

dr inż. Krzysztof Pawłowski\*

# Charakterystyka parametrów cieplnych złączy ścian zewnętrznych budynków niskoenergetycznych

*Thermal parameters characterization of external walls joints in low-energy buildings*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono charakterystykę parametrów cieplnych złączy ścian zewnętrznych budynku niskoenergetycznego. Przeprowadzono analizę wpływu mostków cieplnych na straty ciepła przez przegrodę budowlaną.

**Słowa kluczowe:** budynek niskoenergetyczny, parametry cieplne.

**Abstract.** The paper presents the characterization of external walls joints in low-energy building. Thermal bridges impact on heat losses in building partition was analyzed.

**Keywords:** low-energy building, thermal parameters.

Trwałość i niezawodność obudowy budynków niskoenergetycznych jest efektem współdziałania konstrukcyjnego poszczególnych materiałów występujących w przegrodach i ich złączach oraz dobrego wykonawstwa. W artykule ograniczyłem się do analizy dotyczącej charakterystyki parametrów cieplnych ścian zewnętrznych i ich złączy budynków w standardzie niskoenergetycznym.

## Badania i obliczenia własne

W pierwszym etapie obliczono parametry cieplne 7 wybranych złączy (tabela 1) ściany zewnętrznej dwuwarstwowej (bloczek wapienno-piaskowy 24 cm + styropian) w dwóch wariantach: I – budynek tradycyjny (styropian grubości 15 cm); II – budynek niskoenergetyczny (styropian grubości 30 cm). Do obliczeń przyjęto, że:

- budynek zlokalizowany jest w Toruniu ( $t_i = +20\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_e = -20\text{ }^\circ\text{C}$ );
- wartości współczynników przewodności cieplnej materiałów budowlanych  $\lambda$  [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ] przyjęto na podstawie tablicy w [1];
- współczynniki przenikania ciepła  $U_c$  [ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ] obliczono zgodnie z PN-EN ISO 6946 [2];
- warunki przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008P [2] w przypadku obliczenia wielkości strumieni cieplnych oraz zgodnie z [3] przy obliczaniu temperatury i czynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$ ;
- modelowanie analizowanych złączy wykonano zgodnie z zasadami sformułowanymi w PN-EN ISO 10211 [4].

Procedury obliczania złączy budowlanych wymagają ustalenia zasad modelowania, czyli kryteriów geometrycznych, instrukcji określania wartości przewodności cieplnej materiałów, warunków brzegowych, sposobu i metod obliczeń, metodykę określania rozkładu temperatury [1]. Wykonanie obliczeń przy użyciu programu komputerowego TRISCO jest możliwe po określeniu modeli geometrycznych. Uzyskuje

**Tabela 1. Wyniki obliczeń parametrów cieplnych złączy ścian zewnętrznych – opracowanie własne na podstawie [5; 6]**

Liniowy mostek cieplny	Wariant I $U = 0,226$ [ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ]		Wariant II $U = 0,098$ [ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ]	
	$\Psi_j$ [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ]	$f_{Rsi}$	$\Psi_j$ [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ]	$f_{Rsi}$
1 Węzeł naroża ściany zewnętrznej	0,109	0,877	0,061	0,944
2 Węzeł połączenia ściany zewnętrznej z wewnętrzną	0,065	0,944	0,027	0,976
3 Węzeł połączenia ściany zewnętrznej ze stropem	0,020 <sup>(a)</sup> 0,070 <sup>(b)</sup>	0,945	0,007 <sup>(a)</sup> 0,026 <sup>(b)</sup>	0,976
4 Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez nadproże	0,078	0,819	0,053	0,811
5 Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez ościeżnicę	0,062	0,812	0,054	0,810
6 Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez podokiennik	0,069	0,818	0,053	0,809
7 Węzeł połączenia ściany zewnętrznej z posadzką na gruncie	0,181 <sup>(sc)</sup> 0,808 <sup>(g)</sup>	0,814	0,124 <sup>(sc)</sup> 0,390 <sup>(g)</sup>	0,908

