

Agata STOLARSKA<sup>1</sup>  
Jarosław STRZAŁKOWSKI<sup>2</sup>

## ANALIZA ROZWIĄZAŃ POŁĄCZENIA ŚCIANA- PODŁOGA NA GRUNCIE Z WARIANTOWYM USYTUOWANIEM IZOLACJI KRAWĘDZIOWEJ

W niniejszej pracy poddano ocenie wyniki obliczeń wariantowego rozwiązania połączenia ściana-podłoga na gruncie z różnie dobranym układem warstwy izolacji krawędzowej. Przewidziano pięć typów rozwiązań: wariant bez izolacji obwodowej, wariant z izolacją pionową, poziomą, ukośną oraz wariant z izolacją krawędziową ukośną bezpośrednio połączoną z izolacją podłogi w formie szalunku trójkątnego pod płytą podłogi. Obliczenia wykonano przy użyciu programu CFD. Połączenia zamodelowano jako trójwymiarowe, ale o szerokości równej jeden metr. Poszczególne rozwiązania testowano przy temperaturze w pomieszczeniu równej 20°C oraz obliczeniowej temperaturze zewnętrznej dla strefy I mapy klimatycznej Polski. Przyjęto stacjonarny przepływ ciepła. Dla wszystkich wariantów obliczono wartości skumulowanych strumieni ciepła oraz liniowych współczynników przenikania ciepła. W każdym przypadku wyznaczono także rozkłady izoterm 0, jak również rozkłady temperatury przy podłodze i w osi ściany zewnętrznej. Dodatkowo wykonano obliczenia wartości czynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$  oraz dopuszczalnej wilgotności, powyżej której doszłoby do wykroplenia pary wodnej w narożniku przegrody z uwagi na temperaturę punktu rosy. Otrzymane wyniki poddano analizie.

Z punktu widzenia otrzymanych najniższych wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła mostka termicznego, jak również zabezpieczenia przeciw kondensacji pary wodnej, najlepszym rozwiązaniem okazał się wariant z szalunkiem trójkątnym. Natomiast z uwagi na pola temperatury pod podłogą i możliwość przemarzania gruntu najlepszym wariantem było rozwiązanie z izolacją ukośną.

**Słowa kluczowe:** mostki termiczne, straty ciepła, analiza termiczna, modelowanie komputerowe, izoterma zerowa, czynnik temperaturowy, kondensacja

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji / corresponding author: Agata Stolarska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, tel. 91 449 43 41; siwinska@zut.edu.pl

<sup>2</sup> Jarosław Strzałkowski, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, tel. 91 449 43 41; jstrzalkowski@zut.edu.pl

## 1. Wprowadzenie

Dostępne katalogi mostków termicznych pozwalają na szacunkowe określenie ich udziału w stratach ciepła z budynku. Często przyjmowanie detali katalogowych niesie za sobą pewien stopień niedokładności. Jest tak np. w przypadku korzystania z katalogu mostków cieplnych wg normy PN-EN ISO 14683:2008 [6]. Zamieszczono w niej bowiem wartości orientacyjne, obliczone dla parametrów reprezentujących sytuację najgorszego przypadku. Wartości te można stosować przy braku lepiej doprecyzowanych danych dotyczących mostków cieplnych.

Rozszerzeniem w stosunku do normy [6] w kwestii doboru detali mostków termicznych może być katalog Instytutu Techniki Budowlanej [8]. Opracowanie przygotowane przez J. A. Pogorzelskiego i J. Awksientjuka stanowi katalog najczęściej stosowanych detali projektowych występujących w krajowej praktyce. Obliczenia w katalogu zostały wykonane przy pomocy belgijskiego pakietu programów PHYSIBEL v. 2.0 oraz EUKOBRA.

W krajach Unii Europejskiej obliczenia związane ze złączami przegród przeprowadza się również wykorzystując odpowiednie katalogi mostków cieplnych [2], jednak coraz częściej sięga się po narzędzia wspierające te obliczenia. Projekt ASIEPI [2] wspiera wykorzystanie kodów symulacyjnych zamiast stosowania domyślnych wartości uzyskanych z uproszczonych metod. W dokumencie tym oceniono między innymi wykorzystywane narzędzia programowe i atlasy mostków termicznych w 17 państwach członkowskich UE i Norwegii.

