

JERZY BOCHEN*

**BADANIA WŁAŚCIWOŚCI DYFUZYJNYCH TYNKÓW
POCIENIONYCH PODDANYCH STARZENIU
W WARUNKACH SYMULOWANYCH****RESEARCH ON DIFFUSION PROPERTIES OF THIN-
-LAYER PLASTERS SUBMITTED TO AGEING
IN SIMULATED ENVIRONMENT**

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań paroprzepuszczalności układów tynkowych stosowanych w bezspoinowych systemach ociepleń budynków. Analizowano pojedyncze warstwy tynkowe: mineralne, akrylowe, silikatowe i silikonowe, zaprawy klejowe oraz układy dwuwarstwowe tynków z podkładami. Główną uwagę zwrócono na parametry dyfuzyjne: δ , μ , Z , S_d i ich zmiany w czasie na skutek starzenia. W tym celu próbki tynków przygotowano w pierścieniach dyfuzyjnych umożliwiającących okresowe pomiary dyfuzyjne metodą normową. W takiej postaci próbki poddano 200 cyklom symulowanego starzenia w komorze klimatycznej. Ponadto, na podstawie uzyskanych wyników przeanalizowano zależność właściwości dyfuzyjnych od parametrów struktury porowej określonej we wcześniejszych etapach badań. Wyniki pokazują, jak różnią się między sobą wielkości dyfuzyjne dla różnych tynków, jak mogą się zmieniać w czasie użytkowania oraz od jakich parametrów struktury porowości zależą najbardziej.

Słowa kluczowe: tynki pocienione, dyfuzja pary wodnej, starzenie atmosferyczne

Abstract

In the paper the results of tests on vapour permeability of plasters commonly used in lightweight thermal insulation systems of building are presented. Single-layer plasters such as: mineral, acrylic, silicate, silicone, background mortar and double-layer samples of plasters with backgrounds were examined. Main attention was focused on diffusion properties expressed by the δ , μ , Z , S_d coefficients and their changes caused by atmospheric ageing. To reach this aim, samples of plasters were prepared in diffusion rings what made possible to do periodical measurements of vapour flux according to standard method. The samples of such form were subjected to 200 cycles of simulate ageing in climate chamber. Moreover, relationships between the above properties and parameters of pore structure from later tests were analysed. The results show values of the examined properties for different plasters, their changes under atmospheric ageing and relationships with pore structure parameters.

Keywords: thin-layer plasters, vapour diffusion, atmospheric ageing

* Dr inż. Jerzy Bochen, Katedra Procesów Budowlanych, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska.

1. Wstęp

Na podstawie doświadczeń praktycznych i badawczych bezspoinowych systemów ociepleń budynków BSO [1] wiadomo, że trwałość układu ocieplającego jest funkcją parametrów techniczno-użytkowych poszczególnych jego składowych, tj.: styropianu, zaprawy klejącej, tkaniny zbrojącej, środków gruntujących i mas tynkarskich. O trwałości systemu ocieplającego decyduje najstarszy element, a mianowicie tynk, który jest narażony na bezpośrednie działanie czynników atmosferycznych, w tym także zanieczyszczeń chemicznych. Właściwości tej warstwy są więc istotne dla całego układu ocieplającego, a ten z kolei ma znaczenie dla budynku i komfortu jego użytkowania.