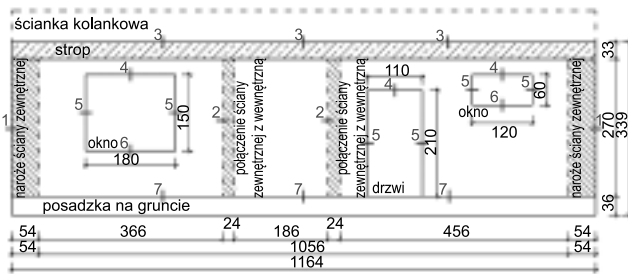
w przypadku mostka 3 obliczono wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi_j$  [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ] dla górnej części złącza<sup>(a)</sup> i dolnej części złącza<sup>(b)</sup>; w przypadku mostka 7 obliczono wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi_j$  [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ] dla części ściany zewnętrznej<sup>(sc)</sup> i części podłogi na gruncie<sup>(g)</sup>

się je przez podział budynku na wiele części za pomocą tzw. płaszczyzn wycięcia. Podziału należy dokonać w taki sposób, aby wyniki uzyskane dla przyjętych modeli nie różniły się istotnie od wyników, jakie otrzymano, traktując budynek jako całość. Każdy model geometryczny złącza składa się z elementu bądź elementów centralnych, elementów bocznych oraz, jeśli jest to konieczne, podłoża. Pojedynczy model zawsze jest ograniczony płaszczyznami przekroju i może zawierać więcej niż jeden mostek cieplny. Wyniki obliczeń parametrów cieplnych wybranych złączy ścian zewnętrznych zestawiono w tabeli 1, a  $U_k$  ściany zewnętrznej z uwzględnieniem mostków cieplnych – w tabeli 2. Ścianę wytypowaną do obliczeń zaprezentowano na rysunku.

W drugim etapie obliczeń określono wpływ mostków cieplnych na wartość współczynnika przenikania ciepła

\* Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

$U_k$  [W/(m<sup>2</sup>·K)] wybranej ściany zewnętrznej budynku (rysunek). Wyniki obliczeń wg własnych algorytmów obliczeniowych przedstawiono w tabeli 2.



Wytypowana do obliczeń ściana zewnętrzna budynku – źródło [5]

Tabela 2. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła  $U_k$  ściany zewnętrznej z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych (opracowanie własne)

Parametry obliczeniowe	Wariant	
	I	II
Krok I – obliczenie współczynnika przenikania ciepła $U_c$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)] zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008P	0,226	0,098
Krok II – obliczenie pola powierzchni ściany uczestniczącej w przenikaniu w świetle przegród do niej prostopadłych, pomniejszone o pole powierzchni okien i drzwi obliczone w świetle ościeżnicy $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	21,49	21,49
Krok III – identyfikacja mostków cieplnych – tabela 1, rysunek		
Krok IV – obliczenie strat ciepła przez pełną ścianę: $U_{ci} \cdot A_i$ [W/K]	4,86	2,10
Krok V – obliczenie strat ciepła wynikających z występowania mostków cieplnych: $\sum \Psi_i \cdot I_i$ [W/K]	4,34	2,73
Krok VI – obliczenie bezpośredniego współczynnika przenoszenia ciepła między przestronią ogrzewaną lub chłodzoną a środowiskiem zewnętrznym przez obudowę (ścianę) $H_D = U_{ci} \cdot A_i + \sum \Psi_i \cdot I_i$ [W/K]	9,20	4,83
Krok VII – obliczenie pola powierzchni ściany zewnętrznej parteru w osiach przegród do niej prostopadłych $A_0$ [m <sup>2</sup> ]	27,68	27,68
Krok VIII – współczynnik przenikania ciepła $U_k$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)] z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych $U_k = H_D/A_0$	0,33	0,17

### Analiza otrzymanych wyników obliczeń

Podstawowymi charakterystycznymi parametrami ścian zewnętrznych i ich złączy są:

- współczynnik przenikania ciepła  $U_c$  [W/(m<sup>2</sup>·K)], określający stratę ciepła przez płaską (pełną) ścianę zewnętrzną;
- liniowy współczynnik przenikania ciepła  $\Psi_i$  [W/(m·K)], określający dodatkowe straty ciepła, wynikające z występowania mostków cieplnych;
- czynnik temperaturowy  $f_{Rsi}$ , służący do oceny występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody (ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych) w miejscu mostka cieplnego.