Zagadnienia związane z modelowaniem mostków termicznych przy użyciu programów komputerowych zaprezentowano między innymi w pracy [1]. Obliczenia wykonywano przy wykorzystaniu programu ANSYS. Z kolei autorzy [3] przeprowadzili symulacje w programie TRNSYS. W artykule [9] przedstawiono zagadnienia dotyczące obliczania liniowych mostków cieplnych z zastosowaniem programu komputerowego SAT. Pawłowski w pracy [7] wykorzystał program TRISCO. W niniejszym artykule zebrano wyniki symulacji dla połączenia ściana-podłoga na gruncie wykonane w programie CFD.

## 2. Opis procedury badawczej

Analizę rozwiązań podłogi na gruncie z wariantowo dobraną izolacją krańdźwiową wykonano przy użyciu modelu numerycznego w programie CFD. Analizowane połączenie zamodelowano jako trójwymiarowe o szerokości jednego metra. Podstawowymi rezultatami obliczeń były strumień ciepła oraz temperatury z zadanych, kluczowych punktów przegrody.

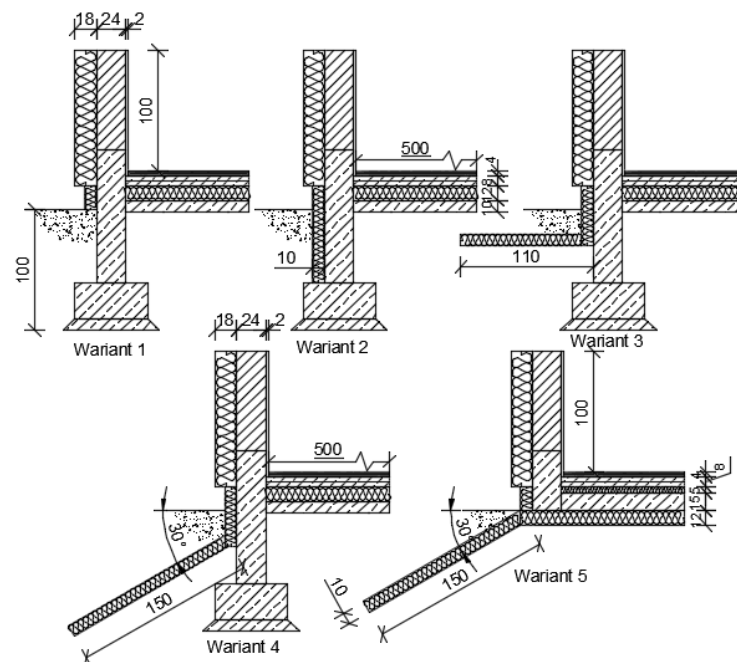
Rozpatrywana podłoga przyjęta do obliczeń wykonana została na planie prostokąta o całkowitych wymiarach zewnętrznych 10x14 m. Obliczony wymiar charakterystyczny podłogi na gruncie  $B'$  wynosi 5,83 m. Założono, że pod pod-

łogą znajduje się grunt kategorii II o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda$  równym 2,0 W/m·K.

## 2.1. Warianty przyjęte do analizy

Do analizy przyjęto pięć wariantów podłogi na gruncie z wariantowo dobraną izolacją krawędziową. Schematy poszczególnych wariantów przedstawiono na rysunku nr 1. We wszystkich wariantach starano się zachować ten sam układ warstw, tak aby możliwe było porównanie wpływu ułożenia izolacji krawędziowej na otrzymane rezultaty. W symulacjach przyjęto następujące warianty:

- wariant 1 – brak izolacji krawędziowej,
- wariant 2 – izolacja krawędziowa pionowa,
- wariant 3 – izolacja krawędziowa pozioma,
- wariant 4 – izolacja krawędziowa ukośna,
- wariant 5 – izolacja krawędziowa ukośna połączona z izolacją stanowiącą szalunek tracony pod płytą podłogi.



