

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2018), 27 (4), 476–487  
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2018), 27 (4)  
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2018), 27 (4), 476–487  
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2018), 27 (4)  
<http://iks.pn.sggw.pl>  
DOI 10.22630/PNIKS.2018.27.4.45

**Krzysztof PAWŁOWSKI**

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska,  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy  
Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, University of Science  
and Technology in Bydgoszcz

## **Analiza porównawcza parametrów fizykalnych wybranych złączy typu ściana zewnętrzna–okno po dociepleniu**

### **The comparative analysis of physical parameters for selected connectors external wall–window after insulation**

**Słowa kluczowe:** złącza budowlane, parametry fizykalne, docieplenie budynków  
**Key words:** construction joints, physical parameters, building insulation

## **Wprowadzenie**

Według Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, aby ilość energii cieplnej potrzebnej do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem można było utrzymać na racjonalnie niskim poziomie, przewidziano dwie metody pozwalające spełnić wymaganie w nowo projektowanych budynkach:

- pierwsza metoda polega na zaprojektowaniu przegród w budynku tak, aby wartości współczynników

przenikania ciepła –  $U$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ] przegród zewnętrznych, okien, drzwi oraz technika instalacyjna odpowiadały wymaganiom izolacyjności cieplnej,

- druga polega na takim zaprojektowaniu budynku pod kątem zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza w budynku, lokalu mieszkalnym lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową –  $EP$  [ $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ ].

Wartości maksymalne współczynnika  $U_{C(\max)}$  i wskaźnika  $EP_{(\max)}$  określono w cytowanym rozporządzeniu. Dodatkowo dopuszcza się dla budynku produkcyjnego, magazynowego i gospodarczego większe wartości współczynnika  $U$  niż  $U_{C(\max)}$  oraz  $U_{(\max)}$  określone w roz-

porządzeniu, jeśli uzasadnia to rachunek efektywności ekonomicznej inwestycji, obejmujący koszt budowy i eksploatacji budynku. Ponadto w budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej, produkcyjnym, magazynowym i gospodarczym podłoga na gruncie w ogrzewanym pomieszczeniu powinna mieć izolację cieplną obwodową z materiału izolacyjnego w postaci warstwy o oporze cieplnym co najmniej  $2,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ , przy czym opór cieplny warstw podłogowych oblicza się zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 oraz PN-EN ISO 13370:2008.

Według wprowadzonych zmian w rozporządzeniu wymagania cieplne dotyczą jednoczesnego spełnienia dwóch wymagań w zakresie współczynnika przenikania ciepła –  $U$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ] dla pojedynczych przegród budynku oraz wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną –  $EP$  [ $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ ] dla całego budynku. Wymagania minimalne, o których mowa w ust. 1, uznaje się za spełnione dla budynku podlegającego przebudowie, jeżeli przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku podlegające przebudowie odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w załączniku 2 cytowanego rozporządzenia oraz powierzchnia okien odpowiada wymaganiom określonym w pkt 2.1 wspomnianego załącznika.

Złącza budowlane, czyli mostki cieplne, zgodnie z cytowanym rozporządzeniem należy uwzględniać w aspekcie cieplno-wilgotnościowym, dotyczącym obliczeń związanych z kondensacją wilgoci na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego,

wyznaczając czynnik temperaturowy  $f_{Rsi}$ . Sprawdzenie kryterium izolacyjności cieplnej zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy polega na wyznaczeniu współczynnika przenikania ciepła  $U_c$  określanego według polskich norm, który musi być mniejszy od wartości  $U_{c(max)}$  dla poszczególnych przegród budowlanych. Należy zwrócić uwagę, że wartości  $U_{c(max)}$  podane są w załączniku 2 cytowanego rozporządzenia nie uwzględniają wpływu przepływu ciepła w polu dwuwymiarowym (2D) i trójwymiarowym (3D), czyli nie uwzględniają wpływu mostków cieplnych na straty ciepła przez przegrody. W obliczeniach praktycznych korzysta się z uzyskanej w wyniku obliczeń numerycznych indywidualnej właściwości każdego mostka cieplnego, zwanej liniowym współczynnikiem przenikania ciepła –  $\Psi$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ], który określa dodatkową wartość strumienia ciepła (strata – plus, zysk – minus) wywołaną przez mostek cieplny i podaną na 1 m.b. jego długości. Należy jednak podkreślić, że w cytowanym rozporządzeniu nie określono wartości granicznych wskaźników dodatkowych strat ciepła w polu 2D –  $\Psi_{max}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] oraz 3D –  $X_{max}$  [ $\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$ ]. Zmniejszanie wartości granicznych współczynników przenikania ciepła  $U_{c(max)}$  bez uwzględniania przepływów ciepła w polach 2D i 3D, czyli mostków cieplnych, powoduje rzeczywiste dopuszczenie większych strat ciepła przez przegrody budowlane i ich złącza.

