

# Wpływ anomalii i defektów cieplnych na rozkład temperatury ścian zewnętrznych

Dr inż. Paweł Krause, Politechnika Śląska

## 1. Wprowadzenie

Stan ochrony cieplnej budynków wpływa bezpośrednio na koszty ich eksploatacji. Koszty ponoszone w trakcie użytkowania mogą być ograniczane przy założeniu wysokiej izolacyjności cieplnej ścian, dachu, podłogi oraz okien i drzwi. Osiągnięcie oczekiwanego efektu energetycznego jest uzależnione od poprawności wykonania dokumentacji projektowej, zastosowania odpowiednich rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych oraz zapewnienia wysokiego poziomu wykonawstwa robót budowlanych. W niektórych przypadkach mają miejsce nieprawidłowości wykonawcze związane z jakością realizacji robót budowlanych. W sytuacji, w której dotyczą one w sposób bezpośredni warstwy izolacji termicznej, mogą wpływać na zwiększenie strat ciepła z budynku do otoczenia. Dodatkowo pogarszają się warunki komfortu cieplnego w pomieszczeniach oraz intensyfikują procesy fizyczne wpływające na zmniejszenie trwałości zastosowanych materiałów budowlanych.

## 2. Błędy wykonawcze

Nieprawidłowości w zakresie ochrony cieplnej budynków mogą być spowodowane na etapie projektowania i/lub wykonawstwa. Szczegółowa analiza rozwiązań projektowych może umożliwić wyspecyfikowanie błędów, które nie powinny mieć miejsca na etapie realizacji dokumentacji technicznej. Błędy te mogą być związane z błędnie wykonanymi obliczeniami, wadliwie przyjętymi technologiami lub, co także ma miejsce, niewłaściwymi założeniami w zakresie ustaleń sposobu eksploatacji pomieszczeń. Opracowując dokumentację projektową, należy zwrócić szczególną uwagę na rozwiązania materiałowe wszystkich przegród zewnętrznych i wewnętrznych oddzielających pomieszczenia ogrzewane od nieogrzewanych. Parametry techniczne poszczególnych materiałów budowlanych powinny być dobierane na podstawie obliczeń cieplno-wilgotnościowych przegród pełnych, a także po analizach detali projektowych, w których następuje wielowymiarowy przepływ ciepła i masy. Autorzy projektów budowlanych i dokumentacji wykonawczych, ze względu na niewystarczające uszczegółowienie rozwiązań projektowych przyczyniają się do powstawania nieprawidłowości uwidaczniających się na etapie użytkowania budynków. Wobec powyższego wszystkie przyjęte



Rys. 1, 2. Wadliwe łączenie poszczególnych płyt izolacji termicznej w systemie ETICS



Rys. 3, 4. Nieprawidłowy sposób mocowania łączników mechanicznych do ścian

składowe przegród budowlanych powinny być dobrane w sposób jednoznaczny, nie dając możliwości własnej interpretacji wykonawcy na etapie realizacji robót budowlanych. Ściany zewnętrzne charakteryzują się w wielu przypadkach nieprawidłowościami w zakresie wykonania składowych systemów ociepleń. Mogą one wpływać na stan ochrony cieplnej budynku oraz trwałość zastosowanych materiałów budowlanych. Wady wykonawcze mogą być związane np. z nieprawidłowym sposobem klejenia termoizolacji do podłoża ściennego, wadliwym jej mocowaniem za pomocą łączników mechanicznych, błędnym układaniem i łączeniem poszczególnych płyt izolacji cieplnej (rys. 1–4), a także źle wykonywaną warstwą zbrojoną i fakturową [2].

## 3. Defekty i anomalie cieplne

Izolacyjność cieplna ścian zewnętrznych o określonej budowie materiałowej przyjmowana jest w większości przypadków jako stała charakterystyka. Pomimo zmienności właściwości fizycznych materiałów budowlanych w trakcie użytkowania budynków współczynniki przewodzenia ciepła poszczególnych składowych ścian zewnętrznych przyjmowane są jako wielkości stałe. Znajduje to swoje odzwierciedlenie w wyznaczaniu obliczeniowych wielkości charakterystyk termoizolacyjnych

