

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

## CHARAKTERYSTYKA PARAMETRÓW CIEPLNYCH ZŁĄCZY ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH BUDYNKÓW NISKOENERGETYCZNYCH

### 1. WPROWADZENIE

Projekt znowelizowanego Rozporządzenia [10] wprowadza m.in. nowe (niższe od obowiązujących obecnie) wartości maksymalnych, wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] dla przegród zewnętrznych budynków. W następstwie wprowadzenia zaostrzonych wymagań w zakresie izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych i budynków dążąc do spełnienia standardu **budynku energooszczędnego i budynku pasywnego** pojawiają się nowoczesne rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne.

Niezbędne staje się więc opracowanie wytycznych projektowych w zakresie projektowania przegród zewnętrznych i ich złączy budynków niskoenergetycznych, co stało się głównym celem pracy.

### 2. CHARAKTERYSTYKA BUDYNKÓW NISKOENERGETYCZNYCH

Zdefiniowanie budynku energooszczędnego w warunkach polskich dotychczas nie uzyskało konsensusu. Często uważa się, że nowo projektowane budynki są energooszczędne. Jednak doświadczenia wskazują na to, że przyjmowane rozwiązania odpowiadają zazwyczaj minimalnym wymaganiom prawnym w zakresie izolacyjności cieplnej. Energochłonność budynku określa się za pomocą wskaźnika zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynku [ $kWh/(m^2 \cdot rok)$ ]. Według pracy [13] za energooszczędne można uznać budynki, które charakteryzują się powierzchniowym wskaźnikiem sezonowego zapotrzebowania na ciepło poniżej  $100 kWh/(m^2 \cdot rok)$ . Wśród grupy budynków energooszczędnych wyróżnia się także budynki niskoenergetyczne i pasywne. O klasyfikacji budynku do grupy budynków energooszczędnych decyduje wiele czynników (rys. 1).

➤ <b>Architektura budynku:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• usytuowanie budynku względem stron świata</li> <li>• zwarta bryła budynku (minimalny współczynnik kształtu A/V)</li> <li>• wielkość i usytuowanie przegród przezroczystych</li> <li>• rozmieszczenie pomieszczeń</li> <li>• geometria dachu</li> </ul>	
➤ <b>Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe przegród budowlanych i ich złączy:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• stosowanie materiałów wysokiej jakości</li> <li>• stosowanie nowoczesnych materiałów izolacyjnych, np. aerożele, panele próżniowe, izolacje transparentne</li> <li>• szkoła projektowania złączy budowlanych w aspekcie cieplno-wilgotnościowym z zastosowaniem narzędzi numerycznych</li> </ul>	
➤ <b>Izolacyjność termiczna przegród budowlanych:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• grubość izolacji cieplnej powyżej <b>25 – 30 cm</b></li> <li>• uzyskanie wartości współczynnika przenikania ciepła <math>U \leq 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})</math> dla przegród nieprzezroczystych oraz <math>U \leq 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})</math> dla przegród przezroczystych</li> </ul>	
➤ <b>Rodzaj i sprawność systemu wentylacji:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• wentylacja hybrydowa lub mechaniczna z odzyskiem ciepła</li> <li>• wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła i gruntowym wymiennikiem ciepła</li> <li>• wysoka sprawność systemu (powyżej 70%)</li> </ul>	
➤ <b>Rodzaj i sprawność systemu c.o. i c.w.u.:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• niskotemperaturowy</li> <li>• dogrzewanie powietrza nawiewnego</li> <li>• zastosowanie źródeł odnawialnych, szczególnie ze źródeł wytwarzanych na miejscu lub w otoczeniu</li> </ul>	
➤ <b>System zarządzania budynkiem, który pozwala również sterować produkcją energii</b>	

Rys. 1. Czynniki kształtujące budynek niskoenergetyczny – opracowanie własne na podstawie [4], [13]

Fig. 1. Factors affecting low-energy building – author's elaboration based on [4], [13]