Rys. 1. Schemat przyjętych rozwiązań izolacji krawędziowej podłogi na gruncie

Fig. 1. The scheme of the solutions of edge insulation of slab on ground

W obliczeniach ściany zewnętrznej we wszystkich wariantach uwzględniono 3 warstwy: płyta gipsowo-kartonowa gr. 2 cm, pustak ceramiczny gr. 24 cm

oraz izolację termiczną ze styropianu gr. 18 cm. W obliczeniach pominięto zewnętrzny tynk cienkowarstwowy. Parametry rozpatrywanych warstw ściany przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości warstw ściany zewnętrznej przyjętych w modelu obliczeniowym

Table 1. The properties of external wall applied in calculation model

| Lp. | Nazwa                   | d [m] | $\lambda$ [W/m·K] | R [m <sup>2</sup> ·K/W] | U [W/(m <sup>2</sup> ·K)] |
|-----|-------------------------|-------|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1   | Styropian               | 0,18  | 0,04              | 4,50                    | 0,197                     |
| 2   | Pustak ceramiczny       | 0,24  | 0,72              | 0,33                    |                           |
| 3   | Płyta gipsowo-kartonowa | 0,02  | 0,25              | 0,08                    |                           |

Układ warstw podłogi na gruncie w pierwszych czterech wariantach był niezmienny. W obliczeniach pominięto izolacje przeciwwilgociowe z uwagi na nieznaczną grubość i pomijalny wpływ na przenikanie ciepła. W ręcznych obliczeniach współczynnika przenikania ciepła podłogi pominięto również warstwy na bazie cementów. Parametry warstw podłogi podano w tabeli 2.

Tabela 2. Właściwości warstw podłóg na gruncie w poszczególnych wariantach

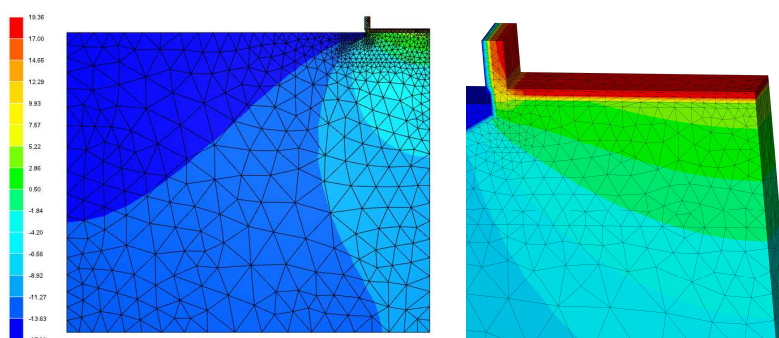
Table 2. The properties of layers of slab on ground in particular variants

| Warianty 1-4         | d [m] | $\lambda$ [W/m·K] | R [m <sup>2</sup> ·K/W] | U [W/(m <sup>2</sup> ·K)] |
|----------------------|-------|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| Podkład betonowy     | 0,10  | 2,00              | 0,05                    | 0,207                     |
| Styropian twardy     | 0,12  | 0,04              | 3,00                    |                           |
| Beton dociskowy      | 0,05  | 2,00              | 0,03                    |                           |
| Wylewka wyrównująca  | 0,03  | 2,00              | 0,02                    |                           |
| Wykończenie          | 0,04  | 0,40              | 0,10                    |                           |
| Wariant 5            | d [m] | $\lambda$ [W/m·K] | R [m <sup>2</sup> ·K/W] | U [W/(m <sup>2</sup> ·K)] |
| Styropian szalunkowy | 0,12  | 0,04              | 3,00                    | 0,165                     |
| Płyta betonowa       | 0,15  | 2,00              | 0,08                    |                           |
| Styropian podłogowy  | 0,05  | 0,04              | 1,25                    |                           |
| Beton dociskowy      | 0,05  | 2,00              | 0,03                    |                           |
| Wylewka wyrównująca  | 0,03  | 2,00              | 0,02                    |                           |
| Wykończenie          | 0,04  | 0,40              | 0,10                    |                           |

Izolację krawędziową we wszystkich modelach wykonano ze styropianu grubości 10 cm i współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  równym 0,04 W/m·K.

## 2.2. Warunki brzegowe

Model obliczeniowy został zwymiarowany zgodnie z normą [4]. Zagadnienie sprowadzono do modelu dwuwymiarowego, dlatego też szerokość modelu przyjęto równą jeden metr. We wszystkich wariantach założono tę samą temperaturę wew.  $\theta_i$  równą  $20^{\circ}\text{C}$  oraz temperaturę zew.  $\theta_e$  równą  $-16^{\circ}\text{C}$ . Przyjęto stałe opory przejmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej równe  $0,04\text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  oraz  $0,13\text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  dla powierzchni wewnętrznych. Natomiast przy wyznaczaniu temperatur potrzebnych do obliczenia czynnika temperaturowego opór przejmowania ciepła na powierzchni wew. zwiększono do wartości  $0,25\text{ m}^2\cdot\text{W}/\text{K}$ . Pionowe granice modelu, jak również dolną granicę opisano jako adiabatyczne. Przykładowy rozkład temperatur dla wariantu 4 przedstawiono na rysunku nr 2.