W pracy przedstawiono analizę porównawczą parametrów fizykalnych połączenie ściany zewnętrznej z oknem

w przekroju przez ościeżnicę przy ociepleniu od zewnątrz i wewnątrz, przy zróżnicowanej grubości i usytuowaniu materiału termoizolacyjnego.

## **Docieplenie ścian zewnętrznych i złączy budowlanych**

Aby uzyskać odpowiednią izolacyjność cieplną przegród zewnętrznych w postaci współczynnika przenikania ciepła –  $U$  [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ], należy dobrać odpowiednią grubość izolacji cieplnej w postaci: płyt styropianowych EPS, płyt styropianowych grafitowych, wełny mineralnej, płyt z pianki poliuretanowej PIR lub innych innowacyjnych materiałów, takich jak – płyty aerożelowe, izolacje transparentne i izolacje próżniowe VIP.

Do podstawowych metod ocieplenia ścian zewnętrznych od zewnątrz można zaliczyć:

- metodę ciężką moką, która polega na oklejeniu całych powierzchni ścian styropianem, zawieszeniu na stalowych bolcach siatek konstrukcyjnych z prętów stalowych i wykonaniu wyprawy zewnętrznej z trójwarstwowego tynku cementowo-wapiennego na siatce stalowej podtynkowej,
- metodę lekką suchą, która polega na wykonaniu ocieplenia najczęściej ze styropianu, a następnie pokryciu go powłoką zewnętrzną, w skład której z reguły wchodzi warstwa zbrojona tkaniną szklaną oraz cienkowarstwową wyprawa tynkarska lub okładzina ceramiczna; systemy oparte na tej technologii można podzielić na kilka podstawowych typów opisanych szczegółowo przez Gaczka, Jasiczaka, Kuińskiego i Siewczyńską (2011),

- metodę lekką suchą, która opiera się na wykonywaniu robót budowlanych bez prac mokrych; wykonywanie ocieplenia polega na przymocowaniu do ścian budynku rusztu drewnianego lub metalowego, ułożeniu między elementami rusztu materiału termoizolacyjnego i zamocowaniu gotowych elementów elewacyjnych.

Ocieplenie ścian zewnętrznych od wewnątrz projektowane i wykonywane jest w obiektach zabytkowych (budynki wpisane do rejestru zabytków lub objęte ochroną konserwatorską), obiektach o wartości architektonicznej (ciekawy charakter elewacji lub oryginalny wygląd budynku), obiektach o ograniczonych prawach własności (w przypadku gdy część ścian zewnętrznych znajduje się dokładnie na granicy działki), obiektach użytkowanych czasowo (ogrzewanie czasowe w nieregularnych okresach). Takie rozwiązanie wiąże się jednak z wywołaniem wnikaniami pary wodnej w strukturę przegrody i jej kondensacją. Na skutek niskiej temperatury otoczenia spada znacznie temperatura wewnątrz przegrody, powodując kondensację na styku warstwy konstrukcyjnej i izolacji cieplnej. Warstwa izolacji cieplnej od strony wewnętrznej przegrody oddziela konstrukcję muru od środowiska wewnętrznego, co wpływa na zmniejszenie pojemności cieplnej całego budynku i powoduje wprowadzenie całej warstwy konstrukcyjnej w strefę przemarzania (rys. 1). Podstawowymi zaletami ocieplenia od wewnątrz są zmniejszenie ilości energii niezbędnej do ogrzania pomieszczeń o żądanej temperaturze oraz skrócenie czasu nagrzewania (Wesołowska i Pawłowski, 2016).

Do grupy materiałów do ocieplenia od wewnątrz można zaliczyć m.in.:

silikat wapienny, płyty mineralne, płyty rezolowe, płyty klimatyczne, płyty perlitowe, płyty z wełny drzewnej. Wartości parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych i ich złączy zależą głównie od współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ], współczynnika oporu dyfuzyjnego  $\mu$  [-], dyfuzyjnie równoważnej warstwy powietrza  $s_d = \mu d$  [m] materiałów izolacyjnych. Szczegółową charakterystykę wybranych materiałów izolacyjnych przedstawiono w pracach Arbitera (2014) i Dybowskiej-Józefiak i Pawłowskiego (2017).

Należy podkreślić, że podstawą kształtowania struktury materiałowej przegród zewnętrznych i złączy budowlanych po dociepleniu powinny być obliczenia i analizy, uwzględniające kryterium cieplne i wilgotnościowe (Pawłowski, 2016).