Analiza uzyskanych wyników wartości parametrów cieplnych (tabela 1 i 2) dla dwóch wariantów ścian zewnętrznych (I – budynek tradycyjny, II – budynek niskoenergetyczny) pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- złącza ściany zewnętrznej w standardzie niskoenergetycznym (wariant II) charakteryzują się niższymi wartościami liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi_i$  [W/(m·K)] niż w przypadku budynku tradycyjnego (wariant I). Pomimo znacznej grubości izolacji cieplnej (30 cm) w miejscu mostka cieplnego generowane są dodatkowe straty ciepła, określone w postaci współczynnika  $\Psi$  [W/(m·K)]. Częste pomija-

nie wpływu mostków cieplnych w obliczeniach jest nieuzasadnione;

- na podstawie wartości czynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$  można stwierdzić, że w analizowanych złączach (tabela 1) nie ma ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych ( $f_{Rsi} \geq f_{Rsi(kryt.)}$ ). Wartość graniczna czynnika temperaturowego, uwzględniając parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych, wynosi  $f_{Rsi(kryt.)} = 0,778$ ;

- udział mostków cieplnych w stratach ciepła przez analizowaną ścianę zewnętrzną jest znaczący (tabela 3). Należy podkreślić, że procentowy udział mostków cieplnych w całkowitych stratach ciepła zależy od geometrii przegrody (np. wielkość i liczba otworów okiennych).

Tabela 3. Analiza porównawcza strat ciepła przez ścianę zewnętrzną

Charakterystyczne parametry	Wariant I $U = 0,226$ W/m <sup>2</sup> ·K	Wariant II $U = 0,098$ W/m <sup>2</sup> ·K
Straty ciepła przez pełną ścianę zewnętrzną: $U_{ci} \cdot A_i$ [W/K]	4,86 (53%)	2,10 (43,5%)
Straty ciepła wynikające z występowania mostków cieplnych: $\sum \Psi_i \cdot I_i$ [W/K]	4,34 (47%)	2,73 (56,5%)
Całkowite straty ciepła przez ścianę zewnętrzną: $H_D = U_{ci} \cdot A_i + \sum \Psi_i \cdot I_i$ [W/K]	9,20 (100%)	4,83 (100%)

### Podsumowanie

Kompleksowa ocena obudowy budynku (przegród zewnętrznych) musi dotyczyć przegród i złączy. Przy doborze odpowiednich materiałów konstrukcyjnych oraz izolacyjnych należy korzystać ze szczegółowych obliczeń i analiz. W przypadku zminimalizowania strat ciepła oraz wyeliminowania ryzyka kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody szczególne znaczenie ma poprawne zaprojektowanie złączy przegród zewnętrznych. Programy komputerowe dają możliwość wykonania dokładnych obliczeń przy uwzględnieniu podstawowych parametrów, kształtujących charakterystykę cieplno-wilgotnościową złączy przegród zewnętrznych. Istnieje potrzeba prowadzenia dalszych obliczeń, w celu opracowania profesjonalnego katalogu mostków cieplnych budynków niskoenergetycznych.

### Literatura

[1] Dylla A., Praktyczna fizyka cieplna budowli – Szkoła projektowania złączy budowlanych. Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy, 2009 r.  
 [2] PN-EN ISO 6946:2008P *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.*  
 [3] PN-EN ISO 13788:2003-05E *Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.*  
 [4] PN-EN ISO 10211:2008P *Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.*  
 [5] Grykałowski T., Studium projektowe słabych miejsc w pasywnych budynkach jednorodzinnych, praca magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Pawłowskiego, UTP Bydgoszcz, 2010 r.  
 [6] Dybowska M., Analiza numeryczna parametrów cieplnych wybranych przegród zewnętrznych budynku i ich złączy, praca magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Pawłowskiego, UTP Bydgoszcz, 2012 r.