Rys. 2. Przyjęty do obliczeń model podłogi wariantu nr 4

Fig. 2. Variant no 4 of slab on ground applied for the calculations

## 3. Analiza wyników

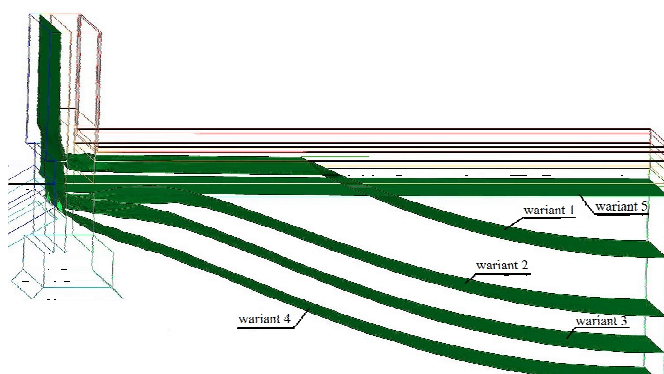
Dla pięciu analizowanych wariantów obliczono skumulowane strumienie ciepła  $Q$  [W] niezbędne do obliczenia liniowego współczynnika sprzężenia cieplnego  $L_{2D}$  [W/m·K]. Wartości liniowych wewnętrznych i zewnętrznych współczynników przenikania ciepła mostów cieplnych  $\psi$  [W/m·K] zebrano w tabeli 3. W zestawieniu wyraźnie niekorzystnie przedstawia się wariant bez wyprowadzonej izolacji krawędziowej. Zastosowanie izolacji obwodowej powoduje wyraźny spadek wartości liniowych mostów termicznych (warianty 2 oraz 3). Z zestawienia wynika, że dobrą alternatywę dla powyższych typów stanowi wariant z ukośną izolacją (wariant 4), która umożliwia obniżenie wartości wewnętrznego liniowego współczynnika przenikania ciepła o około 30% w stosunku do wariantu bez izolacji krawędziowej. Najlepiej w zestawieniu plasuje się wariant 5. Dzięki zastosowaniu szalunku traconego pod płytą podłogi uzyskuje się ciągłość izolacji termicznej i zdecydowanie niższe wartości liniowych współczynników przenikania ciepła. W zestawieniu zawartym w normie [6] trudno znaleźć przypadek odpowiadający analizowanym wariantom, gdyż nie uwzględniono w nim izolacji krawędziowej.

Tabela 3. Skumulowane strumienie ciepła oraz liniowe współczynniki przenikania ciepła

Table 3. The cumulative heat fluxes and linear thermal transmittances

| Wariant | $Q_i$<br>[W] | $L_{2D}$<br>[W/m·K] | $\Psi_{gi}$<br>[W/m·K] | $\Psi_{ge}$<br>[W/m·K] |
|---------|--------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| 1       | 79,327       | 2,204               | 0,970                  | 0,816                  |
| 2       | 63,331       | 1,759               | 0,526                  | 0,372                  |
| 3       | 62,714       | 1,742               | 0,509                  | 0,354                  |
| 4       | 59,333       | 1,648               | 0,415                  | 0,261                  |
| 5       | 43,678       | 1,213               | 0,193                  | 0,058                  |

Na rysunku nr 3 przedstawiono usytuowanie izoterm zero wszystkich pięciu wariantów. W zestawieniu najkorzystniejszy układ izoterm otrzymano dla wariantu 4.