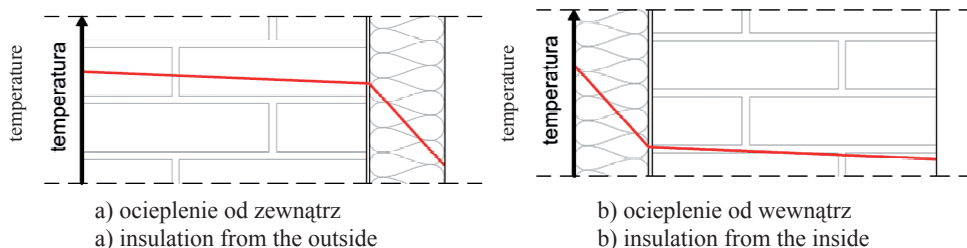
### Parametry fizykalne wybranych złączy ścian zewnętrznych ocieplonych od zewnątrz i wewnątrz

Budynek stanowi zbiór przegród budowlanych i ich złączy o indywidualnym charakterze fizykalnym i poddany jest oddziaływaniu środowiska ze-

wnętrznego i wewnętrznego. W wielu przypadkach analiza przegród i złączy budowlanych w aspekcie konstrukcyjno-materiałowym i technologii wykonania nie budzi zastrzeżeń na etapie projektowania. Znajomość ich parametrów fizykalnych, związanych z wymianą ciepła i wilgoci, pozwala zaś na uniknięcie wielu wad korozyjnych i fizykalnych.

Efektywne zastosowanie materiału termoizolacyjnego (odpowiednia grubość i usytuowanie) umożliwia uzyskanie istotnych parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych i złączy budynku po dociepleniu:

- współczynnik przenikania ciepła  $U$  ( $U_{1D}$ ) [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ] dotyczący strat ciepła przez płaską przegrodę na poziomie niższym od wartości maksymalnych podanych w przepisach prawnych,
- liniowy współczynnik przenikania ciepła  $\Psi$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ] dotyczący strat ciepła wynikających z występowania liniowych mostków cieplnych,
- temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody  $t_{\text{si,min}}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] w miejscu występowania mostków cieplnych w polach 2D i 3D,
- czynnik temperaturowy  $f_{\text{Rsi}(2D)}$  określony na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni



RYSUNEK 1. Rozkład temperatury w ścianie ocieplonej od zewnątrz (a), od wewnątrz (b) (opracowanie własne)

FIGURE 1. Temperature distribution in an insulated wall external (a) and internal (b) (own work)

ni przegrody  $t_{si,min}$  [°C] w miejscu występowania mostków cieplnych w polach 2D i 3D na poziomie wyższym niż wartość krytyczna przy określonych parametrach powietrza zewnętrznego i wewnętrznego.

W celu poszukiwania poprawnego rozwiązania układu materiałowego spełniającego obowiązujące wymagania dla budynku po dociepleniu należy wykonać szczegółowe obliczenia parametrów fizykalnych złączy przegród zewnętrznych w kilku wariantach obliczeniowych. W pracy rozpatrywano połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę przy zróżnicowanym usytuowaniu ocieplenia w następujących wariantach:

- wariant I (rys. 2): ściana zewnętrzna z cegły pełnej gr. 25 cm ( $\lambda = 0,77 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); tynk gipsowy gr. 1,5 cm ( $\lambda = 0,40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); stolarka okienna: przypadek A – o współczynniku przenikania ciepła okna  $U_w = 1,75 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , przypadek B –  $U_w = 0,86 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ;
- wariant II (rys. 3): ściana zewnętrzna z cegły pełnej gr. 25 cm ( $\lambda = 0,77 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); tynk gipsowy gr. 1,5 cm ( $\lambda = 0,40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); izolacja termiczna od zewnątrz: płyty rezolowe gr. 10, 12, 15 i 20 cm ( $\lambda = 0,021 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); stolarka okienna  $U_w = 0,86 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ; bez węgarka;
- wariant III (rys. 4): ściana zewnętrzna z cegły pełnej gr. 25 cm ( $\lambda = 0,77 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); tynk gipsowy gr. 1,5 cm ( $\lambda = 0,40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); izolacja termiczna od zewnątrz: płyty rezolowe gr. 10, 12, 15 i 20 cm ( $\lambda = 0,021 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); stolarka

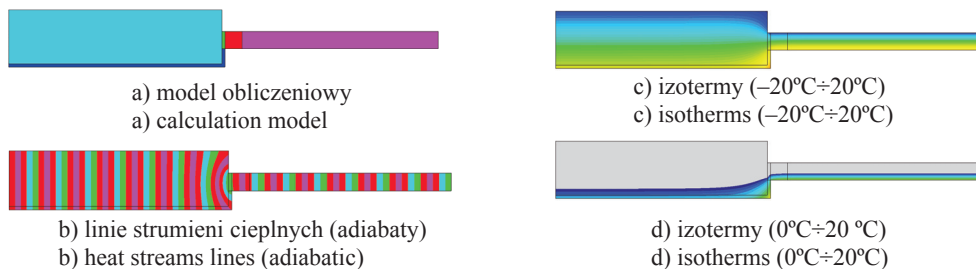
okienna  $U_w = 0,86 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ; z węgarkiem (ocieplenie zachodzi na ościeżnicę – 4 cm);

