizmami wyznaczono dla tynku mineralnego, zarówno w przypadku faktury baranek jak i kornik. Poziom zainfekowania jest wyższy dla faktury baranek niż faktury kornik i odpowiednio poziom zainfekowania powierzchni wynosi 3,76% dla baranka, a 2,42% dla kornika. Zależność tą widać w przypadku pozostałych tynków cienkowarstwowych.

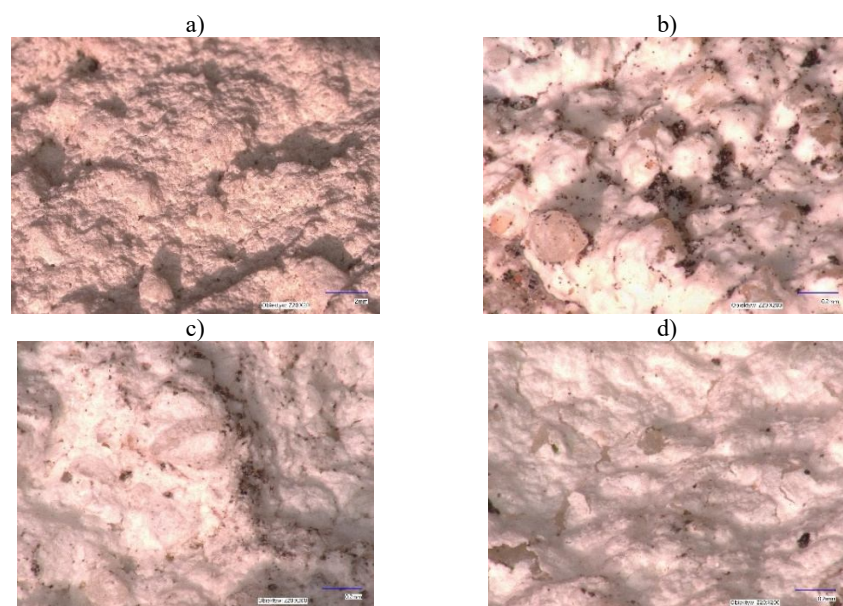
Drugim tynkiem dla orientacji południowej pod względem poziomu porażenia mikroorganizmami jest tynk silikonowy, gdzie odpowiednio dla baranka wynosi 2,24%, a dla kornika 0,54%

W przypadku tynku silikatowego baranek wykazuje on ponad dziesięciokrotnie niższe zainfekowanie niż tynk mineralny baranek, a tynk silikatowy kornik ponad czterdziestokrotnie niższe skażenie, niż tynk mineralny kornik. Dla tynku silikatowego udział zainfekowanej powierzchni w przypadku faktury baranek wynosi 0,38%, a dla faktury kornik 0,06%. Tynkiem, który wykazał się najmniejszym poziomem biokorozji jest tynk akrylowy. Poziom skażenia dla tego tynku w przypadku faktury baranek wyniósł 0,9%, a dla wyprawy typu kornik powierzchnia nie wykazywała oznak biokorozji.

Najbardziej zainfekowaną powierzchnią była mineralna wyprawa tynkarska typu baranek – 3,76%, zaś brak biokorozji stwierdzono na tynku akrylowym typu kornik – 0%.



Rysunek 58. Orientacja S - powierzchnia objęta biokorozją [%]



Rysunek 59. Zdjęcia mikroskopowe muru badawczego nr 1 (kornik) o orientacji południowej – S: a) tynk akrylowy, b) tynk mineralny, c) tynk silikatowy, d) tynk silikonowy

Procentowy udział powierzchni zainfekowania mikroorganizmami próbek pobranych z stanowiska terenowego jest największy dla próbek tynku silikonowego zorientowanego na północ, zarówno o fakturze baranek jak i kornik i wynosi odpowiednio 31,54% i 20,9%. Kolejnym pod względem stopnia zainfekowania jest tynk mineralny o orientacji północnej – wykazuje dla faktury baranek 20,42% udziału powierzchni skażonej, a dla faktury kornik – 20,46%. Tą samą zależność widzimy dla orientacji zachodniej: tynk mineralny typu kornik – 10,76%, typu baranek – 4,72% oraz tynk silikonowy dla faktury baranek – 7,22%, a dla faktury kornik 5,89%.

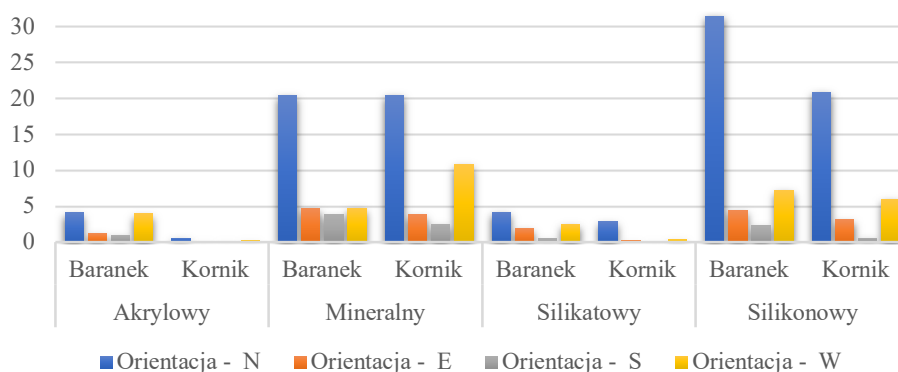
Tynk mineralny wykazuje skażenie biologiczne względem wszystkich kierunków świata. Odpowiednio dla orientacji północnej: 20,42% - baranek, 20,46% - kornik. W przypadku orientacji zachodniej: 4,72% - baranek, 10,76% - kornik. W orientacji wschodniej: 4,66% - baranek, 3,76% - kornik. Najmniejszą wartość skażenia wyznaczona dla orientacji południowej: 3,76% - baranek, 2,42% - kornik.

Tynk silikonowy wyróżnia się wysokim skażeniem na elewacji północnej: 31,54% - baranek, 20,9% - kornik. Kolejną wyprawę pod względem skażenia, jest orientacja zachodnia: 7,22% - baranek, 5,98% - kornik. W przypadku orientacji wschodniej uzyskano wyniki: 4,42% - baranek, 3,08% - kornik. Orientacja południowa wykazała skażenie na poziomie: 2,24% - baranek, 0,54% - kornik.

Dla tynku silikatowego wyznaczono procentowy udział biokorozji na poziomie: dla orientacji północnej – 4,18% (baranek), 2,84% (kornik); dla orientacji zachodniej – 2,46% (baranek), 0,3% (kornik); dla orientacji wschodniej – 1,86% (baranek), 0,14% (kornik); dla orientacji południowej skażenie było najmniejsze – 0,38% (baranek), 0,06% (kornik).

Tynk akrylowy wykazał zainfekowanie powierzchni kolejno pod względem wielkości: dla elewacji północnej – 4,04% (baranek), 0,54% (kornik); dla elewacji zachodniej

– 3,86% (baranek), 0,16% (kornik); dla elewacji wschodniej – 1,16% (baranek), 0,06% (kornik); dla elewacji południowej porażenie mikroorganizmami wykazała najmniejszy udział – 0,9% (baranek), 0,0% (kornik). Wyniki obliczeń zestawiono na rys. 60. i tab. 31.



Rysunek 60. Udział procentowy biokorozji na powierzchni wyprawy tynkarskiej

Tynk mineralny i silikonowy wykazuje skażenie biologiczne względem wszystkich kierunków świata – największe na elewacji północnej i kolejno zachodniej, zaś kilkukrotnie mniejsze dla wschodniej, a najmniejszy poziom skażenia wykazują tynki o orientacji południowej. Wykazana powierzchnia skażenia mikrobiologicznego dla tych tynków jest kilkukrotnie wyższa niż dla pozostałych tynków. W przypadku tynku akrylowego i silikatowego skażenie na elewacji południowej i wschodniej jest znikome, bądź w zależności od faktury nie występuje. Dla wszystkich analizowanych tynków cienkowarstwowych można zauważyć tendencję, że poziom zainfekowania powierzchni o fakturze baranek jest wyższy niż w przypadku faktury kornik, nie zależnie od kierunku świata – wyjątkiem jest tynk mineralny o orientacji zachodniej.

Tabela 31. Zestawienie analizowanych próbek - określenie porażenia mikroorganizmami

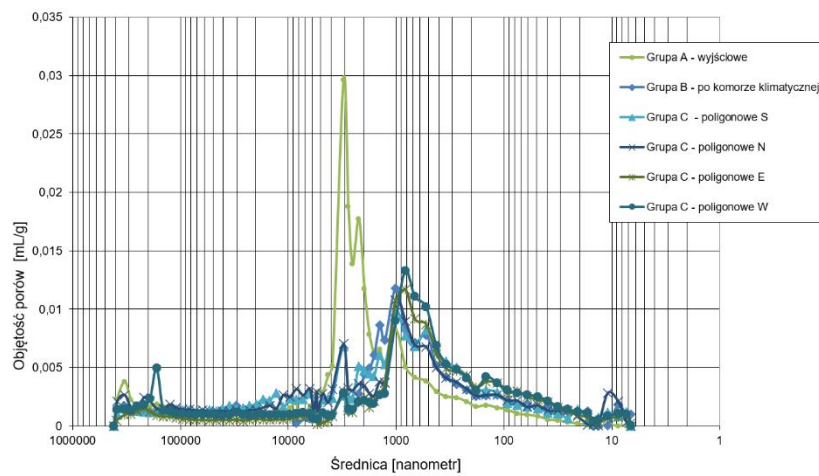
Rodzaj tynku	Faktura	Średni udział powierzchni objętej biokorozją [%]			
		N	E	S	W
Akrylowy	Baranek	4,04	1,16	0,9	3,86
	Kornik	0,54	0,06	0	0,16
Mineralny	Baranek	20,42	4,66	3,76	4,72
	Kornik	20,46	3,76	2,42	10,76
Silikatowy	Baranek	4,18	1,86	0,38	2,46
	Kornik	2,84	0,14	0,06	0,3
Silikonowy	Baranek	31,54	4,42	2,24	7,22
	Kornik	20,9	3,08	0,54	5,98

6.2. MIKROSTRUKTURA

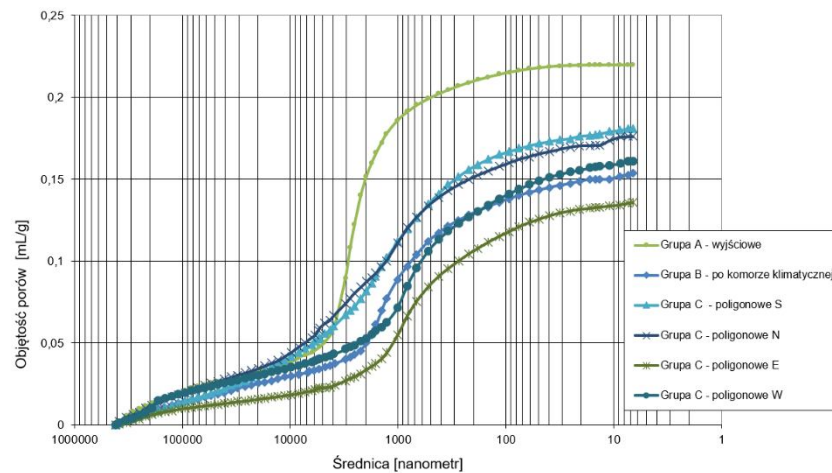
Wyniki badań mikrostruktury przedstawiono na rysunkach 61 – 72 oraz w tabelach 31 – 38.

6.2.1. Wyniki badań laboratoryjnych wybranych tynków

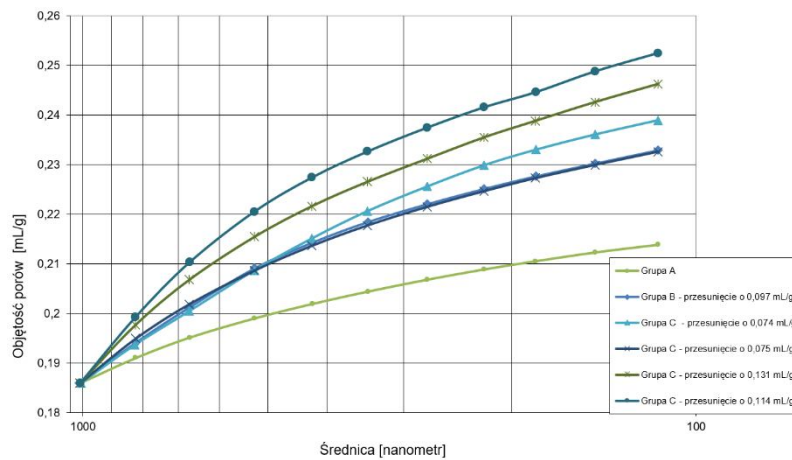
- TYNK MINERALNY BARANEK (MB)



Rysunek 61. Krzywe różniczkowe średnicy porów dla tynku mineralnego o strukturze baranka



Rysunek 62. Krzywe całkowite średnicy porów dla tynku mineralnego o strukturze baranka



Rysunek 63. Zakres porów odpowiedzialnych za mrozoodporność MB (od 0,1 do 1 μm)

Porowatość ogólna dla wyjściowych próbek tynku wynosiła 22,51%. Wraz z podaniem próbek ustalonym cyklom mrożenia porowatość wzrosła do 26,8%. Próbki poligonowe wykazują wyższą porowatość niż próbki wyjściowe. Odpowiednio dla orientacji północnej porowatość wynosi 29,2%, dla orientacji południowej 27,02%, dla orientacji wschodniej 25%, a dla zachodniej 28%.

Udział objętościowy porów odpowiedzialnych za transport kapilarny (od 100nm do 100000nm) dla próbek wyjściowych wynosił 20,1%. W wyniku cykli zmrzażania i rozmrażania w warunkach laboratoryjnych wartość wzrosła do 21,2%. Funkcjonowanie tynków w warunkach oddziaływania środowiska spowodowało wzrost wartości początkowej udziału porów dla orientacji S do 21,8%, dla orientacji N do 22,8%, dla orientacji W do 20,6%, a dla orientacji E spadek do 19,3%,

Udział porów odpowiedzialnych za mrozoodporność (od 100nm do 1000 nm) dla próbek wyjściowych wynosił 4,1%. Po przeprowadzonych cyklach zamrażania - odmrażania w laboratorium wzrósł do 8,2%. Odpowiednio dla stanowiska poligonowego dla orientacji S wynosi 9,4%, dla orientacji N - 7,7%, dla orientacji E - 11,1%, a dla orientacji W - 11,6%. Na podstawie analizy przebiegu krzywych całkowitych w zakresie porowatości 100-1000nm (rys. 62 i 63) stwierdzono, że w stosunku do próbki wyjściowej zwiększyły się objętości porów w zakresie wymiarów 300-1000nm.

Analizując intruzję rtęci w mL/g dla wyróżnionych zakresów porów (tab. 32) można stwierdzić, że bezpośrednie zmiany objętości są bardzo duże. Dla zakresu porów odpowiedzialnych za transport kapilarny (od 100nm do 100000nm) odnotowano największe zmiany dla próbek poligonowych z orientacji wschodniej - zmniejszenie objętości o 14,7%, a najmniejsze dla stanowiska poligonowego o orientacji południowej - wzrost o 0,9%. Dla zakresu porów odpowiedzialnych za mrozoodporność uzyskano zbliżone wyniki dla cykli zamrażania - odmrażania i dla stanowiska poligonowego dla orientacji N - zwiększenie objętości o ponad 85%. Próbki pobrane ze stanowiska poligonowego o orientacji S wykazują wzrost intruzji rtęci o 112,6%, o orientacji wschodniej o 140,1%, a dla orientacji zachodniej wykazano największy wzrost - 164,9%.

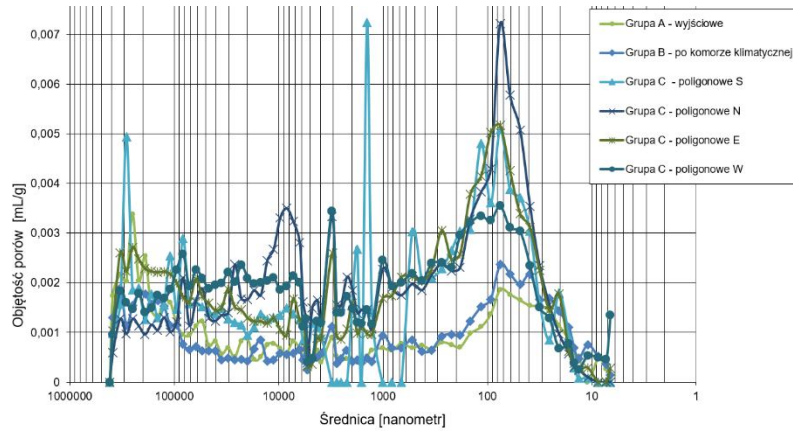
Tabela 31. Wyniki badań porowatości dla tynku mineralnego baranek

Rodzaj próbki	Porowatość ogólna [%]	U_{cap} [%] (100nm do 100000nm)	U_{frost} [%] (100nm do 1000 nm)	Średnice dominujące, [nm]
Grupa A - wyjściowe	22,5	20,1	4,1	3000
Grupa B – po komorze klimatycznej	26,8	21,2	8,2	1000
Grupa C - poligonowa N	29,2	22,8	7,7	1000
Grupa C - poligonowa E	25,0	19,3	11,1	1000
Grupa C - poligonowa S	27,0	21,8	9,4	1000
Grupa C - poligonowa W	28,0	20,6	11,6	1000

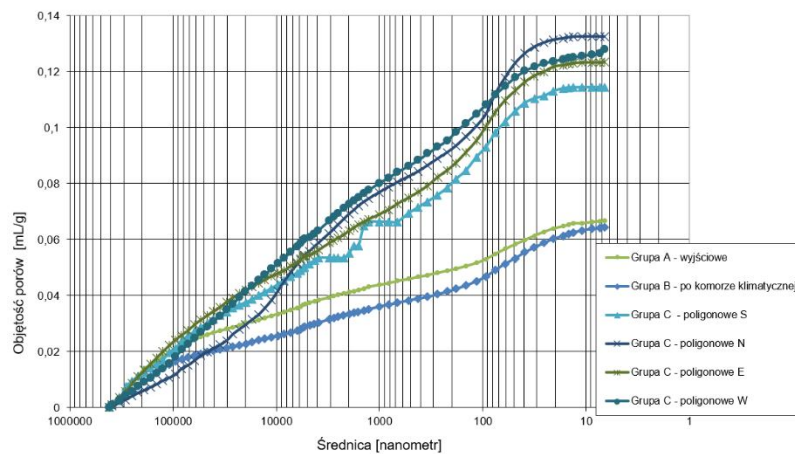
Tabela 32. Intruzja rtęci dla wyróżnionych zakresów porów odpowiedzialnych za transport kapilarny i korozję mrozową – tynk mineralny baranek

Rodzaj próbki	Intruzja rtęci dla podanego zakresu porów, mL/g		Zmiany objętości [%]	
	IV_{cap}	IV_{frost}	IV_{cap}	IV_{frost}
	100nm ÷ 100000nm	100nm ÷ 1000nm	100nm ÷ 100000nm	100nm ÷ 1000nm
Grupa A - wyjściowe	0,1230	0,0251	-	-
Grupa B – po komorze klimatycznej	0,1217	0,0469	-1,1	86,9
Grupa C - poligonowa N	0,1378	0,0466	12,0	85,7
Grupa C - poligonowa E	0,1050	0,0603	-14,7	140,1
Grupa C - poligonowa S	0,1241	0,0534	0,9	112,6
Grupa C - poligonowa W	0,1184	0,0665	-3,8	164,9

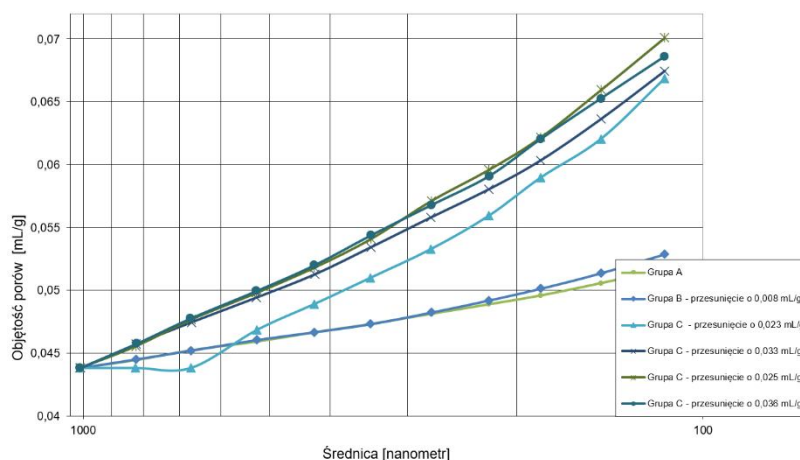
- TYNK AKRYLOWY BARANEK (AB)



Rysunek 64. Krzywe różniczkowe średnicy porów dla tynku akrylowego o strukturze baranka



Rysunek 65. Krzywe całkowite średnicy porów dla tynku akrylowego o strukturze baranka



Rysunek 66. Zakres porów odpowiedzialnych za mrozoodporność AB (od 0,1 do 1 μm)

Porowatość ogólna dla wyjściowych próbek tynku wynosiła 13,9%. Wraz z poddaniem próbek ustalonym cyklom mrożenia porowatość wzrosła do 17,5%. Próbki poligonowe wykazują wyższą porowatość niż próbki wyjściowe. Odpowiednio dla orientacji północnej porowatość wynosi 24,0%, dla orientacji południowej 21,1%, dla orientacji wschodniej 22,7%, a dla zachodniej 22,6%.

Udział objętościowy porów odpowiedzialnych za transport kapilarny (od 100nm do 100000nm) dla próbek wyjściowych wynosił 6,4%. W wyniku cykli zmrzania i rozmrażania w warunkach laboratoryjnych wartość wzrosła się do 7,8%. Funkcjonowanie tynków w warunkach oddziaływania środowiska spowodowało wzrost wartości początkowej udziału porów dla orientacji S do 12,6%, dla orientacji N do 16,0%, dla orientacji E do 13,1%, a dla orientacji W do 15,4%.

Udział porów odpowiedzialnych za mrozoodporność (od 100nm do 1000 nm) dla próbek wyjściowych wynosił 1,6%. Po przeprowadzonych cyklach zamrażania - odmrażania w laboratorium wzrósł do 2,5%. Odpowiednio dla stanowiska poligonowego również był wyższy niż dla próbek wyjściowych – dla orientacji S wynosi 4,3%, dla orientacji N – 4,3%, dla orientacji E do 4,8%, a dla orientacji W do 4,4%. Na podstawie analizy przebiegu krzywych całkowitych w zakresie porowatości 100-1000nm (rys. 65 i 66) stwierdzono, że w stosunku do próbki wyjściowej zwiększyły się objętości porów w zakresie wymiarów 300-1000nm.

Analizując intruzję rtęci w mL/g dla wyróżnionych zakresów porów (tab. 34) można stwierdzić, że bezpośrednie zmiany objętości są bardzo duże. Dla zakresu porów odpowiedzialnych za transport kapilarny (od 100nm do 100000nm) odnotowano największe zmiany dla próbek poligonowych z orientacji północnej - zwiększenie objętości o 189,4%, a najmniejsze dla próbek poddanych cyklom mrożenia – zmniejszenie o 6,3%. Odpowiednio próbki poligonowe wykazały zwiększenie objętości: orientacja południowa o 123%, orientacja wschodnia o 132,1%, a orientacja zachodnia o 183,6%. Dla zakresu porów odpowiedzialnych za mrozoodporność uzyskano zbliżone wyniki próbek z stanowiska poligonowego: dla orientacji N - zwiększenie objętości o 201,1%, o orientacji S wykazują wzrost intruzji rtęci o 193,5%, o orientacji zachodniej o 215,7%, a dla orientacji wschodniej wykazano największy wzrost – 234,9%. Próbki poddane cyklem mrożenia w komorze klimatycznej wykazały wzrost o 15,4%.

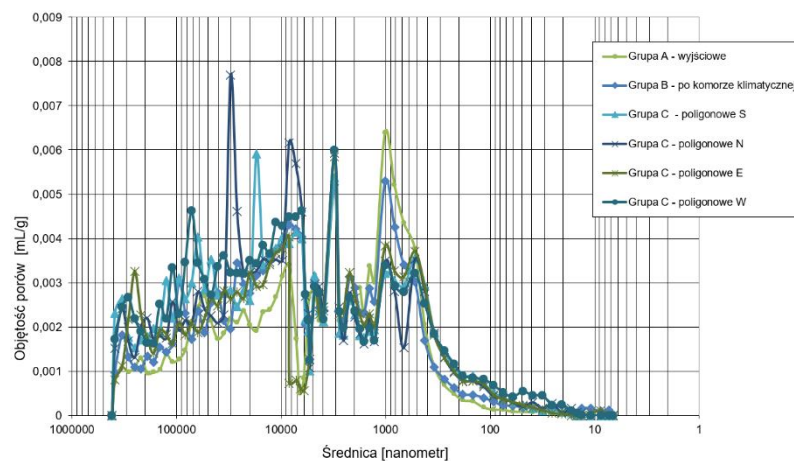
Tabela 33. Wyniki badań porowatości dla tynku akrylowego baranek

Rodzaj próbki	Porowatość ogólna [%]	U_{cap} [%] (100nm do 100000nm)	U_{frost} [%] (100nm do 1000 nm)	Średnice dominujące, [nm]
Grupa A - wyjściowe	13,9	6,4	1,6	70 250000
Grupa B – po komorze klimatycznej	17,5	7,8	2,5	70 200000
Grupa C - poligonowa N	24,0	16,0	4,3	70 3000 9000
Grupa C - poligonowa E	22,7	13,1	4,8	70 3000 250000
Grupa C - poligonowa S	21,1	12,6	4,3	70 1500 300000
Grupa C - poligonowa W	22,6	15,4	4,4	70 1000 3000

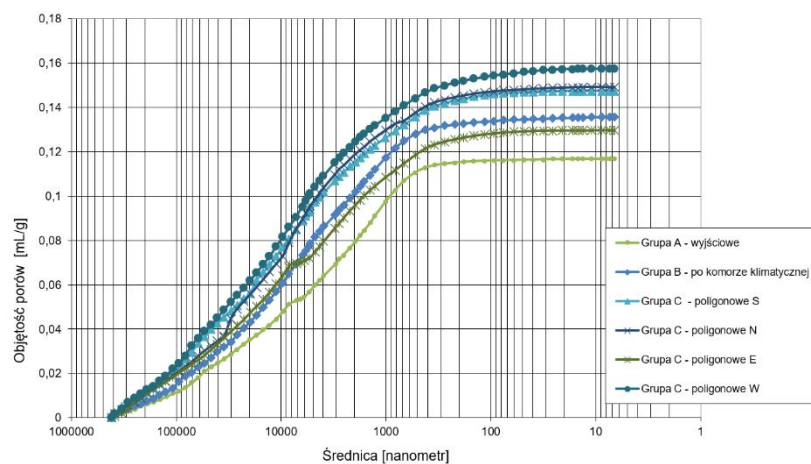
Tabela 34. Intruzja rtęci dla wyróżnionych zakresów porów odpowiedzialnych za transport kapilarny i korozję mrozową – tynk akrylowy baranek

Rodzaj próbki	Intruzja rtęci dla podanego zakresu porów, mL/g		Zmiany objętości [%]	
	IV_{cap}	IV_{frost}	IV_{cap}	IV_{frost}
	100nm ÷ 100000nm	100nm ÷ 1000nm	100nm ÷ 100000nm	100nm ÷ 1000nm
Grupa A - wyjściowe	0,0306	0,0079	-	-
Grupa B – po komorze klimatycznej	0,0287	0,0091	-6,3	15,4
Grupa C - poligonowa N	0,0886	0,0236	189,4	201,1
Grupa C - poligonowa E	0,0711	0,0263	132,1	234,9
Grupa C - poligonowa S	0,0683	0,0230	123,0	193,5
Grupa C - poligonowa W	0,0868	0,0248	183,6	215,7

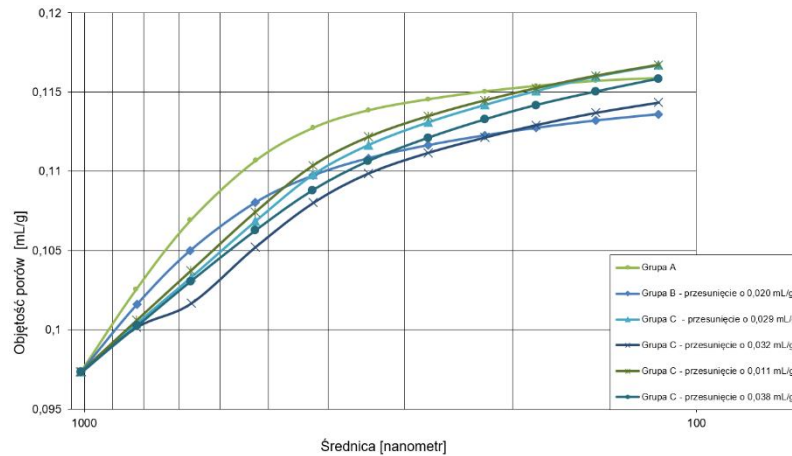
- TYNK SILIKATOWY BARANEK (SaB)



Rysunek 67. Krzywe różniczkowe średnicy porów dla tynku silikatowego o strukturze baranka



Rysunek 68. Krzywe całkowite średnicy porów dla tynku silikatowego o strukturze baranka



Rysunek 69. Zakres porów odpowiedzialnych za mrozoodporność SaB (od 0,1 do 1 μm)

Porowatość ogólna dla wyjściowych próbek tynku wynosiła 21,7%. Wraz z poddaniem próbek ustalonym cyklom mrożenia porowatość wzrosła do 24,5%. Próbki poligonowe wykazują wyższą porowatość niż próbki wyjściowe. Odpowiednio dla orientacji północnej porowatość wynosi 26,4%, dla orientacji południowej 26,1%, dla orientacji wschodniej 23,3%, a dla zachodniej 27,5%.

Udział objętościowy porów odpowiedzialnych za transport kapilarny (od 100nm do 100000nm) dla próbek wyjściowych wynosił 19,3%. W wyniku cykli zmrzania i rozmrażania w warunkach laboratoryjnych wartość wzrosła do 21,1%. Funkcjonowanie tynków w warunkach oddziaływania środowiska spowodowało wzrost wartości początkowej udziału porów dla orientacji S do 21,5%, dla orientacji N do 22,3%, dla orientacji E do 19,3%, a dla orientacji W do 22,6%.

Udział porów odpowiedzialnych za mrozoodporność (od 100nm do 1000 nm) dla próbek wyjściowych wynosił 3,4%. Po przeprowadzonych cyklach zamrażania - odmrażania w laboratorium spadł do 2,9%. Odpowiednio dla stanowiska poligonowego był porównywalny jak dla próbek wyjściowych – dla orientacji S wynosi 3,4%, dla orientacji N – 3,0%, dla orientacji E do 3,5%, a dla orientacji W do 3,2%. Na podstawie analizy przebiegu krzywych całkowitych w zakresie porowatości 100-1000nm (rys. 68 i 69) stwierdzono, że w stosunku do próbki wyjściowej zwiększyły się objętości porów w zakresie wymiarów 300-1000nm.

