

dr inż. Krzysztof Pawłowski, prof. PBS<sup>1)</sup>  
ORCID: 0000-0002-6738-5764

# Przykład kształtowania układów materiałowych elementów obudowy budynków niskoenergetycznych

## *Example of formation of material sets in building casing elements for low energy buildings*

DOI: 10.15199/33.2023.04.09

**Streszczenie.** Kształtowanie układów warstw materiałowych przegród zewnętrznych i złączy budynku o niskim zużyciu energii nie powinno być przypadkowe, lecz opracowane na podstawie szczegółowych obliczeń i analiz parametrów fizycznych z uwzględnieniem przepływu ciepła w polu dwuwymiarowym (2D). W artykule przedstawiono autorski algorytm kształtowania układu materiałowego przegród zewnętrznych i ich złączy w aspekcie ciepłno-wilgotnościowym oraz analizę parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej ze stropem w przypadku różnych układów materiałowych.

**Słowa kluczowe:** budynek niskoenergetyczny; elementy obudowy; parametry fizyczne.

**Abstract.** Shaping the material layers of the building envelope and joints with low energy consumption should not be accidental, but based on detailed calculations and analyzes of physical parameters, taking into account heat flow in a two-dimensional (2D) field. The article presents an original algorithm for shaping the material arrangement of external partitions and their joints in terms of heat and humidity, as well as an analysis of the physical parameters of the connection of the external wall with the ceiling with different material arrangements.

**Keywords:** low energy building; building casing elements; physical parameters.

**K**rajowy plan wsparcia [1] uznaje za *budynek o niskim zużyciu energii* taki, który spełnia wymagania dotyczące oszczędności energii i izolacyjności zawarte w przepisach techniczno-użytkowych, o których mowa w art. 7 ust. 1 pkt 1 ustawy – Prawo budowlane [2], a przede wszystkim w dziale X oraz załączniku 2 do rozporządzenia [3], obowiązującego od 1 stycznia 2021 r. (w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością – od 1 stycznia 2019 r.). Rozporządzenie [3] wprowadziło zastrzeżone wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej, podając m.in. wartości graniczne współczynnika przenikania ciepła  $U_{c(max)}$  [W/(m<sup>2</sup>·K)] przegród zewnętrznych oraz wartości graniczne wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną EP [kWh/(m<sup>2</sup>·r)] całego budynku. W rozporządzeniu [3] nie sformułowano jednak wymagań dotyczących ograniczenia strat ciepła przez złącza przegród zewnętrznych – mostki cieplne. Kształtowanie układów materiałowych elementów obudowy budyn-

ków powinno uwzględniać m.in. kryterium cieplne i wilgotnościowe. W wielu przypadkach rozwiązanie przepływu ciepła sprowadza się do określenia współczynnika przenikania ciepła przez płaską przegrodę budowlaną w polu jednowymiarowym (1D), bez uwzględnienia przepływu ciepła w polu dwuwymiarowym (2D) i trójwymiarowym (3D). Rzeczywistym polem wymiany ciepła jest zazwyczaj przegroda zewnętrzna jako fragment budynku, połączona systemem złączy ze stropem, ścianą zewnętrzną, wewnętrzną albo podłogą na gruncie. W związku z tym, na podstawie przeprowadzonych badań własnych, **opracowano algorytm obliczeniowy kształtowania układów materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy w aspekcie ciepłno-wilgotnościowym** (tabela 1).

Kompleksowa ocena jakości cieplnej elementów budynków niskoenergetycznych obejmuje analizę wielu parametrów fizycznych. W tym celu wykonuje się szczegółowe obliczenia, wykorzystując odpowiedni program komputerowy. Uzyskane wartości zależą od zastosowanych wyrobów budowlanych (m.in. konstrukcyjnych), w tym rodzaju i grubości izolacji cieplnych oraz ukształ-

wania struktury materiałowej analizowanego złącza. Posługiwanie się wartościami przybliżonymi i orientacyjnymi, np. zgodnie z PN-EN ISO 14683:2008 [4], staje się nieuzasadnione, ponieważ nie uwzględniają one zmiany układów materiałowych oraz rodzaju i grubości termoizolacji.