Jest oczywiste, że na komfort użytkowania pomieszczeń ma wpływ także ich mikroklimat, który zależy od parametrów fizycznych powietrza i przegród. W przypadku ścian istotnym parametrem jest paroprzepuszczalność, ważna dla zjawisk kondensacyjnych. Zazwyczaj typowa kondensacja zachodzi w okresie zimowym wewnątrz przegród zewnętrznych, np. tradycyjnych ścian trójwarstwowych, wielopłytowych czy też szkieletowych drewnianych. Przy kształtowaniu takich przegród obowiązuje zasada malejącego oporu dyfuzyjnego w kierunku warstwy licowej. Dawna wersja normy cieplnej PN-91/B-02020 wymagała, aby opór dyfuzyjny warstw wewnętrznych wynosił co najmniej $1200 \text{ m}^2 \text{ hPa/g}$ i nie był mniejszy od oporu okładziny licowej. Jeżeli przegroda spełnia ten wymóg oraz warunek izolacyjności cieplnej, to zazwyczaj funkcjonuje poprawnie. Lokalnie kondensacja może też występować na powierzchniach wewnętrznych ścian na mostkach cieplnych, którym mogą towarzyszyć zagrzybienia. W ścianach ocieplanych systemami bezspoinowymi (BSO) kondensacja może wystąpić pod tynkami pocienionymi, mimo poprawnego rozkładu oporów dyfuzyjnych. Zjawisko to zachodzi, kiedy temperatura spada poniżej temperatury punktu rosy i tynk szybko się wychładza, gdyż jest odseparowany termoizolacją od ciepła zakumulowanego w części masywnej ściany [2]. Wskutek ograniczenia przepływu strumienia ciepłego wysychanie nawilżonych elewacji jest od 10 do 20 razy wolniejsze od nawilżania [2]. Efekt ten przyczynia się znacząco do powstawania glonów na otynkowanych elewacjach. Stąd też instrukcja ITB nr 334/2002 [3] podaje ograniczenia wodochłonności oraz oporu dyfuzyjnego względnego: $w < 1200 \text{ g/m}^2$ po zanurzeniu w czasie do 24 godzin oraz $S_d < 2,0 \text{ m}$. Podobne ograniczenia stawia norma DIN 18550 dla wodochłonności i oporu dyfuzyjnego: $w < 0,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ i S_d jak wyżej [2].

W celu sprawdzenia powyższych wymagań lub do wykonywania obliczeń cieplno-wilgotnościowych potrzebne są parametry dyfuzyjne tynków. W normie cieplnej PN-B-02020 z 1991 r. podane są współczynniki przepuszczalności pary wodnej δ dla tynków zewnętrznych, ale tylko tradycyjnych, np. $45 \cdot 10^{-4} \text{ [g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{hPa]}$ dla tynków cementowych i cementowo-wapiennych. Z kolei w nowej normie, PN-EN 12524:2003 [4], podane są tylko tynki zwykle o stałym dla wszystkich współczynniku oporu dyfuzyjnego μ równym 10 dla warunków suchych i 6 dla warunków wilgotnych. Nie ma wartości dla tynków cienkowarstwowych. W celu rozpoznania, jak kształtują się wielkości dyfuzyjne pocienionych wypraw tynkarskich w zależności od ich rodzaju, a także starzenia atmosferycznego, przeprowadzono badania laboratoryjne właściwości dyfuzyjnych wybranych tynków pocienionych.

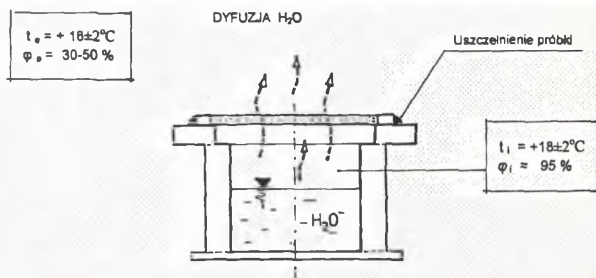
2. Badania paroprzepuszczalności wypraw tynkowych

Podjęte badania nawiązują do wymagań PN-B-10106:1997 [5], a w szczególności do dwóch spośród dziesięciu, tj. oporu dyfuzyjnego i odporności na przyspieszone starzenie. Co

prawda norma [5] jest wycofana, ale ze względu na jej przejrzyste opracowanie oraz brak zastąpienia inną normą, wykorzystano ją do badań. Próbki wykonano z atestowanych materiałów, takich jak: masy tynkarskie do strukturalnych tynków pocienionych, zaprawa klejowa i środek gruntujący. Spośród mas tynkarskich zastosowano cztery odmiany: akrylowe, mineralne, silikatowe (krzemianowe) i silikonowe. Tynki mineralne wykonano z suchej mieszanki spoiw i wypełniaczy mineralnych oraz domieszek modyfikujących, natomiast pozostałe tynki z gotowych mas z dodatkami wypełniaczy, środków hydrofobowych, pigmentów i wody. Zastosowano zaprawę klejową na bazie polimeru opartego na redyspersyjnej żywicy oraz środek gruntujący na bazie drobnoziarnistych akrylowych dyspersji polimerowych z kopolimeru styrenowo-akrylowego.