Analizując intruzję rtęci w mL/g dla wyróżnionych zakresów porów (tab. 36) można stwierdzić, że bezpośrednie zmiany objętości są duże. Dla zakresu porów odpowiedzialnych za transport kapilarny (od 100nm do 100000nm) odnotowano największe zmiany dla próbek poligonowych z orientacji zachodniej - zwiększenie objętości o 24,3%, a najmniejsze dla próbek z orientacji wschodniej – zwiększenie o 3,5 %. Odpowiednio próbki o orientacji południowej wzrost o 17,1%, a orientacja północna wzrost o 21,1%. Próbki poddane cyklom mrożenia wykazały wzrost objętości rtęci o 12,9%. Dla zakresu porów odpowiedzialnych za mrozoodporność uzyskano obniżenie objętości wtłaczanej rtęci dla próbek północnych i zachodnich z stanowiska poligonowego: dla orientacji N - obniżenie objętości o 8,4%, o orientacji W o 0,3%. Natomiast dla orientacji południowej wzrost o 4,3%, a dla orientacji wschodniej wzrost o 4,4%. Próbki poddane cyklom mrożenia w komorze klimatycznej wykazały spadek o 12,4%.

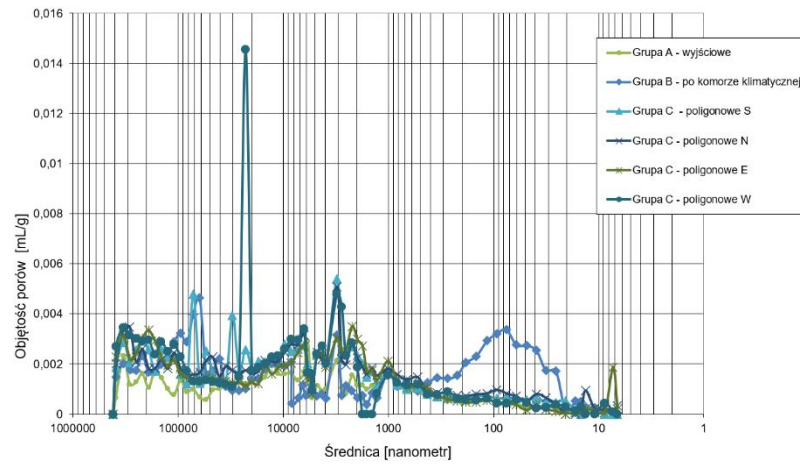
Tabela 35. Wyniki badań porowatości dla tynku silikatowego baranek

Rodzaj próbki	Porowatość ogólna [%]	U_{cap} [%] (100nm do 100000nm)	U_{frost} [%] (100nm do 1000 nm)	Średnice dominujące, [nm]
Grupa A - wyjściowe	21,7	19,3	3,4	1000 8000
Grupa B – po komorze klimatycznej	24,5	21,1	2,9	1000 8000
Grupa C - poligonowa N	26,4	22,3	3,0	1000 3000 8000 12000
Grupa C - poligonowa E	23,3	19,3	3,5	1000 8000
Grupa C - poligonowa S	26,1	21,5	3,4	1000 11000
Grupa C - poligonowa W	27,5	22,6	3,2	1000 3000 7000 16000

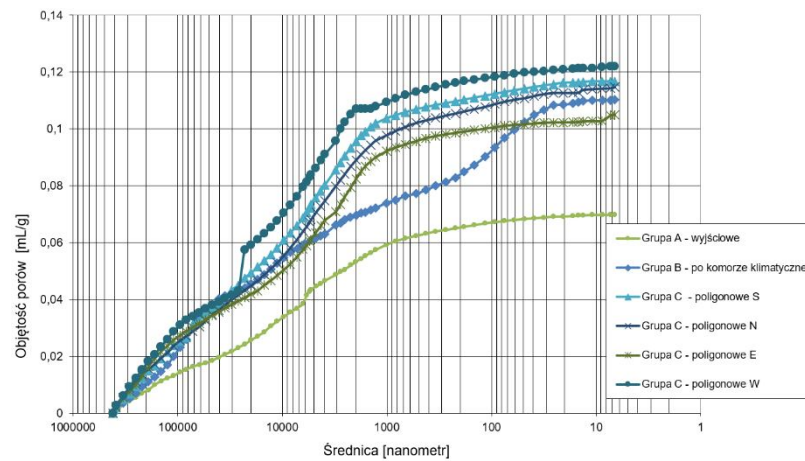
Tabela 36. Intruzja rtęci dla wyróżnionych zakresów porów odpowiedzialnych za transport kapilarny i korozję mrozową – tynk silikatowy baranek

Rodzaj próbki	Intruzja rtęci dla podanego zakresu porów, mL/g		Zmiany objętości [%]	
	IV_{cap}	IV_{frost}	IV_{cap}	IV_{frost}
	100nm ÷ 100000nm	100nm ÷ 1000nm	100nm ÷ 100000nm	100nm ÷ 1000nm
Grupa A - wyjściowe	0,1039	0,0185	-	-
Grupa B – po komorze klimatycznej	0,1173	0,0163	12,9	-12,4
Grupa C - poligonowa N	0,1258	0,0170	21,1	-8,4
Grupa C - poligonowa E	0,1075	0,0194	3,5	4,4
Grupa C - poligonowa S	0,1216	0,0194	17,1	4,3
Grupa C - poligonowa W	0,1291	0,0185	24,3	-0,3

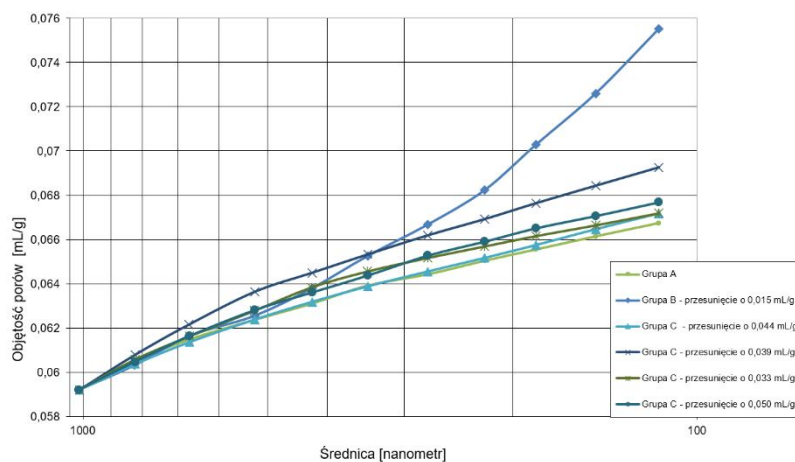
- TYNK SILIKONOWY BARANEK (SoB)



Rysunek 70. Krzywe różniczkowe średnicy porów dla tynku silikonowego o strukturze baranka



Rysunek 71. Krzywe całkowite średnicy porów dla tynku silikonowego o strukturze baranka



Rysunek 72. Zakres porów odpowiedzialnych za mrozoodporność SOB (od 0,1 do 1 µm)

Porowatość ogólna dla wyjściowych próbek tynku wynosiła 15,3%. Wraz z poddaniem próbek ustalonym cyklom mrożenia porowatość wzrosła do 20,9%. Próbki poligonowe wykazują wyższą porowatość niż próbki wyjściowe. Odpowiednio dla orientacji północnej porowatość wynosi 25,81%, dla orientacji południowej 22,2%, dla orientacji wschodniej 19,9%, a dla zachodniej 22,7%.

Udział objętościowy porów odpowiedzialnych za transport kapilarny (od 100nm do 100000nm) dla próbek wyjściowych wynosił 11,5%. W wyniku cykli zamrażania i rozmrażania w warunkach laboratoryjnych wartość wzrosła do 12,8%. Funkcjonowanie tynków w warunkach oddziaływania środowiska spowodowało wzrost wartości początkowej udziału porów dla orientacji S do 16,4%, dla orientacji N do 15,0%, dla orientacji E do 12,3%, a dla orientacji W do 16,2%.

Udział porów odpowiedzialnych za mrozoodporność (od 100nm do 1000 nm) dla próbek wyjściowych wynosił 1,7%. Po przeprowadzonych cyklach zamrażania - odmrażania w laboratorium wzrósł do 3,1%. Odpowiednio dla stanowiska poligonowego był porównywalny jak dla próbek wyjściowych – dla orientacji S wynosi 1,5%, dla orientacji N – 3,1%, dla orientacji E do 1,5%, a dla orientacji W do 1,6%. Na podstawie analizy przebiegu krzywych całkowitych w zakresie porowatości 100-1000nm (rys. 71 i 72) stwierdzono, że w stosunku do próbki wyjściowej zwiększyły się objętości porów w zakresie wymiarów 300-1000nm.

Analizując intruzję rtęci w mL/g dla wyróżnionych zakresów porów (tab. 38) można stwierdzić, że bezpośrednie zmiany objętości są duże. Dla zakresu porów odpowiedzialnych za transport kapilarny (od 100nm do 100000nm) odnotowano porównywalne zmiany dla próbek poligonowych z orientacji zachodniej - zwiększenie objętości o 66,1%, dla próbek z orientacji południowej – zwiększenie o 65 %, dla orientacji północnej – zwiększenie o 58,2%. Odpowiednio próbki o orientacji wschodniej wzrosły o 23,8%. Próbki poddane cyklom mrożenia wykazały wzrost objętości rtęci o 28,3%. Dla zakresu porów odpowiedzialnych za mrozoodporność uzyskano największy wzrost objętości wtłaczanej rtęci dla próbek laboratoryjnych po mrożeniu – wzrost o 116,7%. Natomiast dla orientacji S wzrost o 5,8%, dla orientacji N wzrost o 123,4%, dla orientacji E wzrost o 6,0%, a dla orientacji W wzrost o 12,5%.

Tabela 37. Wyniki badań porowatości dla tynku silikonowy baranek

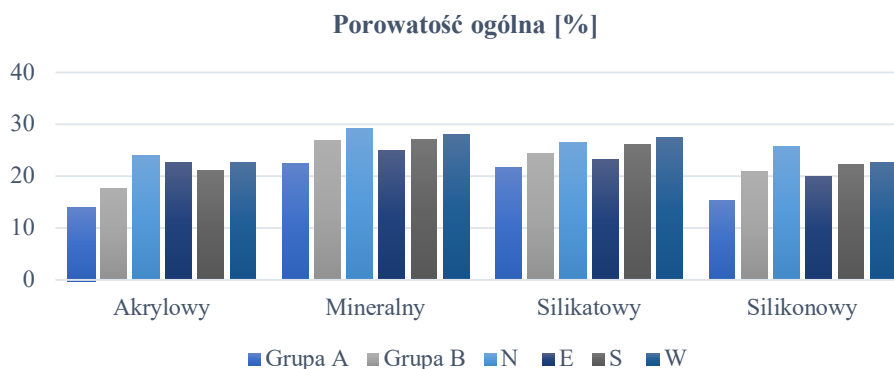
Rodzaj próbki	Porowatość ogólna [%]	U_{cap} [%] (100nm do 100000nm)	U_{frost} [%] (100nm do 1000 nm)	Średnice dominujące, [nm]
Grupa A - wyjściowe	15,3	11,5	1,7	3000 6000 300000
Grupa B – po komorze klimatycznej	20,9	12,8	3,1	80 3000 60000
Grupa C - poligonowa N	25,8	15,0	3,1	3000 6000 300000
Grupa C - poligonowa E	19,9	12,3	1,5	2000 6000 200000
Grupa C - poligonowa S	22,2	16,4	1,5	3000 30000 70000
Grupa C - poligonowa W	22,7	16,2	1,6	1000 3000 25000 300000

Tabela 38. Intruzja rtęci dla wyróżnionych zakresów porów odpowiedzialnych za transport kapilarny i korozję mrozową – tynk silikonowy baranek

Rodzaj próbki	Intruzja rtęci dla podanego zakresu porów, mL/g		Zmiany objętości [%]	
	IV_{cap}	IV_{frost}	IV_{cap}	IV_{frost}
	100nm ÷ 100000nm	100nm ÷ 1000nm	100nm ÷ 100000nm	100nm ÷ 1000nm
Grupa A - wyjściowe	0,0523	0,0075	-	-
Grupa B – po komorze klimatycznej	0,0671	0,0163	28,3	116,7
Grupa C - poligonowa N	0,0823	0,0168	58,2	123,4
Grupa C - poligonowa E	0,0648	0,0080	23,8	6,0
Grupa C - poligonowa S	0,0863	0,0080	65,0	5,8
Grupa C - poligonowa W	0,0869	0,0085	66,1	12,5

6.2.2. Podsumowanie analiz

Porowatość ogólna próbek wyjściowych – grupa A, badanych tynków wzrosła w wyniku poddania ich procesowi zamrażania i rozmrażania – grupa B oraz w wyniku procesu naturalnego starzenia – grupa C (rys. 73 i tab. 39). Największym wzrostem porowatości charakteryzują się próbki pobrane z stanowiska poligonowego o orientacji północnej: tynk akrylowy – 73%, tynk mineralny – 30%, tynk silikatowy – 22%, a tynk silikonowy – wzrost wyniósł aż 69%. Drugą orientację pod względem zmian porowatości ogólnej jest orientacja zachodnia, gdzie zmiany wynosiły odpowiednio: tynk akrylowy – 63%, tynk mineralny – 24%, tynk silikatowy – 27%, a tynk silikonowy – 48%. Kolejno dla elewacji wschodniej zmiany w stosunku do próbek grupy A wynosiły: tynk akrylowy – 64%, tynk mineralny – 11%, tynk silikatowy – 7%, a tynk silikonowy – 30%. Dla elewacji południowej otrzymano porównywalny wzrost objętości porowatości: tynk akrylowy – 53%, tynk mineralny – 20%, tynk silikatowy – 21%, a tynk silikonowy – 45%.



Rysunek 73. Porowatość ogólna dla analizowanych próbek

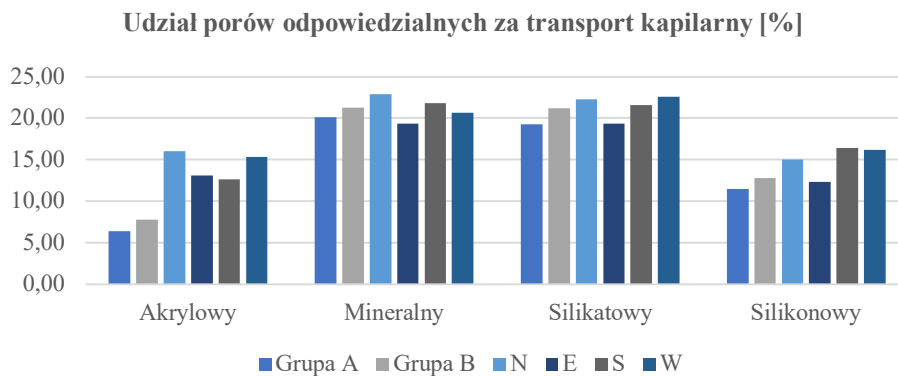
Tabela 39. Zestawienie porowatości ogólnych dla badanych tynków (procentowy wzrost porowatości w stosunku do próbki wyjściowej)

Rodzaj tynku	Porowatość ogólna [%]			
	Akrylowy	Mineralny	Silikatowy	Silikonowy
Grupa A - wyjściowe	13,86	22,51	21,66	15,28
Grupa B – po komorze klimatycznej	17,50 (26%)	26,78 (19%)	24,50 (13%)	20,94 (37%)
Grupa C - poligonowa N	23,99 (73%)	29,17 (30%)	26,37 (22%)	25,81 (69%)
Grupa C - poligonowa E	22,72 (64%)	24,95 (11%)	23,25 (7%)	19,91 (30%)
Grupa C - poligonowa S	21,10 (53%)	27,02 (20%)	26,11 (21%)	22,18 (45%)
Grupa C - poligonowa W	22,62 (63%)	28,00 (24%)	27,51 (27%)	22,68 (48%)

Dla każdej z analizowanych grup próbek – próbki wyjściowe, próbki poddane zamrażaniu i rozmrażaniu oraz próbki poligonowe pobrane z wszystkich orientacji świata, największą porowatością ogólną charakteryzuje się tynk mineralny. Wyjściowa porowatość tynku mineralnego była 22,51%, a pozostałych: tynk akrylowy – 13,86%, tynk silikatowy – 21,66%, tynk silikonowy – 15,28%. W wyniku poddania próbek cykлом przyspieszonego starzenia – grupa B, dla tynku mineralnego porowatości jest najwyższa i wynosi 26,78%, a odpowiednio dla: tynku akrylowego – 17,5%, tynku silikatowego – 24,5%, tynku silikonowego – 20,94%.

Najmniejszą porowatością, w każdej z grup próbek, charakteryzuje się tynk akrylowy. Porowatość ogólna dla próbek wyjściowych tynku akrylowego wynosiła 13,86%, dla próbek poddanych procesowi zamrażania i rozmrażania – 17,5%, dla próbek poligonowych o orientacji: północnej – 23,99%, wschodniej – 22,72%, południowej – 21,10%, a dla zachodniej – 22,62%.

Próbki wyjściowe charakteryzowały się mniejszym udziałem porów odpowiedzialnych za transport kapilary w stosunku do próbek poddanych procesowi zamrażania i rozmrażania (rys. 74 i tab. 40). Udział porów kapilarnych odpowiednio wzrósł o: tynk akrylowy – 23%, tynk mineralny – 6%, tynk silikatowy – 10%, tynk silikonowy – 11%.



Rysunek 74. Procentowy udział porów odpowiedzialnych za transport kapilarny

W stosunku do próbek poddanych cykлом zamrażania-odmrażania, próbki tynku pobrane ze stanowiska poligonowego charakteryzują się wyższym udziałem porów odpowiedzialnych za transport kapilarny. Najwyższym wzrostem udziału porów kapilarnych charakteryzują się próbki poligonowe pobrane z orientacji północnej. Wzrost w stosunku do próbek wyjściowych odpowiednio wynosi: dla tynku akrylowego 152% (wyjściowy udział porów kapilarnych był najmniejszy), dla tynku mineralnego 14%, (zaznaczając, że wyjściowy udział porów kapilarnych był największy), dla tynku silikatowego 15%, a dla silikonowego 31%. Elewacja zachodnia, jest kolejną pod względem generowanych wzrostów udziału porów odpowiedzialnych za transport kapilarny. W przypadku tynku akrylowego wzrost wyniósł 141%, dla tynku mineralnego 3%, dla tynku silikatowego 17%, a dla silikonowego 41%.

Największym udziałem porów odpowiedzialnych za transport kapilarny charakteryzuje się tynk mineralny.

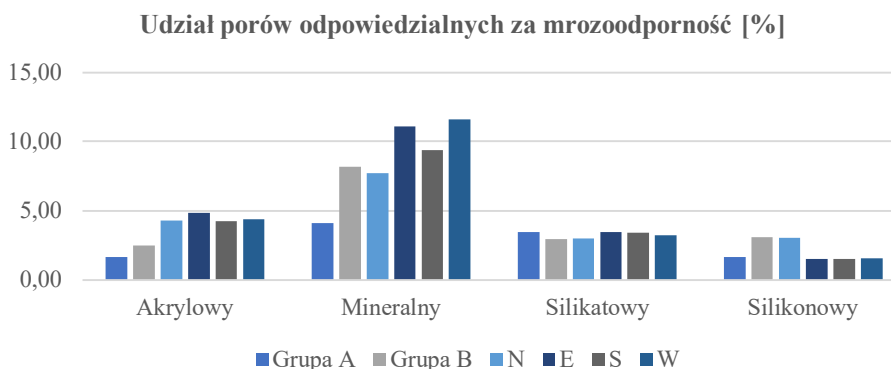
Tabela 40. Procentowy udział porów odpowiedzialnych za transport kapilarny dla badanych tynków (procentowy wzrost U_{cap} w stosunku do próbki wyjściowej)

Rodzaj tynku	Udział porów odpowiedzialnych za transport kapilarny [%]			
	Akrylowy	Mineralny	Silikatowy	Silikonowy
Grupa A - wyjściowe	6,37	20,09	19,27	11,47
Grupa B – po komorze klimatycznej	7,80 (23%)	21,23 (6%)	21,15 (10%)	12,75 (11%)
Grupa C - poligonowa N	16,05 (152%)	22,84 (14%)	22,25 (15%)	15,03 (31%)
Grupa C - poligonowa E	13,07 (105%)	19,32 (-4%)	19,29 (0%)	12,30 (7%)
Grupa C - poligonowa S	12,60 (98%)	21,79 (8%)	21,53 (12%)	16,41 (43%)
Grupa C - poligonowa W	15,35 (141%)	20,64 (3%)	22,58 (17%)	16,18 (41%)

Największy udział porów odpowiedzialnych za mrozoodporność wykazuje tynk mineralny (rys. 75 i tab. 41). Wyjściowa próbka tego tynku miała $U_{Frost} = 4,1\%$. W wyniku procesu zamrażania i rozmrażania nastąpił wzrost udziału porów w stosunku do próbki wyjściowej o 4 punkty procentowe. Dla próbek poligonowych - grupa C, udział porów wzrósł odpowiednio: dla elewacji północnej o 88,47%, dla elewacji wschodniej o 170,64%, dla elewacji południowej o 128,56%, a dla zachodniej o 182,73%.

Próbki tynku akrylowego poddane cyklowi zamrażania i rozmrażania wykazują się ponad 50 procentowym wzrostem udziału porów odpowiedzialnych za mrozoodporność w stosunku do próbek wyjściowych – próbki wyjściowe $U_{Frost} = 1,63\%$, próbki grupy B $U_{Frost} = 2,46\%$. W przypadku próbek pobranych z stanowiska poligonowego wzrost udziału porów odpowiedzialnych za mrozoodporność jest kilkukrotny i w stosunku do próbek wyjściowych wynosi: orientacja północna – 162%, orientacja wschodnia – 196%, orientacja południowa – 160%, orientacja zachodnia – 169%.

Dla tynku silikatowego i silikonowego nie odnotowano wzrostu udziału porów odpowiedzialnych za mrozoodporność.



Rysunek 75. Procentowy udział porów odpowiedzialnych za mrozoodporność

Tabela 41. Procentowy udział porów odpowiedzialnych za mrozoodporność dla badanych tynków (procentowy wzrost U_{frost} w stosunku do próbki wyjściowej)

Rodzaj tynku	Udział porów odpowiedzialnych za mrozoodporność [%]			
	Akrylowy	Mineralny	Silikatowy	Silikonowy
Grupa A - wyjściowe	1,63	4,10	3,44	1,65
Grupa B – po komorze klimatycznej	2,46 (51%)	8,19 (100%)	2,93 (-15%)	3,10 (88%)
Grupa C - poligonowa N	4,28 (162%)	7,73 (88%)	3,01 (-13%)	3,06 (85%)
Grupa C - poligonowa E	4,84 (196%)	11,10 (171%)	3,48 (1%)	1,52 (-8%)
Grupa C - poligonowa S	4,25 (160%)	9,38 (129%)	3,43 (0%)	1,51 (-8%)
Grupa C - poligonowa W	4,39 (169%)	11,60 (183%)	3,23 (-6%)	1,58 (-5%)

6.3. ABSORPCJA WODY

Wyniki pomiarów oraz współczynniki nasiąkliwości badanych grup próbek zestawiono w tabelach 42 – 49 oraz przedstawiono w postaci rysunków 76 – 83.

6.3.1. Wyniki badań laboratoryjnych wybranych tynków

- TYNK AKRYLOWY BARANEK (AB)

Dla analizowanych próbek tynku akrylowego o fakturze baranek współczynnik absorpcji wody A_w zmniejszył się po cyklach zamrażania (próbki typu B) w stosunku do próbek wyjściowych (próbki typu A) – wartość współczynnika A_w spada z $0,0016 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0013 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Próbki poligonowe na których znajduje się warstwa biofilmu wykazują się dwukrotnie mniejszym współczynnikiem absorpcji wody niż próbki wyjściowe $A_w=0,0016 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, przy czym różnice między orientacjami są znikome.

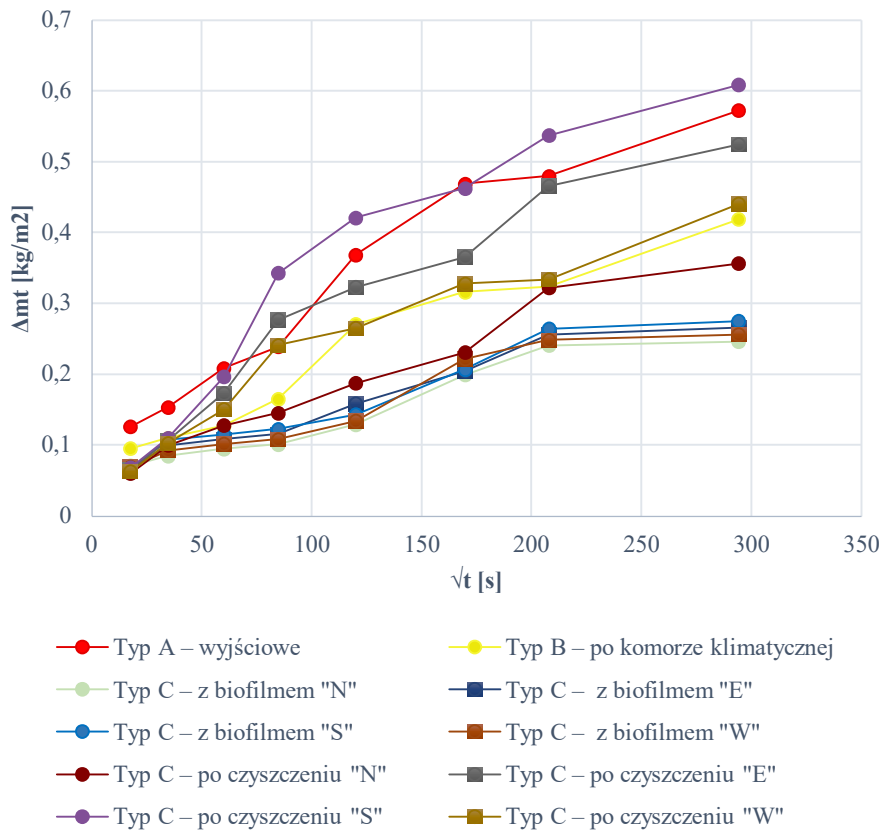
Po wyczyszczeniu próbek, a tym samym usunięciu biofilmu, dla próbek wskaźnik A_w wynosi: dla orientacji S - $0,0011 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla orientacji E - $0,0013 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla orientacji W - $0,0014 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla orientacji N - $0,002 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Po usunięciu biofilmu odpowiednio na orientacji południowej wykazano wzrost współczynnika A_w z $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0011 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Dla orientacji północnej A_w wzrasta z $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,002 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Wzrost dla elewacji wschodniej A_w z $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0013 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla elewacji zachodniej A_w z $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0014 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Porównując ze sobą próbki niepoddanych czyszczeniu można zauważyć, że tynk cechuje się zbliżonym wskaźnikiem absorpcji wody w przypadku wszystkich orientacji. Nieznacznie wyższym wskaźnikiem wykazują się próbki z orientacji północnej, gdzie wskaźnik absorpcji wynosił $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, zaś dla pozostałych orientacji

0,0007 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Zależność ta występuje zarówno w próbkach niepoddanych czyszczeniu jak i w próbkach z usuniętym biofilmem, gdzie odpowiednio dla próbek północnych wskaźnik A_w wyniósł 0,002 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla pozostałych odpowiednio: próbki zachodnie 0,0014 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, próbki wschodnie 0,0013 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ oraz próbki południowe 0,0011 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Z kolei porównując próbki poligonowe z biofilmem oraz próbki poddane cykлом zamrażania można zauważyć iż próbki poligonowe wycięte ze stanowiska cechują się niższym wskaźnikiem A_w do próbek poddanych cykлом mrożenia. Próbka poligonowa północna wykazuje się współczynnikiem absorpcji 0,0008 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, wschodnia odpowiednio 0,0007 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, próbka południowa 0,0007 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ i zachodnia współczynnikiem 0,0017 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Natomiast po ich wyczyszczeniu wskaźnika A_w wzrasta odpowiednio do 0,002 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki północnej, 0,0013 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki wschodniej, 0,0011 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki południowej oraz 0,0014 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki zachodniej, a tym samym jest zbliżony do A_w dla próbek poddanych badaniom w komorze klimatycznej, gdzie $A_w=0,0013 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.



Rysunek 76. Wykresy $\Delta m/F$ w funkcji pierwiastka czasu $t^{0,5}$ dotyczące próbek tynku akrylowego, faktura: baranek (AB)

Tabela 42. Współczynnik absorpcji wody tynku akrylowego o fakturze baranek (AB)

	Typ próbek	Współczynnik absorpcji wody					
		Grupa A	Grupa B	Grupa C			
				N	E	S	W
$\overline{A_w}$ kg/(m ² ·s ^{0,5})	brudne	0,0016	0,0013	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007
	wyczyszczone			0,0020	0,0013	0,0011	0,0014
$\overline{W_w}$ kg/(m ² ·h ^{0,5})	brudne	0,0964	0,0789	0,0497	0,0440	0,0433	0,0421
	wyczyszczone			0,1221	0,0797	0,0657	0,0866

- TYNK AKRYLOWY KORNİK (AK)

Dla analizowanych próbek tynku akrylowego o fakturze kornik współczynnik absorpcji wody A_w zmniejszył się po cyklach zamrażania (próbki typu B) w stosunku do próbek wyjściowych (próbki typu A) – wartość współczynnika A_w spadła z 0,0007 kg/(m²·s^{0,5}) do 0,0005 kg/(m²·s^{0,5}).

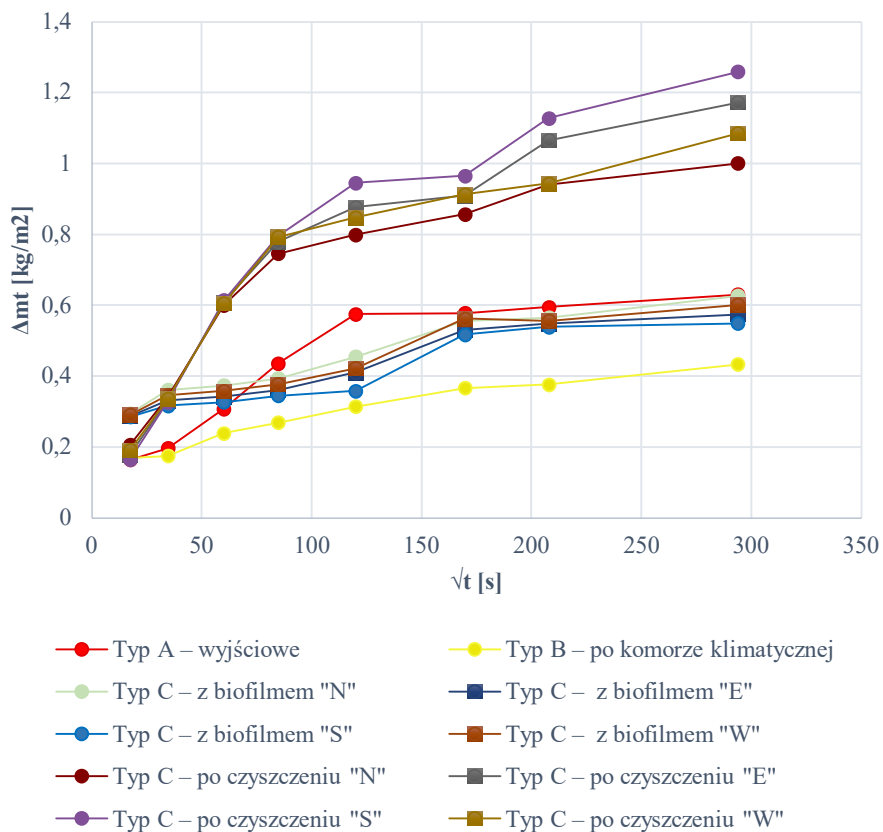
Próbki poligonowe na których znajduje się warstwa biofilmu wykazują się mniejszym współczynnikiem absorpcji wody niż próbki wyjściowe $A_w=0,0007$ kg/(m²·s^{0,5}), przy czym różnice między orientacjami są niezauważalne i $A_w=0,0005$ kg/(m²·s^{0,5}).