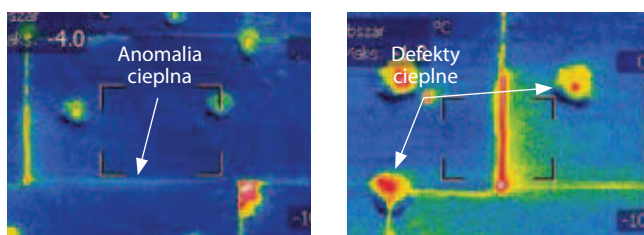
przegrody. Na podstawie danych literaturowych oraz badań własnych należy stwierdzić występowanie zmienności gęstości strumienia ciepła oraz pola temperatury na powierzchni ścian zewnętrznych [3, 4, 5, 6, 7]. Ściany o budowie jednorodnej i określonym oporze cieplnym charakteryzują się zróżnicowanymi wartościami temperatury na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni. Kształtowanie się niejednorodnych pól temperatury jest związane z izolacyjnością cieplną przegrody, jej geometrią oraz warunkami wymiany ciepła po obu jej stronach. W przypadku wielowarstwowych ścian zewnętrznych rozkład temperatury na ich powierzchniach uzależniony jest także od sposobu i poprawności ich wykonania. Zastosowanie łączników mechanicznych mocujących warstwę izolacji termicznej powoduje lokalne zaburzenia przepływu ciepła. Innym przypadkiem jest realizacja robót budowlanych w sposób nieprawidłowy. W takich sytuacjach może dojść do lokalnej zmiany gęstości strumienia ciepła i pola temperatury na powierzchni ścian. Zmiany geometrii, a także warunki wymiany ciepła w bezpośrednim sąsiedztwie przegrody mogą powodować zróżnicowanie pola temperatury na ich powierzchni. Opisywane powyżej sytuacje prowadzą do występowania defektów i anomalii cieplnych. Rozgraniczenie defektów cieplnych od anomalii termicznych jest istotne z punktu widzenia diagnostyki cieplnej budynków oraz interpretacji charakterystyk pomiarowych. Defekt cieplny (defekt termiczny) stanowi miarę odchylenia temperatury na powierzchni przegrody w miejscu zmiany gęstości strumienia ciepła w stosunku do temperatury na powierzchni przegrody poza obszarem zaburzenia przepływu ciepła. Defekty termoizolacyjne przegrody zostały zdefiniowane w pracy [3] jako obszary lokalnych zmian oporu cieplnego przegrody, spowodowane znacznym obniżeniem termoizolacyjności jej struktury materiałowej.

Pojęcie defektu cieplnego w zagadnieniach fizyki cieplnej budynków jest tożsame ze zjawiskiem niepożądanym, stanowiącym wadę w zakresie stanu ochrony cieplnej budynku lub jego elementu. Defekt termiczny stanowi zawsze niekorzystne odstępstwo od prawidłowości w zakresie wymiany ciepła przez przegrodę budowlaną. Należy jednakże stwierdzić, że nie każde negatywne zaburzenie gęstości strumienia ciepła i pola temperatury na powierzchni przegrody jest defektem cieplnym. Zmianę powodującą zaburzenie pola temperatury nie będące nieprawidłowością w postaci defektu termoizolacyjnego możemy nazwać anomalią cieplną. Anomalia cieplna może powodować różnicę odpowiedzi termicznej przegrody, spowodowaną zmianą jej budowy, geometrii lub lokalnych warunków wymiany ciepła. Anomalie termiczne są zdefiniowane jako zmiany spowodowane zróżnicowanymi oporami przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody [1]. W zagadnieniach praktycznych anomalia cieplna jest często utożsamiana z geometrycznymi i materiałowymi mostkami termicznymi.

#### 4. Diagnostyka cieplna budynków

Pomiar temperatury jest jednym z najtrudniejszych pomiarów w technice cieplnej. Dokładność otrzymanych wyników badań zależy od wielu zróżnicowanych czynników. Istotny jest dobór właściwego urządzenia pomiarowego i jego dokładność pomiarowa oraz sposób przeprowadzenia badań. Badania termowizyjne stanowią skomplikowaną dziedzinę metrologii wymagającą dużej wiedzy z zakresu techniki materiałowej, cieplnej, umiejętności właściwej oceny warunków środowiskowych, a także znacznych umiejętności praktycznych. Zastosowanie badań termowizyjnych zostało dokładnie omówione w pracach [5, 8]. Badania termowizyjne umożliwiają prowadzenie diagnostyki termicznej defektów i anomalii cieplnych. Istotny problem stanowi interpretacja uzyskanych wyników pomiarów [9]. Jest to ważne z punktu widzenia odróżnienia nieprawidłowości w postaci defektów cieplnych od zaburzeń będących anomaliami cieplnymi. Aby dokonać rozróżnienia defektów i anomalii termicznych, potrzebna jest szczegółowa analiza pola temperatury badanych powierzchni przegród budowlanych. Powinna ona uwzględniać wyodrębnienie miejsc zaburzeń rozkładu temperatury w stosunku do rozkładu normalnego (przewidywanego). Wytworzenie pola temperatury w badanym elemencie i analiza zaburzeń tego pola, wywołana obecnością defektów cieplnych jest możliwa dla określonych warunków środowiska po obu stronach badanej przegrody.