- wariant IV (rys. 5): ściana zewnętrzna z cegły pełnej gr. 25 cm ( $\lambda = 0,77 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); tynk gipsowy gr. 1,5 cm ( $\lambda = 0,40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); izolacja termiczna od wewnątrz: płyty rezolowe gr. 10, 12, 15 i 20 cm ( $\lambda = 0,021 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); stolarka okienna  $U_w = 0,86 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ; bez węgarka;
- wariant V (rys. 6): ściana zewnętrzna z cegły pełnej gr. 25 cm ( $\lambda = 0,77 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); tynk gipsowy gr. 1,5 cm ( $\lambda = 0,40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); izolacja termiczna od wewnątrz: płyty rezolowe gr. 10, 12, 15 i 20 cm ( $\lambda = 0,021 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ); stolarka okienna  $U_w = 0,86 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ; z węgarkiem (ocieplenie zachodzi na ościeżnicę – 4 cm).

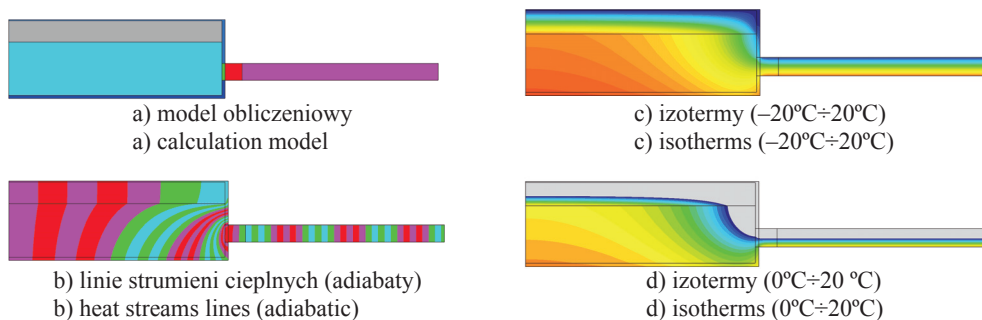
Na rysunkach 2–6 przedstawiono graficzne wyniki symulacji komputerowej analizowanego złącza przy zastosowaniu oprogramowania TRISCO, a w tabeli 1 zestawiono wyniki przeprowadzonych obliczeń.

Dla omówionych wariantów określono parametry fizykalne przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO, przyjmuje się następujące założenia:

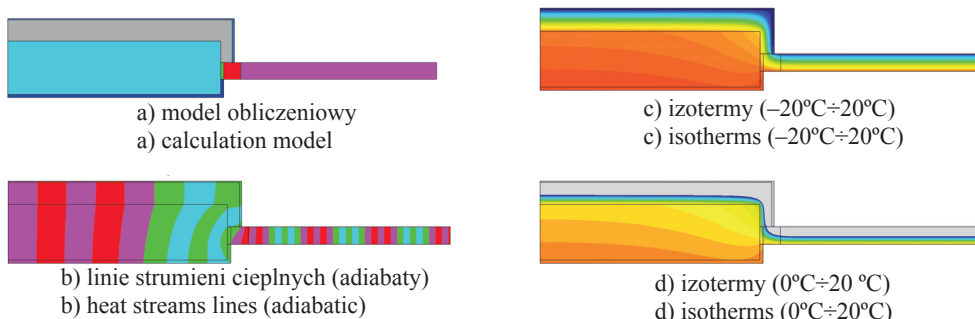
- modelowanie złączy wykonano zgodnie z zasadami przedstawionymi przez Pawłowskiego (2016),
- opory przejmowania ciepła ( $R_{si}$ ,  $R_{se}$ ) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 przy obliczeniach strumieni cieplnych oraz według PN-EN ISO 13788:2003 przy obliczeniach rozkładu temperatur i czynnika temperaturowego  $f_{Rsi(2D)}$ ,