Po wyczyszczeniu próbek, a tym samym usunięciu biofilmu, dla próbek wskaźnik A_w wynosi: dla orientacji S - 0,0006 kg/(m²·s^{0,5}), dla orientacji E - 0,0012 kg/(m²·s^{0,5}), dla orientacji W - 0,0018 kg/(m²·s^{0,5}), a dla orientacji N - 0,0023 kg/(m²·s^{0,5}).

Po usunięciu biofilmu odpowiednio na orientacji południowej wykazano wzrost współczynnika A_w z 0,0005 kg/(m²·s^{0,5}) do 0,0006 kg/(m²·s^{0,5}). Dla orientacji północnej A_w wzrasta z 0,0005 kg/(m²·s^{0,5}) do 0,0023 kg/(m²·s^{0,5}). Wzrost dla elewacji wschodniej A_w z 0,0005 kg/(m²·s^{0,5}) do 0,0012 kg/(m²·s^{0,5}), a dla elewacji zachodniej A_w z 0,0005 kg/(m²·s^{0,5}) do 0,0018 kg/(m²·s^{0,5}).

Porównując ze sobą próbki niepoddanych czyszczeniu można zauważyć, że tynk cechuje się zbliżonym wskaźnikiem absorpcji wody w przypadku wszystkich orientacji. Wskaźnikiem absorpcji wynosił 0,0005 kg/(m²·s^{0,5}). Zależność ta nie występuje próbkach z usuniętym biofilmem, gdzie odpowiednio dla próbek północnych wskaźnik A_w wyniósł 0,0023 kg/(m²·s^{0,5}), a dla pozostałych odpowiednio: próbki zachodnie 0,0018 kg/(m²·s^{0,5}), próbki wschodnie 0,0012 kg/(m²·s^{0,5}) oraz próbki południowe 0,0006 kg/(m²·s^{0,5}).

Z kolei porównując próbki poligonowe z biofilmem oraz próbki poddane cyklem zamrażania można zauważyć iż próbki poligonowe wycięte ze stanowiska cechują się takim samym wskaźnikiem A_w jak próbki poddane cyklem mrożenia. Wszystkie próbki poligonowe wykazują się współczynnikiem absorpcji 0,0005 kg/(m²·s^{0,5}). Natomiast po ich wyczyszczeniu wskaźnika A_w wzrasta odpowiednio do 0,0023 kg/(m²·s^{0,5}) dla próbki północnej, 0,0012 kg/(m²·s^{0,5}) dla próbki wschodniej, 0,0006 kg/(m²·s^{0,5}) dla próbki południowej oraz 0,0018 kg/(m²·s^{0,5}) dla próbki zachodniej, a tym samym jest wyższy do A_w dla próbek poddanych badaniom w komorze klimatycznej, gdzie $A_w=0,0005$ kg/(m²·s^{0,5}).



Rysunek77. Wykresy $\Delta m_t/F$ w funkcji pierwiastka czasu $t^{0,5}$ dotyczące próbek tynku akrylowego, faktura: kornik (AK)

Tabela 43. Współczynnik absorpcji wody tynku akrylowego o fakturze kornik (AK)

	Typ próbek	Współczynnik absorpcji wody					
		Grupa A	Grupa B	Grupa C			
				N	E	S	W
\overline{Aw} kg/(m ² ·s ^{0,5})	brudne	0,0007	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
	wyczyszczone			0,0023	0,0012	0,0006	0,0018
\overline{Ww} kg/(m ² ·h ^{0,5})	brudne	0,0442	0,0293	0,0290	0,0293	0,0291	0,0301
	wyczyszczone			0,1357	0,0718	0,0379	0,1079

- TYNK MINERALNY BARANEK (MB)

Dla analizowanych próbek tynku mineralnego o fakturze baranek współczynnik absorpcji wody A_w zmniejszył się dwukrotnie po cyklach zamrażania (próbki typu B) w stosunku do próbek wyjściowych (próbki typu A) – wartość współczynnika A_w spadła z $0,0023 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0011 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

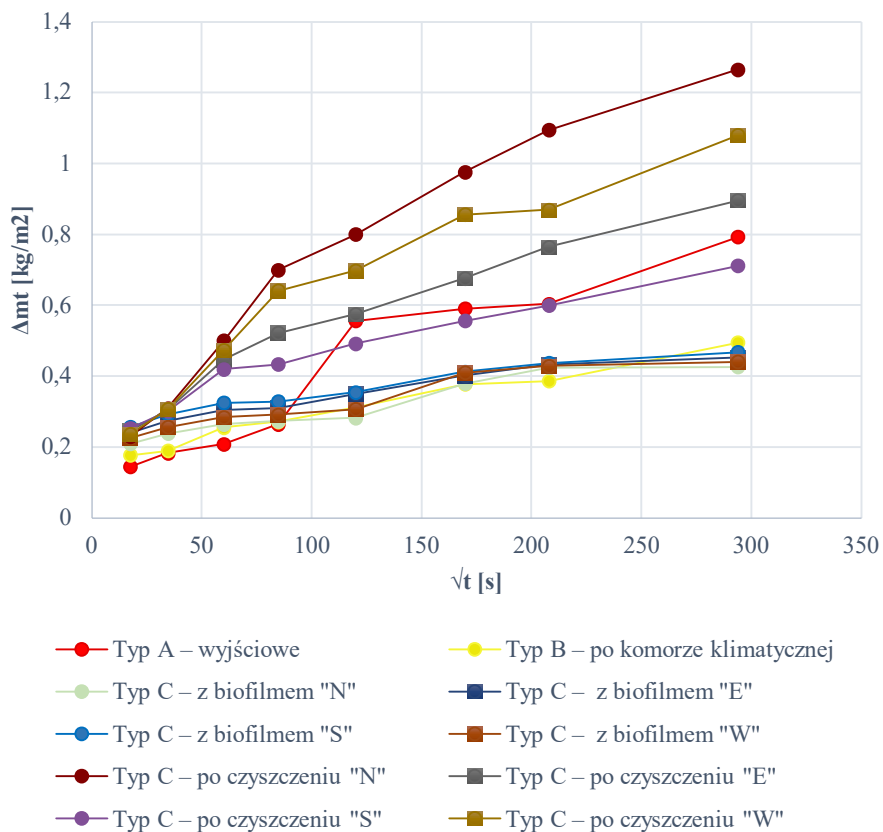
Próbki poligonowe na których znajduje się warstwa biofilmu wykazują się mniejszym współczynnikiem absorpcji wody niż próbki wyjściowe $A_w=0,0023 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, przy czym różnice między orientacjami są znikome.

Po usunięciu próbek, a tym samym usunięciu biofilmu, dla próbek wskaźnik A_w wynosi: dla orientacji S - $0,0016 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla orientacji E - $0,0022 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla orientacji W - $0,003 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla orientacji N - $0,0036 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Po usunięciu biofilmu odpowiednio na orientacji południowej wykazano wzrost współczynnika A_w z $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0016 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Dla orientacji północnej A_w wzrasta z $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0036 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Wzrost dla elewacji wschodniej A_w z $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0022 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla elewacji zachodniej A_w z $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,003 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Porównując ze sobą orientację północną z południową można zauważyć, że tynk z orientacją północą cechuje się wyższym wskaźnikiem absorpcji wody niż orientacja południowa. Tą samą zależność widzimy w stosunku elewacji zachodniej do wschodniej. Orientacja zachodnia ma wyższy wskaźnik absorpcji wody. Zależność ta występuje zarówno w próbkach niepoddanych czyszczeniu jak i w próbkach z usuniętym biofilmem.

Z kolei porównując próbki poligonowe z biofilmem oraz próbki poddane cykлом zamrażania można zauważyć iż próbki poligonowe wycięte ze stanowiska cechują się niższym wskaźnikiem A_w niż próbki poddane cyklom mrożenia. Próbka poligonowa północna i zachodnia wykazują się współczynnikiem absorpcji $0,008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a odpowiednia próbka południowa i wschodnia współczynnikiem $0,007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Natomiast po ich wyczyszczeniu wskaźnika A_w wzrasta odpowiednio do $0,0016 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki południowej, $0,0022 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki wschodniej, $0,0030 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki zachodniej oraz $0,0036 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki północnej, a tym samym jest wyższy niż A_w dla próbek poddanych badaniom w komorze klimatycznej, gdzie $A_w=0,00116 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.



Rysunek78. Wykresy $\Delta m_t/F$ w funkcji pierwiastka czasu $t^{0,5}$ dotyczące próbek tynku mineralnego, faktura: baranek (MB)

Tabela 44. Współczynnik absorpcji wody tynku mineralnego o fakturze baranek (MB)

	Typ próbek	Współczynnik absorpcji wody					
		Grupa A	Grupa B	Grupa C			
				N	E	S	W
\bar{A}_w kg/(m ² ·s ^{0,5})	brudne	0,0023	0,0011	0,0008	0,0007	0,0007	0,0008
	wyczyszczone			0,0036	0,0022	0,0016	0,0030
\bar{W}_w kg/(m ² ·h ^{0,5})	brudne	0,1372	0,0656	0,0466	0,0405	0,0433	0,0493
	wyczyszczone			0,2177	0,1347	0,0969	0,1800

- TYNK MINERALNY KORNIK (MK)

Dla analizowanych próbek tynku mineralnego o fakturze kornik współczynnik absorpcji wody A_w zmniejszył się po cyklach zamrażania (próbki typu B) w stosunku do próbek wyjściowych (próbki typu A) – wartość współczynnika A_w spadła z $0,0016 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0010 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

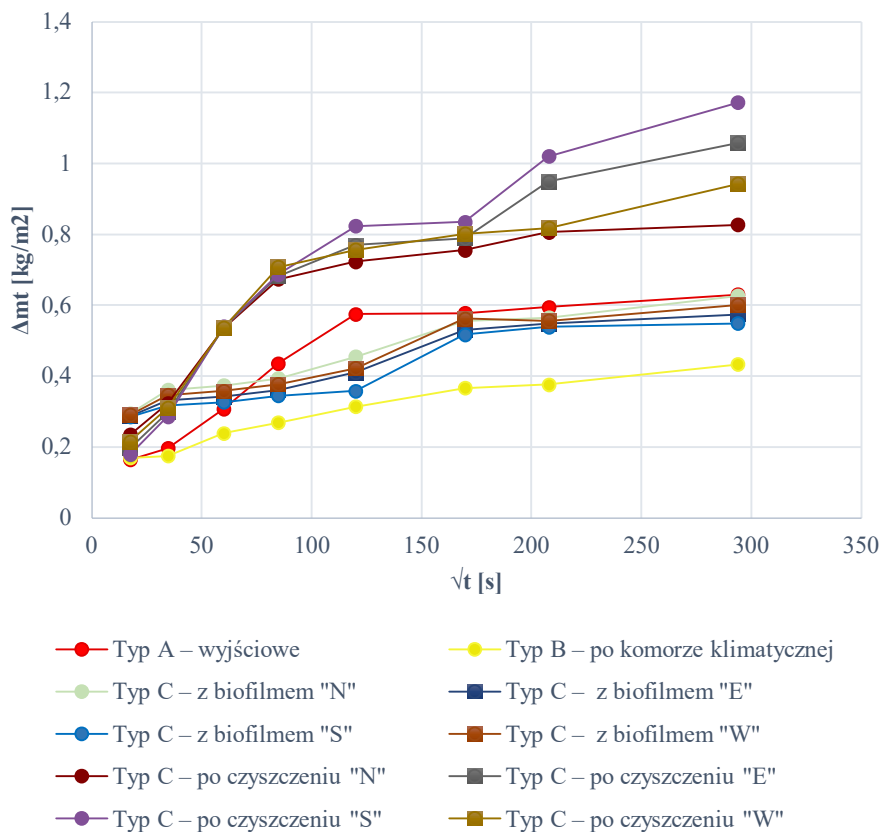
Próbki poligonowe na których znajduje się warstwa biofilmu wykazują się mniejszym współczynnikiem absorpcji wody niż próbki wyjściowe $A_w=0,0016 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, przy czym różnice między orientacjami są znikome.

Po usunięciu biofilmu odpowiednio na orientacji południowej wykazano wzrost współczynnika A_w z $0,0009 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0027 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Dla orientacji północnej A_w wzrasta z $0,0012 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0036 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Wzrost dla elewacji wschodniej A_w z $0,001 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0029 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla elewacji zachodniej A_w z $0,0011 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,003 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Porównując biofilmu odpowiednio na orientacji południowej wykazano wzrost współczynnika A_w z $0,0009 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0027 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Dla orientacji północnej A_w wzrasta z $0,0012 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0036 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Wzrost dla elewacji wschodniej A_w z $0,001 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0029 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla elewacji zachodniej A_w z $0,0011 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,003 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Porównując ze sobą orientację północną z południową można zauważyć, że tynk z orientacją północą cechuje się wyższym wskaźnikiem absorpcji wody niż orientacja południowa. Tą samą zależność widzimy w stosunku elewacji zachodniej do wschodniej. Orientacja zachodnia ma wyższy wskaźnik absorpcji wody. Zależność ta występuje zarówno w próbkach niepoddanych czyszczeniu jak i w próbkach z usuniętym biofilmem.

Z kolei porównując próbki poligonowe z biofilmem oraz próbki poddane cyklem zamrażania można zauważyć iż próbki poligonowe wycięte ze stanowiska cechują się zbliżonym wskaźnikiem A_w do próbek poddanych cyklowi mrożenia. próbka poligonowa północna wykazuje się współczynnikiem absorpcji $0,0012 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, wschodnia odpowiednio $0,001 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, próbka południowa $0,0009 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ i zachodnia współczynnikiem $0,0011 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Natomiast po ich wyczyszczeniu wskaźnika A_w wzrasta odpowiednio do $0,0027 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki północnej, $0,003 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki wschodniej, $0,0036 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki południowej oraz $0,0029 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki zachodniej, a tym samym jest wyższy niż A_w dla próbek poddanych badaniom w komorze klimatycznej, gdzie $A_w=0,001 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.



Rysunek 79. Wykresy $\Delta m_t/F$ w funkcji pierwiastka czasu $t^{0,5}$ dotyczące próbek tynku mineralnego, faktura: kornik (MK)

Tabela 45. Współczynnik absorpcji wody tynku mineralnego o fakturze kornik (MK)

	Typ próbek	Współczynnik absorpcji wody					
		Grupa A	Grupa B	Grupa C			
				N	E	S	W
\overline{Aw} kg/(m ² ·s ^{0,5})	brudne	0,0016	0,0010	0,0012	0,001	0,0009	0,0011
	wyczyszczone			0,0036	0,0029	0,0027	0,0030
\overline{Ww} kg/(m ² ·h ^{0,5})	brudne	0,0984	0,0584	0,0735	0,0616	0,0563	0,0675
	wyczyszczone			0,2161	0,1762	0,1634	0,1822

- TYNK SILIKATOWY BARANEK (SaB)

Dla analizowanych próbek tynku silikatowego o fakturze baranek współczynnik absorpcji wody A_w zmniejszył się po cyklach zamrażania (próbki typu B) w stosunku do próbek wyjściowych (próbki typu A) – wartość współczynnika A_w spadła z $0,0022 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0017 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Próbki poligonowe na których znajduje się warstwa biofilmu wykazują się mniejszym współczynnikiem absorpcji wody niż próbki wyjściowe $A_w=0,0022 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, przy czym różnice między orientacjami są nieznaczne, gdzie $A_w=0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla orientacji północnej i południowej oraz $A_w=0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla orientacji wschodniej i zachodniej.

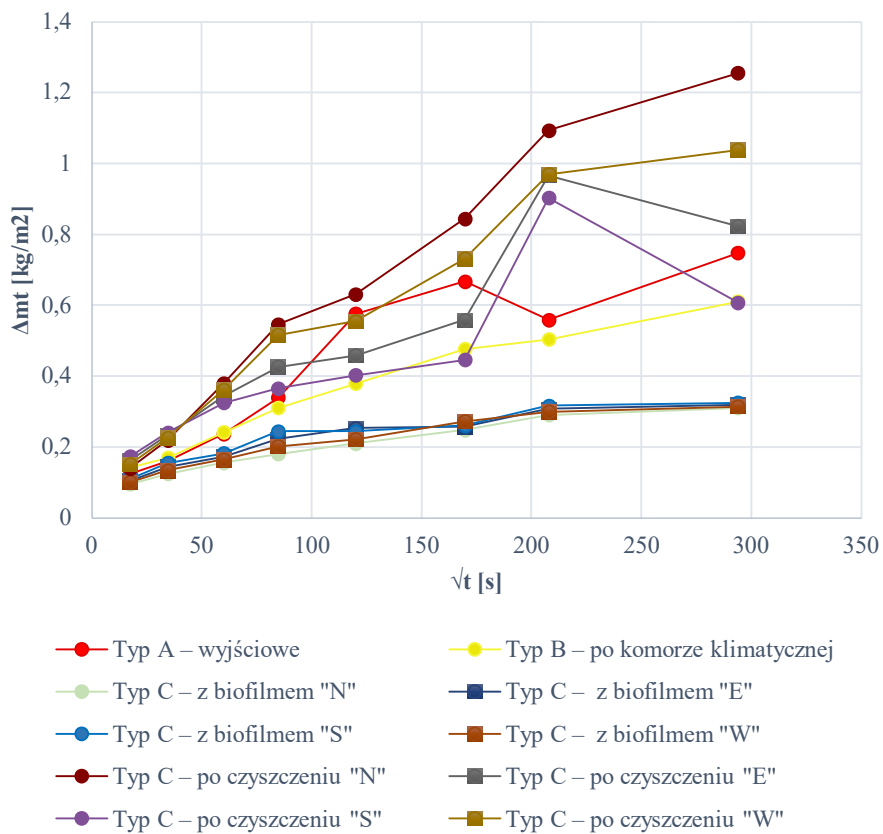
Po wyczyszczeniu próbek, a tym samym usunięciu biofilmu, dla próbek wskaźnik A_w wynosi: dla orientacji S - $0,0015 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla orientacji E - $0,0023 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla orientacji W - $0,0032 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla orientacji N - $0,0039 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Po usunięciu biofilmu odpowiednio na orientacji południowej wykazano wzrost współczynnika A_w z $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0015 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Dla orientacji północnej A_w wzrasta z $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0039 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Wzrost dla elewacji wschodniej A_w z $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0023 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla elewacji zachodniej A_w z $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0032 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Porównując ze sobą orientację północną z południową można zauważyć, że w przypadku próbek niepoddanych czyszczeniu, tynk z orientacją północą cechuje się takim samym wskaźnikiem absorpcji wody jak orientacja południowa. Tą samą zależność widzimy w stosunku elewacji zachodniej do wschodniej. Natomiast w próbkach z usuniętym biofilmem porównując ze sobą orientację północną z południową można zauważyć, że tynk z orientacją północą cechuje się wyższym wskaźnikiem absorpcji wody niż orientacja południowa. Tą samą zależność widzimy w stosunku elewacji zachodniej do wschodniej. Orientacja zachodnia ma wyższy wskaźnik absorpcji wody niż orientacja wschodnia.

Porównując ze sobą próbki niepoddane czyszczeniu można zauważyć, że tynk cechuje się zbliżonym wskaźnikiem absorpcji wody w przypadku wszystkich orientacji, gdzie dla północnej i południowej $A_w=0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla wschodniej i zachodniej $A_w=0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Zależność ta nie występuje w próbkach z usuniętym biofilmem, gdzie odpowiednio dla próbek północnych wskaźnik A_w wyniósł $0,0039 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, próbki zachodnie $0,0032 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, próbki wschodnie $0,0023 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ oraz próbki południowe $0,0015 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Z kolei porównując próbki poligonowe z biofilmem oraz próbki poddane cyklem zamrażania można zauważyć iż próbki poligonowe wycięte ze stanowiska cechują się niższym wskaźnikiem A_w jak próbki poddane cyklem mrożenia. próbka poligonowa północna wykazuje się współczynnikiem absorpcji $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, wschodnia odpowiednio $0,007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, próbka południowa $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ i zachodnia współczynnikiem $0,007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Natomiast po ich wyczyszczeniu wskaźnika A_w wzrasta odpowiednio do $0,0039 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki północnej, $0,0023 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki wschodniej, $0,0015 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki południowej oraz $0,0032 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki zachodniej, a tym samym jest wyższy niż A_w dla próbek poddanych badaniom w komorze klimatycznej, gdzie $A_w=0,0017 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.



Rysunek 80. Wykresy $\Delta m/F$ w funkcji pierwiastka czasu $t^{0,5}$ dotyczące próbek tynku silikatowego, faktura: baranek (SaB)

Tabela 46. Współczynnik absorpcji wody tynku silikatowego o fakturze baranek (SaB)

	Typ próbek	Współczynnik absorpcji wody					
		Grupa A	Grupa B	Grupa C			
				N	E	S	W
\overline{Aw} kg/(m ² ·s ^{0,5})	brudne	0,0022	0,0017	0,0008	0,0007	0,0008	0,0007
	wyczyszczone			0,0039	0,0023	0,0015	0,0032
\overline{Ww} kg/(m ² ·h ^{0,5})	brudne	0,1321	0,1041	0,0470	0,0448	0,0458	0,0440
	wyczyszczone			0,2358	0,1394	0,0899	0,1917

- TYNK SILIKATOWY KORNIK (SaK)

Dla analizowanych próbek tynku silikatowego o fakturze kornik współczynnik absorpcji wody A_w zmniejszył się po cyklach zamrażania (próbki typu B) w stosunku do próbek wyjściowych (próbki typu A) – wartość współczynnika A_w spadła z $0,0023 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0019 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Próbki poligonowe na których znajduje się warstwa biofilmu wykazują się mniejszym współczynnikiem absorpcji wody niż próbki wyjściowe $A_w=0,0023 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, przy czym różnice między orientacjami są nieznaczne, gdzie $A_w=0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla orientacji wschodniej, zachodniej i południowej oraz $A_w=0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla orientacji północnej.

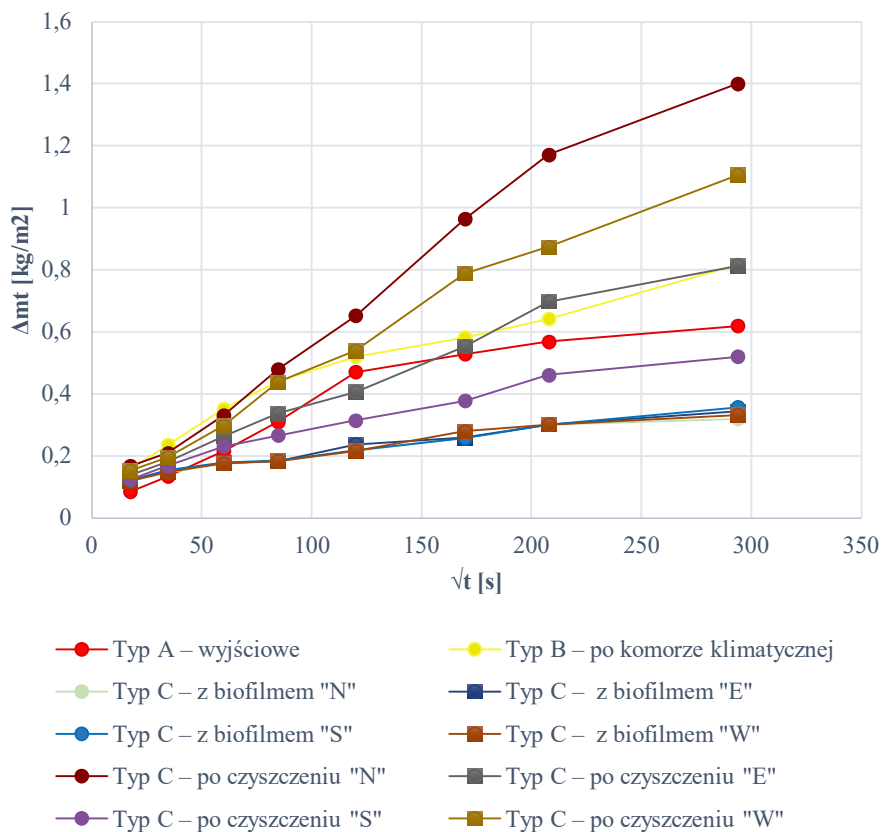
Po wyczyszczeniu próbek, a tym samym usunięciu biofilmu, dla próbek wskaźnik A_w wynosi: dla orientacji S - $0,0014 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla orientacji E - $0,0024 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla orientacji W - $0,0034 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla orientacji N - $0,0044 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Po usunięciu biofilmu odpowiednio na orientacji południowej wykazano wzrost współczynnika A_w z $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0014 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Dla orientacji północnej A_w wzrasta z $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0044 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Wzrost dla elewacji wschodniej A_w z $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0024 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla elewacji zachodniej A_w z $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0034 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Porównując ze sobą próbki niepoddanych czyszczeniu można zauważyć, że tynki mają zbliżoną wartość współczynnika absorpcji. Natomiast w próbkach z usuniętym biofilmem porównując ze sobą orientację północną z południową można zauważyć, że tynk z orientacją północą cechuje się wyższym wskaźnikiem absorpcji wody niż orientacja południowa. Tą samą zależność widzimy w stosunku elewacji zachodniej do wschodniej. Orientacja zachodnia ma wyższy wskaźnik absorpcji wody niż orientacja wschodnia.

Porównując ze sobą próbki niepoddanych czyszczeniu można zauważyć, że tynk cechuje się zbliżonym wskaźnikiem absorpcji wody w przypadku wszystkich orientacji, gdzie dla północnej $A_w=0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla pozostałych $A_w=0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Zależność ta nie występuje w próbkach z usuniętym biofilmem, gdzie odpowiednio dla próbek północnych wskaźnik A_w wyniósł $0,0044 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, próbki zachodnie $0,0034 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, próbki wschodnie $0,0024 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ oraz próbki południowe $0,0014 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Z kolei porównując próbki poligonowe z biofilmem oraz próbki poddane cykлом zamrażania można zauważyć iż próbki poligonowe wycięte ze stanowiska cechują się niższym wskaźnikiem A_w jak próbki poddane cyklem mrożenia. Próbka poligonowa północna wykazuje się współczynnikiem absorpcji $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a pozostałe $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Natomiast po ich wyczyszczeniu wskaźnika A_w wzrasta odpowiednio do $0,0044 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki północnej, $0,0024 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki wschodniej, $0,0014 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki południowej oraz $0,0034 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki zachodniej, a tym samym jest wyższy niż A_w dla próbek poddanych badaniom w komorze klimatycznej, gdzie $A_w=0,0019 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.



Rysunek 81. Wykresy $\Delta m_t/F$ w funkcji pierwiastka czasu $t^{0,5}$ dotyczące próbek tynku silikatowego, faktura: kornik (SaK)

Tabela 47. Współczynnik absorpcji wody tynku silikatowego o fakturze kornik (SaK)

	Typ próbek	Współczynnik absorpcji wody					
		Grupa A	Grupa B	Grupa C			
				N	E	S	W
\overline{Aw} kg/(m ² ·s ^{0,5})	brudne	0,0023	0,0019	0,0007	0,0008	0,0008	0,0008
	wyczyszczone			0,0044	0,0024	0,0014	0,0034
\overline{Ww} kg/(m ² ·h ^{0,5})	brudne	0,1361	0,1162	0,0427	0,0500	0,0499	0,0460
	wyczyszczone			0,2655	0,1457	0,0858	0,2056

- TYNK SILIKONOWY BARANEK (SoB)

Dla analizowanych próbek tynku silikonowego o fakturze baranek współczynnik absorpcji wody A_w zmniejszył się po cyklach zamrażania (próbki typu B) w stosunku do próbek wyjściowych (próbki typu A) – wartość współczynnika A_w spadła z $0,0012 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0009 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Próbki poligonowe na których znajduje się warstwa biofilmu wykazują się mniejszym współczynnikiem absorpcji wody niż próbki wyjściowe $A_w=0,0012 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, przy czym różnice między orientacjami są nieznaczne, gdzie $A_w=0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla orientacji wschodniej, zachodniej i południowej oraz $A_w=0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla orientacji północnej.

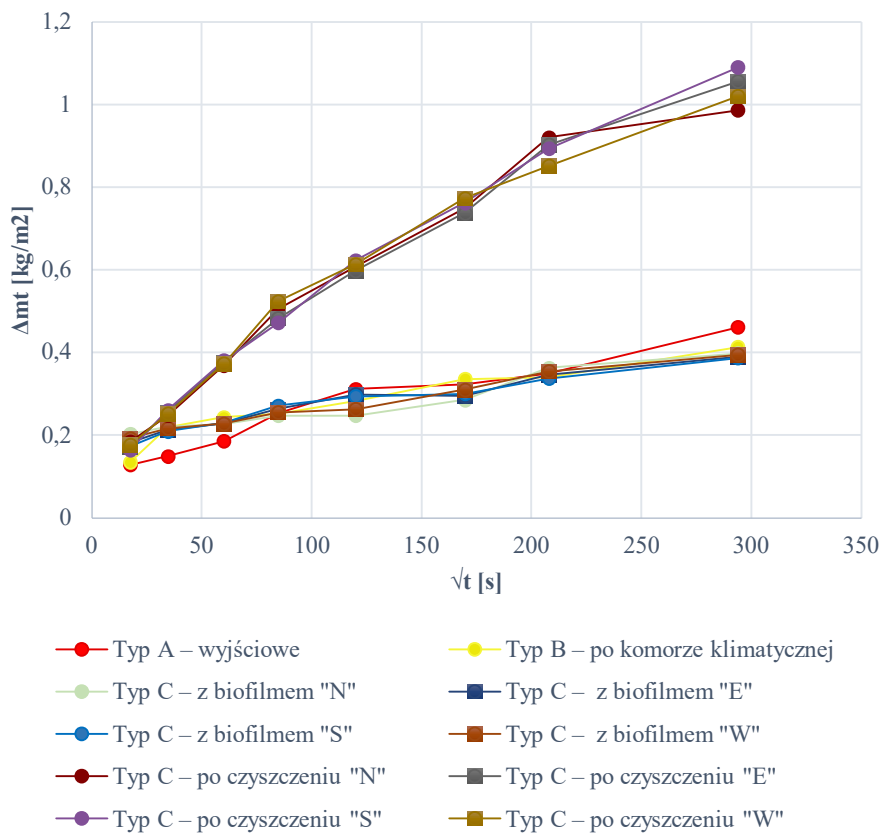
Po wyczyszczeniu próbek, a tym samym usunięciu biofilmu, dla próbek wskaźnik A_w wynosi: dla orientacji S - $0,0028 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla orientacji E - $0,0030 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla orientacji W - $0,0031 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla orientacji N - $0,0032 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Po usunięciu biofilmu odpowiednio na orientacji południowej wykazano wzrost współczynnika A_w z $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0028 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Dla orientacji północnej A_w wzrasta z $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0032 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Wzrost dla elewacji wschodniej A_w z $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0030 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla elewacji zachodniej A_w z $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0031 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Porównując ze sobą próbki niepoddanych czyszczeniu można zauważyć, że tynki mają zbliżoną wartość współczynnika absorpcji. Natomiast w próbkach z usuniętym biofilmem porównując ze sobą orientację północną z południową można zauważyć, że tynk z orientacją północą cechuje się wyższym wskaźnikiem absorpcji wody niż orientacja południowa. Tą samą zależność widzimy w stosunku elewacji zachodniej do wschodniej. Orientacja zachodnia ma wyższy wskaźnik absorpcji wody niż orientacja wschodnia.