Badania właściwości dyfuzyjnych układów tynkowych przeprowadzono zgodnie z wytycznymi normy PN-B-10106 [5], na pierścieniach dyfuzyjnych o grubości 3 mm i 8 mm oraz średnicy wewnętrznej odpowiednio $\Phi 90$ mm i $\Phi 100$ mm (ryc. 1). Łącznie przygotowano trzy typy próbek pod względem materiału (tabl. 1): próbki jednowarstwowe tynków (A, K, S, M – w pierścieniach $3 \times \Phi 90$ mm), próbki dwuwarstwowe tynku i zaprawy klejowej (PA, PK, PS, PM – w pierścieniach $8 \times \Phi 100$ mm), próbki jednowarstwowe podkładu zaprawy klejowej (P – $8 \times \Phi 100$ mm), które przechowywano przez okres 28 dni w warunkach powietrzno-suchych o temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej 50–60%.

Próbki po stwardnieniu poddano dyfuzji strumienia pary wodnej wymuszonego różnicą wilgotności po obu stronach próbek, przy wilgotności zewnętrznej na poziomie 30–50% (w zależności od pory roku) i tym samym różnicy $\Delta\phi = 45$ –65% (ryc. 1). Ubytki masy wody mierzono w odstępach dobowych (z wyjątkiem sobót i niedziel). W celu rozpoznania wpływu czynników klimatycznych na początkowe właściwości dyfuzyjne tynków, wszystkie zestawy poddano testowi symulowanego starzenia w specjalnej komorze klimatycznej, trwającemu 200 cykli, co odpowiada okresowi 4–6 lat w warunkach naturalnych.



Ryc. 1. Schemat stanowiska do pomiaru dyfuzji pary wodnej

Fig. 1. Scheme of the stand for measurement of vapour diffusion

W tym celu przygotowane wcześniej próbki pierścieniowe zamocowano na jednej ze ścian roboczych komory (ryc. 3) i poddawano czterem kolejnym 50-cyklowym ekspozycjom starzeniowym. Przyjęto następującą charakterystykę jednostkowego cyklu klimatycznego:

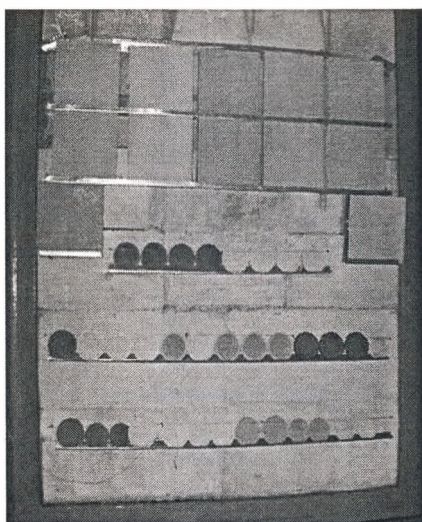
- 60 minut nagrzewania do temperatury $+55^\circ\text{C}$ ($+45^\circ\text{C}$ w powietrzu) i naświetlania promieniami UV,
- 15 minut zraszania wodą,
- 60 minut chłodzenia w temperaturze -18°C .

Pomiary dyfuzyjne wykonywano co 50 cykli na cylindrach dyfuzyjnych (ryc. 2).



Ryc. 2. Pomiary strumienia dyfuzji pary wodnej dla zestawów tynkowych

Fig. 2. Measurements of vapour diffusion flux for plaster samples



Ryc. 3. Zestawy tynków w pierścieniach dyfuzyjnych w komorze starzeniowej

Fig. 3. Arrangement of plaster samples in rings on a wall of the ageing chamber

3. Wyniki badań dyfuzyjnych

Na podstawie zarejestrowanych ubytków masy, temperatury i wilgotności otoczenia, a także wymiarów próbek określono dla nich strumienie wilgoci oraz parametry dyfuzyjne:

δ – współczynnik przepuszczalności pary wodnej [$\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{hPa}$],

μ – współczynnik oporu dyfuzyjnego [-],

Z – opór dyfuzyjny, [$\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{hPa}/\text{g}$],

S_d – równoważna dyfuzyjnie warstwa powietrza [m].

Powyższe parametry określono na podstawie znanych zależności typu

$$g = \frac{\Delta m}{A \cdot \Delta T} = \delta \frac{\Delta p}{d} = \delta_0 \frac{\Delta p}{S_d} = \frac{\Delta p}{Z} \quad (1)$$

$$\mu = \frac{\delta_0}{\delta}, \quad Z = \frac{d}{\delta}, \quad S_d = \mu \cdot d, \quad S_d = Z \cdot \delta_0 \quad (2)$$

gdzie:

δ_0 – współczynnik przepuszczalności pary wodnej w powietrzu [kg/msPa],

Δp – różnica ciśnień cząstkowych $\Delta p = p_i - p_e$ [Pa].