Na poniższych rysunkach przedstawiono przykłady anomalii i defektów cieplnych. Anomalie cieplne pokazane na rysunku 5 związane są z połączeniem dwóch sąsiadujących płyt izolacji cieplnej. Pomimo poprawnego wykonania połączenia styku termoizolacji występuje liniowe zaburzenie pola temperatury o nieznacznym natężeniu, w stosunku do sąsiadujących fragmentów izolacji cieplnej (płyta pełna). Przykładowe defekty cieplne zostały pokazane na rysunku 6. Na termogramie widoczne są zaburzenia rozkładu temperatury o zróżnicowanej intensywności, w miejscu połączenia poszczególnych płyt izolacji termicznej. Zmiana temperatury widoczna w skali barw charakteryzuje wadę w zakresie niepoprawnego wykonania styku materiałów termoizolacyjnych. Innym widocznym defektem cieplnym są lokalne zaburzenia pola temperatury w obrębie mocowania termoizolacji za pomocą łączników mechanicznych. Pole temperatury, wskazujące na występowanie zaburzeń



Rys. 5, 6. Przykładowe anomalie i defekty cieplne na termogramach

cieplnych, związane jest z wadliwym wykonaniem otworów w warstwie izolacji cieplnej, charakteryzujących się zwiększoną średnicą w stosunku do zastosowanej tulei trzpienia łącznika.

## 5. Symulacje numeryczne

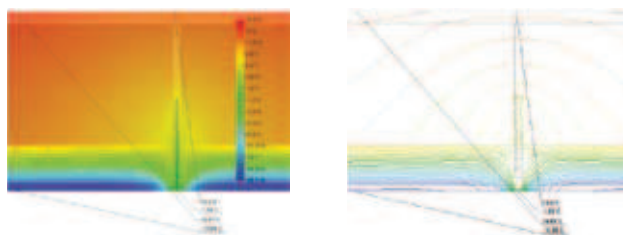
Zaawansowane zagadnienia dotyczące niestacjonarnego przepływu ciepła wymagają stosowania narzędzi inżynierskich wykorzystujących metody numeryczne. W celu określenia wpływu wybranych defektów bądź anomalii cieplnych na zmiany pola temperatury na wewnętrznej lub zewnętrznej powierzchni ściany można przeprowadzić badania laboratoryjne. Proces przygotowania tego typu badań jest długotrwały, kosztowny i stosunkowo skomplikowany. Aby można było przeprowadzić pomiary w warunkach rzeczywistych środowiska zewnętrznego, okres prowadzenia badań jest uzależniony od warunków atmosferycznych i pory roku, przez co jest ograniczony. W celu analizy wpływu różnicowanych rozwiązań na stan ochrony cieplnej przegród budowlanych można wykorzystać zróżnicowane programy obliczeniowe. W niniejszym opracowaniu do analizy wymiany ciepła wykorzystany został program komputerowy Psi-Therm, bazujący na metodzie elementów skończonych. Rozpatrzono dwa odmienne przypadki wpływu anomalii i defektów termicznych na rozkład temperatury na powierzchni ściany.

Pierwszym przypadkiem jest wpływ nieprawidłowości w postaci niewłaściwie wykonanego otworu na łącznik mechaniczny jako otworu przelotowego. W praktyce jest to nierzadki przypadek, który ma miejsce w sytuacji złego doboru wiertła w stosunku do grubości ściany. Na rysunku 7 przedstawiono model geometryczny fragmentu ściany monolitycznej z izolacją termiczną w postaci polistyrenu EPS i łącznikiem stalowym zakotwionym na głębokość 6 cm w otworze przelotowym, zamkniętym od strony wewnętrznej warstwą tynku cementowo-wapiennego. Obliczenia wykonano dla temperatury wewnętrznej  $t_i = +20^\circ\text{C}$  i temperatury zewnętrznej  $t_e = -20^\circ\text{C}$ . Opory przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni ściany przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008. Wyniki otrzymane w postaci rozkładu gęstości strumienia ciepła i pola temperatury w przekroju ściany przedstawiono na rysunkach 8, 9, 10. W celach porównawczych zestawiono wyniki dla analogicznej ściany z łącznikiem stalowym zakotwionym na głębokość 6 cm bez przewiercenia warstwy konstrukcyjnej na wylot – rysunek 11. Wyniki tych obliczeń zestawiono na rysunkach 12, 13, 14.

