

ZASTOSOWANIE POMIARÓW CIEPLNYCH DO USTALANIA SPĘKAŃ ŚCIANY ZABYTKU

Hanna HUDZIAK, Jan KUBIK
Politechnika Opolska, Opole, Polska

1. Wprowadzenie

Pomiary cieplne powierzchni mogą być wykorzystane do ustalania nawarstwień zabytku, a dokładniej miejsc styku starej tkanki zabytku z późniejszymi tworami wykonanymi najczęściej z materiałów o innej przewodności cieplnej czy dyfuzyjnej. Istotnie, w miejscach połączeń starej i nowej tkanki zabytku powstają najpierw mikrospeknięcia, a później speknięcia i pustki wynikające z osiadania i skurczu późniejszych fragmentów muru. Ich identyfikacja jest możliwa nawet wtedy, kiedy są zamaskowane starannie tynkiem. W rysach i szparach występuje intensywniejszy prawie konwekcyjny przepływ ciepła. W następstwie na powierzchni tynku pokrywającego rysę występuje różnica temperatur w stosunku do litego muru w sąsiedztwie. Różnica ta jest tym większa, im większy jest gradient temperatur w otoczeniu otynkowanej rysy. Stąd też diagramy temperatur kamery termowizyjnej zimą pozwalają „odkrywać” miejsca przemurowań, zarysowań oraz styków różnych czasowo warstw zabytku. Wynika stąd, iż kamera termowizyjna może być wykorzystana z powodzeniem w pracach konserwatorskich do określania nawarstwień zabytku.

2. Przepływy ciepła na granicach nawarstwień

Porównywać będziemy przepływy ciepła w trójwarstwowym murze zabytku w części zarysowanej. Z porównania tego określimy warunki i zakres skutecznej identyfikacji nawarstwień.

Na rys. 1 przepływ ciepła w pustce określa linia przerywana, a w ścianie litej ciągła. Stacjonarny przepływ w ścianie litej opisuje przytoczony już tu układ równań dotyczący pól stacjonarnych i bezźródłowych, por. [1,2].

Przepływ przez ścianę litą

$$q = -\frac{T_w - T_z}{R_T}, \quad (1)$$

$$R_T = \frac{1}{\alpha_z} + \sum_{\alpha=1}^n \frac{d^\alpha}{\lambda^\alpha} + \frac{1}{\alpha_w}. \quad (2)$$

Przepływ przez pustkę

$$q' = -\frac{T_w - T_z}{R_T'} > q, \quad (3)$$

$$R_T' = \frac{1}{\alpha_z} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2 + d_3 + d_4}{\lambda_0} + \frac{1}{\alpha_w'} \quad \lambda_0 \gg \lambda^\alpha. \quad (4)$$

O powodzeniu identyfikacji decyduje różnica temperatur $T_0' - T_0$ w otoczeniu rysy na powierzchni zabytku. Strumienie ciepła w ścianie litej i otoczenia rysy określone są równaniami

$$q = -\alpha_z(T_0 - T_z) \quad \text{i} \quad q' = -\alpha_z(T_0' - T_z), \quad (5)$$

z których wyznaczymy różnicę temperatur na powierzchni ściany i rysy

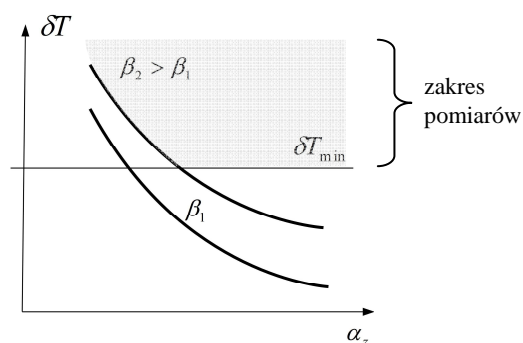
$$T_0' - T_0 = \frac{1}{\alpha_z}(q' - q). \quad (6)$$

Różnica ta powinna być większa od wrażliwości urządzenia pomiarowego δT . Spełnienie warunku: $|T_0' - T_0| > \Delta T$ wymaga aby

$$\delta T \geq \frac{1}{\alpha_z}(q' - q). \quad (7)$$

Nierówność (7) przy ustalonych temperaturach T_z i T_w zostanie spełniona, jeżeli

$$\delta T \geq \frac{1}{\alpha_z} \left(\frac{1}{R_T'} - \frac{1}{R_T} \right) (T_w - T_z), \quad \beta = \frac{1}{R_T'} - \frac{1}{R_T}. \quad (8)$$



