

dr inż. Romuald Szela<sup>1)</sup>

# Renowacja fasad budynków zabytkowych z uwzględnieniem efektów nasłonecznienia

## *Renovation of the facade of the listed buildings taking insolation into consideration*

DOI: 10.15199/33.2015.11.48

(Oryginalny artykuł naukowy)

**Streszczenie.** W artykule zamieszczono analizy wpływu nasłonecznienia na zmienność naprężeń w strukturze przypowierzchniowej ścian obiektów zabytkowych. Dobowe zmiany temperatur zewnętrznych w korelacji z intensywnością procesów nasłonecznienia skutkują powstawaniem w warstwie fakturowej destrukcyjnych zjawisk, które mogą powodować ich zarysowanie oraz utratę spójności z warstwą muru. Przeprowadzone prace wskazują na sposób doboru materiałów wykorzystywanych w trakcie remontów fasad, w aspekcie zwiększenia ich trwałości.

**Słowa kluczowe:** fasada, renowacja, temperatura, nasłonecznienie.

**Abstract.** In this paper was analyzed insolation effect on stress changeability in the superficial parts of the walls of the listed buildings. Fluctuation of external temperatures, combined with insolation process, caused in elevation layer destructive effects. These effects can caused scratch of this layer and loss of the cohesion with the wall. In the paper was indicated how to match materials, used during renovation of facades, to increase their durability.

**Keywords:** facade, renovation, temperature, insolation.

Obiekty zabytkowe odgrywają ważną rolę w dziedzictwie kulturowym, dlatego też obecni użytkownicy zobowiązani są do zachowania bądź przywracania ich pierwotnych form. Realizuje się to przez cykliczne restaurowanie, wykonywanie skrupulatnych, częstszych niż w przypadku innych budowli, przeglądów, a w razie potrzeby niezwłocznych napraw [1, 3], eliminujących wady. Ochronę struktur wewnętrznych od wpływów środowiskowych pełnią powłoki elewacyjne. Z tego względu należy szczególnie starannie je wykonywać, a podczas eksploatacji dbać, by zachowywały swoje właściwości pomiędzy okresami planowych prac remontowych. Ewentualne remonty należy wykonywać pod ścisłym nadzorem konserwatora zabytków, na podstawie dokumentacji konserwatorskiej. Duże nakłady środków i czasu pochłaniają prace przy kształtowaniu i odtwarzaniu elementów zdobniczych, dlatego też przed przystąpieniem do naprawy konieczna jest wstępna analiza pod kątem trwałości i wybór najbardziej efektywnej technologii [5]. Gruntowne prace konserwatorskie polegają m.in. na odtworzeniu pierwotnego wyglądu powłok elewacyjnych, a niekiedy uwidocznieniu na zewnątrz struktury muru. W artykule zwrócono uwagę na wpływy środowiska natural-

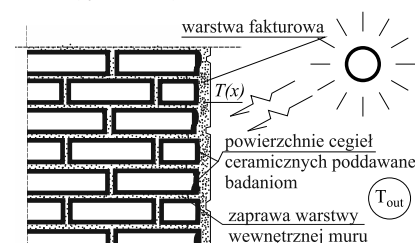
nego, które wynikają z oddziaływania promieniowania słonecznego, zwiększającego obciążenie termiczne. Kompleksowa analiza zjawisk mających wpływ na stan wypraw umożliwia właściwy dobór materiałów wykorzystywanych w procesach odtworzeniowych fasad, niejednokrotnie pozwala na ograniczenie bądź eliminację niekorzystnych stanów.

### Obciążenie temperaturą elewacji obiektów

Oddziaływania klimatyczne powodują, w okresie wieloletniego użytkowania, cykliczne zmiany naprężeń i odkształceń, a w konsekwencji prowadzą do zarysowania elementów [2]. Szczególnie znaczenie w pracach konserwatorskich zajmują elewacje frontowe, gdzie umieszcza się zdobienia, a często także wykonuje boniowanie powierzchni. Umieszczanie dodatkowych elementów na fasadach zmienia rozkład temperatury wynikający z promieniowania słonecznego w ich obszarze, utrudniając proces analizy. Pierwszą czynnością jest określenie lokalizacji obiektu w odniesieniu do stron świata oraz ustalenie ewentualnych przeszkód zasłaniających obiekt przed bezpośrednim działaniem promieni słonecznych. Zwarta zabudowa miejska może ograniczyć ekspozycję jedynie do jednej elewacji, najczęściej frontowej, przez osłonięcie sąsiednią zabudową bądź drzewami.