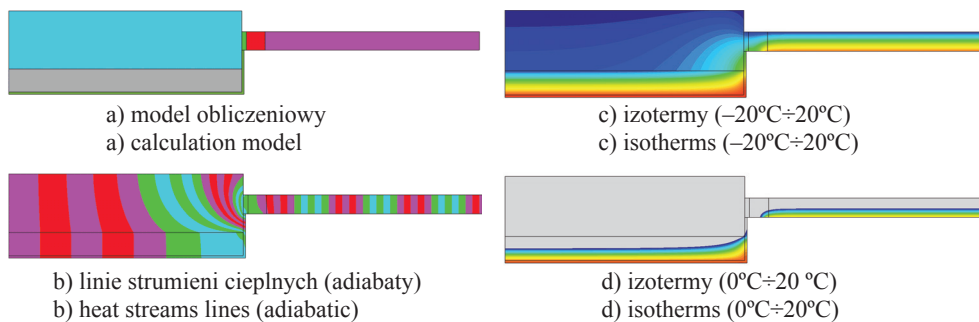
RYSUNEK 2. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia ściany zewnętrznej (bez ocieplenia) z oknem w przekroju przez ościeżnicę (opracowanie własne)  
FIGURE 2. Exemplary graphics of computer simulation results for external wall joint (without insulation) with a window in section through the casing (own work)



RYSUNEK 3. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia ściany zewnętrznej (z ociepleniem od zewnątrz) z oknem w przekroju przez ościeżnicę bez węgarka (opracowanie własne)  
FIGURE 3. Exemplary graphics of computer simulation results for external wall joint (with outside insulation) with a window in section through the casing without nib (own work)

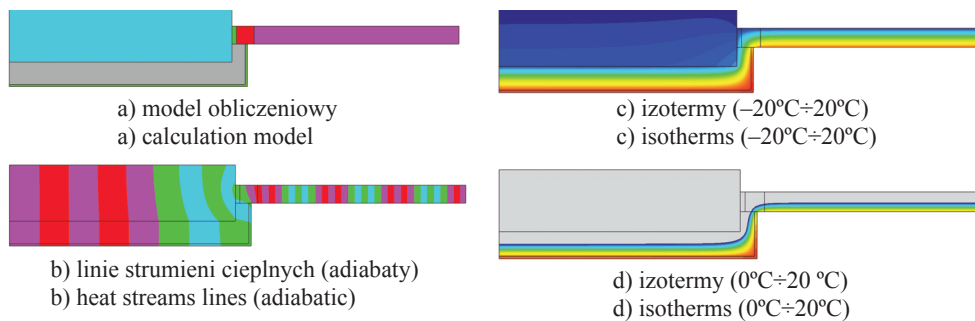


RYSUNEK 4. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia ściany zewnętrznej (z ociepleniem od zewnątrz) z oknem w przekroju przez ościeżnicę z węgarkiem (opracowanie własne)  
FIGURE 4. Exemplary graphics of computer simulation for external wall joint (with outside insulation) with a window in section through the casing with a nib (own work)



RYSUNEK 5. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia ściany zewnętrznej (z ociepleniem od wewnątrz) z oknem w przekroju przez ościeżnicę bez węgarka (opracowanie własne)

FIGURE 5. Exemplary graphics of computer simulation results for external wall joint (with inside insulation) with a window in section through the casing without nib (own work)



RYSUNEK 6. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia ściany zewnętrznej (z ociepleniem od wewnątrz) z oknem w przekroju przez ościeżnicę z węgarkiem (opracowanie własne)

FIGURE 6. Exemplary graphics of computer simulation results for external wall joint (with inside insulation) with a window in section through the casing with nib (own work)

- temperatura powietrza wewnętrznego  $t_i = 20^\circ\text{C}$  (pokój dzienny), temperatura powietrza zewnętrznego  $t_e = -20^\circ\text{C}$  (III strefa),
- wartości współczynnika przewodzenia ciepła materiałów budowlanych  $\lambda$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ] przyjęto na podstawie tabel z pracy Pawłowskiego (2016).

### Analiza wyników obliczeń parametrów fizycznych złączy ścian zewnętrznych

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń (tab. 1) można stwierdzić, że analizowane złącza generują dodatkowe straty ciepła określone m.in. w postaci li-

TABELA 1. Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych analizowanych złączy ścian zewnętrznych (opracowanie własne)

TABLE 1. Calculation results of physical parameters for the analyzed joints of external walls (own work)