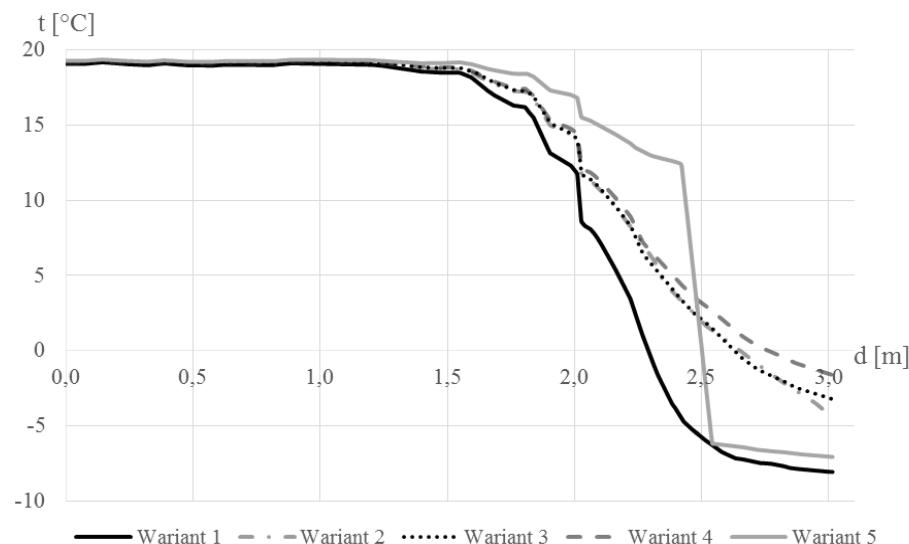


Rys. 3. Przebieg izoterm zero poszczególnych wariantów

Fig. 3. Isotherms zero of different variants

Wariant 5 z ciągłą izolacją termiczną charakteryzuje się zdecydowanie najmniej korzystnym usytuowaniem izoterm zero. Świadczy to o dość dużej możliwości przemarzania gruntu pod płytą podłogi. Pomimo zastosowania ukośnej izolacji długości 1,5 m praktycznie cały grunt pod podłogą miał temperaturę niższą od 0°C. Należy jednak zwrócić uwagę, że w modelu nie uwzględniono strumienia ciepła z wnętrza Ziemi, który mógłby mieć tutaj decydujące znaczenie przy ocenie możliwości przemarzania gruntu bezpośrednio pod podłogą.

Na rysunku 4 przedstawiono wykresy rozkładu temperatury na powierzchni podłogi oraz w osi ściany. Wykresy obrazują rozkład temperatury wzdłuż powierzchni podłogi (od miejsca  $d=0$  m do  $d=2,15$  m) i dalej prowadzące wzdłuż osi ściany zewnętrznej (od  $d=2,15$  m) w głąb gruntu. Korzystne wartości uzyskano dla wariantu 4. Wariant 5 natomiast pomimo najwyższych temperatur na początku wykresu skokowo obniża temperaturę bezpośrednio po przejściu przez izolację termiczną i dalej lokuje się podobnie jak wariant bez izolacji krawędziowej.



Rys. 4. Rozkłady temperatur w podłodze i bezpośrednio pod fundamentem ściany

Fig. 4. Temperature distribution in the floor and directly under the foundation wall

Istotnym aspektem w diagnostyce połączeń elementów budynku jest również ocena niebezpieczeństwa wystąpienia kondensacji powierzchniowej [5]. W tabeli 4 zestawiono otrzymane wartości temperatury w narożniku połączenia ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie.

Tabela 4. Parametry cieplno-wilgotnościowe w połączeniu ściany z podłogą na gruncie

Table 4. Hygrothermal parameters in the wall-slab on ground connection

| Wariant | Temperatura w połączeniu ściana-podłoga [ $^\circ\text{C}$ ] | $f_{Rsi}$ [-] | Graniczna wilgotność spełniająca warunek punktu rosy [%] |
|---------|--|---------------|--|
| 1       | 9,6  | 0,71          | 50,89  |
| 2       | 12,2   | 0,78          | 60,66  |
| 3       | 12,3   | 0,79          | 60,85  |
| 4       | 12,7   | 0,80          | 62,61  |
| 5       | 15,6   | 0,88          | 75,85  |

Powyższe wyniki wskazują, iż zastosowanie izolacji krawędziowej podwyższa temperaturę w narożniku o blisko  $3^\circ\text{C}$ , a w najlepszym rozwiązaniu (wariant 5) nawet o  $6^\circ\text{C}$ . Równocześnie gwarantuje to otrzymanie czynnika temperaturowego na odpowiednio wysokim poziomie. Dodatkowo w tabeli 4 obliczono dopuszczalną wilgotność, poniżej której nie ma ryzyka wystąpienia kondensacji na podstawie temperatury punktu rosy. Najlepsze rezultaty uzyskano dla

wariantu 5, dla którego wilgotność pomieszczenia musiałaby przekroczyć 75 % (przy temp. zew. równej  $-16^{\circ}\text{C}$ ), aby doszło do wykroplenia się kondensatu w narożniku przegrody.