Wymagania w zakresie ochrony cieplno-wilgotnościowej zmieniają się i mają na celu minimalizację strat ciepła oraz ryzyka występowania rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych przy określaniu następujących, podstawowych parametrów:

- dla pojedynczych przegród – współczynnik przenikania ciepła  $U$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ], który powinien być mniejszy bądź równy względem wartości maksymalnych podanych w Rozporządzeniu [11], [10],
- dla całego budynku – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną  $EP$  [ $kWh/(m^2 \cdot rok)$ ] wg Rozporządzenia [12], normy PN-EN ISO 13790:2009 [9], który powinien być mniejszy bądź równy wobec wartości maksymalnych podanych w Rozporządzeniu [11], [10],
- w miejscu mostka cieplnego – czynnik temperaturowy  $f_{Rsi}$  w celu sprawdzenia ryzyka występowania pleśni i grzybów pleśniowych wg normy PN-EN ISO 13788:2003 [8].

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

### 3. BADANIA I OBLICZENIA WŁASNE

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

- budynek zlokalizowany w Toruniu, ( $t_i = + 20^\circ C$ ,  $t_e = - 20^\circ C$ ),
- wartości współczynników przewodności cieplnej materiałów budowlanych  $\lambda$  [ $W/(m \cdot K)$ ] przyjęto na podstawie normy PN-EN 12524:2003 [5], tablic w [2],
- współczynniki przenikania ciepła  $U$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] obliczono zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [6],
- warunki przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [6] dla obliczenia wielkości strumieni cieplnych oraz zgodnie z PN-EN ISO 13788:2003 [8] przy obliczaniu temperatur i czynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$ ,
- modelowanie analizowanych złączy wykonano zgodnie z zasadami sformułowanymi w PN-EN ISO 10211:2008 [7].

Procedury obliczania złączy budowlanych wymagają ustalenia zasad modelowania, czyli ustalenia kryteriów geometrycznych, instrukcji ustalenia wartości przewodności cieplnej materiałów, warunków brzegowych, sposobu i metod obliczeń, metodykę określania rozkładu temperatur [2].

Wykonanie obliczeń przy użyciu programu komputerowego TRISCO jest możliwe po określeniu modeli geometrycznych. Uzyskuje 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 otrzyma się 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.

**WĘZEL POŁĄCZENIA ŚCIANY ZEWNĘTRZNEJ Z OKNEM  
ZE STROPEM**

L.p.	Nazwa materiału	$\lambda$ [W/(m·K)]	[cm]
1	Tynk cienkowarstwowy	0,80	1
2	Styropian Platinum Plus Fasada T-O	0,031	30
3	Błoczki Silka Xella E24	0,75	24
4	Tynk cementowo-wapienny	0,82	2
5	Żelbet	2,30	20
6	Gładź cementowa	1,00	5
7	Płytki ceramiczne	1,30	2
8	Szklecie Rehau Klima-Design U=0,6	0,027	4
9	Rama Rehau Klima-Design U=0,71	0,097	12
10	Pianka PU	0,025	2

Parametry cieplne węzła					
U [W/(m²·K)]	$\theta_{min1}$ [°C]	$\theta_{min2}$ [°C]	$\theta_{min3}$ [°C]	$f_{Rsi}$ [-]	$\Psi_i$
					$\Psi_{t0}$
0,098	12,42	17,30	19,18	0,811	0,004
					$\Psi_{t0} = \Psi_{t1} + \Psi_{t2}$
					0,092
					0,096

Temperatury (izotermi)

[°C]

Strumienie ciepła (adiaty)

[W]

Fig. 2. Sample of catalogue card – source [3]

W drugim etapie obliczeń określono wpływ mostków cieplnych na wartość współczynnika przenikania ciepła  $U_k$  [W/(m<sup>2</sup>·K)] wybranej ściany zewnętrznej

budynku (rys. 3). Wyniki obliczeń wg własnych algorytmów obliczeniowych przedstawiono w tabeli 2.