Wariant Variant	$U_{c(śc.)}/U_{c(o)}$ [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	$\Phi$ [W]	$L^{2D}$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	$\Psi$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	$t_{si,min}$ [°C]	$f_{Rsi(2D)}$ [-]
Wariant I – Variant I						
I A	1,88 / 1,75	149,80	3,75	0,09	5,17	0,629
I B	1,88 / 0,86	113,90	2,85	0,10	5,57	0,639
Wariant II – Variant II						
II <sub>(10)</sub>	0,19 / 0,86	57,47	1,44	0,38	10,01	0,750
II <sub>(12)</sub>	0,16 / 0,86	56,64	1,42	0,39	10,07	0,752
II <sub>(15)</sub>	0,13 / 0,86	55,78	1,40	0,40	10,13	0,753
II <sub>(20)</sub>	0,10 / 0,86	54,91	1,37	0,41	10,20	0,755
Wariant III – Variant III						
III <sub>(10)</sub>	0,19 / 0,86	43,27	1,08	0,08	16,66	0,917
III <sub>(12)</sub>	0,16 / 0,86	42,20	1,06	0,08	16,82	0,921
III <sub>(15)</sub>	0,13 / 0,86	41,10	1,03	0,08	16,98	0,925
III <sub>(20)</sub>	0,10 / 0,86	39,98	1,00	0,08	17,14	0,929
Wariant IV – Variant IV						
IV <sub>(10)</sub>	0,19 / 0,86	52,43	1,31	0,25	-2,49	0,438
IV <sub>(12)</sub>	0,16 / 0,86	51,46	1,29	0,25	-2,58	0,436
IV <sub>(15)</sub>	0,13 / 0,86	50,48	1,26	0,26	-2,66	0,434
IV <sub>(20)</sub>	0,10 / 0,86	49,52	1,24	0,27	-2,72	0,432
Wariant V – Variant V						
V <sub>(10)</sub>	0,19 / 0,86	42,81	1,07	0,06	10,84	0,771
V <sub>(12)</sub>	0,16 / 0,86	41,71	1,04	0,06	10,81	0,770
V <sub>(15)</sub>	0,13 / 0,86	40,58	1,02	0,07	10,79	0,770
V <sub>(20)</sub>	0,10 / 0,86	39,44	0,99	0,07	10,76	0,769

$U_{c(śc.)}$  – współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej;  $U_{c(o)}$  – współczynnik przenikania stolarki okiennej;  $\Phi$  – strumień ciepła przepływający przez złącze;  $L^{2D}$  – liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego;  $\Psi_i$  – liniowy współczynnik przenikania ciepła, określony po wymiarach wewnętrznych;  $t_{si,min}$  – temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu występowania mostka cieplnego (2D);  $f_{Rsi(2D)}$  – czynnik temperaturowy, określany na podstawie temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody

$U_{c(śc.)}$  – thermal transmittance of external wall;  $U_{c(o)}$  – thermal transmittance of window woodwork;  $\Phi$  – thermal stream at joint;  $L^{2D}$  – linear coupling coefficient;  $\Psi_i$  – linear thermal transmittance, determined by internal dimensions;  $t_{si,min}$  – internal wall minimal temperature at heat bridge (2D);  $f_{Rsi(2D)}$  – thermal coefficient, determined by minimal temperature of internal surface.

\*Warianty według przyjętej klasyfikacji (opis w tekście).

Variants according to accepted classification (explanation in the text).



niowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi_i$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ] oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody  $t_{\text{si,min}}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]. Parametry fizyczne złączy ścian zewnętrznych po dociepleniu zależą od usytuowania i grubości warstwy materiału termoizolacyjnego. Należy zwrócić uwagę, że ocieplenie połączenia ściany zewnętrznej z oknem bez węgaraka powoduje znacznie wyższe dodatkowe straty ciepła ( $\Phi$ ,  $L^{2D}$ ,  $\Psi_i$ ) oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody ( $t_{\text{si,min}}$ ,  $f_{\text{Rsi}(2D)}$ ) – tabela 1. Takie rozwiązanie powoduje ryzyko występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody (rozwój pleśni i grzybów pleśniowych), kondensacji międzywarstwowej oraz zwiększenie ilości energii koniecznej do ogrzania pomieszczeń o żądanej temperaturze. Wyniki w zakresie kondensacji międzywarstwowej przy zróżnicowanym zastosowaniu materiału termoizolacyjnego zaprezentowano m.in. w pracy Wesołowskiej i Pawłowskiego (2016).

Złącza ściany zewnętrznej z oknem ocieplone od zewnątrz generują większe straty niż ocieplone od wewnątrz. Wykonanie szczegółowych obliczeń, przy zastosowaniu programu komputerowego, pozwala na uzyskanie miarodajnych wyników parametrów cieplno-wilgotnościowych. Ich wartości zależą od zastosowanego materiału budowlanego (konstrukcyjnego), rodzaju i grubości warstwy izolacji cieplnej oraz ukształtowania struktury materiałowej analizowanego złącza. Posługiwanie się wartościami przybliżonymi i orientacyjnymi, np. według PN-EN ISO 14683:2008, staje się nieuzasadnione, ponieważ nie uwzględniają one zmiany układów materiałowych oraz rodzaju

i grubości warstwy izolacji cieplnej. W tabeli 2 zestawiono wyniki liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi_i$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ] według PN-EN ISO 14683:2008 (tab. 1).