**Przykład obliczeniowy** dotyczy kształtowania układów materiałowych połączenia ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec. Integralnym „słabym miejscem” w budynku jest połączenie ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec wraz z podłogą pływającą. Osiągnięcie stosunkowo niewielkiej wartości współczynnika przenikania ciepła  $U_c$  ściany zewnętrznej nie gwarantuje efektu minimalizacji strat ciepła przez przenikanie  $H_{Tr}$  oraz ograniczenia występowania kondensacji powierzchniowej (obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody) i międzywarstwowej. Do obliczeń, w programie komputerowym TRISCO-KOBRU 86 [5], przyjęto następujące założenia (trzy warianty – rysunki 1 ÷ 3):

- podłoga pływająca: parkiet drewniany grubości 1 cm –  $\lambda = 0,18$  W/(m·K); wylewka cementowa grubości 3 cm –

<sup>1)</sup> Politechnika Bydgoska, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska; krzypaw@pbs.edu.pl

**Tabela 1. Algorytm kształtowania układu materiałowego przegród zewnętrznych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym**

Opracowanie własne

Table 1. Algorithm for material set formation of external partitions and their joints in thermal and humidity aspect

Own study

KSZTAŁTOWANIE UKŁADU MATERIAŁOWEGO PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH I ICH ZŁĄCZY	
<ul style="list-style-type: none"> <li>przyjęcie wstępnego układu materiałowego złącza budowlanego</li> <li>charakterystyka materiałów występujących w złączu budowlanym – współczynnik przewodzenia ciepła <math>\lambda</math> [W/(m·K)]</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>wykonanie obliczeń numerycznych parametrów fizycznych złącza budowlanego</li> </ul> <p>modelowanie złącza budowlanego; przyjęcie warunków brzegowych: temperatura powietrza wewnętrznego (<math>t_i</math>), temperatura powietrza zewnętrznego (<math>t_e</math>), opory przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody (<math>R_{si}</math>, <math>R_{se}</math>); wprowadzenie charakterystyki materiałowej – współczynnik przewodzenia ciepła <math>\lambda</math> [W/(m·K)]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>określenie parametrów fizycznych złącza budowlanego</li> </ul> <p>strumień przepływu ciepła przez złącze <math>\Phi</math> [W]; liniowy współczynnik sprężenia cieplnego <math>L^{2D}</math> [W/(m·K)]; liniowy współczynnik przenikania ciepła <math>\Psi</math> [W/(m·K)]; temperatura minimalna w złączu (2D lub 3D) <math>t_{\min.}(\theta_{si, \min.})</math> [°C]; czynnik temperaturowy <math>f_{Rsi(2D)}</math>, <math>f_{Rsi(3D)}</math> [-]</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>kryteria oceny przegród zewnętrznych i ich złączy</li> </ul> <p>– kryterium cieplne: współczynnik przenikania ciepła przegród zewnętrznych w złączu <math>U_c</math> [W/(m<sup>2</sup>·K)], liniowy współczynnik przenikania ciepła <math>\Psi</math> [W/(m·K)]</p> <p>– kryterium wilgotnościowe: temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni płaskiej, temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni złącza budowlanego <math>t_{\min.}(\theta_{si, \min.})</math> [°C], czynnik temperaturowy <math>f_{Rsi(1D)}</math>, <math>f_{Rsi(2D)}</math>, <math>f_{Rsi(3D)}</math>, określony na podstawie <math>t_{\min.}(\theta_{si, \min.})</math> [°C], analiza możliwości występowania kondensacji międzywarstwowej w przegrodach zewnętrznych i ich złączach</p>	
WYBÓR POPRAWNEGO UKŁADU MATERIAŁOWEGO PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH I ICH ZŁĄCZY	