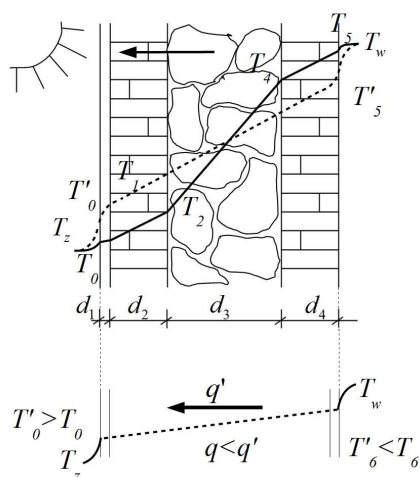
Rys. 1. Zależność wrażliwości kamery δT od parametrów pomiaru α_z , β .

Fig. 1. Dependence of infrared camera sensitiveness δT on the measurement parameters α_z , β .

Inną możliwość spełnienia warunku (8) daje zwiększenie różnicy temperatur $T_w - T_z$ np. przez ogrzewanie powierzchni wewnętrznej ściany zabytku. Wzór (8) pozwala określić minimalną różnicę temperatur otoczenia ściany zabytku $T_w - T_z$ przy której można identyfikować zarysowania zabytku i dalej granice nawarstwień.

W miejscach rysy, szczeliny lub pustki w zimie temperatura zewnętrzna $T_0' > T_0$ jest wyższa od temperatury T_0 w sąsiedztwie rysy. Natomiast w środku pomieszczenia jest odwrotnie $T_6' < T_6$. Oczywiście z wzorów na strumienie wynika, iż identyfikacja ta jest możliwa przy różnych strumieniach ciepła q i q' w murze i rysie. Musi tu występować też duża różnica temperatur po obu stronach ściany ($T_w - T_z$), co m.in. zachodzi zimą.

Podany sposób postępowania jest przydatny we wstępnym identyfikowaniu nawarstwień zabytku. Oczywiście w każdym przypadku należy wykluczyć inne mechanizmy zakłóceń przepływu ciepła związane np. z sąsiedztwem materiałów o różnym przewodnictwie.



Rys. 2. Przepływy ciepła w ścianie trójwarstwowej.
Fig. 2. Heat transport in the three-layer wall.

Podobny efekt, ale w znacznie mniejszej skali, występuje na stykach starej i nowej tkanki przy wysychaniu pokrywającego je tynku, szczególnie po ulewnych deszczach. Postrzegamy tam odmienne zawilgocenie rys i otaczającego tynku. Zjawisko to jest podobne jak występowanie różnic temperatur w przypadku przepływów ciepła w rysach w stosunku do sąsiednich części ściany.

Oznaczenia symboli

T - temperatura, temperature, [$^{\circ}\text{C}$],

δT - wrażliwość, sensitivity, [$^{\circ}\text{C}$],

q - strumień ciepła, heat flux, [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],

λ - współczynnik przewodzenia ciepła, thermal conductivity, [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$],

α - współczynnik przejmowania ciepła, heat transfer coefficient, [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$],

d - grubość, thickness, [m],

R - opór cieplny, thermal resistance, [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$].

Literatura

- [1] Klemm P., red.: Budownictwo ogólne TII Fizyka Budowli, Arkady. Warszawa 2001.
- [2] Kubik J., Podstawy fizyki budowli, OW PO, Opole 2008.
- [3] Kubik J., Przepływy wilgoci w materiałach budowlanych, OW PO Opole 2000.
- [4] Pogorzelski J., Fizyka cieplna budowli, PWN, Warszawa 1976.
- [5] Wyrwał J., Świrski J., Problemy zawilgocenia przegród budowlanych, KILiW PAN, Studia z zakresu Inżynierii, Warszawa 1998.

APPLICATION OF THERMAL MEASUREMENT TO IDENTIFICATION OF LAYERS IN MONUMENTAL MASONRY

Summary

Stationary heat flow in the solid and cracked neighbouring parts of masonry is compared in the work. On this basis a possible difference of temperatures on the surface of brickwork parts is estimated and conditions deciding about efficiency of thermal identification of layers in the investigated masonry walls.