#### 4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń przeprowadzonych przy wykorzystaniu programu CFD, zastosowanego do wyznaczenia liniowego współczynnika przenikania ciepła mostka termicznego występującego w miejscu połączenia ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie z uwzględnieniem izolacji krawędziowej. Analizie poddano pięć przykładowych wariantów rozwiązania izolacji krawędziowej. Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń stwierdzono wyraźny wpływ zastosowania izolacji krawędziowej na wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła. Pod względem wartości tego parametru najkorzystniej wypadł wariant 5, w którym zastosowano izolację w postaci szalunku traconego pod płytą podłogi. Dla tego wariantu otrzymano również najwyższą temperaturę w miejscu połączenia ściana-podłoga na gruncie. Zastosowanie izolacji krawędziowej przyczynia się również do ograniczenia ryzyka rozwoju pleśni, o czym świadczą wyznaczone wartości czynnika temperaturowego  $f_{\text{Rsi}}$ .

Symulacje w programie CFD i wykonane na ich podstawie obliczenia ciepłno-wilgotnościowe dla mostka termicznego występującego w miejscu połączenia ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie mogą być przydatne w trakcie doboru właściwego rozwiązania materiałowo-konstrukcyjnego. Pozwala to na wyeliminowanie błędów na etapie projektowania budynku oraz służy zminimalizowaniu wpływu mostków termicznych na straty ciepła z budynku.

Autorzy widzą potrzebę uzupełnienia katalogów mostków cieplnych w celu szerszego uwzględnienia rozwiązań szczegółów konstrukcyjnych zwyczajowo stosowanych.

#### Literatura

- [1] Aguilar F., Solano J.P., Vicente P.G.: Transient modeling of high-inertial thermal bridges in buildings using the equivalent thermal wall method, *Applied Thermal Engineering*, vol. 67, 2014, pp. 370-377.
- [2] Erhorn H., Erhorn-Kluttig H., Citterio M., Cocco M., Van Orshoven D., Tilmans A., Schild P., Bloem P., Engelund Thomsen K., Rose J.: An Effective Handling of Thermal Bridges in the EPBD Context, Final Report of the IEE ASIEPI Work Thermal Bridges, ASIEPI Report, WP4, 2010.
- [3] Gao Y., Roux J. J., Zhao L. H., Jiang Y.: Dynamical building simulation: a low order model for thermal bridges losses, *Energy Build.* 40 (2008) 2236-2243.
- [4] PN-EN ISO 10211:2008. Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [5] 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.

- [6] PN-EN ISO 14683:2008. Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- [7] Pawłowski K.: Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle nowych warunków technicznych dotyczących budynków. Warszawa 2013.
- [8] Pogorzelski J.A., Awksientjuk J.: Katalog mostków cieplnych. Budownictwo tradycyjne. Poradnik ITB nr 389/2003, Warszawa 2003.
- [9] Wasil A., Ujma A.: Analiza parametrów liniowego mostka cieplnego w wybranym węźle budowlanym. Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, Częstochowa 2011, pp. 253-259.

## ANALYSIS OF SOLUTIONS OF WALL-SLAB ON GROUND CONNECTIONS WITH VARIANT LOCATION OF EDGE INSULATION

### Summary

This paper evaluates the calculation results of variant analysis of the wall-slab on ground connection with variously selected system of edge insulation. Five types of solutions were tested: variant without edge insulation, variant with vertical, horizontal and oblique edge insulation, and variant with oblique edge insulation merged with the insulation of slab on ground in form of expendable formwork. Calculations were made using CFD program. The connections were modeled as a three dimensional, but with width equal to one meter. Each variant was tested at room temperature of 20°C and outside temperature set according to the first region of climate map of Poland. A stationary heat flow was set. For all the variants the cumulative values of heat flux and linear coefficients of thermal transmittance were calculated. Furthermore for all the variants the graphs of isotherms 0, as well as the temperature distribution at the floor surface and the in the axis of the outer wall were determined. In addition the calculations of temperature factor  $f_{Rsi}$  and permissible moisture content, above which there would be a vapour condensation in the corner of the wall in terms of dew point, were made. The results were analysed.

From the point of view of the obtained lowest value of the linear coefficient of thermal transmittance as well as protection against vapour condensation the best solution was the last variant with expendable formwork. Whereas due to the temperature field under the floor and the possibility of freezing the ground the best option was variant with oblique edge insulation.

**Keywords:** thermal bridges, heat loss, thermal analysis, computer modeling, zero isotherm, temperature factor, condensation

DOI:10.7862/rb.2016.295

*Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.*

*Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.*