$\lambda=1,00$  W/(m·K); pas dylatacji obwodowej grubości 2 cm –  $\lambda=0,035$  W/(m·K); folia budowlana; wełna mineralna twarda grubości 5 cm –  $\lambda=0,04$  W/(m·K); folia budowlana; strop żelbetowy grubości 14 cm –  $\lambda=1,70$  W/(m·K); tynk gipsowy grubości 1 cm –  $\lambda=0,40$  W/(m·K);

- ściana zewnętrzna trójwarstwowa: tynk gipsowy grubości 1 cm –  $\lambda=0,40$  W/(m·K); bloczki wapienno-piaskowe grubości 24 cm –  $\lambda=0,56$  W/(m·K); płyty z pianki poliuretanowej PIR grubości 10, 12, 15 cm –  $\lambda=0,022$  W/(m·K); bloczki wapienno-piaskowe grubości 12 cm –  $\lambda=0,80$  W/(m·K);

- modelowanie złączy wykonano zgodnie z zasadami przedstawionymi w PN-EN ISO 10211:2008 [6];

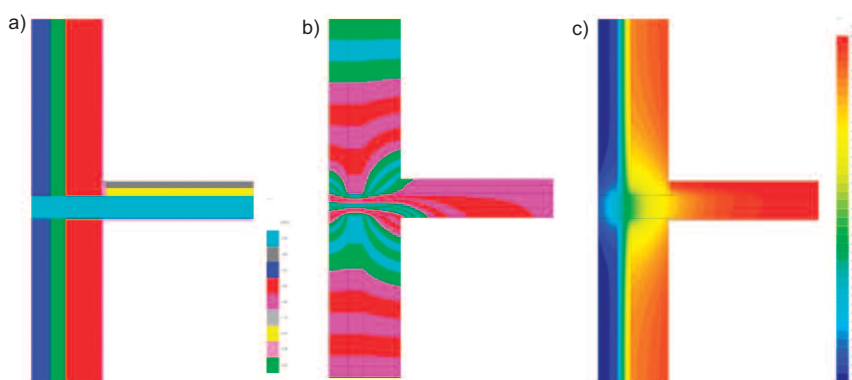
- opory przejmowania ciepła ( $R_{si}$ ,  $R_{se}$ ) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946 [7] przy obliczeniach strumieni cieplnych ( $R_{si} = 0,13$  (m<sup>2</sup>·K)/W – w przypadku poziomego przepływu ciepła;  $R_{si} = 0,10$  (m<sup>2</sup>·K)/W – przepływ ciepła w górę;  $R_{si} = 0,17$  (m<sup>2</sup>·K)/W – przepływ ciepła w dół;  $R_{se} = 0,04$  (m<sup>2</sup>·K)/W) oraz wg PN-EN ISO 13788 [8] przy obliczeniach rozkładu temperatury i czynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$  ( $R_{si} = 0,25$  (m<sup>2</sup>·K)/W;  $R_{se} = 0,04$  (m<sup>2</sup>·K)/W);

- temperatura powietrza wewnętrznego  $t_i = 20^\circ\text{C}$  (pokój dzienny); temperatura powietrza zewnętrznego  $t_e = -20^\circ\text{C}$  (III strefa);

- wartość współczynnika przewodzenia ciepła materiałów budowlanych  $\lambda$  [W/(m·K)] przyjęto na podstawie tabel z [9].