Spełnienie kryterium w zakresie uniknięcia ryzyka występowania kondensacji powierzchniowej (rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych):  $f_{\text{Rsi}(2D)} \geq f_{\text{Rsi}(\text{kryt.})}$ , wymaga określenia wartości  $f_{\text{Rsi}(2D)}$  na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego (2D)  $t_{\text{si,min}}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] oraz wartości  $f_{\text{Rsi}(\text{kryt.})}$  uwzględniającej parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego (wilgotność i temperatura powietrza). Według normy PN-EN ISO 13788:2003 czynnik temperaturowy  $f_{\text{Rsi}(\text{kryt.})}$  oblicza się lub przyjmuje w zależności od zastosowanego w budynku rodzaju wentylacji (wentylacja grawitacyjna – dominująca w budownictwie mieszkaniowym lub wentylacja mechaniczna będąca często składnikiem systemów klimatyzacyjnych pozwalających w prawie dowolny sposób kształtować właściwości mikroklimatu wewnątrz). Wartość maksymalna z 12 miesięcy w odniesieniu do lokalizacji (Bydgoszcz)  $f_{\text{Rsi}(\text{max})} = f_{\text{Rsi}(\text{kryt.})} = 0,785$  (luty). Oznacza to, że w każdym miesiącu roku i dla każdego innych wartości brzegowych temperatury dla uniknięcia kondensacji powierzchniowej  $f_{\text{Rsi}(2D)}$  powinien być większy od 0,785. W rozpatrywanych wariantach obliczeniowych: I, II, IV i V – tabela 1, warunek  $f_{\text{Rsi}(2D)} \geq f_{\text{Rsi}(\text{kryt.})}$  nie został spełniony, w związku z tym istnieje ryzyko występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody (ryzyko powstania pleśni i grzybów pleśniowych).

TABELA 2. Analiza porównawcza wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  
 TABLE 2. Comparative analysis of the linear heat transfer coefficient value

Złącze budowlane Construction joint	$\Psi_i$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	
	wg PN-EN ISO 14683 acc. PN-EN ISO 14683	wg obliczeń własnych acc. own calculation
Połączenie ściany zewnętrznej z oknem (ocieplenie od zewnątrz, bez węgarka) External wall joint with window (with outside insulation, without nib)	(W7) 0,45	0,38–0,41*
Połączenie ściany zewnętrznej z oknem (ocieplenie od zewnątrz, z węgarkiem) External wall joint with window (with outside insulation, with nib)	(W18) 0,20	0,08
Połączenie ściany zewnętrznej z oknem (ocieplenie od wewnątrz, bez węgarka) External wall joint with window (with inside insulation, without nib)	(W9) 0,60	0,25–0,27*
Połączenie ściany zewnętrznej z oknem (ocieplenie od wewnątrz, z węgarkiem) External wall joint with window (with inside insulation, with nib)	(W6) 0,10	0,06–0,07*

(W7), (W18), (W9), (W6) – symbole kart katalogowych w normie PN-EN ISO 14683.

\* Wartości zależą od grubości materiału termoizolacyjnego – tabela 1

(W7), (W8), (W9), (W7), (W6) – symbols in catalogue cards according to standard PN-EN ISO 14683.

\*Values depends on thickness of insulation layer – Table 1.

W cytowanym rozporządzeniu mimo uznania normy PN-EN ISO 13788 za obowiązującą w projektowaniu, istnieje odstępstwo od jej wymagań, polegające na przyjęciu średniej miesięcznej wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w stałej wartości  $\varphi_i = 0,50$  (50%) (pkt 2.2.2 załącznika 2 z cytowanego rozporządzenia) dla pomieszczeń z temperaturą wewnętrzną równą co najmniej 20°C. Równocześnie dopuszczono (bez obliczeń) dla tych pomieszczeń przyjmowanie wartości  $f_{Rsi(kryt.)} = 0,72$ , co praktycznie oznacza rezygnację z ustalania klas wilgotności pomieszczeń zaopatrzonych w wentylację grawitacyjną. To odstępstwo nie pozwala na uwzględnienie w obliczeniach wilgotnościowych

realnych warunków lokalizacyjnych (klimatycznych) oraz mikroklimatycznych badanego budynku, przynajmniej w odniesieniu do pomieszczeń o temperaturze wewnętrznej  $t_i \geq 20^\circ\text{C}$ , dość drastycznie obniżając poziom wymagań w zakresie ochrony przed zagrzybieniem budynków położonych w Polsce w ostrzejszych strefach klimatycznych (strefy IV i V).

Zaprojektowanie węgarka (przedłużenie izolacji cieplnej na ościeżnicę) powodują minimalizację dodatkowych strat ciepła  $\Psi_i$  oraz obniżenia temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego  $t_{si,min}$  – tabela 1.

## Podsumowanie i wnioski

Docieplenie ścian zewnętrznych od zewnątrz i wewnątrz jest powszechnie stosowanym działaniem w zakresie termomodernizacji istniejących budynków w celu osiągnięcia obowiązujących i zmieniających się wymagań w aspekcie cieplno-wilgotnościowym. Jednak ocena nie powinna sprowadzać się tylko do pełnej przegrody zewnętrznej, ale także jej złączy.