W ten sposób określono parametry dyfuzyjne dla wszystkich badanych próbek w poszczególnych fazach starzeniowych, uzyskując charakterystyki dyfuzyjne δ , μ , Z , S_d w zależności od czasu. Uzyskane wartości dla stanu początkowego przed testem starzeniowym oraz po 200 cyklach symulowanego starzenia zestawiono poniżej.

Tablica 1

Parametry dyfuzyjne próbek w stanie początkowym „0” i po 200 cyklach starzenia

Rodzaj próbki		δ [g/m ² ·h·hPa]		μ [-]		Z [m ² ·h·hPa/g]		S_d [m]	
		„0”	200 c.	„0”	200 c.	„0”	200 c.	„0”	200 c.
A	tynek akrylowy	12,4	19,8	58,1	36,4	2,42	1,52	0,174	0,109
K	tynek krzemianowy	27,4	36,6	26,3	19,7	1,09	0,82	0,078	0,059
S	tynek silikonowy	24,0	33,4	30,0	21,6	1,25	0,90	0,090	0,065
M	tynek mineralny	55,2	54,6	13,0	13,2	0,54	0,55	0,039	0,040
PA	tynek akrylowy na zaprawie klejowej	40,0	35,2	18,0	20,5	2,0	2,27	0,144	0,163
PK	tynek krzemianowy na zaprawie klejowej	55,8	53,5	12,9	20,5	1,43	1,50	0,103	0,108
PS	tynek silikonowy na zaprawie klejowej	48,1	45,5	15,0	15,8	1,66	1,76	0,120	0,127
PM	tynek mineralny na zaprawie klejowej	62,1	48,9	11,6	14,7	1,29	1,64	0,093	0,118
P	zaprawa klejowa	67,2	53,4	10,7	13,5	1,19	1,50	0,086	0,108

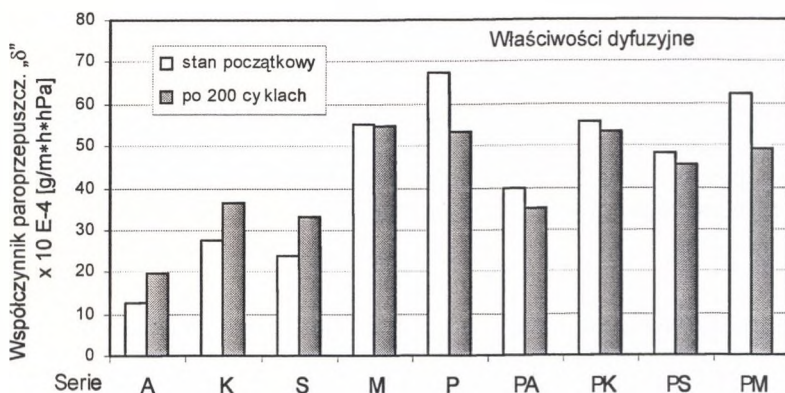
Różnice właściwości dyfuzyjnych badanych zestawów na skutek starzenia przedstawiono na wykresie porównawczym dla współczynnika paroprzepuszczalności δ (ryc. 4) oraz w poszczególnych fazach starzeniowych po 50, 100, 150 i 200 cyklach (ryc. 5) w formie charakterystyk starzeniowych $\delta(t)$. Podobnie można określić zależności $\mu(t)$, $Z(t)$, $S_d(t)$.

Ponieważ tynki posiadają zróżnicowaną strukturę porowatą, przeanalizowano także zależności parametrów dyfuzyjnych na przykładzie współczynnika δ w powiązaniu z parametrami struktury, takimi jak: porowatość otwarta P_o , porowatość całkowita P_t , średni promień porów R oraz powierzchnia właściwa porów A , które były także badane w procesie starzenia w czasie 400 cykli [6]. Przykładowe wyniki przedstawiono dla popularnych tynków akrylowego i mine-