Wariant obliczeniowy I i II (rysunki 1 i 2, tabela 2) pochodzi z kart katalogowych prezentowanych w PN-EN ISO 14683 [4], natomiast wariant III (rysunek 3, tabela 2) stanowi propozycję poprawnego rozwiązania materiałowego połączenia trójwarstwowej ściany zewnętrznej ze stropem. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych analizowanych złączy (wariant I, II, III w zależności od grubości materiału termoizolacyjnego) ze-

stawiono w tabeli 2. Duża wartość współczynnika  $\Psi$  nie oznacza automatycznie istotnego mostka cieplnego. Zgodnie z definicją wartości  $\Psi$  traktowane są jako współczynniki korekcyjne do obliczeń jednowymiarowych strat ciepła, za pomocą których aspekt geometryczny (określony przez przyjęcie wymiarów), powinien być uwzględniony, tak samo jak zwiększenie strumienia cieplnego. Przykładową klasyfikację wpływu mostków cieplnych w zależności od wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi$  podano w tabeli 3.

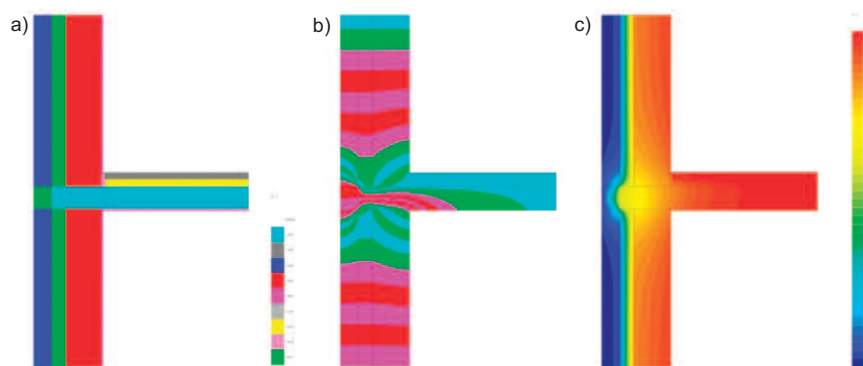


**Rys. 1. Wyniki symulacji komputerowej połączenia zewnętrznej ściany trójwarstwowej ze stropem w przekroju przez wieniec z warstwami podłogi pływającej (karta katalogowa IF2 PN-EN ISO 14683:2008): a) model obliczeniowy; b) linie strumieni cieplnych (adiabaty); c) rozkład temperatury (izotermy)**

Opracowanie własne

Fig. 1. Simulation results of external three-layer wall with a roof connection in section through a ring beam with floating floor layers (catalogue card IF2 PN-EN ISO 14683:2008): a) calculation model; b) heat flux lines (adiabats); c) temperature distribution (isotherms)

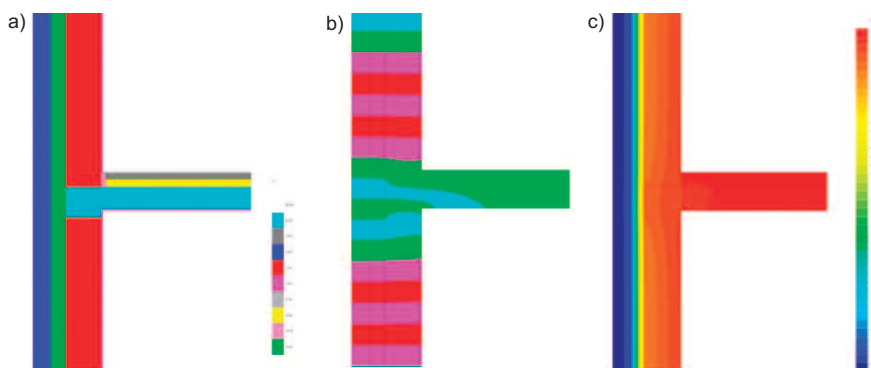
Own research



**Rys. 2. Wyniki symulacji komputerowej połączenia zewnętrznej ściany trójwarstwowej ze stropem w przekroju przez wieniec z warstwami podłogi pływającej (karta katalogowa IF5 PN-EN ISO 14683:2008): a) model obliczeniowy; b) linie strumieni ciepłych (adiabaty); c) rozkład temperatury (izotermy)**