Porównując ze sobą próbki niepoddanych czyszczeniu można zauważyć, że tynk cechuje się zbliżonym wskaźnikiem absorpcji wody w przypadku wszystkich orientacji, gdzie dla północnej $A_w=0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla pozostałych $A_w=0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Zależność ta nie występuje w próbkach z usuniętym biofilmem, gdzie odpowiednio dla próbek północnych wskaźnik A_w wyniósł $0,0032 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, próbki zachodnie $0,0031 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, próbki wschodnie $0,0030 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ oraz próbki południowe $0,0028 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Z kolei porównując próbki poligonowe z biofilmem oraz próbki poddane cykлом zamrażania można zauważyć iż próbki poligonowe wycięte ze stanowiska cechują się niższym wskaźnikiem A_w jak próbki poddane cykлом mrożenia. Próbka poligonowa północna wykazuje się współczynnikiem absorpcji $0,0008 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a pozostałe $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Natomiast po ich wyczyszczeniu wskaźnika A_w wzrasta odpowiednio do $0,0032 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki północnej, $0,0030 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki wschodniej, $0,0028 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki południowej oraz $0,0031 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki zachodniej, a tym samym jest wyższy niż A_w dla próbek poddanych badaniom w komorze klimatycznej, gdzie $A_w=0,0009 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.



Rysunek 82. Wykresy $\Delta m_t/F$ w funkcji pierwiastka czasu $t^{0,5}$ dotyczące próbek tynku silikonowego, faktura: baranek (SoB)

Tabela 48. Współczynnik absorpcji wody tynku silikonowy o fakturze baranek (SoB)

	Typ próbek	Współczynnik absorpcji wody					
		Grupa A	Grupa B	Grupa C			
				N	E	S	W
\overline{Aw} kg/(m ² ·s ^{0,5})	brudne	0,0012	0,0009	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007
	wyczyszczone			0,0032	0,0030	0,0028	0,0031
\overline{Ww} kg/(m ² ·h ^{0,5})	brudne	0,0738	0,0538	0,0465	0,0443	0,0444	0,0445
	wyczyszczone			0,1919	0,1777	0,1706	0,1848

- TYNK SILIKONOWY KORNIK (SoK)

Dla analizowanych próbek tynku silikonowego o fakturze kornik współczynnik absorpcji wody A_w zmniejszył się po cyklach zamrażania (próbki typu B) w stosunku do próbek wyjściowych (próbki typu A) – wartość współczynnika A_w spadła z $0,0011 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0006 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Próbki poligonowe na których znajduje się warstwa biofilmu wykazują się mniejszym współczynnikiem absorpcji wody niż próbki wyjściowe $A_w=0,0011 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, przy czym różnice między orientacjami są nieznaczne, gdzie $A_w=0,0004 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla orientacji wschodniej, zachodniej i północnej oraz $A_w=0,0005 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla orientacji południowej.

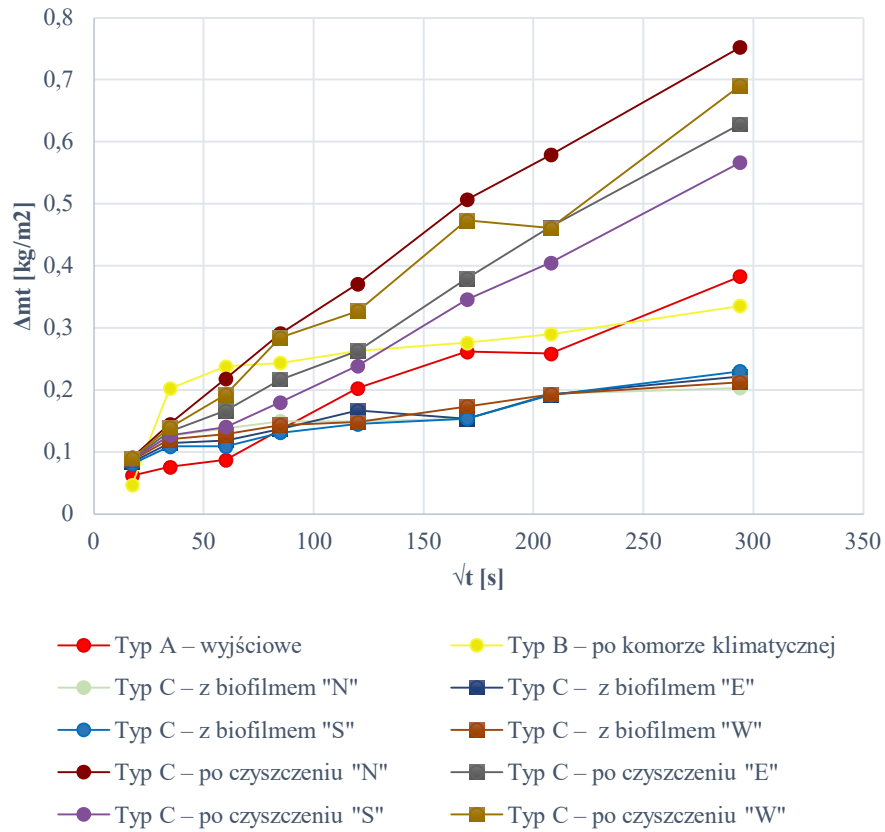
Po wyczyszczeniu próbek, a tym samym usunięciu biofilmu, dla próbek wskaźnik A_w wynosi: dla orientacji S - $0,0018 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla orientacji E - $0,0019 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla orientacji W - $0,0021 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla orientacji N - $0,0024 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Po usunięciu biofilmu odpowiednio na orientacji południowej wykazano wzrost współczynnika A_w z $0,0005 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0018 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Dla orientacji północnej A_w wzrasta z $0,0004 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0024 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Wzrost dla elewacji wschodniej A_w z $0,0004 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0019 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla elewacji zachodniej A_w z $0,0004 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ do $0,0021 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Porównując ze sobą próbki niepoddanych czyszczeniu można zauważyć, że tynki mają zbliżoną wartość współczynnika absorpcji. Natomiast w próbkach z usuniętym biofilmem porównując ze sobą orientację północną z południową można zauważyć, że tynk z orientacją północą cechuje się wyższym wskaźnikiem absorpcji wody niż orientacja południowa. Tą samą zależność widzimy w stosunku elewacji zachodniej do wschodniej. Orientacja zachodnia ma wyższy wskaźnik absorpcji wody niż orientacja wschodnia.

Porównując ze sobą próbki niepoddanych czyszczeniu można zauważyć, że tynk cechuje się zbliżonym wskaźnikiem absorpcji wody w przypadku wszystkich orientacji, gdzie dla południowej $A_w=0,0005 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla pozostałych $A_w=0,0004 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Zależność ta nie występuje w próbkach z usuniętym biofilmem, gdzie odpowiednio dla próbek północnych wskaźnik A_w wyniósł $0,0024 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, próbki zachodnie $0,0021 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, próbki wschodnie $0,0019 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ oraz próbki południowe $0,0018 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Z kolei porównując próbki poligonowe z biofilmem oraz próbki poddane cykлом zamrażania można zauważyć iż próbki poligonowe wycięte ze stanowiska cechują się niższym wskaźnikiem A_w jak próbki poddane cyklem mrożenia. Próbka poligonowa południowa wykazuje się współczynnikiem absorpcji $0,0005 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a pozostałe $0,0004 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Natomiast po ich wyczyszczeniu wskaźnika A_w wzrasta odpowiednio do $0,0024 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki północnej, $0,0019 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki wschodniej, $0,0018 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki południowej oraz $0,0021 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ dla próbki zachodniej, a tym samym jest wyższy niż A_w dla próbek poddanych badaniom w komorze klimatycznej, gdzie $A_w=0,0006 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.



Rysunek 83. Wykresy $\Delta m/F$ w funkcji pierwiastka czasu $t^{0,5}$ dotyczące próbek tynku silikonowego, faktura: kornik (SoK)

Tabela 49. Współczynnik absorpcji wody tynku silikonowy o fakturze kornik (SoK)

	Typ próbek	Współczynnik absorpcji wody					
		Grupa A	Grupa B	Grupa C			
				N	E	S	W
\overline{Aw} kg/(m ² ·s ^{0,5})	brudne	0,0011	0,0006	0,0004	0,0004	0,0005	0,0004
	wyczyszczone			0,0024	0,0019	0,0018	0,0021
\overline{Ww} kg/(m ² ·h ^{0,5})	brudne	0,0679	0,0378	0,0259	0,0268	0,0327	0,0244
	wyczyszczone			0,1434	0,1148	0,1055	0,1259

6.3.2. Podsumowanie analiz

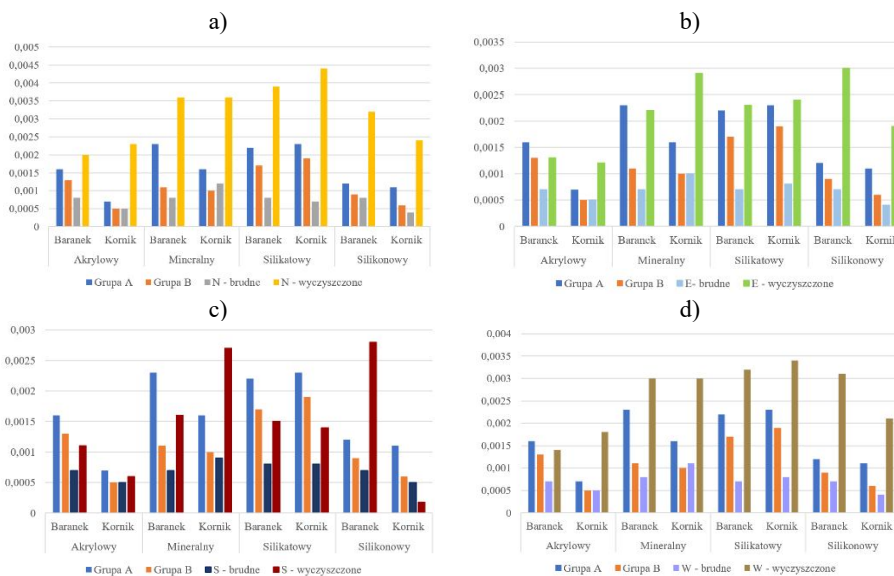
Współczynnik absorpcji wody dla tynku z orientacji północnej wskazują na obniżenie nasiąkliwości w stosunku do próbek wyjściowych (rys. 84a). Przy czy największe różnice wykazują próbki poligonowe nie poddane czyszczeniu: tynk silikatowy – dla faktury baranek o spadek 64%, a dla faktury kornik o 70%, tynk mineralny – dla faktury baranek obniżenie o 65%, a dla faktury kornik o 25%, tynk silikonowy – dla faktury baranek obniżenie o 33%, a dla faktury kornik o 64%, tynk akrylowy – faktura baranek obniżenie o 50%, faktura kornik o 29%. W wyniku procesu czyszczenia powierzchni analizowanych próbek odnotowano wzrost współczynnika absorpcji w stosunku do próbek wyjściowych wynoszący: dla tynku akrylowego – faktura baranek 25%, faktura kornik 229%, dla tynku mineralnego – faktura baranek 57%, faktura kornik 125%, dla tynku silikatowego – faktura baranek 77%, faktura kornik 91%, a dla tynku silikonowego – faktura baranek 167%, faktura kornik 118%.

Podobną zależność zaobserwowano dla tynków o orientacji wschodniej (rys. 84b). Dla próbek poligonowych nie poddanych czyszczeniu w stosunku do próbek wyjściowych: tynk silikatowy – dla faktury baranek o spadek 68%, a dla faktury kornik o 65%, tynk mineralny – dla faktury baranek obniżenie o 70%, a dla faktury kornik o 38%, tynk silikonowy – dla faktury baranek obniżenie o 42%, a dla faktury kornik o 64%, tynk akrylowy – faktura baranek obniżenie o 56%, faktura kornik o 29%. W wyniku procesu czyszczenia powierzchni analizowanych próbek odnotowano zmianę współczynnika absorpcji w stosunku do próbek wyjściowych: dla tynku akrylowego – faktura baranek spadek o 19%, faktura kornik wzrost o 71%, dla tynku mineralnego – faktura baranek spadek o 4%, faktura kornik wzrost o 81%, dla tynku silikatowego – faktura baranek wzrost o 5%, faktura kornik wzrost o 4%, a dla tynku silikonowego – faktura baranek wzrost o 150%, faktura kornik wzrost o 73%.

Dla orientacji południowej (rys. 84c) wartości współczynnika absorpcji również wskazują na obniżenie nasiąkliwości dla próbek poligonowych nie poddanych czyszczeniu w stosunku do próbek wyjściowych: największy dla tynku silikatowego – dla faktury baranek o spadek 64%, a dla faktury kornik o 65%, dla tynku mineralnego – dla faktury baranek obniżenie o 70%, a dla faktury kornik spadek o 44%, dla tynku silikonowego – dla faktury baranek obniżenie o 42%, a dla faktury kornik o 55%, dla tynku akrylowego – faktura baranek obniżenie o 56%, faktura kornik o 29%. W wyniku procesu czyszczenia powierzchni analizowanych próbek odnotowano zmianę współczynnika absorpcji w stosunku do próbek wyjściowych wynoszący: dla tynku akrylowego – faktura baranek spadek o 31%, faktura kornik o 14%, dla tynku mineralnego – faktura baranek spadek o 30%, faktura kornik wzrost o 69%, dla tynku silikatowego – faktura baranek obniżenie o 32%, faktura kornik o 39%, a dla tynku silikonowego – faktura baranek wzrost o 133%, faktura kornik spadek o 84%.

Taka sama zależność występuje dla orientacji zachodniej (rys. 84d). Nastąpiło obniżenie współczynnika absorpcji wody dla próbek poligonowych nie poddanych czyszczeniu w stosunku do próbek wyjściowych: największy dla tynku silikatowego – dla faktury baranek o spadek 68%, a dla faktury kornik o 65%, dla tynku mineralnego – dla faktury baranek obniżenie o 65%, a dla faktury kornik spadek o 31%, dla tynku silikonowego – dla faktury baranek obniżenie o 42%, a dla faktury kornik o 64%, dla tynku akrylowego – faktura baranek obniżenie o 56%, faktura kornik o 29%. W wyniku procesu czyszczenia powierzchni analizowanych próbek odnotowano zmianę współczynnika absorpcji w stosunku do próbek wyjściowych wynoszący: dla tynku akrylowego – faktura

baranek obniżenie o 13%, faktura kornik wzrost o 157%, dla tynku mineralnego – faktura baranek wzrost o 30%, faktura kornik – 88%, dla tynku silikatowego – faktura baranek wzrost o 45%, faktura kornik – 48%, a dla tynku silikonowego – faktura baranek wzrost o 158%, faktura kornik – 91%.



Rysunek 84. Porównanie współczynnika absorpcji wody $\overline{A_w}$ dla próbek o orientacji: a) północnej, b) wschodniej, c) południowej, d) zachodniej

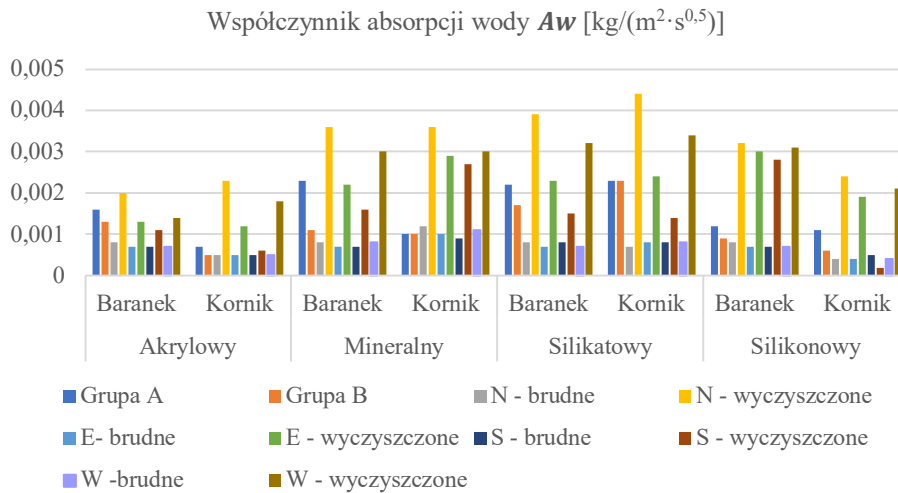
Szczegółowa analiza wykazała, że najwyższą wartością współczynnika absorpcji wody charakteryzują się tynk mineralny i tynk silikatowy dla próbek pobranych z stanowiska poligonowego, wyczyszczonych. Zależność utrzymuje się dla wszystkich kierunków świata.

Otrzymane wyniki badań nie pozwalają na jednoznaczne określenie zależności zmian współczynnika absorpcji wody od faktury tynku.

Dla wszystkich analizowanych tynków średni współczynnik absorpcji wody A_w jest największy dla próbek pochodzących z orientacji północnej stanowiska poligonowego, które dodatkowo zostały poddane czyszczeniu. Zależność ta jest widoczna dla faktury baranek oraz kornik. Odpowiednio dla wyczyszczonych próbek grupy C o orientacji północnej uzyskano, najwyższe pod względem wielkości, wyniki współczynnika absorpcji A_w : dla tynku silikatowego faktura baranek – 0,0039 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, faktura kornik – 0,0044 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, tynk mineralny faktura baranek – 0,0036 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, faktura kornik – 0,0036 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dalej tynk silikonowy faktura baranek 0,0032 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, faktura kornik - $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a najniższe w tej grupie – tynk akrylowy o fakturze baranek 0,002 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, faktura kornik – 0,0023 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ (tab. 50 i rys. 85).

Drugim kierunkiem pod względem wielkości współczynnika absorpcji jest orientacja zachodnia. Tak samo jak w kierunku północnym największym współczynnikiem absorpcji charakteryzuje się tynk silikatowy – dla baranka A_w wynosi 0,0032 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla kornika 0,0034 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, kolejnym jest tynk mineralny - dla baranka jak i kornika

A_w wynosi $0,003 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, następnym jest tynk silikonowy – dla baranka A_w wynosi $0,0031 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla kornika $0,0021 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a najmniejszy współczynnik wyznaczono dla tynku akrylowego - dla baranka A_w wynosi $0,0014 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla kornika $0,0018 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Dla elewacji wschodniej i południowej utrzymane są te same tendencje współczynnika absorpcji, ale z najniższymi wartościami dla orientacji południowej.



Rysunek 85. Zestawienie analizowanych próbek – współczynnik absorpcji wody $\overline{A_w}$

Wysoką wartością współczynnika absorpcji wody dla próbek wyjściowych, charakteryzuje się tynk mineralny i silikatowy. Dla tynku mineralnego – dla baranka A_w wynosi $0,0023 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla kornika $0,0016 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. W przypadku tynku silikatowego – dla baranka A_w wynosi $0,0022 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, dla kornika $0,0023 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Pozostałe tynki niezależnie od faktury charakteryzowały się niższą absorpcją wody: tynk silikonowy – dla baranka A_w wynosi $0,0012 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla kornika $0,0011 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$; tynk akrylowy – dla baranka A_w wynosi $0,0016 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla kornika $0,0007 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

Wszystkie badane rodzaje tynków poddane procesowi zamrażania i rozmrażania, wykazują się niższym współczynnikiem absorpcji niż próbki wyjściowe. Najwyższym wskaźnikiem w grupie B, charakteryzuje się tynk silikatowy – dla baranka A_w wynosi $0,0017 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla kornika $0,0019 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$; tynk mineralny – dla baranka A_w wynosi $0,0011 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla kornika $0,0010 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$; tynk silikonowy – dla baranka A_w wynosi $0,0009 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla kornika $0,0006 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a najniższym – tynk akrylowy dla baranka A_w wynosi $0,0013 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, a dla kornika $0,0005 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$.

W przypadku próbek pobranych z stanowiska poligonowego nie poddanych czyszczeniu, współczynnik absorpcji wody utrzymuje się na podobnym lub niższym poziomie jak w przypadku próbek poddanych procesom zamrażania i rozmrażania. Wyjątek stanowi tynk mineralny o fakturze kornik. W wyniku przeprowadzonego czyszczenia próbek poligonowych, wartości współczynnika absorpcji są kilkukrotnie wyższe. Zależność tą obserwujemy dla obu analizowanych faktur wybranych do badań tynków cienkowarstwowych.

Tabela 50. Zestawienie analizowanych próbek – współczynnik absorpcji wody \overline{Aw} (procentowa zmiana współczynnika w stosunku do próbki wyjściowej)

Typ próbek			Współczynnik absorpcji wody \overline{Aw} [kg/(m ² ·s ^{0,5})]					
			Grupa A	Grupa B	Grupa C - poligonowe			
					N	E	S	W
Akrylowy	Baranek	przed czyszczeniem	0,0016	0,0013 (-18,75%)	0,0008 (-50%)	0,0007 (-56%)	0,0007 (-56%)	0,0007 (-56%)
		po czyszczeniu			0,0020 (25%)	0,0013 (-19%)	0,0011 (-31%)	0,0014 (-13%)
	Kornik	przed czyszczeniem	0,0007	0,0005 (-28,57%)	0,0005 (-29%)	0,0005 (-29%)	0,0005 (-29%)	0,0005 (-29%)
		po czyszczeniu			0,0023 (229%)	0,0012 (71%)	0,0006 (-14%)	0,0018 (157%)
Mineralny	Baranek	przed czyszczeniem	0,0023	0,0011 (-52,17%)	0,0008 (-65%)	0,0007 (-70%)	0,0007 (-70%)	0,0008 (-65%)
		po czyszczeniu			0,0036 (57%)	0,0022 (-4%)	0,0016 (-30%)	0,0030 (30%)
	Kornik	przed czyszczeniem	0,0016	0,0010 (-37,5%)	0,0012 (-25%)	0,0010 (-38%)	0,0009 (-44%)	0,0011 (-31%)
		po czyszczeniu			0,0036 (125%)	0,0029 (81%)	0,0027 (69%)	0,0030 (88%)
Silikatowy	Baranek	przed czyszczeniem	0,0022	0,0017 (-22,73%)	0,0008 (-64%)	0,0007 (-68%)	0,0008 (-64%)	0,0007 (-68%)
		po czyszczeniu			0,0039 (77%)	0,0023 (5%)	0,0015 (-32%)	0,0032 (45%)
	Kornik	przed czyszczeniem	0,0023	0,0019 (-17,39%)	0,0007 (-70%)	0,0008 (-65%)	0,0008 (-65%)	0,0008 (-65%)
		po czyszczeniu			0,0044 (91%)	0,0024 (4%)	0,0014 (-39%)	0,0034 (48%)
Silikonowy	Baranek	przed czyszczeniem	0,0012	0,0009 (-25%)	0,0008 (-33%)	0,0007 (-42%)	0,0007 (-42%)	0,0007 (-42%)
		po czyszczeniu			0,0032 (167%)	0,0030 (150%)	0,0028 (133%)	0,0031 (158%)
	Kornik	przed czyszczeniem	0,0011	0,0006 (-45,45%)	0,0004 (-64%)	0,0004 (-64%)	0,0005 (-55%)	0,0004 (-64%)
		po czyszczeniu			0,0024 (118%)	0,0019 (73%)	0,0018 (-84%)	0,0021 (91%)

6.4. STAN WILGOTNOŚCIOWY MATERIAŁU TERMOIZOLACYJNEGO POD WYPRAWĄ TYNKARSKĄ

6.4.1. Wyniki badań laboratoryjnych

Wyniki wilgotności masowej i objętościowej materiału izolacyjnego zostały wyznaczone jako częściowe wilgotności próbek i zastawione w tabeli 51 i 52.

Tabela 51. Wilgotność próbek o fakturze baranek

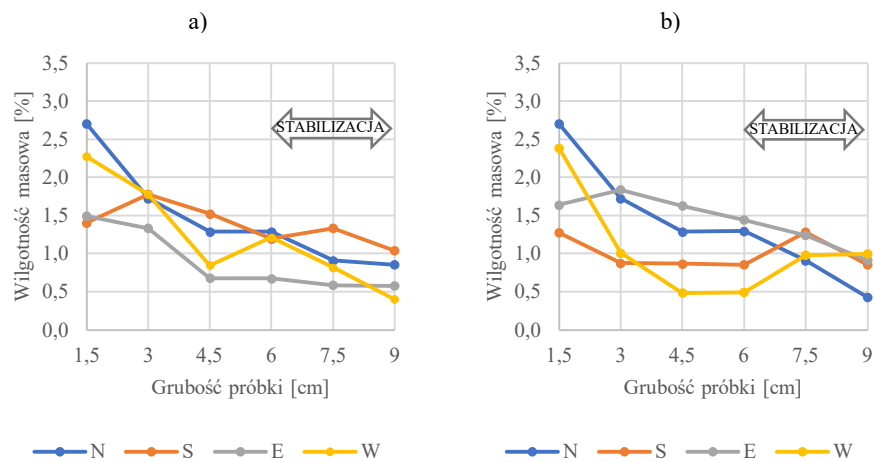
Tynk	Grubość próbki [cm]	Masa m [g]	Masa m_0 [g]	Wilgotność							
				Masowa [%]				Objętościowa [%]			
				N	S	E	W	N	S	E	W
Akrylowy	0	89,77	87,21	2,935	0,448	0,897	1,034	1,707	0,260	0,573	0,453
	1,5	2,28	2,22	2,703	1,402	1,493	3,279	0,040	0,020	0,013	0,040
	3	2,36	2,32	1,724	1,778	1,333	1,778	0,027	0,027	0,013	0,027
	4,5	2,36	2,33	1,288	2,222	0,676	0,844	0,020	0,033	0,007	0,013
	6	2,36	2,33	1,288	2,193	0,671	1,210	0,020	0,033	0,007	0,020
	7,5	2,22	2,2	0,909	1,333	0,585	0,816	0,013	0,020	0,007	0,013
	9	2,35	2,33	0,858	0,437	0,575	0,398	0,013	0,007	0,007	0,007
Mineralny	0	102,2	99,58	2,631	0,333	0,225	0,828	1,747	0,200	0,147	0,567
	1,5	2,2	2,15	2,326	1,053	0,680	2,484	0,033	0,013	0,007	0,027
	3	2,18	2,14	1,869	1,843	0,610	2,235	0,027	0,027	0,007	0,027
	4,5	2,3	2,26	1,770	1,794	0,602	1,685	0,027	0,027	0,007	0,020
	6	2,45	2,41	1,660	2,212	0,526	1,648	0,027	0,033	0,007	0,020
	7,5	2,51	2,47	1,619	2,222	0,500	0,962	0,027	0,033	0,007	0,013
	9	2,52	2,48	1,613	1,786	0,498	0,948	0,027	0,027	0,007	0,013
Silikatowy	0	86,04	84,54	1,774	0,258	0,232	0,621	1,000	0,133	0,120	0,380
	1,5	2,34	2,3	1,739	1,515	0,855	0,813	0,027	0,020	0,007	0,007
	3	2,37	2,34	1,282	1,456	0,746	0,820	0,020	0,020	0,007	0,007
	4,5	2,3	2,28	0,877	1,333	0,752	0,826	0,013	0,020	0,007	0,007
	6	2,33	2,31	0,866	1,288	0,671	0,000	0,013	0,020	0,007	0,000
	7,5	2,18	2,17	0,461	0,905	0,658	0,000	0,007	0,013	0,007	0,000
	9	2,25	2,24	0,446	0,823	0,667	0,000	0,007	0,013	0,007	0,000
Silikonowy	0	82,72	81,14	1,947	0,265	0,209	0,209	1,053	0,147	0,107	0,107
	1,5	2,14	2,1	1,905	1,485	0,714	0,714	0,027	0,020	0,007	0,007
	3	2,25	2,21	1,810	1,322	0,637	0,637	0,027	0,020	0,007	0,007
	4,5	2,25	2,23	0,897	0,893	0,654	0,654	0,013	0,013	0,007	0,007
	6	2,31	2,29	0,873	0,885	0,621	0,621	0,013	0,013	0,007	0,007
	7,5	2,35	2,33	0,858	0,897	0,465	0,465	0,013	0,013	0,007	0,007
	9	2,36	2,34	0,855	0,935	0,418	0,418	0,013	0,013	0,007	0,007

Tabela 52. Wilgotność próbek o fakturze kornik

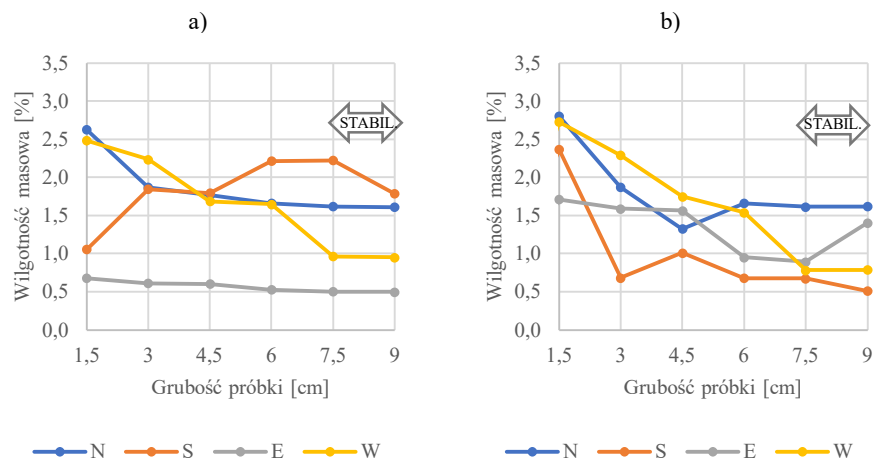
Tynk	Gru- bość próbki [cm]	Masa <i>m</i> [g]	Masa <i>m</i> ₀ [g]	Wilgotność							
				Masowa [%]				Objętościowa [%]			
				N	S	E	W	N	S	E	W
Akrylowy	0	88,96	87,21	2,007	0,254	0,838	0,659	1,167	0,133	0,447	0,440
	1,5	2,28	2,22	2,703	2,381	1,639	1,274	0,040	0,033	0,013	0,013
	3	2,36	2,32	1,724	0,873	2,439	1,010	0,027	0,013	0,020	0,013
	4,5	2,36	2,33	1,288	0,866	1,626	0,488	0,020	0,013	0,013	0,007
	6	2,35	2,32	1,293	0,855	1,942	0,493	0,020	0,013	0,013	0,007
	7,5	2,22	2,2	0,909	1,282	2,239	0,980	0,013	0,020	0,020	0,013
	9	2,34	2,33	0,429	0,855	0,913	0,995	0,007	0,013	0,013	0,013
Mineralny	0	102,2	99,65	2,559	0,386	0,287	0,395	1,700	0,240	0,153	0,193
	1,5	2,2	2,14	2,804	3,371	1,714	2,727	0,040	0,060	0,020	0,020
	3	2,18	2,14	1,869	0,680	1,587	2,290	0,027	0,013	0,020	0,020
	4,5	2,3	2,27	1,322	1,007	1,563	0,746	0,020	0,020	0,020	0,007
	6	2,45	2,41	1,660	0,676	0,948	1,538	0,027	0,013	0,013	0,013
	7,5	2,52	2,48	1,613	0,671	0,893	0,781	0,027	0,013	0,013	0,007
	9	2,51	2,47	1,619	0,000	1,402	0,787	0,027	0,000	0,020	0,007
Silikatowy	0	86,04	84,54	1,774	0,279	0,256	0,346	1,000	0,147	0,107	0,147
	1,5	2,34	2,28	2,632	2,058	1,923	0,433	0,040	0,033	0,020	0,007
	3	2,37	2,34	1,282	2,490	1,695	0,758	0,020	0,040	0,020	0,007
	4,5	2,3	2,28	0,877	1,569	1,105	1,515	0,013	0,027	0,013	0,013
	6	2,33	2,31	0,866	2,381	1,657	1,504	0,013	0,040	0,020	0,013
	7,5	2,25	2,23	0,897	1,544	0,505	2,069	0,013	0,027	0,007	0,020
	9	2,18	2,17	0,461	0,772	0,990	2,581	0,007	0,013	0,013	0,027
Silikonowy	0	82,72	81,14	1,947	0,471	0,389	0,540	1,053	0,407	0,280	0,373
	1,5	2,14	2,1	1,905	0,855	2,283	2,479	0,027	0,013	0,033	0,020
	3	2,25	2,21	1,810	0,763	2,083	1,460	0,027	0,013	0,033	0,013
	4,5	2,25	2,23	0,897	0,379	1,674	2,128	0,013	0,007	0,027	0,020
	6	2,31	2,29	0,873	0,376	2,008	2,083	0,013	0,007	0,033	0,020
	7,5	2,36	2,34	0,855	0,377	1,266	1,754	0,013	0,007	0,020	0,020
	9	2,36	2,34	0,855	0,369	0,855	1,258	0,013	0,007	0,013	0,013

Na podstawie badań przeprowadzonych dla pobranych próbek z stanowiska poligonowego wyznaczono wykresy przedstawiające zmiany wilgotności w głąb systemu ociepleniowego (rys. 86 – 89).