Obliczenie wartości obciążenia elewacji temperaturą wykonuje się na podstawie

norm [6, 7], ale można je weryfikować, wykonując rzeczywiste pomiary, podczas których mierzy się temperaturę otoczenia  $T_{out}$  i powierzchni ściennych  $T(x)$  oraz ocenia stan cegieł i zaprawy warstwy wewnętrznej muru (rysunek 1).



**Rys. 1. Identyfikacja stanu struktur przypowierzchniowych ścian murowanych**

[Rys. Autor]  
Fig. 1. Identification of the superficial layer of the brick walls condition [Fig. Author]

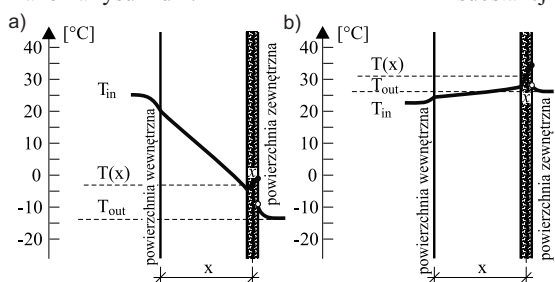
Składowe równomierne obciążenie temperaturą rozpatruje się jako różnicę  $\Delta T_u$  między średnią temperaturą warstwy  $T$  w porze letniej i zimowej a jej temperaturą scalenia  $T_0$

$$\Delta T_u = T - T_0 \quad (1)$$

W obliczeniach temperatury w porze letniej rozróżnić należy stan faktyczny, tj. powierzchnie poddane działaniu promieniowania słonecznego i osłonięte przed tym działaniem. Maksymalna wartość temperatury występuje na przegrodach pionowych usytuowanych od strony południowo-zachodniej i zachodniej, natomiast minimalna od strony północnej i zależy od

<sup>1)</sup> Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
e-mail: r.szela@pb.edu.pl

wartości współczynnika absorpcji promieniowania. W przypadku powierzchni w kolorze jasnym, wartość tego współczynnika wynosi 0,5 i zwiększa się do 0,9 w przypadku koloru ciemnego. Proces określenia temperatury na zewnątrz konstrukcji  $T_{out}$ , uwzględniający nasłonecznienie wg normy [6], nie oddaje właściwie powszechnie występujących stanów termicznych w strefach przypowierzchniowych, gdyż temperatura na zewnątrz jest z reguły znacznie mniejsza od wartości identyfikowanych bezpośrednio na powierzchni elementu. Faktyczny rozkład temperatury, występujący w procesach nasłonecznienia przegród muryowanych z warstwą fakturową, pokazano na rysunku 2.



**Rys. 2. Rozkład temperatury w przegrodach pionowych bez izolacji termicznej uwzględniający wpływ nasłonecznienia: a) okres zimowy; b) okres letni** [Rys. Autor]  
 Fig. 2. Temperature profil in the walls without thermal insulation taking insolation into consideration: a) winter period; b) summer period [Fig. Author]

W procesie analizy przyjęto lokalizację przegrody zewnętrznej od strony południowo-zachodniej obiektu zlokalizowanego na obszarze, w przypadku którego maksymalna temperatura w cieniu  $T_{max} = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ , posadowionego na rzędnej 140 m n.p.m. i wykorzystano przepisy norm [6] oraz [7] do ustalenia rozkładu temperatury dla elewacji w kolorze jasnym i kremowobrazowym. Wartość temperatury  $T_{out}$  wyniosła odpowiednio  $55,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  oraz  $67,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Otrzymane wartości w porze letniej zestawiono w tabeli. Różnice w obliczonych wartościach są znaczne i wynikają z obligatoryjnego przyjmowania temperatury o wartości  $T_3 = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$  oraz  $T_4 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  odpowiednio dla powierzchni jasnych i kolorowych wyni-

**Obliczone wartości temperatur w przypadku pory letniej**

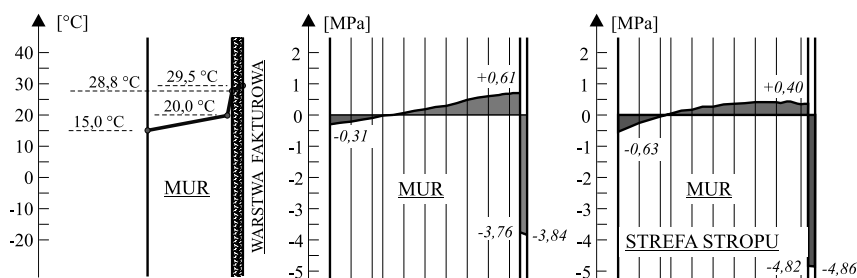
Calculated temperatures in the summer time