*Opracowanie własne*  
 Fig. 2. Simulation results of external three-layer wall with a roof connection in section through a ring beam with floating floor layers (catalogue card IF5 PN-EN ISO 14683:2008): a) calculation model; b) heat flux lines (adiabates); c) temperature distribution (isotherms)

*Own research*



**Rys. 3. Wyniki symulacji komputerowej połączenia zewnętrznej ściany trójwarstwowej ze stropem w przekroju przez wieniec z warstwami podłogi pływającej: a) model obliczeniowy; b) linie strumieni ciepłych (adiabaty); c) rozkład temperatury (izotermy)**

*Opracowanie własne*  
 Fig. 3. Simulation results of external three-layer wall with a roof connection in section through a ring beam with floating floor layers: a) calculation model; b) heat flux lines (adiabates); c) temperature distribution (isotherms)

*Own research*

Parametry fizyczne połączenia ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec zależą od układu warstw materiałowych złącza. Istotne znaczenie ma odpowiednia izolacja cieplna wieńca stropowego. Niewłaściwe kształtowanie układu warstw materiałowych (brak izolacji cieplnej lub brak jej ciągłości) powoduje zwiększone straty ciepła w postaci strumienia ciepłego  $\Phi$  [W] i liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi$  [W/(m·K)] oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego, co może prowadzić do ryzyka występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody (tabela 2). Poprawne ukształtowanie układu warstw

materiałowych, na podstawie szczegółowych i miarodajnych obliczeń numerycznych, minimalizuje straty ciepła przez złącze oraz ryzyko występowania kondensacji powierzchniowej (ryzyko rozwoju pleśni).

Na podstawie wyników obliczeń (tabela 2) stwierdzono, że w przypadku nieprawidłowego (wadliwego) ukształtowania warstw materiałowych złącza (IF2, IF5) wpływ mostka cieplnego jest bardzo duży lub duży (tabela 3). Natomiast zastosowanie ciągłej izolacji cieplnej (ST3) powoduje ograniczenie strat ciepła wynikających z występowania liniowego mostka cieplnego do wartości  $\Psi_1 = 0,03 \div 0,05$  W/(m·K), a wpływ mostka jest pomijany. Wartości liniowego współczynnika przeni-

kania ciepła  $\Psi$  wykorzystywane są także do obliczenia strat ciepła przez przenikanie.

Sprawdzenie ryzyka rozwoju pleśni w miejscu mostka cieplnego przeprowadza się za pomocą porównania wartości obliczeniowej czynnika temperaturowego  $f_{Rsi,(2D)}$  w miejscu mostka cieplnego z wartością graniczną (krytyczną)  $f_{Rsi,(kryt.)}$ . Jeżeli spełniona jest nierówność  $f_{Rsi,(2D)} \geq f_{Rsi,(kryt.)}$  – nie występuje ryzyko rozwoju pleśni na wewnętrznej powierzchni przegrody.

Krytyczny czynnik temperaturowy  $f_{Rsi,(kryt.)}$  można określić: w sposób uproszczony w przypadku  $t_i = 20^\circ\text{C}$ ,  $\phi = 50\%$ ,  $f_{Rsi,(kryt.)} = 0,72$  lub w sposób dokładny. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego  $f_{Rsi, kryt.}$  zależy od parametrów powietrza wewnętrznego (temperatury  $t_i$ , wilgotności – klasy wilgotności pomieszczeń określonej wg normy PN-EN ISO 13788:2003 [8]) oraz parametrów powietrza zewnętrznego (temperatury  $t_e$ , wilgotności względnej  $\phi_e$ ). Procedury obliczeniowe w tym zakresie przedstawiono m.in. w pracy [11]. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego  $f_{Rsi,(kryt.)}$  w przypadku trzeciej klasy wilgotności w pomieszczeniu przy  $t_i = 20^\circ\text{C}$  wynosi odpowiednio:  $f_{Rsi,(kryt.)} = 0,785$  w przypadku lokalizacji Bydgoszczy, a w przypadku Warszawy  $f_{Rsi,(kryt.)} = 0,789$  [11]. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń (tabela 2) stwierdzono, że w analizowanych złączach nie występuje ryzyko rozwoju pleśni.