Analizując pole temperatur dla łącznika wykonanego w sposób nieprawidłowy z identycznym łącznikiem wykonanym poprawnie, należy stwierdzić, iż wada wykonawcza polegająca na przewierceniu na wylot elementu konstrukcyjnego ściany spowodowała nieznaczną lokalną poprawę izolacyjności cieplnej przegrody. Wykonanie otworu przelotowego spowodowało wzrost temperatury



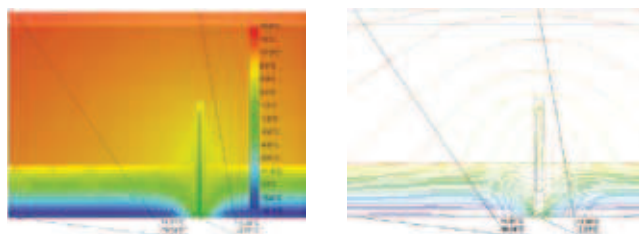
**Rys. 7, 8.** Model geometryczny fragmentu ściany z łącznikiem metalowym i otworem przelotowym; gęstość strumienia ciepła w przekroju ściany



**Rys. 9, 10.** Pole temperatury w przekroju ściany z łącznikiem metalowym i otworem przelotowym – skala barw i izotermy

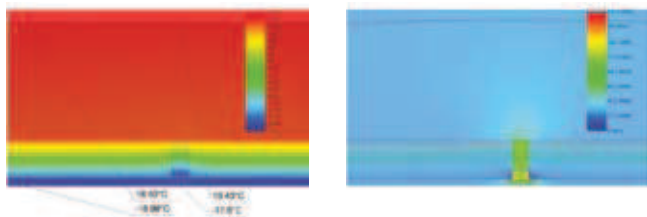


**Rys. 11, 12.** Model geometryczny fragmentu ściany z łącznikiem metalowym zakotwionym na głębokość 6 cm; gęstość strumienia ciepła w przekroju ściany

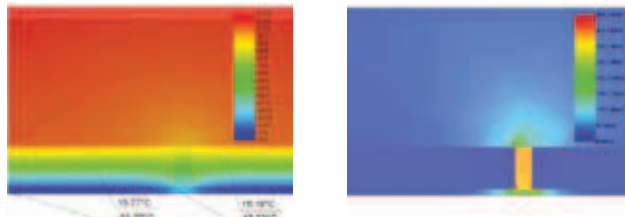


**Rys. 13, 14.** Pole temperatury w przekroju ściany z łącznikiem metalowym zakotwionym na głębokość 6 cm – skala barw i izotermy

na wewnętrznej powierzchni ściany w obrębie łącznika mechanicznego o 0,1 K w stosunku do ściany z poprawnie wykonanym łącznikiem. Jest to związane ze stosunkowo wysoką przewodnością cieplną fragmentu ściany monolitycznej, w stosunku do przewodności cieplnej powietrza znajdującego się w niewielkiej niewentylowanej przestrzeni. Pomimo iż rozwiązanie stanowi nieprawidłowość w aspekcie tzw. sztuki budowlanej, nie stanowi defektu cieplnego. Jest to związane z zaburzeniem pola temperatury, które nie ma charakteru zjawiska negatywnego. W przedstawionym przykładzie ma miejsce lokalna poprawa izolacyjności cieplnej przegrody. Występujące na rysunku 7–14 łączniki mechaniczne stanowią przykład anomalii termicznych.