Projektowanie dociepleń budynku na podstawie obliczeń przybliżonych (np. dotyczących tylko płaskiej przegrody), określając współczynnik przenikania ciepła  $U_c$  ( $U_{1D}$ ) i sprawdzając tylko kryterium cieplne  $U_c \leq U_{c(\max)}$  jest niedopuszczalne. Zasadne staje się wykonanie obliczeń parametrów fizykalnych złączy przegród zewnętrznych z uwzględnieniem odpowiednich parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego oraz przeprowadzenie symulacji komputerowej dotyczącej analizy stanu wilgotnościowego przegrody w określonym okresie eksploatacji, prezentowane m.in. w pracy Wesołowskiej i Pawłowskiego (2016). Na podstawie tych kalkulacji i symulacji należy opracować karty katalogowe poprawnie zaprojektowanych złączy ścian zewnętrznych po ociepleniu od wewnątrz.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz proponuje się wycofanie z przepisów prawnych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r.) zapisu dopuszczającego stosowanie wartości granicznej  $f_{Rsi(kryt.)}$  na poziomie 0,72. Autor zauważa także potrzebę opracowania wytycznych projektowych w aspekcie wilgotnościowym z określeniem wartości krytycznych

$f_{Rsi(kryt.)}$  przy uwzględnieniu specyficznych warunków parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego. Ponadto zasadne staje się określenie granicznej wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi_{\max}$  na poziomie 0,05–0,10  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ) w zależności od specyfiki analizowanego złącza, co spowoduje ograniczenie dodatkowych strat ciepła.

Rozwiązanie materiałowe docieplenia przegród budynku i ich złączy, szczególnie od strony wewnętrznej, zależy od następujących czynników: eksploatacji pomieszczeń, rodzaju materiału konstrukcyjnego ścian oraz materiału użytego do ocieplenia, technologii zamocowania dodatkowej termoizolacji.

## Literatura

- Arbiter, K. (2014). *Innendaemmung*. Koeln: Rudolf Mueller.
- Dybowska-Józefiak, M. i Pawłowski, K. (2017). Analiza rozwiązań materiałowych przegród zewnętrznych ocieplonych od wewnątrz. *Materiały Budowlane*, 1, 31-33. doi 10.15199/33.2017.01.03
- Gaczek, M., Jasiczak, J., Kuiński, M. i Siewczyńska, M. (2011). *Isolacyjność termiczna i nośność murowanych ścian zewnętrznych. Rozwiązania i przykłady obliczeń*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Pawłowski, K. (2016). *Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia cieplno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy*. Warszawa: Grupa Wydawnicza Medium.
- PN-EN ISO 6946:2008. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- PN-EN ISO 13370:2008. Ciepłotechniczne właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metoda obliczania.

- 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.
- PN-EN ISO 14683:2008. Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75, poz. 690 z późn. zm.).
- Wesołowska, M. i Pawłowski, K. (2016). *Aspekty związane z dostosowaniem obiektów istniejących do standardu budownictwa energooszczędnego*. Włocławek: Agencja Reklamowa TOP.

## Streszczenie

**Analiza porównawcza parametrów fizykalnych wybranych złączy typu ściana zewnętrzna-okno po dociepleniu.** W pracy przedstawiono analizę porównawczą parametrów fizykalnych wybranych złączy przegród zewnętrznych po dociepleniu od strony wewnętrznej i zewnętrznej przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO. Na podstawie otrzymanych wyników obliczeń z uwzględnieniem parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego oraz wariantowych układów materiałowych przegród zewnętrznych przeprowadzono ocenę jakości ciepłno-wilgotnościowej złączy z uwzględnieniem obowiązujących przepisów prawnych. Dobór układów warstw

materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy po dociepleniu powinien być przeprowadzony na podstawie szczegółowych obliczeń i analiz z uwzględnieniem warunków eksploatacji oraz zmiennych parametrów powietrza zewnętrznego.

## Summary

**The comparative analysis of physical parameters for selected connectors external wall-window after insulation.** In the article there is presented a comparative analysis of physical parameters for selected joints of external partitions after insulation from internal and external sides using the TRISCO computer program. Based on calculation results and parameters of internal and external air, and variants of material sets for external partitions the thermal and humidity evaluation of joints was performed in view of binding legal regulations. The choice of material layers systems and their joints after insulation should be based on detailed calculations and analyses with taking into account exploitation conditions and changing parameters of external air.

### Authors' address:

Krzysztof Pawłowski  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy  
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska  
Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli  
Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz  
Poland  
e-mail: krzypaw@utp.edu.pl