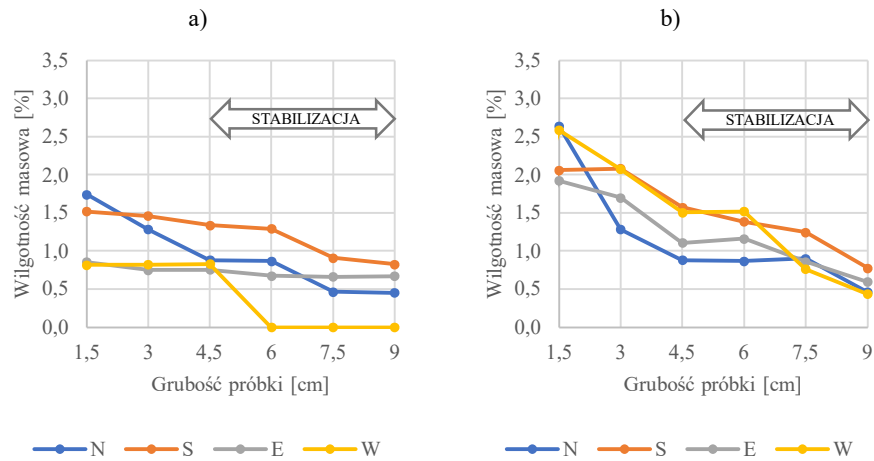
W przypadku elewacji północnej wilgotność masowa izolacji znajdującej się pod powłoką tynkarską (rys. 90a), jest prawie dwukrotnie wyższa niż elewacji południowej (rys. 90c). Natomiast maleje w głąb warstwy ociepleniowej. W obu wariantach faktury: baranek i kornik, tendencja jest taka sama. Analizując elewację wschodnią (rys. 90b) i zachodnią (rys. 90d), można zauważyć, że wilgotność masowa izolacji pod wyprawą tynkarską jest porównywalna dla obu orientacji i maleje w głąb systemu ociepleniowego.



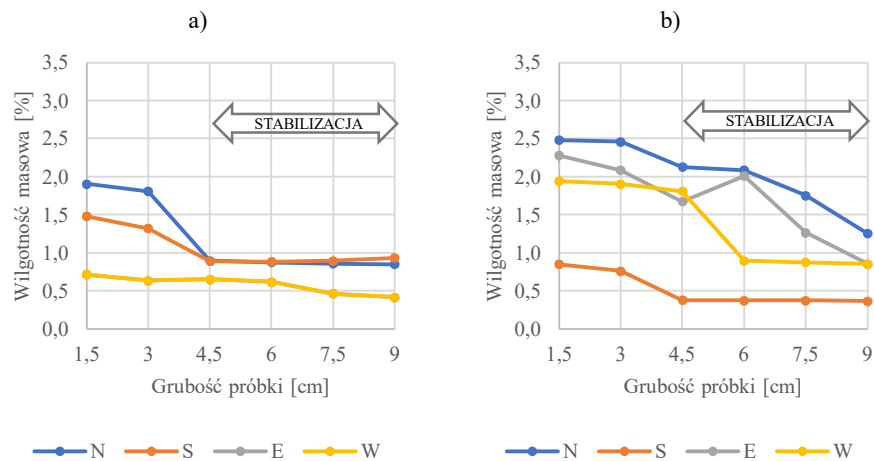
Rysunek 86. Wilgotność masowa dla próbek tynku akrylowego o fakturze: a) baranka, b) kornik



Rysunek 87. Wilgotność masowa dla próbek tynku mineralnego o fakturze: a) baranka, b) kornik



Rysunek 88. Wilgotność masowa dla próbek tynku silikatowego o fakturze: a) baranka, b) kornik

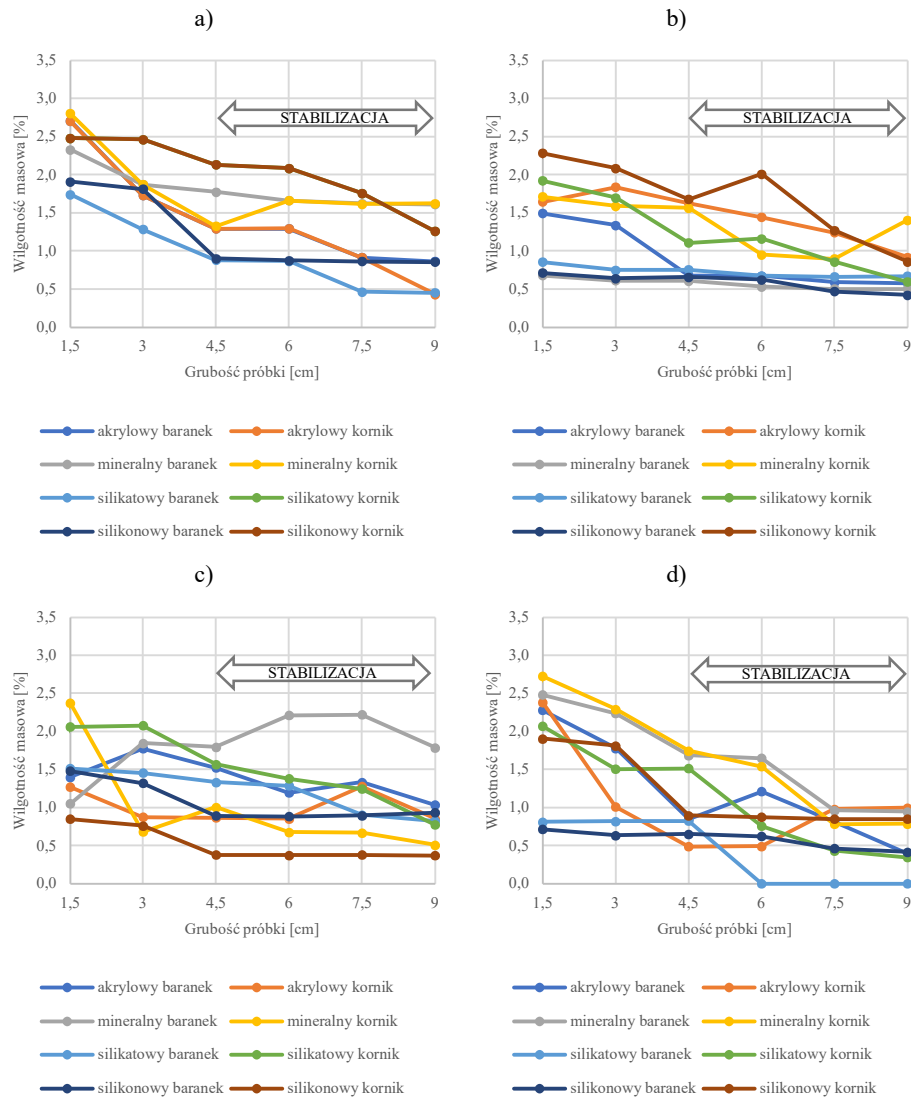


Rysunek 89. Wilgotność masowa dla próbek tynku silikonowego o fakturze: a) baranek, b) kornik

Rozkład wilgotności masowej materiału izolacyjnego pod tynkiem akrylowym zaczyna się stabilizować na około 6 cm głębokości styropianu. W przypadku wilgotności masowej termoizolacji pod tynkiem mineralnym stabilizacja następuje na głębokości 7,5 cm, pod tynkiem silikatowym i silikonowym na głębokości ok. 4,5 cm. Tendencja jest taka sama w obu wariantach fakturowych.

Porównując rodzaje tynków zorientowane w tym samym kierunku świata, można zauważyć, że w przypadku orientacji północnej i zachodniej materiał termoizolacyjny pod tynkiem mineralnym charakteryzuje się najwyższą wilgotnością masową w stosunku do pozostałych tynków (rys. 90). Stabilizacja poziomu zawilgocenia styropianu jest uzależniona od rodzaju zewnętrznej wyprawy tynkarskiej. Zawilgocenie styropianu w przypadku elewacji wschodniej i południowej pod powierzchnią tynku jest niższe,

niż w przypadku elewacji północnej i zachodniej, a sam materiał izolacyjny wykazuje się proporcjonalnie równomiernym rozkładem wilgoci w głąb systemu.



Rysunek 90. Wilgotność masowa dla próbek tynku o orientacji: a) północnej, b) wschodniej, c) południowej, d) zachodniej

W przypadku wszystkich murów badawczych, niezależnie od orientacji wyprawy tynkarskiej względem stron świata, stały poziom wilgotności został uzyskany na głębokości 4,5 cm warstwy izolacyjnej pod powierzchnią tynku. Stabilizacja na kierunku północnym występuje na poziomie wilgotności masowej w zakresie 1 – 2%, inaczej niż w przypadku pozostałych orientacji 0,5 – 1,5%.

6.4.2. Podsumowanie analiz

Zmiany wilgotności styropianu wpływają na przewodność cieplną. Wilgotności styropianu pod powłoką z tynków cienkowarstwowych jest zależna od orientacji względem stron świata - występuje kumulowanie wilgoci w styropianie mające istotny wpływ na wartość oporu cieplnego. Wpływ wilgotności materiału izolacyjnego na wartość oporu cieplnego przedstawiona na rys. 91 – 94.

Deklarowaną wartość przewodności cieplnej styropianu przyjęto na podstawie badań producenta - dla EPS70-042 $\lambda_D = 0,042$ W/mK. Wartość oporu cieplnego dla styropianu deklarowana przez producenta: $R_D = 3,57$ [m²K/W].

Dla każdego paska próbki wyznaczono cząstkowy opór cieplny stosując wartość obliczeniową przewodności cieplnej, otrzymaną przez konwersję z uwagi na wilgotność, zgodnie z procedurą PN EN ISO 10456[1], przy założeniach: $\lambda_D = 0,042$ W/mK, $f_\Psi = 4$, $\Psi_1 = 0$ według wzoru:

$$\lambda_\Psi = 0,042 \cdot e^{4 \cdot \Psi_2} \quad (20)$$

gdzie:

λ_Ψ – wartość współczynnika przewodzenia ciepła przy wilgotności Ψ ,

Ψ_2 – objętościowa zawartość wilgoci dla próbek ze stanowiska badawczego.

Sumaryczny opór cieplny warstwy styropianu pod systemem ETICS stanowi sumę cząstkowych oporów pasków próbki:

$$R_\Psi = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_{\Psi_i}} \quad (21)$$

gdzie:

d_i – grubość paska próbki [m],

λ_{Ψ_i} – wartość współczynnika przewodzenia ciepła styropianu w pasku „i”, przy wilgotności objętościowej Ψ_i [W/mK].

Wyniki oporu cieplnego zestawiono w tabeli 53. Obliczenia szczegółowe w załączniku do niniejszej pracy w tabelach 9 – 16.

Wartość oporu cieplnego R_Ψ materiału izolacyjnego pobranego z orientacji północnej ściany badawczej nr 2 – faktura baranek, zmniejszył się w stosunku do wartości deklarowanej – $R_D = 3,57$ [m²K/W]. Próbki poligonowe, przy uwzględnieniu wpływu wilgotności materiału izolacyjnego wykazują się mniejszym oporem cieplnym, niż próbki wyjściowe. Kolejno wartości oporu uzyskano dla próbki pod tynkiem: silikatowym - $R_\Psi = 3,412$ [m²K/W], silikonowym - $R_\Psi = 3,354$ [m²K/W], akrylowym - $R_\Psi = 3,319$ [m²K/W] oraz najmniejsza wartość dla mineralnego - $R_\Psi = 3,412$ [m²K/W].

Wartość oporu cieplnego R_Ψ materiału izolacyjnego pobranego z orientacji południowej ściany badawczej nr 2 – faktura baranek, zmniejszył się w stosunku do wartości deklarowanej – $R_D = 3,57$ [m²K/W]. Próbki poligonowe, przy uwzględnieniu wpływu wilgotności materiału izolacyjnego wykazują się mniejszym oporem cieplnym, niż próbki wyjściowe. Kolejno wartości oporu uzyskano dla próbki pod tynkiem: silikonowym - $R_\Psi = 3,372$ [m²K/W], silikatowym - $R_\Psi = 3,353$ [m²K/W], akrylowym - $R_\Psi = 3,342$ [m²K/W] oraz najmniejsza wartość dla mineralnego - $R_\Psi = 3,209$ [m²K/W].

Tabela 53. Opór izolacji cieplnej dla badanych tynków (procentowy spadek oporu materiału izolacyjnego w stosunku do próbki wyjściowej)

Rodzaj tynku	Faktura	Opór warstwy izolacyjnej R_{ψ} [m ² K/W]			
		N	E	S	W
Akrylowy	Baranek	3,319 (7,0%)	3,456 (3,2%)	3,342 (6,4%)	3,456 (5,6%)
	Kornik	3,36 (5,9%)	3,372 (5,5%)	3,355 (6,0%)	3,407 (4,6%)
Mineralny	Baranek	3,198 (10,4%)	3,473 (2,7%)	3,335 (6,6%)	3,209 (10,1%)
	Kornik	3,202 (10,3%)	3,429 (3,9%)	3,413 (4,4%)	3,316 (7,1%)
Silikatowy	Baranek	3,412 (4,4%)	3,542 (0,8%)	3,53 (1,1%)	3,473 (2,7%)
	Kornik	3,258 (8,7%)	3,371 (5,6%)	3,388 (5,1%)	3,305 (7,4%)
Silikonowy	Baranek	3,354 (6,1%)	3,473 (2,7%)	3,473 (2,7%)	3,372 (5,5%)
	Kornik	3,284 (8,0%)	3,351 (6,1%)	3,456 (3,2%)	3,353 (6,1%)

Wartość oporu cieplnego R_{ψ} materiału izolacyjnego pobranego z orientacji wschodniej ściany badawczej nr 4 – faktura baranek, zmniejszył się w stosunku do wartości deklarowanej – $R_D = 3,57$ [m²K/W]. Próbki poligonowe, przy uwzględnieniu wpływu wilgotności materiału izolacyjnego wykazują się mniejszym oporem cieplnym, niż próbki wyjściowe. Wartości oporu badanych próbek są zbliżone i odpowiednio wynoszą: dla tynku mineralnego, silikatowego i silikonowego $R_{\psi} = 3,473$ [m²K/W] oraz dla akrylowego - $R_{\psi} = 3,456$ [m²K/W].

Wartość oporu cieplnego R_{ψ} materiału izolacyjnego pobranego z orientacji zachodniej ściany badawczej nr 4 – faktura baranek, zmniejszył się w stosunku do wartości deklarowanej – $R_D = 3,57$ [m²K/W]. Próbki poligonowe, przy uwzględnieniu wpływu wilgotności materiału izolacyjnego wykazują się mniejszym oporem cieplnym, niż próbki wyjściowe. Kolejno wartości oporu uzyskano dla próbki pod tynkiem: silikatowym - $R_{\psi} = 3,542$ [m²K/W], silikonowym - $R_{\psi} = 3,473$ [m²K/W], akrylowym - $R_{\psi} = 3,369$ [m²K/W] oraz najmniejsza wartość dla mineralnego - $R_{\psi} = 3,335$ [m²K/W].

Wartość oporu cieplnego R_{ψ} materiału izolacyjnego pobranego z orientacji północnej ściany badawczej nr 1 – faktura kornik, zmniejszył się w stosunku do wartości deklarowanej – $R_D = 3,57$ [m²K/W]. Próbki poligonowe, przy uwzględnieniu wpływu wilgotności materiału izolacyjnego wykazują się mniejszym oporem cieplnym, niż próbki wyjściowe. Kolejno wartości oporu uzyskano dla próbki pod tynkiem: silikatowym - $R_{\psi} = 3,388$ [m²K/W], akrylowym - $R_{\psi} = 3,360$ [m²K/W], silikonowym - $R_{\psi} = 3,351$ [m²K/W] oraz najmniejsza wartość dla mineralnego - $R_{\psi} = 3,202$ [m²K/W].

Wartość oporu cieplnego R_{ψ} materiału izolacyjnego pobranego z orientacji południowej ściany badawczej nr 1 – faktura kornik, zmniejszył się w stosunku do wartości deklarowanej – $R_D = 3,57$ [m²K/W]. Próbki poligonowe, przy uwzględnieniu wpływu wilgotności materiału izolacyjnego wykazują się mniejszym oporem cieplnym, niż próbki

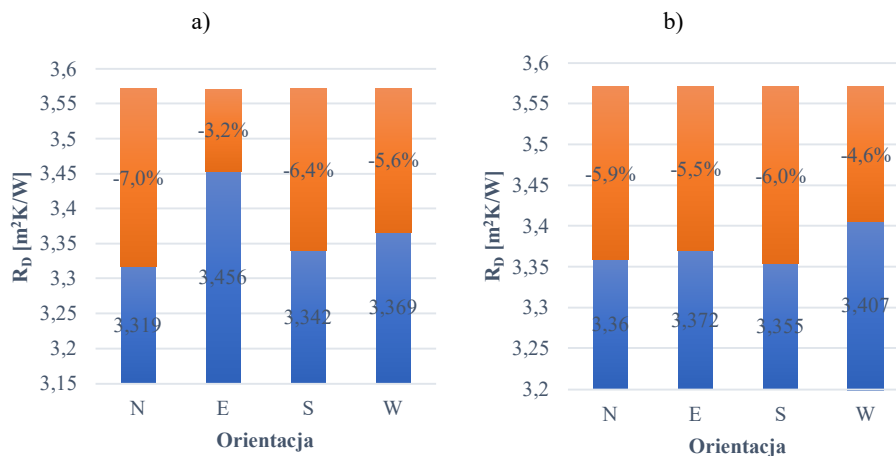
wyjściowe. Kolejno wartości oporu uzyskano dla próbek pod tynkiem: silikonowym - $R_{\psi} = 3,456$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$], mineralnym - $R_{\psi} = 3,413$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$], akrylowym - $R_{\psi} = 3,355$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] oraz dla silikatowego - $R_{\psi} = 3,258$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$].

Wartość oporu cieplnego R_{ψ} materiału izolacyjnego pobranego z orientacji wschodniej ściany badawczej nr 3 – faktura kornik, zmniejszył się w stosunku do wartości deklarowanej – $R_D = 3,57$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]. Próbki poligonowe, przy uwzględnieniu wpływu wilgotności materiału izolacyjnego wykazują się mniejszym oporem cieplnym, niż próbki wyjściowe. Kolejno wartości oporu uzyskano dla próbek pod tynkiem: akrylowym - $R_{\psi} = 3,372$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$], silikatowym - $R_{\psi} = 3,371$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$], mineralnym - $R_{\psi} = 3,316$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] oraz dla silikonowego - $R_{\psi} = 3,284$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$].

Wartość oporu cieplnego R_{ψ} materiału izolacyjnego pobranego z orientacji zachodniej ściany badawczej nr 3 – faktura kornik, zmniejszył się w stosunku do wartości deklarowanej – $R_D = 3,57$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]. Próbki poligonowe, przy uwzględnieniu wpływu wilgotności materiału izolacyjnego wykazują się mniejszym oporem cieplnym, niż próbki wyjściowe. Kolejno wartości oporu uzyskano dla próbek pod tynkiem: mineralnym - $R_{\psi} = 3,429$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$], akrylowym - $R_{\psi} = 3,404$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$], silikonowym - $R_{\psi} = 3,353$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] oraz dla silikatowego - $R_{\psi} = 3,303$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$].

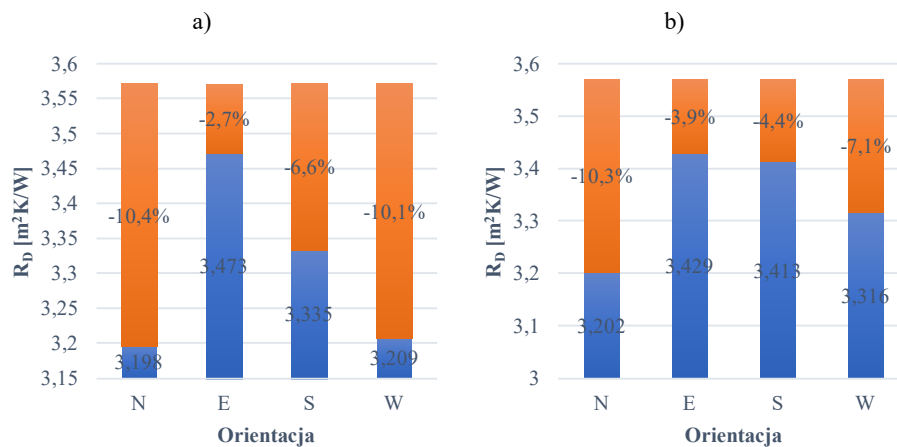
W wyniku oceny stanu wilgotnościowego styropianu znajdującego się pod wyprawą tynkarską na stanowisku poligonowym dokonano analizy rzeczywistej izolacyjności termicznej materiału izolacyjnego (rys. 91 – 94). Deklarowana wartość oporu cieplnego dla styropianu na podstawie danych producenta wynosiła $R_D = 3,57$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$].

Oceniając wpływ wilgotności materiału izolacyjnego na opór cieplny w przypadku tynku akrylowego największe straty oporu styropianu wykazują próbki z orientacji północnej o fakturze baranka – 7,0%, odpowiednio kornik – 5,9%. Straty oporu dla pozostałych orientacji są zbliżone i w przypadku elewacji południowej dla baranka – 6,4%, a kornik – 6,0%. Elewacja zachodnia wykazuje straty dla próbek baranka – 5,6%, a dla kornika – 4,6%. Dla elewacji wschodniej wyznaczono obniżenie oporu cieplnego izolacji o 3,2% dla faktury baranek oraz 5,5% dla faktury kornik (rys. 91).



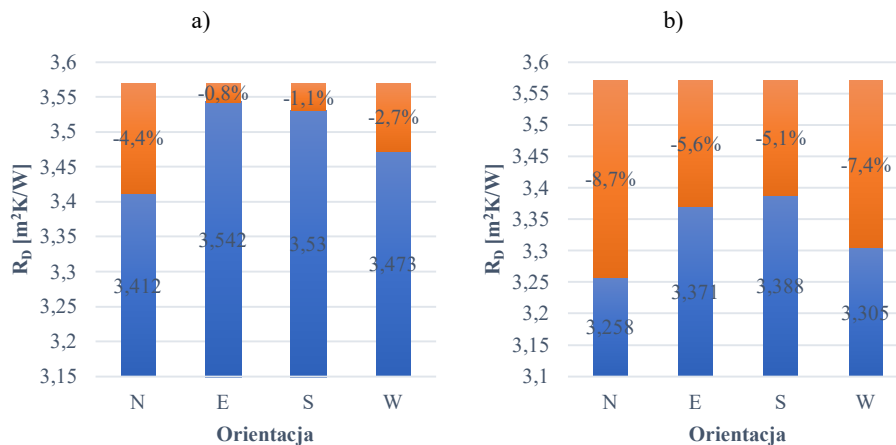
Rysunek 91. Wpływ wilgotności styropianu na opór cieplny dla tynku akrylowego: a) baranek, b) kornik

Tynk mineralny w obu wariantach faktury charakteryzuje się największym wpływem wilgotności materiału izolacyjnego na opór cieplny – 10,4 % dla baranka, odpowiednio kornik – 10,3%. W przypadku elewacji południowej straty oporu cieplnego wynoszą dla baranka – 6,6%, a kornik – 4,4%. Elewacja zachodnia wykazuje straty dla próbek baranka – 10,1%, a dla kornika – 7,1%. Dla elewacji wschodniej wyznaczono obniżenie oporu cieplnego izolacji o 2,7 % dla faktury baranek oraz 3,9% dla faktury kornik (rys. 92).



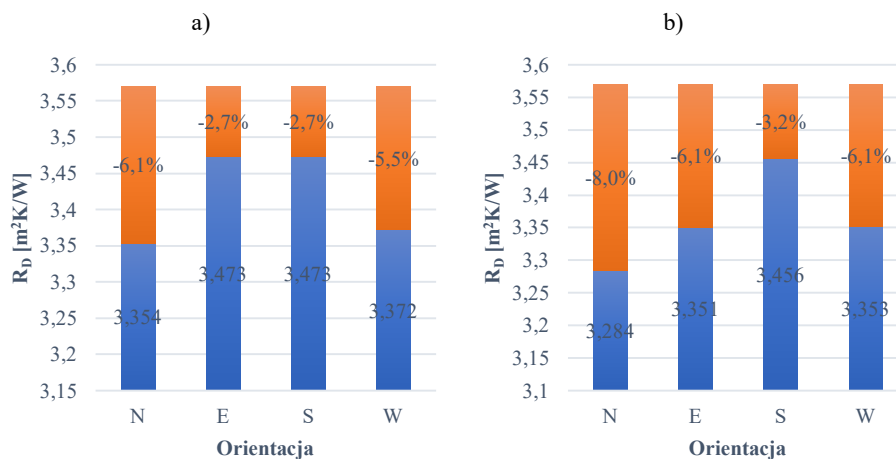
Rysunek 92. Wpływ wilgotności styropianu na opór cieplny dla tynku mineralnego: a) baranek, b) kornik

Oceniając wpływ wilgotności materiału izolacyjnego na opór cieplny w przypadku tynku silikatowego największe straty oporu styropianu dla faktury baranek próbki o orientacji północnej – 4,4%, odpowiednio kornik w tej samej orientacji – 8,7%. Straty oporu dla pozostałych orientacji wynoszą: w przypadku elewacji południowej dla baranka – 1,1%, a kornik – 5,1%. Elewacja zachodnia wykazuje straty dla próbek baranka – 2,7%, a dla kornika – 7,4%. Dla elewacji wschodniej wyznaczono obniżenie oporu cieplnego izolacji o 0,8% dla faktury baranek oraz 5,6% dla faktury kornik (rys. 93).



Rysunek 93. Wpływ wilgotności styropianu na opór cieplny dla tynku silikatowego: a) baranek, b) kornik

Oceniając wpływ wilgotności materiału izolacyjnego na opór cieplny w przypadku tynku silikonowego największe straty oporu styropianu dla faktury baranek próbki o orientacji północnej – 6,1%, odpowiednio kornik w tej samej orientacji – 8,0%. Straty oporu dla pozostałych orientacji wynoszą: w przypadku elewacji południowej dla baranka – 2,7%, a kornik – 3,2%. Elewacja zachodnia wykazuje straty dla próbek baranka – 5,5%, a dla kornika – 6,1%. Dla elewacji wschodniej wyznaczono obniżenie oporu cieplnego izolacji o 2,7% dla faktury baranek oraz 6,1% dla faktury kornik (rys.94).



Rysunek 94. Wpływ wilgotności styropianu na opór cieplny dla tynku silikonowego: a) baranek, b) kornik

7. ZAKOŃCZENIE

7.1. PODSUMOWANIE

Celem pracy była analiza zmian zachodzących w cienkowarstwowych wyprawach tynkarskich pod wpływem długotrwałego oddziaływania środowiska zewnętrznego i ich wpływ na podstawowe właściwości systemu ETICS. Prowadzenie długotrwałych badań, pozwoliło na identyfikację zjawisk zachodzących na powierzchni i w strukturze tynku. Udowodnienie postawionych tez wymagało rozpoznania stanu wiedzy, wykonania badań na stanowisku poligonowym oraz opracowania indywidualnych procedur dla zaplanowanych badań eksperymentalnych. W pracy wydzielono dwie podstawowe części: teoretyczną i doświadczalną obejmującą badania laboratoryjne i poligonowe na stanowisku *in situ*, których wyniki pozwoliły na określenie wpływu długotrwałego oddziaływania środowiska.

W części teoretycznej scharakteryzowano system ETICS. Opisano zjawisko pogorszenia jakości estetycznej elewacji w wyniku biokorozji. Skomentowano podejście specyfikacji technicznej EAD 040083-00-0404 do trwałości systemów ETICS i skonfrontowano je z wytycznymi literaturowymi. Sklasyfikowano czynniki warunkujące wzrost biokorozji oraz ich interakcje z transportem ciepła i wilgoci przez struktury budynku.

W części doświadczalnej opisano wyniki badań własnych dla systemów elewacyjnych bazujących na 4 różnych tynkach cienkowarstwowych (akrylowy, mineralny, siliikatowy i silikonowy). W ramach pracy wykonano własne laboratoryjne badania 192 próbek elementów składowych systemu ETICS, 154 próbek zespolonych, 40 próbek do oceny stopnia skażenia biologicznego i 48 próbek do badań mikrostruktury. Na potrzeby analizy zmian zachodzących w cienkowarstwowych wyprawach tynkarskich opracowano własną metodę badania mrozoodporności z wykorzystaniem próbek laboratoryjnych. Próbkę przygotowane zgodnie z specyfikacją systemu ETICS na warstwie izolacyjnej ze styropianu o grubości 2cm, poddane procesowi przyspieszonego starzenia według ustalonego procesu cyklicznego zamrażania-rozmrażania. Liczba cykli zamrażania i rozmrażania w badaniu laboratoryjnym odpowiadała zarejestrowanej liczbie przejść przez 0°C w okresie funkcjonowania stanowiska poligonowego (6 lat).

Kluczowym elementem badań doświadczalnych są 6-letnie obserwacje i testy prowadzone na zrealizowanym przez autorkę stanowisku poligonowym. Analizie poddano 4 rodzaje tynków w dwóch wariantach fakturowych, zorientowane w kierunku północnym, południowym, wschodnim i zachodnim. Widoczny nieuzbrojonym okiem biofilm pojawił się już po 2 latach i rozwijał się przez kolejne 4 lata. Analizie poddano estetykę powierzchni wypraw tynkarskich przez pomiar stopnia skażenia biologicznego tynków, zmiany mikrostruktury tynków określone metodą porozymetrii rtęciowej, absorpcję kapilarną warstwy zewnętrznej oraz jej wpływ na izolacyjność cieplną systemu. Oceniono parametry mikrostruktury, takie jak wodochłonność tynków i rozkład porowatości – wydzielono zakresy wielkości porów wrażliwych na korozję mrozową i przepływ kapilarny.