Elewacja południowo-zachodnia	Temperatura [°C] obliczona wg normy	
	PN-86/B-02015	PN-EN 1991-1-5:2005
Powierzchnie w kolorze jasnym	36,0	53,6
Powierzchnie w kolorze kremowobrazowym	36,8	65,1

kającej z nasłonecznienia wg normy [6]. Wartości określone tą metodą są znacznie zawyżone i nie znajdują odzwierciedlenia podczas pomiarów obiektów rzeczywistych.

**Stan naprężeń w warstwie fakturowej**

Analizę naprężeń warstwy przypowierzchniowej, wywołaną oddziaływaniami termicznymi, prowadzono w przypadku muru ceglanego grubości 51 cm oraz tynku zewnętrznego 2,0 cm. W przyjętym schemacie obciążenia termicznego, odpowiadającego okresowi letniemu, uwzględniono wartość  $T_0 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . W warunkach realizacji napraw warstw fakturowych, bez właściwej oceny substancji murowej, zdarzają się sytuacje stosowania materiałów, których moduł sprężystości niekiedy jest dwukrotnie większy od sprężystości zabytkowego muru. Zamiast oczekiwanej długotrwałej naprawy uzyskuje się efekt krótkotrwały. Wynika to m.in. z rozkładu temperatury występującej w okresie nagrzewania się warstwy elewacyjnej wskutek oddziaływania promieniowania słonecznego podczas chłodnym poranku. Kompleksowy wynik takiej analizy przedstawiono na rysunku 3.



**Rys. 3. Efekt nagrzewania się struktury ścian wskutek promieniowania słonecznego oraz odpowiadający mu stan naprężeń w strefie środkowej i przystropowej** [Rys. Autor]  
 Fig. 3. Effect of the heating of the walls as a result of solar radiation and correspond to its state of stress in the middle part and next to the roof [Fig. Author]

Proces nagrzewania się warstw elewacyjnych może skutkować powstaniem naprężeń ściskających o wartości zbliżonej do 5 MPa przy jednoczesnej zmianie znaku naprężeń w styku z warstwą murową. W efekcie następuje utrata spójności pomiędzy warstwą elewacyjną a murem ceglanym i powstawanie zarysowań w formie mikropeęknięć. Ograniczeniem niekorzystnego zjawiska może być dobór kolorystyki ograniczającej pochłanianie promieniowania oraz stosowanie materiałów umożliwiających zachowanie odpowiedniej przyczepności, często poprzedzony badaniami prób-

nymi. Korzystne jest również częściowe zastąpienie spoin materiałem naprawianym. Boniowane warstwy elewacyjne poddane procesom nasłonecznienia zachowują także dłuższą trwałość, co wynika z częściowej swobody odkształceń, którym nie towarzyszą dodatkowe stany naprężeń.

**Podsumowanie i wnioski**

Przedstawione analizy procesu nasłonecznienia wskazują na przyczyny, które mogą powodować proces zarysowań i spękań warstw elewacyjnych obiektów zabytkowych. Spełnienie wymagań podstawowych dotyczących nośności muru [4] nie gwarantuje zachowania właściwego stanu warstw elewacyjnych narażonych na bezpośrednie działanie promieni słonecznych. Kompleksowe prace przywracające pierwotne walory architektoniczne fasadom budynków zabytkowych powinny obejmować również analizy trwałości przeprowadzonych prac w aspekcie oddziaływań procesów nasłonecznienia.

**Literatura**

- [1] Borusewicz Wł.: Konserwacja zabytków budownictwa murowanego, Arkady, Warszawa 1985.
- [2] Byrdy Cz.: Temperatury zewnętrznych powierzchni dachów i ścian wywołane promieniowaniem słonecznym w okresie grzewczym, Przegląd Budowlany nr 5 (1989).

- [3] Kozarski P., Molski P.: Zagospodarowanie i konserwacja zabytkowych budowli, Warszawa 2001.
- [4] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [5] PN-ISO 2394:2000 Ogólne zasady niezawodności konstrukcji budowlanych.
- [6] PN-EN 1991-1-5:2005 Eurokod 1. Oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-5: Oddziaływanie ogólne. Oddziaływanie termiczne.
- [7] PN-86/B-02015 Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne środowiskowe. Obciążenie temperaturą.

Przyjęto do druku: 02.09.2015 r.