**Rys. 15, 16.** Pole temperatury w przekroju ściany ze szczeliną pomiędzy płytami termoizolacyjnymi o szerokości 2 cm wypełnioną powietrzem; gęstość strumienia ciepła w przekroju ściany



**Rys. 17, 18.** Pole temperatury w przekroju ściany ze szczeliną pomiędzy płytami termoizolacyjnymi o szerokości 2 cm zaprawą klejową; gęstość strumienia ciepła w przekroju ściany

Odmiernym przykładem zaburzeń pola temperatury ścian zewnętrznej jest fragment połączenia sąsiadujących płyt izolacji cieplnej z polistyrenu EPS gr. 5 cm, dla analogicznej budowy ściany i warunków brzegowych, opisanych we wcześniejszym przykładzie. Zamodelowano szczelinę o grubości 2 cm pomiędzy płytami termoizolacji zamkniętą od strony wewnętrznej konstrukcją ściany monolityczną, a od zewnętrznej warstwą zbrojoną i fragmentem zaprawy klejowej. Pozostała przestrzeń została wypełniona powietrzem. Dla takiego rozwiązania otrzymano wyniki przedstawione na rysunkach 15 i 16. Drugim założeniem było całkowite wypełnienie tej samej szczeliny warstwą zaprawy klejowej. Wyniki dla tego przypadku pokazano na rysunkach 17 i 18. Oba pokazane przypadki stanowią defekt cieplny przegrody, powodując niekorzystne zaburzenie rozkładu temperatury ściany. W stosunku do fragmentu ściany poza miejscem styku termoizolacji obserwuje się obniżenie temperatury na zewnętrznej powierzchni przegrody o odpowiednio 1,2 K dla szczeliny wypełnionej powietrzem i 5,8 K dla szczeliny wypełnionej zaprawą klejową. Defekt cieplny dla szczeliny wypełnionej zaprawą jest defektem wyższego stopnia w stosunku do defektu termicznego ze szczeliną wypełnioną powietrzem.

## 6. Podsumowanie

Nieprawidłowości powstające na etapie realizacji robót budowlanych mogą mieć negatywny wpływ na stan ochrony cieplnej ścian zewnętrznych. Uwidaczniają się one w zaburzeniach pola temperatury

na wewnętrznej lub zewnętrznej powierzchni ściany. W przypadku, gdy zaburzenia te powodują wzrost ilości przepływającego ciepła oraz związane z tym pogorszenie izolacyjności cieplnej przegrody, mówimy o defektach cieplnych. Mogą być one związane ze zróżnicowanymi czynnikami powodującymi negatywne skutki w postaci zwiększonej ilości zużywanego ciepła na cele ogrzewcze. W praktyce mogą mieć także miejsce wady budowlane, które nie stanowią defektów cieplnych przegrody budowlanej, w wybranych przypadkach poprawiając lokalnie jej izolacyjność cieplną. Pomimo iż są to sporadyczne przypadki, należy dążyć do ich wyeliminowania z praktyki inżynierskiej.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Arbeiter K., Innendaemmung. Verlagsgesellschaft Rudolf Mueller, Koeln, 2014
- [2] Krause P., Steidl T., Uszkodzenia i naprawy przegród budowlanych w aspekcie izolacyjności termicznej, PWN, Warszawa, 2017
- [3] Krause H., Podstawy temperaturowej diagnostyki izolacyjności przegród budowlanych. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej. Budownictwo Z. 78, Gliwice, 1993 r.
- [4] Dylla A., Fizyka cieplna budowni w praktyce. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe, PWN, Warszawa, 2013
- [5] Fouad N.A., Bauphysik Kalender 2010. Ernst und Sohn Verlag, Berlin, 2010
- [6] Häuptl P., Bauphysik: Klima, Wärme, Feuchte, Schall. Ernst&Sohn, Berlin, 2008
- [7] Klemm P. i in., Budownictwo ogólne, tom 2, Fizyka budowni, Arkady, Warszawa, 2006
- [8] Nowak H., Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie, Oficyna Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2012
- [9] Steidl T. i in., Poradnik diagnostyki cieplnej budynków: praca zbiorowa. Diagnostyka in situ izolacyjności cieplnej budynków, tom, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Gliwice, 2013



# TARGI

## Nowy DOM

## Nowe MIESZKANIE

21-22 października

### AMBEREXPO GDAŃSK

więcej informacji znajdziesz na [targimieszkanie.pl](http://targimieszkanie.pl)

**murator**  
EXPO

**WSTĘP  
BEZPŁATNY**

**KONKURS**  
atrakcyjne nagrody

Patronat Honorowy

Prezydent Miasta Gdańska  
Paweł Adamowicz

Prezydent Miasta Gdyni  
Pawel Szwed

patron medialny

[trojmiasto.pl](http://trojmiasto.pl)

[Domiporta.pl](http://Domiporta.pl)

**murator**

**ESKA**