W polskim normowaniu nie ma opisanej metody badania mrozoodporności tynków cienkowarstwowych. W związku z tym opracowano własną metodę, która uwzględniała zawilgocenie tynków uzyskiwane w wyniku powierzchniowej absorpcji wody oraz rzeczywistą liczbę cykli przejścia przez 0°C występujących w okresie funkcjonowania stanowiska.

7.2. WNIOSKI

Przeprowadzone badania mikroskopowe powierzchni tynków, funkcjonującym przez okres 6 lat stanowisku poligonowym wykazały, że skażenie biologiczne względem wszystkich stron świata pojawia się na tynku mineralnym i silikonowym. Największy stopień zainfekowania występuje na orientacji północnej, a w dalszej kolejności: na orientacji zachodniej, wschodniej i południowej. W przypadku tynku akrylowego i silikatowego największe skażenie również występuje na elewacji północnej i zachodniej, na dwóch pozostałych jest znikome, bądź w zależności od faktury nie występuje. Dla wszystkich analizowanych tynków cienkowarstwowych, niezależnie od kierunków świata poziom zainfekowania powierzchni o fakturze baranek jest wyższy niż dla faktury kornik. Wyniki badań wskazują, że intensywność biokorozji na powierzchni wypraw tynkarskich jest uzależniona od rodzaju tynku, jego faktury i orientacji względem stron świata, czym udowodniono tezę pierwszą.

Badania mikrostruktury wykazały, że porowatość ogólna tynków po 80 laboratoryjnych cyklach zamrażania i rozmrażania wzrosła. Dla tynków funkcjonujących na stanowisku poligonowym zmiany porowatości są uzależnione od rodzaju tynku i orientacji względem stron świata. Największym wzrostem porowatości charakteryzują się próbki z orientacji północnej. Drugą pod względem zmian porowatości ogólnej jest orientacja zachodnia. Dla każdej z analizowanych grup próbek – próbki wyjściowe, próbki poddane zamrażaniu i rozmrażaniu oraz próbki poligonowe pobrane z wszystkich orientacji świata, największą porowatością ogólną charakteryzuje się tynk mineralny.

Długotrwałe funkcjonowanie tynków w środowisku zewnętrznym wywołało zmiany we wszystkich analizowanych próbkach tynków w zakresie udziału porów odpowiedzialnych za transport kapilarny, które uzależnione są od rodzaju wyprawy tynkarskiej oraz jej orientacji względem stron świata. W stosunku do próbek wyjściowych, próbki tynku z stanowiska poligonowego charakteryzują się wyższym udziałem porów odpowiedzialnych za transport kapilarny. Tendencja ta jest zachowana dla wszystkich orientacji. Najwyższym wzrostem udziału porów kapilarnych charakteryzują się próbki z orientacji północnej, przy czym największe udziały wykazują tynk mineralny i silikatowy.

Zrealizowane badania w zakresie mikrostruktury wskazują, że nie wszystkie tynki charakteryzują się zmianami udziału porów odpowiedzialnych za mrozoodporność w wyniku długotrwałego oddziaływania środowiska zewnętrznego. Należy zwrócić uwagę, że parametrami określającymi występujące zmiany są rodzaj wyprawy tynkarskiej oraz jej orientacja. Tynkami podatnymi na zmiany mikrostruktury w zakresie mrozoodporności są tynk akrylowy i mineralny. Długotrwałe funkcjonowanie tych tynków w środowisku zewnętrznym powoduje wzrost udziału porów odpowiedzialnych za mrozoodporność. Należy podkreślić, że w literaturze tematu wyszczególniono zakres porowatości odpowiedzialny za mrozoodporność tynków od 100nm do 1000nm. Z uwagi na brak danych dotyczących tynków cienkowarstwowych taki zakres został przyjęty do analiz. W wyniku badań własnych ustalono, że zarówno cykliczne zamrażanie-odmrażanie jak i funkcjonowanie tynku w naturalnym środowisku wprowadziło zmiany w węższym zakresie średnic: od 300 do 1000nm. Proponuje się korektę zakresu średnic odpowiedzialnych za mrozoodporność w tynkach cienkowarstwowych w zakresie od 300 do 1000nm. Analiza rozkładu porów odpowiedzialnych za kapilarność potwierdza, że przyjęty z literatury zakres jest odpowiedni dla tynków cienkowarstwowych.

Długotrwałe funkcjonowanie tynków w środowisku zewnętrznym spowodowało zmiany dla wszystkich tynków w zakresie porowatości i udziału porów odpowiedzialnych za transport kapilarny, co przełożyło się na absorpcję wody. Natomiast zmiany w zakresie porów odpowiedzialnych za mrozoodporność wykazał tylko tynk akrylowy i mineralny.

Porównując badania laboratoryjne absorpcji z próbkami terenowymi poddanym czyszczeniu należy zauważyć, że poza usunięciem mikroorganizmów proces czyszczenia narusza płaszczyznę wyprawy tynkarskiej zmieniając jej właściwości kapilarne. Nasiąkliwość jest kilkukrotnie wyższa niż dla powierzchni nie czyszczonych. Znalazło to potwierdzenie w badaniach mikroskopowych, gdzie widoczne są odsłonięte ziarna kruszywa i odspojenia. Szczegółowa analiza próbek wyczyszczonych z biofilmu wykazała, że najwyższą wartością współczynnika absorpcji wody charakteryzują się tynk mineralny i tynk silikatowy. Zależność utrzymuje się dla wszystkich kierunków świata. Biorąc pod uwagę orientację wypraw tynkarskich współczynnik absorpcji jest największy dla próbek pochodzących z orientacji północnej stanowiska poligonowego, drugim jest orientacja zachodnia. Zmiany współczynnika absorpcji pokrywają się z wcześniej wykazanymi zależnościami dla intensywności biokorozji oraz zmian mikrostruktury. Potwierdza to tezę, że długotrwałe funkcjonowanie tynków cienkowarstwowych w środowisku zewnętrznym powoduje zmiany w ich mikrostrukturze, które przekładają się na właściwości wilgotnościowe i ich mrozoodporność.

Wilgotność styropianu pod powłoką z tynków cienkowarstwowych jest zależna od:

1. Orientacji względem stron świata - występuje kumulowanie wilgoci w styropianie, które dla orientacji północnej jest wyższe niż dla orientacji południowej. Najwyższa wilgotność występuje w warstwie pod tynkiem. Wartość wilgotności maleje, żeby osiągnąć stabilizację na tej samej głębokości materiału izolacyjnego wynoszącej dla każdego rodzaju tynku 4,5cm od powierzchni wyprawy. Podobną tendencję, ale o mniejszej intensywności stwierdzono w przypadku materiału pochodzącego z elewacji zachodniej i wschodniej. Faktura wyprawy nie ma wpływu na różnice wilgotności.
2. Rodzaju tynku – w przypadku orientacji północnej i zachodniej widać, że tynk mineralny charakteryzuje się największą wilgotnością masową. W przypadku pozostałych orientacji tendencja ta nie została zachowana.

Wykonane analizy wykazały, że zmiany wilgotności materiału termoizolacyjnego przekładają się na obniżenie oporu cieplnego, przy czym największe różnice występują dla elewacji północnej i zachodniej (10% w stosunku do wartości obliczeniowej). Dla pozostałych orientacji różnica jest mniejsza (około 5% i mniej). Największymi spadkiem oporu, w zależności od stron świata i użytej wyprawy tynkarskiej, charakteryzuje się styropian pod tynkiem mineralnym, w obu wariantach fakturowych. Tendencja zmian wilgotności, a tym samym jego oporu cieplnego, pokrywa się z tendencją zmian intensywności biokorozji, mikrostruktury oraz udziału porów odpowiedzialnych za transport kapilarny, co jest potwierdzeniem tezy trzeciej.

7.3. KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

W pracy rozważono zmiany zachodzące w tynkach cienkowarstwowych funkcjonujących w środowisku zewnętrznym i wynikające z nich obniżenie właściwości systemu ETICS. Przedmiotem analizy były wyprawy tynkarskie bez powłok malarskich. W związku z powyższym w kolejnym etapie badań przewiduje się poddanie analizie powłok malarskich, stanowiących element dodatkowy systemu ETICS. Za zasadne uznaje się badania porównawcze efektu zastosowania powłok ochronnych w początkowej fazie wykonania powłoki tynkarskiej oraz wyczyszczonych tynków narażonych na degradację pod wpływem biokorozji z uwagi na długotrwałe oddziaływanie środowiska zewnętrznego. Przeprowadzone w pracy badania wykazują, że w wyniku procesu czyszczenia na powierzchni tynków, pozostają niewielkie ilości mikroorganizmów, a faktura jest naruszona. Przewiduje się ocenę zmian w składzie chemicznym w wyniku procesu biodegradacji oraz określenie poziomu wyczyszczenia powłok tynkarskich z mikroorganizmów i czas ich ponownego rozwoju.

Rozszerzenie badań niewątpliwie pozwoli na głębsze rozpoznanie intensywności oddziaływania biokorozji na powłoki tynkarskie. Dlatego bardzo ważne jest podejmowanie wszelkich prac badawczych zmierzających do pogłębienia wiedzy w tym zakresie. Zdobyte doświadczenia pozwalają patrzeć na problem z wielu różnych, nowych perspektyw.

LITERATURA

- [1] M. N. Said, W. C. Brown i I. S. Walker, „Long-term field monitoring of an EIFS cladwall,” *Journal of Building Physics*, pp. 320-338, 1997, 20.
- [2] J. Parracha, G. Borsoi, R. Veiga, I. Flores-Colen, L. Nunes, A. Garcia, L. Ilharco, A. Dionisio i P. Faria, „Effects of hygrothermal, UV and SO₂ accelerated ageing on the durability of ETICS in urban environments,” *Building and Environment*, pp. 1-14, 204, 2021.
- [3] H. Xu, H. Wang, Q. Huo, Y. Qin i H. Zhou, „Comparative study of Chinese, European and ISO external thermal insulation composite system (ETICS) standards and technical recommendations,” *Building Engineering*, p. 105687, 68, 2023.
- [4] B. Michałowski, M. Marcinek, J. Tomaszewska, S. Czernik, M. Piasecki, R. Geryło i J. Michalak, „Influence of Rendering Type on the Environmental Characteristics of Expanded Polystyrene-Based External Thermal Insulation Composite System,” *Buildings*, pp. 1-14, 10, 47, 2020.
- [5] G. Gričiute, R. Bliudzius i R. Norvaisiene, „The Durability Test Method for External Thermal Insulation Composite System (ETICS) used in Cold and Wet Climate Countries,” *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, pp. 1-7, 12, 2013.
- [6] H. Künzel, H. M. Künzel i K. Sedlbauer, „Küzel, H., Küzel, H.M., Sedlbauer K.: Long-Term Performance of External Thermal Insulation Systems (ETICS),” *Acta Scientiarum Polonorum, Architectura*, pp. 11-24, 5 (1) 2006.
- [7] T. Kavande, N. Bakken, E. Bergheim, J. V. Thue i K. Sedlbauer, „Durability of ETICS with Rendering in Norway - Experimental and Field Investigations,” *Buildings*, pp. 1-17, 8(7), 2018.
- [8] C. Duarte, „The Europe of mortars and ETICS. Trends, perspectives and opportunities,” w *IX SBTA - Brazilian Symposium on Mortars Technology, Belo Horizonte*, Brazil, 18 Maj 2011, pp. 7-16.

- [9] A. Raimundo, N. Saraiva i A. Oliviera, „Thermal insulation cost optimality of opaque constructive solutions of buildings under Portuguese temperate climate,” *Building and Environment*, p. 107107, 182, 2020.
- [10] S. Tadeu, A. Tadeu, N. Simoes, M. Goncalves i R. Prado, „A sensitivity analysis of a cost optimality study on the energy retrofit of a single-family reference building in Portugal,” *Energy Effic*, pp. 1-22, 2018.
- [11] M. Goncalves, N. Simoes, C. Serra, J. Almeida, I. Flores-Colen, N. Vieira de Castro i L. Duarte, „Onsite monitoring of ETICS comparing different exposure conditions and insulation materials,” *Building Engineering*, p. 103067, 42, 2021.
- [12] *EAD 040083-00-0404 External thermal insulation composite systems (ETICS) with renderings.*
- [13] *ETAG 004 External thermal insulation composite systems (ETICS) with renderings.*
- [14] P. Simona, P. Spiru i I. Ion, „Increasing the energy efficiency of buildings by thermal insulation,” *Energy Procedia*, pp. 393-399, 128, 2017.
- [15] S. Lujan, C. Arrebola, A. Sanchez i P. Benito, „Experimental comparative study of the thermal performance of the facade of a building refurbished using ETICS, and quantification of improvements,” *Sustain. Cities. Soc.*, p. 101713, 51, 2019.
- [16] M. Goncalves, N. Simoes, C. Serra i I. Flores-Colen, „A review of the challenges posed by the use of vacuum panels in external insulation finishing system,” *Energy*, pp. 114028 - 114042, 257, 2020.
- [17] B. Amaro, D. Saraiva, J. De Brito i I. Flores-Colen, „Inspection and diagnosis system of ETICS on walls,” *Construction Buildings Materials*, pp. 1257-1267, 47, 2013.
- [18] S. Gracia-Perez, J. Sierra-Perez i J. Boschmonart-Rives, „Environmental assessment at the urban level combining LCA-GIS methodologies: a case study of energy retrofits in the Barcelona metropolitan area,” *Building Environmental*, pp. 191-204, 134, 2018.

- [19] J. Silvestre, A. Castelo, J. Silva, J. Brito i M. Pinherio, „Retrofitting a building’s envelope: sustainability performance of ETICS with ICB or EPS,” *Applied Science*, p. 1285, 9, 2019.
- [20] V. Sulakatko, I. Lill i E. Liisma, „Analysis of on-site construction processes for effective external thermal insulation composite (ETICS) installation,” *Procedia Economics and Finance*, pp. 297-305, 21, 2015.
- [21] R. Pasker, „Activitatea EAE pentrucalitateasistemelor ETICS pe plan European,” w *II Forum ETICS*, Bukareszt, 2019.
- [22] S. Malanho i M. Veiga, „Bond strength between layers of ETICS – influence of the characteristics of mortars and insulation materials,” *Building Engineering*, p. 101021, 28, 2020.
- [23] E. Barreira i V. P. Freitas, „External Thermal Insulation Composite Systems: Critical Parameters for Surface Hygrothermal Behaviour,” *Advances in Materials Science and Engineering*, pp. 1-16, 2014.
- [24] R. Paolini, A. Zani, T. Poli, F. Antretter i M. Zinzi, „Natural aging of cool walls: impact on solar reflectance, sensitivity to thermal shocks and building energy needs,” *Energy and Buildings*, pp. 287-296, 153, 2017.
- [25] V. Steinbauer, J. Kaufmann, R. Zurbriggen, T. Buhler i M. Herwegh, „Tracing hail stone impact on external thermal insulation composite systems (ETICS) – an evaluation of standard admission impact test by means of high-speed-camera recordings,” *International Journal of Impact Engineering*, pp. 354-365, 109, 2017.
- [26] S. Mirabedini, M. Sabzi, J. Zohuriaan-Mehr, M. Atai i M. Behzadnasab, „Variability of in-situ testing on rendered walls in natural ageing conditions - rebound hammer and ultrasound techniques,” *Construction and Building Materials*, pp. 167-181, 170, 2018.
- [27] N. Antosova, „Impact of Biocorrosion on the Durability of Etics and Empirical Findings About the Periodocity of Maintenance,” *Slovak Journal of Civil Engineering*, pp. 21-28, 2, 2015.

- [28] A. Senel Asmone i M. Lin Chow, „A study on the effectiveness of biological growth resistant coatings on external building facade systems in the tropics,” *Building Engineering*, pp. 1-8, 31, 2020.
- [29] A. Wiejak, „Dobór metody oceny własności grzybobójczych środków przeznaczonych do dezynfekcji tynków,” *Prace Instytutu Techniki Budowlanej*, pp. 55-67, 2 (142), 2007.
- [30] A. Wiejak, „Ocena skuteczności działania środków ochrony powłok elewacyjnych przed grzybami pleśniowymi i glonami,” *Prace Instytutu Techniki Budowlanej*, pp. 15-25, 2 (158), 2011.
- [31] D. Pinna, „Can we do without biocides to cope with biofilms and lichens on stone heritage?,” *Biodeterioration & Biodegradation*, pp. 1-13, 172, 2022.
- [32] A. Maury-Ramirez, W. De Muynck, R. Stevens, K. Demeestere i N. De Belie, „Titanium dioxide based strategies to prevent algal fouling on cementitious materials,” *Cement and Concrete Composites*, pp. 93-100, 36, 2013.
- [33] A. Lewry i L. Crewdson, „Approaches to testing the durability of materials used in the construction and maintenance of buildings,” *Construction and Buildings Materials*, pp. 211-222, 8, 1994.
- [34] B. Daniotti i R. Paolini, „Experimental programme to Assess ETICS cladding Durability,” *Proceedings of the I1DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components Istanbul, Turkey*, 2008.
- [35] J. Maia, N. Ramos i R. Veiga, „Assessment of test methods for the durability of thermal mortars exposure to freezing,” *Materials and Structures*, pp. 1-14, 52, 2019.
- [36] C. Esteves, H. Ahmed, I. Flores-Colen i R. Veiga, „The influence of hydrophobic protection on building exterior claddings,” *Coatings Technology and Research*, pp. 1379-1388, 16, 2019.
- [37] R. Roncon, G. Borsoi, J. Parracha, I. Flores-Colen i R. Veiga, „Impact of Water-Repellent Products on the Moisture Transport Properties and Mould Susceptibility of External Thermal Insulation Composite Systems,” *Coatings*, pp. 1-15, 11 (554), 2021.

- [38] J. Bochen i S. Gil, „Study on the microstructure of thin-layer facade plasters of thermal insulating system during artificial weathering,” *Construction and Building Materials*, pp. 2559-2566, 23, 2009.
- [39] J. Bochen, S. Gil i J. Szwabowski, „Influence of ageing process on porosity changes of the external plasters,” *Cement & Concrete Composites*, pp. 769-775, 25, 2007.
- [40] B. Daniotti i R. Paolini, „Durability Design of External Thermal Insulation Composite System with Rendering,” *Proceedings of the 10DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components Lyon, France*, 2005.
- [41] R. Nilica i H. Harmuth, „Mechanical and fracture mechanical characterization of building materials used for external thermal insulation composite system,” *Cement and Concrete*, pp. 1641-1645, 35, 2005.
- [42] D. Topcu i H. Merkel, „Durability of External Wall Insulation Systems with Extruded Polystyrene Insulation Boards,” *11th International Conference on Durability of Building Materials and Components Instambul, Turcja*, 2008.
- [43] F. Stazi, C. Perna i P. Munafo, „Durability of 20-year-old External Insulation and Assessment of Various Types of Retrofitting to Meet New Energy Regulations,” *Energy and Buildings*, pp. 721-731, 41, 2009.
- [44] F. Tittarelli, G. Mariconi i A. Bonazza, „Atmospheric deterioration of cement plaster in a building exposed to a urban environment,” *Cultural Heritage*, pp. 203-206, 9, 2008.
- [45] J. Bochen, „Properties of pore structure of thin-layer external plasters under ageing in simulated environment,” *Construction and Building Materials*, pp. 2958-2963, 23, 2009.
- [46] I. Shohet i M. Paciuk, „Service life prediction of exterior cladding components under standard conditions,” *Construction Management and Economics*, pp. 1081-1090, 22, 2004.

- [47] B. Jelle, T. Nilsen, P. Hovde i A. Gustavsen, „Accelerated Climate Ageing of Building Materials and Application of the Attenuated Total Reflectance (ATR),” *8th Symposium on Building Physics in Nordic Countries*, 2, 2008.
- [48] V. Koci, J. Madera i C. Robert, „Exterior thermal insulation systems for AAC building envelopes: Computational analysis aimed at increasing service life,” *Energy and Buildings*, pp. 84-90, 47, 2012.
- [49] R. Norvaisiene, G. Gričiute, R. Bliudzius i J. Ramanauskas, „The Changes of Moisture Absorption Properties during the Service Life of External Thermal Insulation Composite System,” *20th International Baltic Conference Materials Engineering, Kaunas Litwa*, pp. 75-98, 13, 2011.
- [50] J. Ślusarek, B. Orlik-Koźdoń, J. Bochen i T. Muzyczuk, „Impact of the imperfection of thermal insulation on structural changes of thin-layer facade claddings in ETICS,” *Building Engineering*, p. 101487, 32, 2020.
- [51] A. Fonseca, F. Pina, M. Mechedo, N. Leal, A. Romanowska-Deskins, L. Laiz, A. Gomez-Bolea i C. Saiz-Jimenez, „Anatase as an alternative application for preventing biodeterioration of mortars: Evaluation and comparison with other biocides,” *Biodeterioration & Biodegradation*, pp. 388-396, 5 (64), 2010.
- [52] J. Kurth, „Mitigating biofilm growth through the modification of concrete design and practice,” *Master thesis, Georgia Institute of Technology, USA*, 2008.
- [53] C. Sain-Jimenez, „Biogeochemistry of weathering processes in monuments,” *Geomicrobiology Journal*, pp. 27-37, 16, 1999.
- [54] S. Johansson, Biological growth on rendered facades, Lund: Doctoral Thesis, Lund University, Division of Building Materials, 2011.
- [55] P. Tiano, „Biodegradation of Cultural Heritage: Decay Mechanisms and Control Methods,” *Biocorrosion*, pp. 1-14, 2002.
- [56] W. Muynck, A. Ramirez, N. Belie i W. Verstraete, „Evaluation of strategies to prevent algal fouling on white architectural,” *Biodeterioration & Biodegradation*, pp. 679-689, 63, 2009.
- [57] B. Zyska, Zagrożenia biologiczne budynku, Warszawa: Arkady, 1999.

- [58] J. Karyś i J. Ważny, *Ochrona budynków przed korozją biologiczną*, praca zbiorowa pod redakcją J. Ważnego i J. Karsyia, Warszawa: Arkady, 2001.
- [59] J. Karyś, *Ochrona obiektów budowlanych przed korozją biologiczną i ogniem, Czynniki biologiczne występujące na elewacjach budynków*, Wrocław: Arkady, 2003.
- [60] M. Piontek i K. Bednar, „Grzyby pleśniowe przyczyną biodeterioracji powłok syntetycznych stosowanych w nowoczesnym budownictwie mieszkaniowym,” *Ochrona przed Korozją*, pp. 15-18, nr 1, 2011.
- [61] M. Piontek i H. Lechów, „Deterioracja elewacji zewnętrznych wywołana biofilmem,” *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego*, pp. 79-87, 151, 2013.
- [62] D. Giannantonio, J. Kurth, K. Kurtis i P. Sobecky, „Molecular characterizations of microbial communities fouling painted and unpainted concrete structures,” *Biodeterioration & Biodegradation*, pp. 30-40, 63, 2009.
- [63] E. Szymański, *Materiałoznawstwo budowlane*, Warszawa: WSiP, 1997.
- [64] B. Żakowska, „Mikroorganizmy w procesie biodeterioracji i biodegradacji materiałów technicznych,” *Ochrona przed Korozją*, pp. 12-15, nr 9, 2006.
- [65] B. Gutarowska, „Niszczenie materiałów technicznych przez drobnoustroje,” *Centralna Biblioteka Rolnicza im. M. Oczapowskiego*, pp. 10-14, nr 2, 2013.
- [66] K. Czaczyk, „Czynniki warunkujące tworzenie się biofilmów na powierzchniach abiotycznych. Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych,” w *V Konferencja Naukowa Łódź. Politechnika Łódzka*, Łódź, 2009.
- [67] C. K. Bower, J. McGuire i M. A. Daeschel, „The adhesion and detachment of bacteria and spores on food-contact surfaces,” *Trends in Food Science & Technology*, pp. 152-157, 7, 1996.
- [68] C. Prignet-Combaret, G. Prensier, T. Thi, O. Vidal, P. Lejeune i C. Dorel, „Developmental pathway for biofilm formation in curli producing *Escherichia coli* strains: role of flagella, curli and cloanic acid,” *Environmental Microbiology*, pp. 450-464, 2(4), 2000.

- [69] K. Czaczyk i K. Wojciechowska, „Tworzenie biofilmów bakteryjnych – istota zjawiska i mechanizmy oddziaływań,” *Biotechnologia*, pp. 180-192, 3(62), 2003.
- [70] D. Bagge, M. Hjelm, C. Johansen, I. Huber i L. Gram, „*Shewanella putrefaciens* adhesion and biofilm formation on food processing surfaces,” *Environmental Microbiology*, pp. 2319-2325, 67, 2001.
- [71] B. Kołwzan, „Analiza zjawiska biofilmu,” *Ochrona Środowiska*, pp. 3-14, 4, 2011.
- [72] I. Kukletova i P. Buchta, „Façade biological colonisation assessment,” *Materials Science and Engineering*, pp. 1-5, 379, 2018.
- [73] B. Zyska, „Katastrofy, awarie i zagrożenia mikrobiologiczne w przemyśle i budownictwie,” *Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej*, 2001.
- [74] B. Cwalina, „Rola mikroorganizmów w deterioracji naturalnych kamieni budowlanych,” *Journal of Polish Mineral Engineering Society*, pp. 39-48, 1, 2003.
- [75] C. A. Crispim i C. C. Gaylarde, „Cyanobacteria and Biodeterioration of Cultural Heritage,” *Microbial Ecology*, pp. 1-9, 49 (1), 2005.
- [76] B. Zyska i Z. Żakowska, *Mikrobiologia materiałów*, Łódź: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2005.
- [77] M. Piontek i H. Lechów, „Aerophytic cyanobacteria as a factor in the biodegradation of technical materials on external building walls,” *Civil and Environmental Engineering*, pp. 109-119, 13 (2), 2014.
- [78] W. Hofbauer i G. Gartner, „Aerophytic Organisms Colonizing Façades: Diversity, Taxonomy and Ecophysiology,” *Microbial life on Facades*, pp. 29-191, 2021.
- [79] C. C. Gaylarde i P. M. Gaylarde, „A comparative study of the major microbial biomass of biofilms on exteriors of buildings in Europe and Latin America,” *International Biodeterioration & Biodegradation*, pp. 131-142, 55, 2005.
- [80] C. A. Crispim, C. C. Gaylarde i P. M. Gaylarde, „Biofilms on church walls in Porto Alegre, RS, Brazil, with special attention to cyanobacteria,” *International Biodeterioration & Biodegradation*, pp. 121-124, 54, 2004.

- [81] M. Książek, „Biological corrosion of facades of buildings,” *Plasters*, pp. 31-34, 1 (10), 2011.
- [82] E. Stanaszek-Tomal, „The problem of biological destruction of facades of insulated buildings—causes and effects,” *Materials Science and Engineering*, pp. 1-12, 245, 2017.
- [83] I. Kata, Z. Stasica, W. Charyasz i K. Szafran, „Korozja biologiczna i problem degradacji środków biobójczych stosowanych w materiałach budowlanych,” *Izolacje*, pp. 44-49, 11/12, 2020.
- [84] M. Krus, D. Rosler i Sedlbauer, „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*, pp. 329-333, 2006.
- [85] J. Kobus i R. Lutze, „Ocena ryzyka korozji atmosferycznej,” *Logistyka*, pp. 1094-1098, 4, 2015.
- [86] A. Wiejak i J. Miklaszewska, „Odporność na glony tynków cienkowarstwowych do stosowania na zewnątrz obiektów,” *Materiały Budowlane*, pp. 28-29, 9 (481), 2012.
- [87] M. E. Young, Biological growth and their relationship to the physical and chemical characteristics, Aberdeen, Scotland: PhD thesis, The Robert Gordon University, 1997.
- [88] T. Tran, A. Govin, R. Guyonnet, P. Grosseau, C. Lors, D. Damidot, O. Deves i B. Ruot, „Influence of the intrinsic characteristics of mortars on their biofouling by pigmented organisms: Comparison between laboratory and field scale experiments,” *International Biodeterioration & Biodegradation*, pp. 334-342, 86, 2014.
- [89] M. J. Wesołowska, Ochrona murów licowych przed wpływem środowiska, Bydgoszcz: Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, 2016.

- [90] K. Klemm i D. Heim, „Local wind and rain conditions in semi-closed narrow corridors between buildings,” *Eleventh International IBPSA Conference*, pp. 1745-1752, 2009.
- [91] K. Witczak, H. Kunzel i D. Gawin, „Wpływ zacinającego deszczu na stan wilgotnościowy przegród budowlanych w Polsce,” w *XIX Konferencja naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB*, Krynica, 2003.
- [92] P. Markiewicz, „Ochrona budynku przed czynnikami zewnętrznymi, jako główna funkcja rozwiązań budowlanych,” *Czasopisma Techniczne, Architektura*, 6-A, 2005.
- [93] A. Dylla i Z. Wernerowska-Frąckiewicz, „Trwałość ścian zewnętrznych z termoizolatorem styropianowym,” w *Konferencja Nauk Technicznych Kontra*, Warszawa-Zakopane, 2002.
- [94] E. Barreira i V. P. Freitas, „Evaluation of Surface Humidification of Exterior Insulation and Finish Systems,” *Performance of Constructed Facilities*, pp. 1-8, 2015.
- [95] „PN-EN ISO 15148:2004 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe materiałów i wyrobów budowlanych -- Określanie współczynnika absorpcji wody przez częściowe zanurzenie”.
- [96] C. Gaylarde, L. Morton, K. Loh i M. Shirakawa, „Biodeterioration of external architectural paint films - review,” *Biodeterioration & Biodegradation*, pp. 1189-1198, 65, 2011.
- [97] S. Martinez-Ramirez i G. Thompson, „Dry and wet "deposition" studies of the degradation of cement mortars,” w *Corrosion and Protection Center (UMIST)*, Manchester, 1998.
- [98] S. Martinez-Ramirez, F. Puertas i M. Blanco-Varela, „Studies on degradation of limemortars in atmospheric simulation chambers,” *Cement and Concrete Research*, pp. 777-784, 27 (5), 1997.
- [99] . W. Vernon, „A laboratory study of the atmospheric corrosion of metals,” *Transactions of the Faraday Society*, pp. 1668-1700, 27, 1931.

- [100] G. Kalliampakos, „Mapping Atmospheric Corrosion on Materials of Archaeological Importance in Athens,” *Water, Air & Soil Pollution*, pp. 2169-2180, 223 (5), 2012.
- [101] S. Haagenrus, J. Henriksen i T. Skancke, „Mapping of urban material degradation from available data,” *Water, Air and Soil Pollution*, pp. 2667-2672, 85 (8), 1995.
- [102] J. Kobus i R. Lutze, „Ocena szybkości korozji materiałów konstrukcyjnych na podstawie emisji zanieczyszczeń,” *Logistyka*, pp. 4099-4104, 4, 2015.
- [103] K. Juda-Rezler i P. Manczarski, „Zagrożenia związane z zanieczyszczeniem powietrza atmosferycznego i gospodarką odpadami komunalnymi,” *Nauka*, pp. 97-106, 4, 2010.
- [104] H. Kunzel, „Algae Growth on Facades, a consequence of clean air,” *Arconis*, pp. 12-14, 5 (3), 2000.
- [105] P. Vega-Gracia, R. Schwerd, C. Scherer, C. Schwitalla, S. Johann, S. Rommel i B. Helmreich, „Influence of façade orientation on the leaching of biocides from building facades covered with mortars and plasters,” *Science of The Total Environment*, p. 139465, 734, 2020.
- [106] M. Rokieli, „Tynki zewnętrzne chroniące przed wilgocią,” *Materiały Budowlane*, pp. 117-120, 9 (541), 2017.
- [107] S. Johansson, L. Wadso i K. Sandin, „Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements,” *Building and Environment*, pp. 1153-1160, 45, 2010.
- [108] B. Ksit i D. Horbik, „Zanieczyszczenia biologiczne elewacji,” *Builder*, pp. 80-83, 4, 2015.
- [109] S. Ilomets, D. Heim, I. Chodak, D. Czarny i T. Kalamees, „A method to develop energy activated ETICS,” w *12 Nordyckie Sympozjum Fizyki Budowlanej (NSB)*, 2020.
- [110] R. Veiga, „Pathology and repair of several types of wall rendering. Course of pathology of walls' claddings and strategies to avoid them,” w *LNEC*, Lisbon, Portugal, 2004.