Sprawdzenie ryzyka występowania kondensacji międzywarstwowej w przegrodach zewnętrznych i złączach budowlanych wymaga przeprowadzenia symulacji komputerowej z uwzględnieniem parametrów powietrza zewnętrznego i wewnętrznego zgodnie z PN-EN ISO 13788 [8]. Wyniki obliczeń oraz analizy, w przypadku innych złączy budowlanych, zaprezentowano m.in. w [9, 11].

## Podsumowanie

Uwzględniając kryterium cieplne (minimalizacja strat ciepła przez przegrody budowlane z uwzględnieniem stacjonarnego przepływu ciepła w polu 2D i 3D) oraz kryterium wilgotnościowe (ograniczenie występowania kondensa-

**Tabela 2. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej trójwarstwowej ze stropem w przekroju przez wieniec z warstwami podłogi pływającej**

Opracowanie własne

Table 2. Exemplary results of physical parameters of the external three-layer board with a roof connection in section through a ring beam with layers of floating floor

Own research

Wariant obliczeniowy	$U_{(m)}^{(1)}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	$\Phi$ [W] <sup>2)</sup>	$L^{(2)(3)}$ [W/(m·K)]	$\Psi_1$ [W/(m·K)] <sup>4)</sup>	$t_{min.}$ [°C] <sup>5)</sup>	$f_{Rsi(2D)}$ [-]
<b>Wariant I – wieniec stropowy nieocieplony (strop i wieniec przebija warstwę izolacji cieplnej i elewacyjną)</b>						
IF2 (10)	0,19	38,00	0,95	0,57	11,48	0,787
IF2 (12)	0,16	35,10	0,88	0,56	11,87	0,797
IF2 (15)	0,13	31,73	0,79	0,53	12,38	0,810
<b>Wariant II – wieniec stropowy ocieplony, przerwana izolacja termiczna przez strop z wieńcem</b>						
IF5 (10)	0,19	26,70	0,67	0,29	14,98	0,875
IF5 (12)	0,16	24,60	0,62	0,29	15,13	0,878
IF5 (15)	0,13	22,09	0,55	0,29	15,37	0,884
<b>Wariant III – wieniec stropowy ocieplony</b>						
ST3 (10)	0,19	16,98	0,43	0,05	18,07	0,952
ST3 (12)	0,16	14,48	0,36	0,04	18,35	0,959
ST3 (15)	0,13	11,87	0,30	0,03	18,64	0,966

wieniec stropowy nieocieplony oraz ocieplenie ściany zewnętrznej: IF2(10) – płytami PIR grubości 10 cm; IF2(12) – płytami PIR grubości 12 cm; IF2(15) – płytami PIR grubości 15 cm; wieniec stropowy ocieplony (przerwana izolacja cieplna): ocieplenie ściany zewnętrznej IF5(10): płytami PIR grubości 10 cm; IF5(12) płytami PIR grubości 12 cm; IF5(15) płytami PIR grubości 15 cm; wieniec stropowy ocieplony: ocieplenie ściany zewnętrznej ST3(10): płytami PIR grubości 10 cm; ST3(12) płytami PIR grubości 12 cm; ST3(15) płytami PIR grubości 15 cm; <sup>1)</sup>  $U_{(m)}$  – współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej; <sup>2)</sup>  $\Phi$  – strumień cieplny przepływający przez złącze; <sup>3)</sup>  $L^{(2)}$  – liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego; <sup>4)</sup>  $\Psi_1$  – liniowy współczynnik przenikania ciepła po wymiarach wewnętrznych; <sup>5)</sup>  $t_{min.}$  – temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego;  $f_{Rsi(2D)}$  – czynnik temperaturowy, określony na podstawie  $t_{min.}$