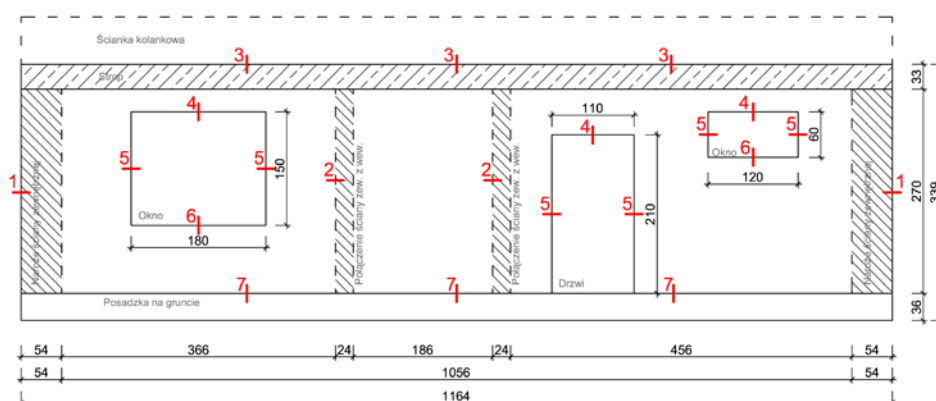
Tabela 1. Wyniki obliczeń parametrów cieplnych złączy ścian zewnętrznych – opracowanie własne na podstawie [1], [3]

Table 1. The results of calculations of thermal parameters in external walls' joints - author's elaboration based on [1], [3]

L.p.	Liniowy mostek cieplny	wariant I U = 0,226 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]		wariant II U = 0,098 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	
		$\Psi_i$ [W/(m·K)]	$f_{Rsi}$ [-]	$\Psi_i$ [W/(m·K)]	$f_{Rsi}$ [-]
M1	Węzeł naroża ściany zewnętrznej	0,109	0,877	0,061	0,944
M2	Węzeł połączenia ściany zewnętrznej z wewnętrzną	0,065	0,944	0,027	0,976
M3	Węzeł połączenia ściany zewnętrznej ze stropem	0,020 <sup>(G)</sup> 0,070 <sup>(D)</sup>	0,945	0,007 <sup>(G)</sup> 0,026 <sup>(D)</sup>	0,976
M4	Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez nadproże	0,078	0,819	0,053	0,811
M5	Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez ościeżnicę	0,062	0,812	0,054	0,810
M6	Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez podokiennik	0,069	0,818	0,053	0,809
M7	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

• dla M3 obliczono wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi_i$  [W/(m·K)] dla górnej części złącza <sup>(G)</sup> i dolnej części złącza <sup>(D)</sup>

• dla M7 obliczono wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi_i$  [W/(m·K)] dla części ściany zewnętrznej <sup>(sc.)</sup> i części podłogi na gruncie <sup>(g)</sup>



Rys. 3. Wytypowana do obliczeń ściana zewnętrzna budynku – źródło [3]

Fig. 3. External wall of building selected for calculations- source [3]

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

Table 2. The results of calculations of heat transmittance  $U_k$  in external wall including linear thermal bridges- author's elaboration

Parametry obliczeniowe		wariant	
		I	II
• krok I	obliczenie współczynnika przenikania ciepła $U_e$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)] zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008	<b>0,226</b>	<b>0,098</b>
• 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, rys. 3		
• krok IV	obliczenie strat ciepła przez pełną ścianę: $U_{ei} \cdot A_i$ [W/K]	4,86	2,10
• krok V	obliczenie strat ciepła wynikających z występowania mostków cieplnych: $\sum \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]	4,34	2,73
• krok VI	obliczenie bezpośredniego współczynnika przenoszenia ciepła między przestrzenią ogrzewaną lub chłodzoną, a środowiskiem zewnętrznym przez obudowę (ściana) $H_D = U_{ei} \cdot A_i + \sum \Psi_i \cdot l_i$ [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 $U_k = H_D/A_0$	<b>0,33</b>	<b>0,17</b>