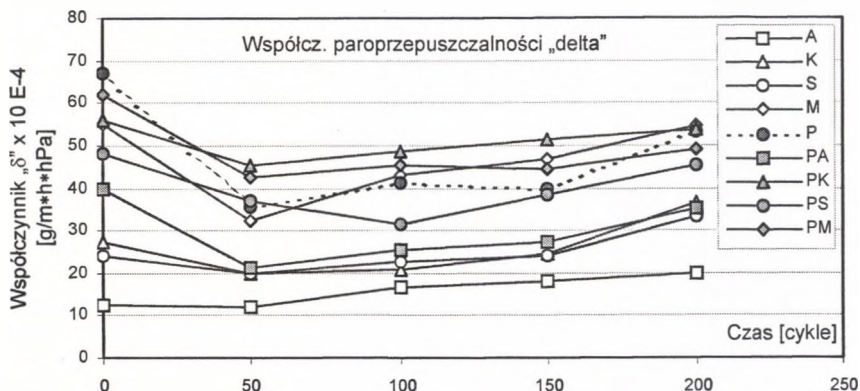
ralnego (ryc. 6). Cechą charakterystyczną są zmiany struktury porowej polegające na wzroście porowości otwartej przy zmniejszającej się średnicy porów dominujących i przegrupowaniu średnic porów w kierunku mniejszych mikroporów.

Ponadto, analizowano cztery zależności: $\delta(P_o)$, $\delta(P_i)$, $\delta(R)$ i $\delta(A)$. W każdym przypadku korelowano zbiory wartości $X_i(t)[Y_i(t)]$ zmienne w czasie ich starzenia. Spośród zależności najlepsze skorelowania uzyskano dla pierwszej zależności $\delta(t)[P_o(t)]$ o wartościach 0,727–0,991. Dla pozostałych związków korelacje okazały się niskie i wyniosły 0,186–0,438, co świadczy o małej istotności wpływu innych cech na dyfuzyjność wypraw pocienionych.



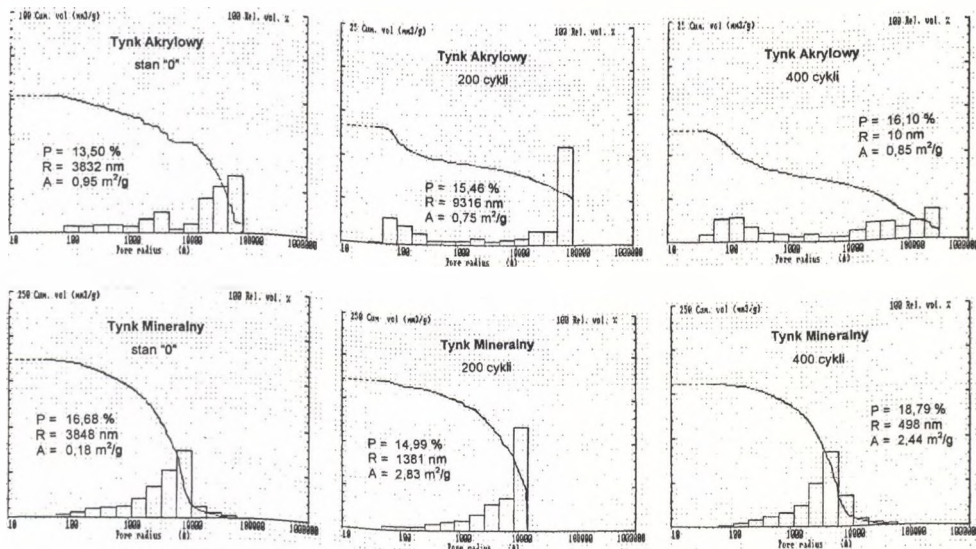
Ryc. 4. Porównanie współczynnika δ w stanie początkowym i po 200 cyklach starzenia

Fig. 4. Comparison of the δ coefficient at the beginning and after 200 cycles of ageing



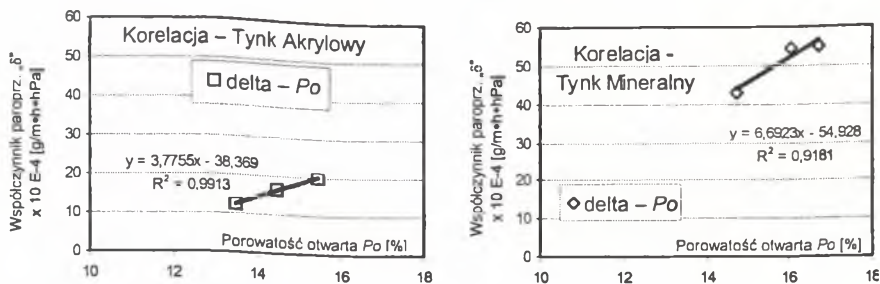
Ryc. 5. Zmiany współczynnika δ dla próbek tynkowych pod wpływem symulowanego starzenia