- [111] C. Duarte, „Presentation of a one type of premixed construction mortars [in Portuguese],” *National Congress on Construction, Lisbon*, pp. 503-509, 2001.
- [112] L. Librelotto i M. Kekez, „The environmental impact of a lime mortar layer of the ETICs insulation: a case of study with Life Cycle Assessment (LCA) from Environmental Product Declaration (EPD) in Portugal,” w *VIII ENSUS - Encontro de Sustentabilidade em Projeto*, Palhoca, 2020.
- [113] T. Uygunoglu, S. Ozguven i M. Calis, „Effect of plaster thickness on performance of external thermal insulation cladding systems (ETICS) in buildings,” *Construction and Building Materials*, pp. 496-504, 122, 2016.
- [114] W. Godlewska i A. Koper, „Analysis of selected properties of Warming system prepared with various plastering mortar,” w *XXVII R-S-P Seminar - Theoretical Foundation of Civil Engineering*, 2018.
- [115] M. Aguirre, M. Goikoetxe, L. Otero, M. Paulis i J. Leiza, „Accelerated ageing of hybrid acrylic waterborne coatings containing metal oxide nanoparticles: effect on the microstructure,” *Surface and Coatings Technology*, pp. 484-490, 321, 2017.
- [116] M. Julio, A. Soares, L. Ilharco, I. Flores-Colen i J. de Brito, „Silica-based aerogels as aggregates for cement-based thermal renders,” *Cement and Concrete Composites*, pp. 309-318, 72, 2016.
- [117] P. Konca, „Badania laboratoryjne wybranych wypraw elewacyjnych w systemach ociepleń z zastosowaniem styropianu jako materiału termoizolacyjnego,” w *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, Łódź, Instytut Fizyki Budowli Katarzyna i Piotr Klemm, 2005, pp. 201-206.
- [118] J. Karyś, *Ochrona przed wilgocią i korozją w budownictwie*, Warszawa: Grupa Medium, 2014.
- [119] J. Blaich, „Aussen wändemit Wärme-Damm-Verbund system. Algen und Pilz bewuchs,” *Deutsches Architektenblatt*, pp. 1393-1394, 10, 1990.
- [120] J. Parracha, G. Borsoi, I. Flores-Colen, R. Veiga, L. Nunes, A. Dionisio, M. Gomes i P. Faria, „Performance parameters of ETICS: Correlating water resistance, bio-susceptibility and surface properties,” *Construction and Building Materials*, pp. 121956-121970, 272, 2021.

- [121] J. Kozakiewicz, I. Ofat i J. Trzaskowska, „Silicone-containing aqueous polymer dispersions with hybrid particle structure,” *Colloid Interface Science*, pp. 1-39, 223, 2015.
- [122] K. Wojciechowski, M. Kaczorowski, J. Mierzejewska i P. Parzuchowski, „Antimicrobial dispersions and films from positively charged styrene and acrylic copolymers,” *Colloids Surface*, pp. 532-540, 172, 2018.
- [123] E. Stanaszek, „Procesy bioterioracji materiałów budowlanych,” *Cement Wapno Beton*, pp. 87-92, 2, 2004.
- [124] P. Pogorzelec, „Korozja mikrobiologiczna ocieplonych fasad budynków i jej aktywne zapobieganie,” *Izolacje*, pp. 36-49, 4, 2019.
- [125] D. Horbik, *Biodeterioracja a trwałość elewacji obiektów budowlanych o różnym przeznaczeniu*, Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2013.
- [126] H. Barberousse, R. Brayner, M. Do Rego, J. Castaing, P. Beurdeley-Saudou i J. Colombet, „Adhesion of facade coating colonisers, as mediated by physico-chemical properties,” *Biofouling*, pp. 15-24, 23, 2007.
- [127] H. Barberousse, B. Ruota, C. Yepremianb i G. Boulonc, „An assessment of facade coatings against colonisation by aerial algae and cyanobacteria,” *Building and Environment*, pp. 2555-2561, 42, 2007.
- [128] R. Becker, „Patterned staining of rendered facades: hygrothermal analysis as a means for diagnosis,” *Thermal Envelope and Building Science*, pp. 321-341, 26, 2003.
- [129] K. Sedlbauer i M. Krus, „Mold growth on ETICS (EIFS) as a result of “bad workmanship”,” *Thermal Envelope and Building Science*, pp. 117-121, 26, 2002.
- [130] H. Venzmer, J. Von Werder, N. Lesnych i L. Koss Krus, „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, Denmark*, pp. 277-284, 2008.
- [131] E. Barreira i V. Freitas, „The effect of nearby obstacles in surface condensations on external thermal insulation composite systems: experimental and numerical study,” *Building Physics*, pp. 269-295, 37, 2013.

- [132] J. Khanjani, A. Hanifpour, S. Pazokifard i M. Zohuriaan-Mehr, „Waterborne acrylic-styrene/PDMS coatings formulated by different particle sizes of PDMS emulsions for outdoor applications,” *Progress in organic coatings*, pp. 105-116, 141, 2020.
- [133] R. Zamorowska i B. Nowak, „Mikrobiologiczne skażenie elewacji budynków,” *Materiały Budowlane*, pp. 17-25, 1, 2006.
- [134] P. Ryparova i P. Tresarek, „The Dependence of Mold on the Relative Humidity in Different Types of Materials,” *Key Engineering Materials*, pp. 98-102, 731, 2017.
- [135] H. Ochs, J. Vogelsang i G. Meyer, „Enhanced surface roughness of organic coatings due to UV-degradation: an unknown source of EIS-artifacts,” *Progress in Organic Coatings*, pp. 182-190, 46, 2003.
- [136] P. Ryparova, P. Tresarek, Z. Racova i J. Trejbal, „External thermal insulation composite system and problem with biodegradation,” w *Central Europe Towards Sustainable Building CESB16*, Praga, 2016.
- [137] A. Neville, *Properties of concrete*, Kraków: Arkady, 2000.
- [138] G. Fagerlund, *Durability of concrete structures*, Warszawa: Arkady, 1997.
- [139] S. Tada, „Microstructural approach to frost resistance of highly porous materials,” *Durability of buildings materials and components*, pp. 299-308, 1, 1996.
- [140] B. Zhang, „Relationship between pore structure and mechanical properties of ordinary concrete under bending fatigue,” *Cement and Concrete Research*, pp. 699-711, 28, 1998.
- [141] E. Kearsley i P. Wainwright, „The effect of porosity on the strength of foamed concrete,” *Cement and Concrete Research*, pp. 233-239, 32, 2002.
- [142] R. Kumar i B. Bhattacharjee, „Porosity, pore size distribution and strength of concrete,” *Cement and Concrete Research*, pp. 155-164, 33, 2003.
- [143] P. Zhihua, L. Dongxu, Y. Jian i N. Yang, „Properties and microstructure of the hardened alkali-activated red mud-slag cementitious material,” *Cement and Concrete Research*, pp. 1437-1441, 33, 2003.

- [144] A. Moropoulou, K. Polikreti, A. Bakolas i P. Michailidis, „Correlation of physicochemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multi variate statistics,” *Cement and Concrete Research*, pp. 891-898, 33, 2003.
- [145] T. Matusinovic, J. Sipusic i J. Vrbos, „Porosity–strength relation in calcium aluminate cement pastes,” *Cement and Concrete Research*, pp. 1801-1806, 33, 2003.
- [146] D. Kubeckova, „The composite system and biotic growth of microorganisms,” w *Environment, Energy and Applied Technology*, Ostrava, Taylor & Francis Group, 2015, pp. 159-162.
- [147] M. Rokieli, „Problemy techniczne stosowania ciemnych tynków,” *Materiały budowlane*, pp. 54-56, 10, 2019.
- [148] B. Belaniova, N. Antosova i L. Supejova, „Solution of problems of ETICS with biocorrosion,” *Building Defects*, pp. 1-8, 146, 2017.
- [149] „Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 marca 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2009 r. nr 56, poz. 461).”.
- [150] A. Dylla, *Praktyczna fizyka ciepła budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych*, Bydgoszcz: Wydawnictwo Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, 2009.
- [151] B. Serwatka-Berbeć, „Jak stosować ciemne kolory na ocieplonej elewacji?,” w *Stowarzyszenie na Rzecz Systemów Ociepleń*, 2020.
- [152] *Warunki techniczne wykonawstwa, oceny i odbioru robót elewacyjnych z zastosowaniem ETICS*, Stowarzyszenie na Rzecz Systemów Ociepleń (SSO), 2015.
- [153] A. Holm, W. Zillig i H. Kunzel, „Exteriorsurface temperature and humidity of walls—comparison of experiment and numericalsimulation,” w *Proceedings of the Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings IX, ASHRAE*, Floryda, 2004.

- [154] W. Zilling, K. Lenz i M. Krus, „Condensation on facades— influence of construction type and orientation,” *Building Physics*, pp. 437-444, 2003.
- [155] M. Krus, C. Fitz i A. Holm, „Prevention of algae and mould growth on facades by coatings with lowered long wave emission,” *3rd International Building Physics Conference - Building Physics and Building Engineering*, pp. 973-978, 2006.
- [156] A. Kaczmarek, M. Wesołowska i K. Pawłowski, „Jaki wpływ na wybrane materiały budowlane mają woda i wilgoć?,” *Izolacje*, pp. 48-50, 7/8, 2010.
- [157] „PN-EN ISO 1062-1:2005 Farby i lakiery -- Wyroby lakierowe i systemy powłokowe stosowane na zewnątrz na mury i beton -- Część 1: Klasyfikacja”.
- [158] R. Albatici i A. Tonelli, „Infrared thermovision technique for the assessment of thermal transmittance value of opaque building elements on site,” *Energy Build*, pp. 2177-2183, 42, 2010.
- [159] H. Ge, V. McClung i S. Zhang, „Impact of balcony thermal bridges on the overall thermal performance of multi-unit residential buildings,” *Energy Build*, pp. 163-173, 60, 2013.
- [160] F. Cappellatti, P. Gasparella, P. Romagononi i P. Baggio, „Analysis of the influence of installation thermal bridges on windows performance: the case of clay block walls,” *Energy Build*, 43, 2011.
- [161] A. Capozzoli, A. Gorrino i V. Corrado, „A building thermal bridges sensitivity analysis,” *Energy*, pp. 229-243, 107, 2013.
- [162] B. Orlik-Koźdoń, A. Nowoświat, P. Krause i T. Ponikiewski, „A numerical and experimental investigation of temperature field in place of anchors in ETICS system,” *Construction and Building Materials*, pp. 553-565, 167, 2018.
- [163] I. Nardi i E. Lucchi, „Quantification of heat energy losses through the building envelope: A state-of-the-art analysis with critical and comprehensive review on infrared thermography,” *Building and Environment*, pp. 190-205, 146, 2018.
- [164] Y. Kelong, H. Xiong, X. Jinming i W. Minjie, „Visualization of localized deformation of external thermal insulation composite systems during aging,” *Thermal Engineering*, pp. 108-118, 206, 2022.

- [165] H. Kunzel, „Preventing Damage by Updating Moisture Control Standards,” w *XV International Conference on Durability of Building Materials and Components, DBMC*, Barcelona, 2020.
- [166] G. Gričiute i B. Bliudzius, „Study on the microstructure and water absorption rate changes of exterior thin-layer polymer renders during natural and artificial ageing,” *Materials Science*, pp. 149-154, 21, 2015.
- [167] M. Dybowska-Józefiak i M. Wesołowska, „Internal Abiotic Components That Influence the Development of Biocorrosion on ETICS Plasters,” *Materials*, pp. 1-18, 15 (127), 2022.
- [168] R. Norvaisiene, G. Gričiute, R. Bliudzius i J. Ramanauskas, „The changes of moisture absorption properties during the service life of external thermal insulation composite system,” *Materials Science*, pp. 103-107, 19, 2013.
- [169] M. D'Orazio, G. Cursio, L. Graziani, L. Aquilanti, A. Osimani i F. Clementi, „Effects of water absorption and surface roughness on the bioreceptivity of ETICS compared to clay bricks,” *Building and Environment*, pp. 20-28, 77, 2014.
- [170] „PN-EN ISO 10456:2009 Materiały i wyroby budowlane -- Właściwości cieplno-wilgotnościowe -- Tabelaaryczne wartości obliczeniowe i procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych”.
- [171] T. Kvande, N. Bakken, E. Bergheim i J. Thue, „Durability of ETICS with Rendering in Norway - Experimental and Field Investigations,” *Buildings*, pp. 1-17, 2018.
- [172] S. Johansson, L. Wadso i K. Sandin, „Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements,” *Building and Environment*, pp. 1153-1160, 45, 2010.
- [173] R. Pasker, „The European ETICS market - facts & figures,” w *European ETICS Forum 2015*, 2015.
- [174] M. Goncalves, N. Simoes, C. Serra i I. Flores-Colen, „A review of the challenges posed by the use of vacuum panels in external insulation finishing systems,” *Energy*, p. 114028, 257, 2020.

STRESZCZENIE

Praca dotyczy identyfikacji czynników determinujących trwałość i estetykę elewacji budynków ze szczególnym uwzględnieniem tynków cienkowarstwowych na systemie ociepleniowym ETICS.

Celem pracy jest analiza zmian zachodzących w cienkowarstwowych wyprawach tynkarskich pod wpływem długotrwałego oddziaływania środowiska zewnętrznego i ich wpływ na podstawowe właściwości systemu ETICS. Realizacja celu wymagała:

- analizy wytycznych literaturowych i normowych dotyczących oceny trwałości systemu ETICS,
- usystematyzowania podstawowych czynników odpowiedzialnych za wystąpienie lub intensyfikację procesu biokorozji,
- przeprowadzenia badań własnych i analizy wyników tych badań,
- rozpoznania przebiegu zjawisk fizycznych, które zachodzą w wyniku oddziaływania korozji biologicznej na powierzchni wypraw tynkarskich.

Zakres pracy obejmuje część teoretyczną i doświadczalną, które ujęto w 7 rozdziałach. W części teoretycznej scharakteryzowano system ETICS. Opisano zjawisko pogorszenia jakości estetycznej elewacji w wyniku biokorozji. Zidentyfikowano czynniki warunkujące porażenie tynków cienkowarstwowych korozją biologiczną. Skomentowano podejście specyfikacji technicznej EAD 040083-00-0404 do trwałości systemów ETICS i skonfrontowano je z wytycznymi literaturowymi. Wyodrębniono dwie grupy czynników wpływających na proces biokorozji (abiotyczne i biotyczne).

Część doświadczalna pracy dotyczy czynników abiotycznych. Przedstawiono w niej wyniki badań własnych (laboratoryjnych i terenowych) systemu elewacyjnego ETICS bazującego na styropianie. Do badań przyjęto cztery rozwiązania materiałowe tynków cienkowarstwowych (akrylowy, mineralny, silikatowy i silikonowy). Analizie poddano: estetykę powierzchni wypraw tynkarskich przez pomiar stopnia skażenia biologicznego tynków, zmiany mikrostruktury tynków określone metodą porozymetrii rtęciowej, absorpcję kapilarną warstwy zewnętrznej oraz jej wpływ na izolacyjność cieplną systemu. Próbkę do badań pobrano ze stanowiska poligonowego po 6 latach. Oceniono porowatość i wodochłonność tynków. Bazując na danych literaturowych, w rozkładzie porowatości wydzielono zakresy wielkości porów wrażliwych na korozję mrozową i przepływ kapilarny. Na podstawie zmian porowatości i chłonności stwierdzono, że korozja biologiczna ingeruje w mikrostrukturę cienkowarstwowych tynków mineralnych na podłożu z EPS.

W efekcie przeprowadzonych badań udowodniono, że intensywność biokorozji na powierzchni wypraw tynkarskich jest uzależniona od rodzaju tynku, jego faktury i orientacji względem stron świata. Długotrwałe funkcjonowanie tynków w środowisku zewnętrznym powoduje zmiany dla wszystkich tynków w zakresie porowatości i udziału porów odpowiedzialnych za transport kapilarny, co przekłada się na absorpcję wody. Natomiast zmiany w zakresie porów odpowiedzialnych za mrozoodporność wykazały tylko tynki akrylowe i mineralne.

Wyróżnione czynniki wpłynęły na zwiększenie wilgotności materiału izolacyjnego pod wyprawą tynkarską, które przekładają się na izolacyjność cieplną systemu ETICS.

SUMMARY

The work deals with the identification of factors determining the durability and aesthetics of building facades with particular reference to thin-layer plasters on the ETICS insulation system.

The purpose of the work is to analyze the changes occurring in thin-layer plaster coatings under the influence of long-term exposure to the external environment and their impact on the basic properties of the ETICS system. Realization of the goal required:

- analysis of literature and standard guidelines for evaluating the durability of the ETICS system,
- systematize the basic factors responsible for the occurrence or intensification of the biocorrosion process,
- conducting own research and analyzing the results of this research,
- recognize the course of physical phenomena that occur as a result of biological corrosion on the surface of plaster coatings.

The scope of the work includes theoretical and experimental parts, which are included in 7 chapters. In the theoretical part, the ETICS system was characterized. The phenomenon of aesthetic deterioration of facades as a result of biocorrosion was described. The factors determining the infestation of thin-coat plasters with biological corrosion were identified. The approach of the technical specification EAD 040083-00-0404 to the durability of ETICS systems was commented on and contrasted with literature guidelines. Two groups of factors affecting the process of biocorrosion (abiotic and biotic) were distinguished.

The experimental part of the paper deals with abiotic factors. It presents the results of own tests (laboratory and field) of the ETICS facade system based on polystyrene. Four material solutions of thin-layer plasters (acrylic, mineral, silicate and silicone) were adopted for the study. The following were analyzed: the aesthetics of the plaster surfaces by measuring the degree of biological contamination of the plasters, changes in the microstructure of the plasters determined by mercury porosimetry, capillary absorption of the outer layer and its effect on the thermal insulation of the system. Samples for the study were taken from the field site after 6 years. The porosity and water absorption of the plasters were evaluated. Based on literature data, pore size ranges sensitive to frost corrosion and capillary flow were separated in the porosity distribution. Based on the porosity and absorption changes, it was concluded that biological corrosion interferes with the microstructure of thin-layer mineral plasters on EPS substrates.

As a result of the study, it was proved that the intensity of biocorrosion on the surface of plaster coatings depends on the type of plaster, its texture and orientation with respect to the world. The long-term functioning of plasters in the external environment causes changes for all plasters in terms of porosity and the proportion of pores responsible for capillary transport, which translates into water absorption. In contrast, changes in the pores responsible for frost resistance showed only acrylic and mineral plasters.

The distinguished factors influenced the increased moisture content of the insulating material under the plastering, which translate into the thermal insulation performance of the ETICS system

ZAŁĄCZNIKI

- Tabela 1** Współczynnik absorpcji wody tynku akrylowego o fakturze baranek (AB)
- Tabela 2** Współczynnik absorpcji wody tynku akrylowego o fakturze kornik (AK)
- Tabela 3** Współczynnik absorpcji wody tynku mineralnego o fakturze baranek (MB)
- Tabela 4** Współczynnik absorpcji wody tynku mineralnego o fakturze kornik (MK)
- Tabela 5** Współczynnik absorpcji wody tynku silikatowego o fakturze baranek (SaB)
- Tabela 6** Współczynnik absorpcji wody tynku silikatowego o fakturze kornik (SaK)
- Tabela 7** Współczynnik absorpcji wody tynku silikonowego o fakturze baranek (SoB)
- Tabela 8** Współczynnik absorpcji wody tynku silikonowego o fakturze kornik (SoK)
- Tabela 9** Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji N – baranek
- Tabela 10** Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji S – baranek
- Tabela 11** Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji E – baranek
- Tabela 12** Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji W – baranek
- Tabela 13** Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji N – kornik
- Tabela 14** Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji S – kornik
- Tabela 15** Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji E – kornik
- Tabela 16** Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji W – kornik

Tabela 1. Współczynnik absorpcji wody tynku akrylowego o fakturze baranek (AB)

Próbki	$\Delta m_t = \text{Różnica mas}/A$								A_w	$\overline{A_w}$	W_w	$\overline{W_w}$	
	5 min	20 min	1 h	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$		$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$		
Grupa A	0,109	0,116	0,217	0,273	0,300	0,349	0,349	0,380	0,001		0,057		
	0,136	0,203	0,220	0,225	0,413	0,652	0,674	0,801	0,002	0,0016	0,143	0,0964	
	0,133	0,142	0,190	0,218	0,392	0,404	0,416	0,535	0,001		0,089		
Grupa B	0,095	0,110	0,113	0,120	0,124	0,166	0,162	0,247	0,001		0,044		
	0,106	0,132	0,147	0,240	0,492	0,583	0,595	0,731	0,002	0,0013	0,143	0,0789	
	0,086	0,088	0,122	0,137	0,195	0,199	0,212	0,277	0,001		0,050		
Grupa C - brudne	N	0,043	0,133	0,134	0,137	0,162	0,229	0,276	0,28	0,001		0,051	
		0,093	0,098	0,106	0,109	0,13	0,211	0,269	0,27	0,001	0,0008	0,049	0,0497
		0,067	0,091	0,106	0,122	0,137	0,181	0,247	0,276	0,001		0,050	
	E	0,044	0,126	0,127	0,130	0,157	0,226	0,268	0,270	0,001		0,045	
		0,094	0,091	0,099	0,102	0,125	0,208	0,261	0,260	0,001	0,0007	0,043	0,0440
		0,068	0,084	0,099	0,115	0,132	0,178	0,239	0,266	0,001		0,044	
	S	0,067	0,072	0,082	0,092	0,123	0,204	0,243	0,245	0,001		0,043	
		0,084	0,09	0,101	0,11	0,148	0,209	0,236	0,248	0,001	0,0007	0,044	0,0433
		0,061	0,093	0,101	0,102	0,117	0,184	0,243	0,247	0,001		0,043	
	W	0,066	0,079	0,089	0,099	0,128	0,207	0,251	0,255	0,001		0,042	
		0,083	0,097	0,108	0,117	0,153	0,212	0,244	0,258	0,001	0,0007	0,042	0,0421
		0,060	0,100	0,108	0,109	0,122	0,187	0,251	0,257	0,001		0,042	
Grupa C - wyczyszczone	N	0,09	0,133	0,255	0,435	0,554	0,6055	0,7	0,75	0,003		0,151	
		0,08	0,128	0,247	0,415	0,53	0,603	0,69	0,83	0,003	0,0020	0,167	0,1221
		0,034	0,069	0,087	0,178	0,178	0,179	0,221	0,245	0,001		0,048	
	E	0,062	0,129	0,162	0,216	0,270	0,303	0,407	0,441	0,001		0,080	
		0,071	0,106	0,145	0,197	0,239	0,278	0,391	0,407	0,001	0,0013	0,073	0,0797
		0,055	0,073	0,145	0,221	0,287	0,342	0,384	0,473	0,001		0,086	
	S	0,06	0,126	0,139	0,15	0,192	0,226	0,335	0,357	0,001		0,066	
		0,069	0,103	0,122	0,131	0,161	0,201	0,319	0,323	0,001	0,0011	0,059	0,0657
		0,053	0,07	0,122	0,155	0,209	0,265	0,312	0,389	0,001		0,072	
	W	0,088	0,130	0,232	0,369	0,476	0,528	0,628	0,666	0,002		0,116	
		0,078	0,125	0,224	0,349	0,452	0,526	0,618	0,746	0,002	0,0014	0,132	0,0866
		0,032	0,066	0,064	0,112	0,100	0,102	0,149	0,161	0,000		0,012	

Tabela 2. Współczynnik absorpcji wody tynku akrylowego o fakturze kornik (AK)

Próbki	$\Delta m = \text{Różnica mas/A}$								A_w	\bar{A}_w	W_w	\bar{W}_w	
	5 min	20 min	1 h	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$		$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$		
Grupa A	0,048	0,060	0,083	0,089	0,193	0,194	0,197	0,288	0,001	0,0007	0,052	0,0442	
	0,058	0,059	0,067	0,109	0,197	0,217	0,218	0,224	0,001		0,039		
	0,057	0,062	0,076	0,083	0,095	0,143	0,160	0,242	0,001		0,042		
Grupa B	0,051	0,057	0,066	0,075	0,101	0,112	0,144	0,184	0,000	0,0005	0,029	0,0293	
	0,073	0,082	0,128	0,154	0,159	0,164	0,183	0,198	0,001		0,030		
	0,101	0,102	0,103	0,116	0,140	0,155	0,198	0,199	0,000		0,028		
Grupa C - brudne	N	0,032	0,043	0,05	0,058	0,071	0,149	0,168	0,169	0,000	0,0005	0,029	0,0290
		0,021	0,031	0,044	0,054	0,064	0,124	0,156	0,159	0,000		0,028	
		0,034	0,043	0,043	0,054	0,075	0,135	0,167	0,168	0,000		0,030	
	E	0,053	0,058	0,071	0,078	0,085	0,164	0,179	0,180	0,000	0,0005	0,029	0,0293
		0,033	0,041	0,047	0,067	0,074	0,154	0,168	0,172	0,000		0,029	
		0,034	0,051	0,055	0,066	0,074	0,125	0,172	0,177	0,000		0,030	
	S	0,059	0,064	0,077	0,085	0,089	0,17	0,184	0,186	0,000	0,0005	0,030	0,0291
		0,039	0,047	0,053	0,074	0,078	0,16	0,173	0,178	0,000		0,028	
		0,04	0,057	0,061	0,073	0,078	0,131	0,177	0,183	0,000		0,029	
	W	0,038	0,049	0,056	0,065	0,075	0,155	0,173	0,175	0,001	0,0005	0,030	0,0301
		0,027	0,037	0,050	0,061	0,068	0,130	0,161	0,165	0,000		0,029	
		0,040	0,049	0,049	0,061	0,079	0,141	0,172	0,174	0,001		0,031	
Grupa C – wyczyszczone	N	0,097	0,139	0,162	0,26	0,397	0,454	0,471	0,6	0,002	0,0023	0,102	0,1357
		0,171	0,278	0,604	0,862	1,046	1,056	1,06	1,068	0,003		0,198	
		0,08	0,089	0,124	0,205	0,348	0,451	0,555	0,626	0,002		0,107	
	E	0,077	0,107	0,168	0,227	0,293	0,340	0,381	0,426	0,001	0,0012	0,075	0,0718
		0,084	0,120	0,168	0,216	0,285	0,345	0,373	0,414	0,001		0,072	
		0,083	0,107	0,160	0,214	0,289	0,306	0,341	0,395	0,001		0,068	
	S	0,06	0,078	0,102	0,116	0,139	0,178	0,216	0,25	0,001	0,0006	0,041	0,0379
		0,067	0,091	0,102	0,105	0,131	0,183	0,208	0,238	0,001		0,038	
		0,066	0,078	0,094	0,103	0,135	0,144	0,176	0,219	0,001		0,034	
	W	0,080	0,110	0,096	0,149	0,243	0,292	0,306	0,424	0,001	0,0018	0,074	0,1079
		0,154	0,249	0,538	0,751	0,892	0,894	0,895	0,892	0,003		0,170	
		0,063	0,060	0,058	0,094	0,194	0,289	0,390	0,450	0,001		0,080	

Tabela 3. Współczynnik absorpcji wody tynku mineralnego o fakturze baranek (MB)

Próbki	$\Delta m_t = \text{Różnica mas/A}$								A_w	\bar{A}_w	W_w	\bar{W}_w	
	5 min	20 min	1 h	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	kg/(m ² ·s ^{0,5})		kg/(m ² ·h ^{0,5})		
Grupa A	0,153	0,202	0,206	0,240	0,410	0,413	0,421	0,607	0,002	0,0023	0,098	0,1372	
	0,133	0,183	0,205	0,252	0,513	0,552	0,578	0,779	0,002		0,136		
	0,146	0,165	0,213	0,300	0,744	0,806	0,813	0,994	0,003		0,177		
Grupa B	0,213	0,223	0,254	0,268	0,295	0,343	0,352	0,430	0,001	0,0011	0,047	0,0656	
	0,126	0,136	0,201	0,232	0,274	0,337	0,350	0,435	0,001		0,060		
	0,194	0,208	0,312	0,316	0,364	0,451	0,456	0,618	0,002		0,090		
Grupa C - brudne	N	0,177	0,201	0,267	0,269	0,272	0,383	0,431	0,432	0,001	0,0008	0,049	0,0466
		0,239	0,278	0,284	0,289	0,294	0,383	0,428	0,434	0,001		0,047	
		0,215	0,236	0,241	0,262	0,281	0,370	0,414	0,414	0,001		0,044	
	E	0,250	0,266	0,298	0,301	0,320	0,437	0,478	0,474	0,001	0,0007	0,044	0,0405
		0,231	0,288	0,302	0,309	0,333	0,396	0,414	0,440	0,001		0,038	
		0,243	0,268	0,313	0,321	0,338	0,372	0,407	0,448	0,001		0,040	
	S	0,265	0,284	0,318	0,319	0,344	0,448	0,482	0,487	0,001	0,0007	0,046	0,0433
		0,246	0,306	0,322	0,327	0,357	0,407	0,418	0,453	0,001		0,041	
		0,258	0,286	0,333	0,339	0,362	0,383	0,411	0,461	0,001		0,042	
	W	0,192	0,219	0,287	0,287	0,296	0,394	0,435	0,445	0,001	0,0008	0,051	0,0493
		0,254	0,296	0,304	0,307	0,318	0,394	0,432	0,447	0,001		0,050	
		0,230	0,254	0,261	0,280	0,305	0,381	0,418	0,427	0,001		0,047	
Grupa C - wyczyszczone	N	0,177	0,201	0,467	0,562	0,572	0,783	0,931	1,132	0,003	0,0036	0,192	0,2177
		0,291	0,446	0,644	1,038	1,127	1,272	1,355	1,515	0,005		0,268	
		0,221	0,281	0,389	0,498	0,701	0,874	0,997	1,149	0,003		0,194	
	E	0,257	0,287	0,345	0,406	0,447	0,588	0,647	0,742	0,002	0,0022	0,098	0,1347
		0,244	0,271	0,425	0,493	0,533	0,543	0,608	0,756	0,002		0,099	
		0,233	0,356	0,571	0,668	0,805	0,956	1,037	1,191	0,003		0,206	
	S	0,265	0,284	0,318	0,317	0,344	0,448	0,482	0,557	0,001	0,0016	0,061	0,0969
		0,252	0,268	0,398	0,404	0,430	0,403	0,443	0,571	0,001		0,061	
		0,241	0,353	0,544	0,579	0,702	0,816	0,872	1,006	0,003		0,169	
	W	0,185	0,198	0,440	0,473	0,469	0,643	0,766	0,947	0,003	0,0030	0,154	0,1800
		0,299	0,443	0,617	0,949	1,024	1,132	1,190	1,330	0,004		0,230	
		0,229	0,278	0,362	0,409	0,598	0,734	0,832	0,964	0,003		0,156	

Tabela 4. Współczynnik absorpcji wody tynku mineralnego o fakturze kornik (MK)