**Tabela 3. Klasyfikacja wpływu mostków cieplnych na straty ciepła**

Opracowanie własne na podstawie [10]

Table 3. Classification of heat bridges influence on heat losses

Own study based on [10]

Klasy wpływu mostka cieplnego bazujące na ocenie wartości współczynnika $\Psi$			
C1	C2	C3	C4
$\Psi_{ie} < 0,1$	$0,1 \leq \Psi_{ie} < 0,25$	$0,25 \leq \Psi_{ie} < 0,5$	$\Psi_{ie} \geq 0,50$
Wpływ pomijany	mały wpływ	duży wpływ	bardzo duży wpływ

cji powierzchniowej), istnieje możliwość poprawnego ukształtowania układów warstw materiałowych obudowy budynków nowo projektowanych i modernizowanych. Określenie charakterystyki cieplno-wilgotnościowej elementów obudowy budynku z uwzględnieniem innowacyjnych materiałów izolacyjnych oraz z zastosowaniem programu komputerowego umożliwi uzyskanie miarodajnych wyników, odzwierciedlających rzeczywiste straty ciepła. Istotne znaczenie w kształtowaniu układów warstw materiałowych przegród zewnętrznych i złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym ma uwzględnienie zmiennych parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego.

Zasadne staje się określenie w rozporządzeniu [3] wartości maksymalnej liniowego współczynnika przenikania

ciepła  $\Psi_{max}$  złączy dwuwymiarowych (2D). Proponuje się także wycofanie wartości granicznej czynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$  na poziomie 0,72 z rozporządzenia [3] oraz określenie wartości granicznych (krytycznych)  $f_{Rsi}$  w przypadku wybranej lokalizacji budynku oraz warunków jego użytkowania. Pozwoli to na wyeliminowanie błędnie zaprojektowanych węzłów konstrukcyjnych. Istnieje potrzeba prowadzenia dalszych obliczeń w tym zakresie oraz opracowanie katalogu mostków cieplnych współczesnych budynków. Wprowadzenie do obudowy budynku (przegrody i złącza budowlane) innowacyjnych materiałów (np. materiałów termoizolacyjnych, takich jak aerożele, porogeje, izolacje próżniowe, materiały zmienno-fazowe) wymaga znajomości ich parametrów technicznych, które

w istotny sposób kształtują przepływ ciepła i masy oraz parametry mikroklimatu wnętrza. W związku z tym należy podkreślić, że istotne znaczenie ma usytuowanie innowacyjnego materiału termoizolacyjnego w przegrodzie budowlanej oraz złączach budowlanych. W kształtowaniu układów warstw materiałowych przegród zewnętrznych i złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym duże znaczenie ma także uwzględnienie zmiennych parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego.

Obudowa zewnętrzna budynku (przegrody oraz złącza budowlane (2D i 3D)) w znacznym stopniu kształtuje wielkość zapotrzebowania na energię użytkową (EU).

## Literatura

- [1] Uchwała Rady Ministrów z 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”.
- [2] Ustawa z 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. z 2013 r. poz. 1409, z późn. zm.).
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2017 r. poz. 2285).
- [4] PN-EN ISO 14683:2008 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- [5] Program komputerowy TRISCO-KOBRU86.
- [6] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [7] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [8] PN-EN ISO 13788:2003 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania.
- [9] Pawłowski K. Kształtowanie układów materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym. Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz, 2020.
- [10] Wouters P, Schietecat J, Standaert P, Kasperkiewicz K. Ciepłno-wilgotnościowa ocena mostków cieplnych. Wydawnictwo ITB Warszawa 2002.
- [11] Pawłowski K. Projektowanie przegród zewnętrznych budynków o niskim zużyciu energii. Obliczenia fizyczne przegród zewnętrznych i ich złączy w świetle wymagań obowiązujących od 1 stycznia 2021 r. Grupa Wydawnicza Medium, Warszawa 2021.

Przyjęto do druku: 11.01.2023 r.