Fig. 5. Changes of the δ coefficient for plaster samples during simulate ageing



Ryc. 6. Rozkłady porów w tynku akrylowym i mineralnym po 0, 200 i 400 cyklach starzenia [6]

Fig. 6. Pore distribution in acrylic and mineral plasters at 0, 200 and 400 cycles of ageing



Ryc. 7. Przykładowe zależności współczynnika δ i porowatości otwartej tynków w procesie starzenia

Fig. 7. Example relationships between the δ coefficient and open porosity of plasters during ageing

4. Podsumowanie i wnioski

Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań oraz ich analiza pozwalają stwierdzić, że:

1. Poszczególne tynki pocienione mają zróżnicowaną paroprzepuszczalność (opór dyfuzyjny). Najmniejszą cechują się tynki akrylowe ($\delta = 12,4\text{--}19,8$ g/m·h·hPa), następnie silikonowe ($\delta = 24,0\text{--}33,4$ g/m·h·hPa), krzemianowe ($\delta = 27,4\text{--}36,6$ g/m·h·hPa) i największą tynki mineralne ($\delta = 55,2\text{--}54,6$ g/m·h·hPa). Relacja ta jest taka sama z uwzględnieniem zaprawy klejowej, lecz przepuszczalność pary jest większa o około 20% niż dla samych tynków. Przyczyną sprawczą jest znaczna dyfuzyjność zaprawy klejowej ($\delta = 67,2\text{--}53,4$ g/m·h·hPa), porównywalna z tynkiem mineralnym.

2. Na właściwości dyfuzyjne tynków pocienionych ma wpływ oddziaływanie klimatyczne otoczenia. Generalnie, paroprzepuszczalność samych tynków po teście starzeniowym wzrosła średnio o około 30%, z wyjątkiem tynku mineralnego (prawie bez zmian). Z kolei dla podkładu klejowego czy tynków wraz z podkładami zmalała średnio o 10%, przy czym dla tynków mineralnych o 20%, co jest skutkiem malejącej dyfuzyjności podkładu o 20%. W początkowym stadium starzenia odnotowano też zwiększenia oporu dyfuzyjnego, co może wynikać z przyspieszenia zachodzących jeszcze procesów twardnienia. Dalsze zmiany paroprzepuszczalności w czasie mają już charakter rosnący, analogicznie jak zmiany porowatości otwartej.
3. Na paroprzepuszczalność tynków wpływa ich mikrostruktura, a w szczególności najsilniej porowatość otwarta, która wzrasta w procesie starzenia. Związek ten potwierdza wysoki stopień skorelowania, średnio 0,906. Wpływ pozostałych parametrów struktury porowej jest mniej istotny.

Literatura

- [1] Frychel J., Owczarek K., *Określenie parametrów technicznych oraz stopnia zużycia warstw nawierzchniowych w ociepleniach budynków realizowanych metodą lekką w systemie FaGra, po kilkuletnim okresie ich eksploatacji w atmosferze wielkoprzemysłowych śląskich zagrożeń korozyjnych wraz z podaniem sposobu naprawy typowych uszkodzeń ociepleń*, praca badawcza nr 10028, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Budownictwa Węglowego, Katowice 2002.
- [2] Karyś J., Richter C., *Czynniki biologiczne na elewacjach budynków mieszkalnych – przyczyny występowania i usuwanie*, „Ochrona przed korozją”, Miesięcznik Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Spożywczego, 10/A/2003, 91-101.
- [3] Instrukcja ITB nr 334/2002 Bezspoinowy system ocieplenia ścian zewnętrznych budynków.
- [4] PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaaryczne wartości obliczeniowe.
- [5] PN-B-10106:1997 Tynki i zaprawy budowlane. Masy tynkarskie do wypraw pocienionych.
- [6] Bochen J., *Badania trwałościowe wybranych właściwości tynków cienkowarstwowych poddanych procesowi przyspieszonego starzenia*, praca badawcza BK-271/RB-4/04, Katedra Procesów Budowlanych, Gliwice 2004.