#### 4. ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW OBLICZEŃ

Podstawowymi charakterystycznymi parametrami ścian zewnętrznych i ich złączy są:

- współczynnik przenikania ciepła  $U$  [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 (tab. 1, tab. 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**). Mimo znacznej grubości izolacji cieplnej (30 cm) w miejscu mostka cieplnego generowane są dodatkowe straty ciepła, określone w postaci współczynnika  $\Psi$  [W/(m·K)]. Częste pomijanie wpływu mostków cieplnych w obliczeniach jest nieuzasadnione.
- Na podstawie wartości czynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$  można stwierdzić, że w analizowanych złączach (tab. 1) nie występuje ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych. We wszystkich analizowanych złączach zachowany jest warunek uniknięcia kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody (ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych)  $f_{Rsi} \geq f_{Rsi(kryt.)}$ . Wartość graniczna (krytyczna) 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 (tab. 3). Należy podkreślić, że procentowy udział mostków cieplnych w całkowitych stratach ciepła zależy od geometrii przegrody (np. wielkość i ilość otworów okiennych).

Tabela 3. Analiza porównawcza strat ciepła przez ścianę zewnętrzną

Table 3. Comparative analysis of the heat loss through the external wall

Charakterystyczne parametry	wariant I	wariant II
Straty ciepła przez pełną ścianę zewnętrzną: $U_{ei} \cdot A_i$ [W/K]	4,86 (53%)	2,10 (43,5%)
Straty ciepła wynikające z występowania mostków cieplnych: $\sum \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]	4,34 (47%)	2,73 (56,5%)
Całkowite straty ciepła przez ścianę zewnętrzną: $H_D = U_{ei} \cdot A_i + \sum \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]	9,20 (100%)	4,83 (100%)

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Projektowanie budynków niskoenergetycznych jest zagadnieniem złożonym. Zapotrzebowanie na energię w budynku, jako podstawowego parametru definiującego budynek energooszczędne i pasywne, kształtuje się na etapie jego projektowania, wykonywania i eksploataowania.

Kompleksowa ocena obudowy budynku (przegród zewnętrznych) powinna dotyczyć przegród ale także ich złączy. Dobór materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych nie powinien być przypadkowy, ale oparty na podstawie szczegółowych

obliczeń i analiz. Szczególne znaczenie ma poprawne zaprojektowanie złączy przegród zewnętrznych w zakresie zminimalizowania strat ciepła oraz wyeliminowania ryzyka kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody.

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] Dybowska M., 2012. Analiza numeryczna parametrów cieplnych wybranych przegród zewnętrznych budynku i ich złączy”, praca magisterska napisana pod kierunkiem dr inż. Krzysztofa Pawłowskiego, UTP Bydgoszcz.
- [2] Dylla A., 2009. Praktyczna fizyka ciepła budowli- Szkoła projektowania złączy budowlanych. Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy.
- [3] Grykałowski T., 2010. Studium projektowe słabych miejsc w pasywnych budynkach jednorodzinnych, praca magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Pawłowskiego, UTP Bydgoszcz.
- [4] Ligęza W., Dębowski J., Fedorczak-Cisak M., 2011. Techniczne problemy projektowania przegród zewnętrznych w budynkach pasywnych, w: Budownictwo ogólne, Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy, Bydgoszcz
- [5] PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaaryczne wartości obliczeniowe.
- [6] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [7] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [8] PN-EN ISO 13788:2003 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.
- [9] PN-EN ISO 13790:2009 Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- [10] Projekt rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
- [11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.



[13] Żurawski J., 2008. Dlaczego energooszczędność? Czasopismo IZOLACJE

**THERMAL PARAMETERS CHARACTERIZATION OF EXTERNAL WALLS  
JOINTS IN LOW- ENERGY BUILDINGS.**

**Summary**

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