Próbki	$\Delta m_t = \text{Różnica mas}/A$								A_w	$\overline{A_w}$	W_w	$\overline{W_w}$	
	5 min	20 min	1 h	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$		$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$		
Grupa A	0,167	0,225	0,363	0,502	0,633	0,637	0,640	0,663	0,002	0,0016	0,104	0,0984	
	0,159	0,179	0,278	0,384	0,503	0,506	0,522	0,557	0,001		0,084		
	0,166	0,186	0,284	0,421	0,589	0,590	0,621	0,673	0,002		0,108		
Grupa B	0,141	0,152	0,227	0,256	0,317	0,405	0,406	0,470	0,001	0,0010	0,069	0,0584	
	0,190	0,191	0,245	0,282	0,292	0,344	0,362	0,402	0,001		0,051		
	0,178	0,180	0,245	0,268	0,332	0,350	0,361	0,427	0,001		0,054		
Grupa C - brudne	N	0,267	0,314	0,322	0,328	0,337	0,477	0,48	0,5	0,001	0,0012	0,051	0,0735
		0,266	0,328	0,334	0,343	0,361	0,452	0,454	0,523	0,001		0,056	
		0,35	0,441	0,465	0,508	0,665	0,735	0,761	0,857	0,002		0,114	
	E	0,297	0,330	0,336	0,353	0,377	0,458	0,474	0,506	0,001	0,001	0,046	0,0616
		0,276	0,345	0,369	0,380	0,423	0,539	0,554	0,579	0,001		0,063	
		0,290	0,319	0,323	0,350	0,370	0,591	0,616	0,640	0,001		0,076	
	S	0,294	0,315	0,32	0,337	0,345	0,446	0,465	0,48	0,001	0,0009	0,041	0,0563
		0,273	0,33	0,353	0,364	0,391	0,527	0,545	0,553	0,001		0,058	
		0,287	0,304	0,307	0,334	0,338	0,579	0,607	0,614	0,001		0,070	
	W	0,264	0,299	0,306	0,312	0,305	0,465	0,471	0,474	0,001	0,0011	0,044	0,0675
		0,263	0,313	0,318	0,327	0,329	0,440	0,445	0,497	0,001		0,048	
		0,347	0,426	0,449	0,492	0,633	0,723	0,752	0,831	0,001		0,110	
Grupa C – wyczyszczone	N	0,17	0,369	0,56	0,767	0,908	0,947	1,178	1,26	0,004	0,0036	0,216	0,2161
		0,215	0,243	0,337	0,441	0,543	0,558	0,855	1,003	0,003		0,164	
		0,107	0,371	0,944	1,178	1,384	1,39	1,351	1,513	0,004		0,268	
	E	0,140	0,319	0,552	0,646	0,702	0,802	0,980	1,119	0,003	0,0029	0,181	0,1762
		0,224	0,267	0,357	0,429	0,473	0,497	0,576	0,602	0,001		0,078	
		0,213	0,422	0,904	1,213	1,369	1,380	1,452	1,538	0,004		0,269	
	S	0,154	0,323	0,548	0,629	0,653	0,766	0,918	1,033	0,003	0,0027	0,170	0,1634
		0,238	0,271	0,353	0,412	0,424	0,461	0,514	0,516	0,001		0,065	
		0,227	0,426	0,9	1,196	1,32	1,344	1,39	1,452	0,004		0,256	
	W	0,184	0,373	0,556	0,750	0,859	0,911	1,116	1,174	0,003	0,0030	0,180	0,1822
		0,229	0,247	0,333	0,424	0,494	0,522	0,793	0,917	0,002		0,132	
		0,121	0,375	0,940	1,161	1,335	1,354	1,289	1,427	0,004		0,234	

Tabela 5. Współczynnik absorpcji wody tynku silikatowego o fakturze baranek (SaB)

Próbki	$\Delta m = \text{Różnica mas}/A$								A_w	$\overline{A_w}$	W_w	$\overline{W_w}$	
	5 min	20 min	1 h	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$		$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$		
Grupa A	0,131	0,148	0,225	0,318	0,444	0,559	0,571	0,725	0,002	0,0022	0,128	0,1321	
	0,120	0,169	0,252	0,346	0,610	0,681	0,308	0,708	0,002		0,124		
	0,123	0,164	0,234	0,353	0,673	0,760	0,798	0,808	0,002		0,144		
Grupa B	0,181	0,205	0,260	0,306	0,448	0,555	0,602	0,699	0,002	0,0017	0,122	0,1041	
	0,124	0,139	0,252	0,312	0,338	0,466	0,489	0,639	0,002		0,110		
	0,123	0,165	0,212	0,313	0,350	0,408	0,418	0,492	0,001		0,080		
Grupa C - brudne	N	0,072	0,11	0,133	0,155	0,184	0,223	0,278	0,286	0,001	0,0008	0,044	0,0470
		0,1	0,136	0,188	0,218	0,255	0,265	0,3	0,341	0,001		0,055	
		0,116	0,126	0,146	0,168	0,192	0,255	0,293	0,304	0,001		0,042	
	E	0,106	0,128	0,168	0,252	0,262	0,277	0,364	0,371	0,001	0,0007	0,055	0,0448
		0,089	0,167	0,169	0,194	0,204	0,251	0,289	0,311	0,001		0,043	
		0,121	0,139	0,183	0,224	0,234	0,243	0,270	0,276	0,001		0,036	
	S	0,111	0,138	0,177	0,273	0,273	0,281	0,373	0,376	0,001	0,0008	0,056	0,0458
		0,094	0,177	0,178	0,215	0,215	0,255	0,298	0,316	0,001		0,044	
		0,126	0,149	0,192	0,245	0,245	0,247	0,279	0,281	0,001		0,037	
	W	0,077	0,120	0,142	0,176	0,195	0,227	0,287	0,291	0,001	0,0007	0,039	0,0440
		0,105	0,146	0,197	0,239	0,266	0,269	0,309	0,346	0,001		0,050	
		0,121	0,136	0,155	0,189	0,203	0,259	0,302	0,309	0,001		0,043	
Grupa C - wyczyszczone	N	0,104	0,148	0,256	0,374	0,479	0,764	0,973	1,062	0,003	0,0039	0,196	0,2358
		0,179	0,318	0,584	0,825	0,934	1,094	1,433	1,587	0,005		0,304	
		0,137	0,19	0,3	0,44	0,481	0,673	0,873	1,116	0,003		0,207	
	E	0,197	0,285	0,421	0,509	0,566	0,665	1,687	0,914	0,003	0,0023	0,156	0,1394
		0,177	0,240	0,345	0,431	0,493	0,602	0,682	0,864	0,002		0,146	
		0,113	0,175	0,263	0,336	0,376	0,470	0,530	0,691	0,002		0,117	
	S	0,208	0,292	0,403	0,449	0,49	0,532	1,624	0,698	0,002	0,0015	0,102	0,0899
		0,188	0,247	0,327	0,371	0,417	0,469	0,619	0,648	0,002		0,102	
		0,124	0,182	0,245	0,276	0,3	0,337	0,467	0,475	0,001		0,066	
	W	0,115	0,155	0,238	0,314	0,403	0,631	0,910	0,846	0,003	0,0032	0,152	0,1917
		0,190	0,325	0,566	0,765	0,858	0,961	1,370	1,371	0,004		0,259	
		0,148	0,197	0,282	0,380	0,405	0,540	0,810	0,900	0,003		0,163	

Tabela 6. Współczynnik absorpcji wody tynku silikatowego o fakturze kornik (SaK)

Próbki	$\Delta m = \text{Różnica mas}/A$								A_w	$\overline{A_w}$	W_w	$\overline{W_w}$	
	5 min	20 min	1 h	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$		$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$		
Grupa A	0,269	0,312	0,538	0,726	0,823	0,826	0,896	0,926	0,002	0,0023	0,148	0,1361	
	0,103	0,227	0,328	0,362	0,390	0,464	0,487	0,799	0,002		0,132		
	0,100	0,164	0,188	0,236	0,347	0,454	0,541	0,725	0,002		0,128		
Grupa B	0,089	0,132	0,200	0,286	0,457	0,568	0,586	0,596	0,002	0,0019	0,111	0,1162	
	0,095	0,157	0,243	0,343	0,530	0,536	0,609	0,638	0,002		0,120		
	0,070	0,113	0,203	0,302	0,423	0,479	0,508	0,623	0,002		0,117		
Grupa C - brudne	N	0,106	0,168	0,172	0,188	0,221	0,283	0,295	0,319	0,001	0,0007	0,045	0,0427
		0,142	0,152	0,201	0,201	0,225	0,255	0,307	0,314	0,001		0,038	
		0,11	0,117	0,151	0,157	0,201	0,241	0,302	0,325	0,001		0,046	
	E	0,104	0,127	0,165	0,175	0,212	0,259	0,264	0,293	0,001	0,0008	0,039	0,0500
		0,148	0,154	0,158	0,169	0,214	0,289	0,316	0,357	0,001		0,052	
		0,112	0,173	0,207	0,207	0,225	0,229	0,323	0,385	0,001		0,058	
	S	0,105	0,13	0,166	0,176	0,212	0,258	0,264	0,306	0,001	0,0008	0,042	0,0499
		0,149	0,157	0,159	0,17	0,214	0,288	0,316	0,37	0,001		0,047	
		0,113	0,176	0,208	0,208	0,225	0,228	0,323	0,398	0,001		0,061	
	W	0,107	0,171	0,173	0,189	0,221	0,282	0,295	0,332	0,001	0,0008	0,047	0,0460
		0,143	0,155	0,202	0,202	0,225	0,254	0,307	0,327	0,001		0,042	
		0,111	0,120	0,152	0,158	0,201	0,240	0,302	0,338	0,001		0,049	
Grupa C - wyczyszczone	N	0,179	0,218	0,324	0,472	0,677	0,971	1,191	1,354	0,004	0,0044	0,256	0,2655
		0,172	0,23	0,365	0,537	0,685	0,948	1,199	1,573	0,005		0,301	
		0,153	0,18	0,305	0,429	0,593	0,972	1,122	1,275	0,004		0,240	
	E	0,123	0,162	0,257	0,323	0,476	0,555	0,689	0,813	0,002	0,0024	0,146	0,1457
		0,150	0,205	0,303	0,375	0,526	0,607	0,774	0,888	0,003		0,161	
		0,142	0,178	0,233	0,312	0,421	0,556	0,630	0,739	0,002		0,131	
	S	0,108	0,148	0,223	0,252	0,292	0,36	0,452	0,52	0,001	0,0014	0,086	0,0858
		0,135	0,191	0,269	0,304	0,342	0,412	0,537	0,595	0,002		0,101	
		0,127	0,164	0,199	0,241	0,308	0,361	0,393	0,446	0,001		0,071	
	W	0,164	0,204	0,290	0,401	0,493	0,776	0,954	1,061	0,003	0,0034	0,196	0,2056
		0,157	0,216	0,331	0,466	0,501	0,753	0,962	1,280	0,004		0,241	
		0,138	0,166	0,271	0,358	0,409	0,777	0,885	0,982	0,003		0,180	

Tabela 7. Współczynnik absorpcji wody tynku silikonowego o fakturze baranek (SoB)

Próbki	$\Delta m = \text{Różnica mas}/A$								A_w	\bar{A}_w	W_w	\bar{W}_w	
	5 min	20 min	1 h	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$		$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$		
Grupa A	0,113	0,130	0,182	0,245	0,300	0,307	0,344	0,481	0,001	0,0012	0,078	0,0738	
	0,172	0,187	0,226	0,313	0,352	0,355	0,360	0,472	0,001		0,076		
	0,103	0,130	0,149	0,204	0,283	0,307	0,344	0,431	0,001		0,068		
Grupa B	0,176	0,232	0,240	0,246	0,269	0,350	0,356	0,429	0,001	0,0009	0,057	0,0538	
	0,099	0,244	0,268	0,271	0,306	0,326	0,332	0,424	0,001		0,056		
	0,128	0,184	0,222	0,240	0,275	0,331	0,332	0,388	0,001		0,048		
Grupa C - brudne	N	0,17	0,179	0,2	0,251	0,251	0,295	0,404	0,408	0,001	0,0008	0,049	0,0465
		0,274	0,276	0,276	0,276	0,276	0,287	0,394	0,457	0,001		0,059	
		0,164	0,206	0,206	0,214	0,214	0,273	0,29	0,328	0,001		0,032	
	E	0,177	0,238	0,262	0,316	0,308	0,324	0,363	0,429	0,001	0,0007	0,053	0,0443
		0,163	0,187	0,203	0,196	0,254	0,270	0,328	0,353	0,001		0,037	
		0,209	0,216	0,221	0,279	0,271	0,290	0,345	0,389	0,001		0,043	
	S	0,167	0,234	0,263	0,324	0,324	0,329	0,355	0,426	0,001	0,0007	0,052	0,0444
		0,153	0,183	0,204	0,204	0,27	0,275	0,32	0,35	0,001		0,039	
		0,199	0,212	0,222	0,287	0,287	0,295	0,337	0,386	0,001		0,042	
	W	0,160	0,175	0,201	0,259	0,267	0,300	0,396	0,405	0,001	0,0007	0,048	0,0445
		0,264	0,272	0,277	0,284	0,292	0,292	0,386	0,454	0,001		0,056	
		0,154	0,202	0,207	0,222	0,230	0,278	0,282	0,325	0,000		0,030	
Grupa C - wyczyszczone	N	0,16	0,294	0,479	0,606	0,868	0,988	1,051	1,109	0,003	0,0032	0,196	0,1919
		0,145	0,293	0,434	0,552	0,724	0,994	1,258	1,608	0,005		0,298	
		0,186	0,194	0,228	0,258	0,277	0,304	0,37	0,553	0,001		0,082	
	E	0,175	0,269	0,490	0,689	0,854	1,000	1,124	1,197	0,004	0,0030	0,214	0,1777
		0,192	0,238	0,266	0,300	0,373	0,395	0,531	0,648	0,002		0,102	
		0,164	0,248	0,362	0,493	0,613	0,864	1,079	1,217	0,004		0,218	
	S	0,182	0,265	0,486	0,7	0,849	0,996	1,133	1,162	0,003	0,0028	0,207	0,1706
		0,199	0,234	0,262	0,311	0,368	0,391	0,54	0,613	0,002		0,095	
		0,171	0,244	0,358	0,504	0,608	0,86	1,088	1,182	0,004		0,211	
	W	0,167	0,290	0,475	0,617	0,863	0,984	1,060	1,074	0,003	0,0031	0,189	0,1848
		0,152	0,289	0,430	0,563	0,719	0,990	1,267	1,573	0,005		0,291	
		0,193	0,190	0,224	0,269	0,272	0,300	0,379	0,518	0,001		0,075	

Tabela 8. Współczynnik absorpcji wody tynku silikonowego o fakturze kornik (SoK)

Próbki	$\Delta m = \text{Różnica mas}/A$								A_w	$\overline{A_w}$	W_w	$\overline{W_w}$	
	5 min	20 min	1 h	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$		$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$		
Grupa A	0,035	0,054	0,070	0,135	0,209	0,229	0,246	0,382	0,001	0,0011	0,068	0,0679	
	0,097	0,101	0,107	0,145	0,231	0,334	0,253	0,398	0,001		0,071		
	0,055	0,071	0,083	0,126	0,168	0,220	0,276	0,368	0,001		0,065		
Grupa B	0,059	0,180	0,210	0,218	0,230	0,255	0,259	0,304	0,001	0,0006	0,031	0,0378	
	0,031	0,288	0,300	0,305	0,312	0,325	0,345	0,388	0,001		0,049		
	0,050	0,138	0,203	0,208	0,246	0,248	0,265	0,315	0,001		0,034		
Grupa C - brudne	N	0,103	0,119	0,146	0,146	0,146	0,146	0,25	0,248	0,001	0,0004	0,036	0,0259
		0,087	0,163	0,163	0,163	0,163	0,163	0,169	0,183	0,000		0,021	
		0,078	0,095	0,105	0,14	0,14	0,15	0,161	0,18	0,000		0,020	
	E	0,100	0,107	0,111	0,150	0,172	0,170	0,213	0,231	0,000	0,0004	0,029	0,0268
		0,088	0,112	0,116	0,136	0,132	0,152	0,207	0,224	0,000		0,027	
		0,064	0,125	0,129	0,125	0,137	0,138	0,158	0,209	0,000		0,024	
	S	0,097	0,101	0,101	0,144	0,17	0,17	0,212	0,24	0,001	0,0005	0,035	0,0327
		0,085	0,106	0,106	0,13	0,13	0,152	0,206	0,233	0,001		0,033	
		0,061	0,119	0,119	0,119	0,135	0,138	0,157	0,218	0,001		0,030	
	W	0,100	0,113	0,136	0,140	0,144	0,146	0,249	0,257	0,001	0,0004	0,034	0,0244
		0,084	0,157	0,153	0,157	0,161	0,163	0,168	0,192	0,000		0,019	
		0,075	0,089	0,095	0,134	0,138	0,150	0,160	0,189	0,000		0,020	
Grupa C - wyczyszczone	N	0,106	0,178	0,267	0,369	0,476	0,65	0,721	0,8	0,003	0,0024	0,153	0,1434
		0,064	0,089	0,133	0,149	0,16	0,19	0,238	0,576	0,002		0,107	
		0,102	0,168	0,254	0,355	0,477	0,68	0,778	0,881	0,003		0,170	
	E	0,042	0,126	0,175	0,239	0,316	0,489	0,575	0,673	0,002	0,0019	0,127	0,1148
		0,104	0,112	0,134	0,157	0,202	0,260	0,300	0,378	0,001		0,063	
		0,120	0,160	0,190	0,254	0,330	0,449	0,513	0,836	0,003		0,154	
	S	0,041	0,12	0,149	0,202	0,272	0,435	0,517	0,611	0,002	0,0018	0,115	0,1055
		0,103	0,106	0,108	0,12	0,158	0,206	0,242	0,316	0,001		0,054	
		0,119	0,154	0,164	0,217	0,286	0,395	0,455	0,774	0,002		0,148	
	W	0,105	0,172	0,241	0,332	0,432	0,596	0,663	0,738	0,002	0,0021	0,134	0,1259
		0,063	0,083	0,107	0,112	0,116	0,136	0,180	0,514	0,002		0,093	
		0,101	0,162	0,228	0,318	0,433	0,626	0,720	0,819	0,003		0,151	

Tabela 9. Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji N – baranek

Tynk	Grubość [cm]	θ [%]	$e^{4\theta}$	λ_{ψ} [W/mK]	$R_{\psi i}$ [m ² K/W]	R_{ψ} [m ² K/W]
Akrylowy	0-1,5	0,04	1,174	0,049	0,304	3,319
	1,5-3	0,027	1,114	0,047	0,321	
	3-4,5	0,02	1,083	0,045	0,330	
	4,5-6	0,02	1,083	0,045	0,330	
	6-7,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	7,5-9	0,013	1,053	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,053	0,044	1,356	
Mineralny	0-1,5	0,033	1,141	0,048	0,313	3,198
	1,5-3	0,027	1,114	0,047	0,321	
	3-4,5	0,027	1,114	0,047	0,321	
	4,5-6	0,027	1,114	0,047	0,321	
	6-7,5	0,027	1,114	0,047	0,321	
	7,5-9	0,027	1,114	0,047	0,321	
	9-15	0,027	1,114	0,047	1,282	
Silikatowy	0-1,5	0,027	1,114	0,047	0,321	3,412
	1,5-3	0,02	1,083	0,045	0,330	
	3-4,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	4,5-6	0,013	1,053	0,044	0,339	
	6-7,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	7,5-9	0,007	1,028	0,043	0,347	
	9-15	0,007	1,028	0,043	1,389	
Silikonowy	0-1,5	0,027	1,114	0,047	0,321	3,354
	1,5-3	0,027	1,114	0,047	0,321	
	3-4,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	4,5-6	0,013	1,053	0,044	0,339	
	6-7,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	7,5-9	0,013	1,053	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,053	0,044	1,356	

Tabela 10. Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji S – baranek

Tynk	Grubość [cm]	θ [%]	$e^{4\cdot\theta}$	λ_{ψ} [W/mK]	$R_{\psi i}$ [m ² K/W]	R_{ψ} [m ² K/W]
Akrylowy	0-1,5	0,02	1,083	0,045	0,330	3,342
	1,5-3	0,027	1,114	0,047	0,321	
	3-4,5	0,033	1,141	0,048	0,313	
	4,5-6	0,033	1,141	0,048	0,313	
	6-7,5	0,02	1,083	0,045	0,330	
	7,5-9	0,007	1,028	0,043	0,347	
	9-15	0,007	1,028	0,043	1,389	
Mineralny	0-1,5	0,013	1,053	0,044	0,339	3,335
	1,5-3	0,027	1,114	0,047	0,321	
	3-4,5	0,027	1,114	0,047	0,321	
	4,5-6	0,033	1,141	0,048	0,313	
	6-7,5	0,033	1,141	0,048	0,313	
	7,5-9	0,027	1,114	0,047	0,321	
	9-15	0,027	1,114	0,047	1,282	
Silikatowy	0-1,5	0,02	1,083	0,045	0,330	3,530
	1,5-3	0,02	1,083	0,045	0,330	
	3-4,5	0,02	1,083	0,045	0,330	
	4,5-6	0,02	1,083	0,045	0,330	
	6-7,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	7,5-9	0,013	1,053	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,053	0,044	1,356	
Silikonowy	0-1,5	0,02	1,083	0,045	0,330	3,473
	1,5-3	0,02	1,083	0,045	0,330	
	3-4,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	4,5-6	0,013	1,053	0,044	0,339	
	6-7,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	7,5-9	0,013	1,053	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,053	0,044	1,356	

Tabela 11. Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji E – baranek

Tynk	Grubość [cm]	θ [%]	$e^{4\cdot\theta}$	λ_{ψ} [W/mK]	$R_{\psi i}$ [m ² K/W]	R_{ψ} [m ² K/W]
Akrylowy	0-1,5	0,013	1,053	0,044	0,339	3,456
	1,5-3	0,013	1,053	0,044	0,339	
	3-4,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	4,5-6	0,007	1,028	0,043	0,347	
	6-7,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	7,5-9	0,007	1,028	0,043	0,347	
	9-15	0,007	1,028	0,043	1,389	
Mineralny	0-1,5	0,007	1,028	0,043	0,347	3,473
	1,5-3	0,007	1,028	0,043	0,347	
	3-4,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	4,5-6	0,007	1,028	0,043	0,347	
	6-7,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	7,5-9	0,007	1,028	0,043	0,347	
	9-15	0,007	1,028	0,043	1,389	
Silikatowy	0-1,5	0,007	1,028	0,043	0,347	3,542
	1,5-3	0,007	1,028	0,043	0,347	
	3-4,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	4,5-6	0,007	1,028	0,043	0,347	
	6-7,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	7,5-9	0,007	1,028	0,043	0,347	
	9-15	0,007	1,028	0,043	1,389	
Silikonowy	0-1,5	0,007	1,028	0,043	0,347	3,473
	1,5-3	0,007	1,028	0,043	0,347	
	3-4,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	4,5-6	0,007	1,028	0,043	0,347	
	6-7,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	7,5-9	0,007	1,028	0,043	0,347	
	9-15	0,007	1,028	0,043	1,389	

Tabela 12. Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji W – baranek

Tynk	Grubość [cm]	θ [%]	$e^{4\cdot\theta}$	λ_{ψ} [W/mK]	$R_{\psi i}$ [m ² K/W]	R_{ψ} [m ² K/W]
Akrylowy	0-1,5	0,04	1,174	0,049	0,304	3,369
	1,5-3	0,027	1,114	0,047	0,321	
	3-4,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	4,5-6	0,02	1,083	0,045	0,330	
	6-7,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	7,5-9	0,007	1,028	0,043	0,347	
	9-15	0,007	1,028	0,043	1,389	
Mineralny	0-1,5	0,027	1,114	0,047	0,321	3,209
	1,5-3	0,027	1,114	0,047	0,321	
	3-4,5	0,02	1,083	0,045	0,330	
	4,5-6	0,02	1,083	0,045	0,330	
	6-7,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	7,5-9	0,013	1,053	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,053	0,044	1,356	
Silikatowy	0-1,5	0,007	1,028	0,043	0,347	3,473
	1,5-3	0,007	1,028	0,043	0,347	
	3-4,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	4,5-6	0	1,000	0,042	0,357	
	6-7,5	0	1,000	0,042	0,357	
	7,5-9	0	1,000	0,042	0,357	
	9-15	0,000	1,000	0,042	1,429	
Silikonowy	0-1,5	0,007	1,028	0,043	0,347	3,372
	1,5-3	0,007	1,028	0,043	0,347	
	3-4,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	4,5-6	0,007	1,028	0,043	0,347	
	6-7,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	7,5-9	0,007	1,028	0,043	0,347	
	9-15	0,007	1,028	0,043	1,389	

Tabela 13. Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji N – kornik

Tynk	Grubość [cm]	θ [%]	$e^{4\cdot\theta}$	λ_{ψ} [W/mK]	$R_{\psi i}$ [m ² K/W]	R_{ψ} [m ² K/W]
Akrylowy	0-1,5	0,040	1,174	0,049	0,304	3,360
	1,5-3	0,027	1,114	0,047	0,321	
	3-4,5	0,020	1,083	0,045	0,330	
	4,5-6	0,020	1,083	0,045	0,330	
	6-7,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	7,5-9	0,007	1,028	0,043	0,347	
	9-15	0,007	1,028	0,043	1,389	
Mineralny	0-1,5	0,033	1,143	0,048	0,313	3,202
	1,5-3	0,027	1,113	0,047	0,321	
	3-4,5	0,027	1,113	0,047	0,321	
	4,5-6	0,027	1,113	0,047	0,321	
	6-7,5	0,027	1,113	0,047	0,321	
	7,5-9	0,027	1,113	0,047	0,321	
	9-15	0,027	1,113	0,047	1,284	
Silikatowy	0-1,5	0,04	1,174	0,049	0,304	3,258
	1,5-3	0,02	1,083	0,045	0,330	
	3-4,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	4,5-6	0,013	1,053	0,044	0,339	
	6-7,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	7,5-9	0,007	1,028	0,043	0,347	
	9-15	0,007	1,028	0,043	1,389	
Silikonowy	0-1,5	0,027	1,113	0,047	0,321	3,284
	1,5-3	0,027	1,113	0,047	0,321	
	3-4,5	0,013	1,055	0,044	0,339	
	4,5-6	0,013	1,055	0,044	0,339	
	6-7,5	0,013	1,055	0,044	0,339	
	7,5-9	0,013	1,055	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,055	0,044	1,354	

Tabela 14. Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji S – kornik

Tynk	Grubość [cm]	θ [%]	$e^{4\theta}$	λ_{ψ} [W/mK]	$R_{\psi i}$ [m ² K/W]	R_{ψ} [m ² K/W]
Akrylowy	0-1,5	0,033	1,141	0,048	0,313	3,355
	1,5-3	0,013	1,053	0,044	0,339	
	3-4,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	4,5-6	0,013	1,053	0,044	0,339	
	6-7,5	0,02	1,083	0,045	0,330	
	7,5-9	0,013	1,053	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,053	0,044	1,356	
Mineralny	0-1,5	0,06	1,271	0,053	0,281	3,413
	1,5-3	0,013	1,053	0,044	0,339	
	3-4,5	0,02	1,083	0,045	0,330	
	4,5-6	0,013	1,053	0,044	0,339	
	6-7,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	7,5-9	0	1,000	0,042	0,357	
	9-15	0,000	1,000	0,042	1,429	
Silikatowy	0-1,5	0,033	1,141	0,048	0,313	3,388
	1,5-3	0,04	1,174	0,049	0,304	
	3-4,5	0,027	1,114	0,047	0,321	
	4,5-6	0,04	1,174	0,049	0,304	
	6-7,5	0,027	1,114	0,047	0,321	
	7,5-9	0,013	1,053	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,053	0,044	1,356	
Silikonowy	0-1,5	0,013	1,053	0,044	0,339	3,456
	1,5-3	0,013	1,053	0,044	0,339	
	3-4,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	4,5-6	0,007	1,028	0,043	0,347	
	6-7,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	7,5-9	0,007	1,028	0,043	0,347	
	9-15	0,007	1,028	0,043	1,389	

Tabela 15. Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji E – kornik

Tynk	Grubość [cm]	θ [%]	$e^{4\cdot\theta}$	λ_{ψ} [W/mK]	$R_{\psi i}$ [m ² K/W]	R_{ψ} [m ² K/W]
Akrylowy	0-1,5	0,013	1,053	0,044	0,339	3,372
	1,5-3	0,02	1,083	0,045	0,330	
	3-4,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	4,5-6	0,013	1,053	0,044	0,339	
	6-7,5	0,02	1,083	0,045	0,330	
	7,5-9	0,013	1,053	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,053	0,044	1,356	
Mineralny	0-1,5	0,02	1,083	0,045	0,330	3,429
	1,5-3	0,02	1,083	0,045	0,330	
	3-4,5	0,02	1,083	0,045	0,330	
	4,5-6	0,013	1,053	0,044	0,339	
	6-7,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	7,5-9	0,02	1,083	0,045	0,330	
	9-15	0,020	1,083	0,045	1,319	
Silikatowy	0-1,5	0,02	1,083	0,045	0,330	3,371
	1,5-3	0,02	1,083	0,045	0,330	
	3-4,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	4,5-6	0,02	1,083	0,045	0,330	
	6-7,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	7,5-9	0,013	1,053	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,053	0,044	1,356	
Silikonowy	0-1,5	0,033	1,141	0,048	0,313	3,351
	1,5-3	0,033	1,141	0,048	0,313	
	3-4,5	0,027	1,114	0,047	0,321	
	4,5-6	0,033	1,141	0,048	0,313	
	6-7,5	0,02	1,083	0,045	0,330	
	7,5-9	0,013	1,053	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,053	0,044	1,356	

Tabela 16. Opór warstwy izolacyjnej dla próbek pobranych z orientacji W – kornik

Tynk	Grubość [cm]	θ [%]	$e^{4\theta}$	λ_{ψ} [W/mK]	$R_{\psi i}$ [m ² K/W]	R_{ψ} [m ² K/W]
Akrylowy	0-1,5	0,013	1,053	0,044	0,339	3,407
	1,5-3	0,013	1,053	0,044	0,339	
	3-4,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	4,5-6	0,007	1,028	0,043	0,347	
	6-7,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	7,5-9	0,013	1,053	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,053	0,044	1,356	
Mineralny	0-1,5	0,02	1,083	0,045	0,330	3,316
	1,5-3	0,02	1,083	0,045	0,330	
	3-4,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	4,5-6	0,013	1,053	0,044	0,339	
	6-7,5	0,007	1,028	0,043	0,347	
	7,5-9	0,007	1,028	0,043	0,347	
	9-15	0,007	1,028	0,043	1,389	
Silikatowy	0-1,5	0,007	1,028	0,043	0,347	3,305
	1,5-3	0,007	1,028	0,043	0,347	
	3-4,5	0,013	1,053	0,044	0,339	
	4,5-6	0,013	1,053	0,044	0,339	
	6-7,5	0,02	1,083	0,045	0,330	
	7,5-9	0,027	1,114	0,047	0,321	
	9-15	0,027	1,114	0,047	1,282	
Silikonowy	0-1,5	0,02	1,083	0,045	0,330	3,353
	1,5-3	0,013	1,053	0,044	0,339	
	3-4,5	0,02	1,083	0,045	0,330	
	4,5-6	0,02	1,083	0,045	0,330	
	6-7,5	0,02	1,083	0,045	0,330	
	7,5-9	0,013	1,053	0,044	0,339	
	9-15	0,013	1,053	0,044	1,356	