

MOSTKI CIEPLNE W MUROWANYCH ŚCIANACH WYPEŁNIAJĄCYCH W BUDYNKACH SZKIELETOWYCH - ANALIZA PRZYPADKU

Paweł KRAUSE*, Agnieszka SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ, Bożena ORLIK-KOŹDOŃ, Tomasz STEIDL¹

¹Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice,

email: {pawel.krause, agnieszka.szymanowska-gwizdz, bozena.orlik-kozdon, tomasz.steidl}@polsl.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wybrany przykład występowania liniowego mostka cieplnego w budownictwie realizowanym w technologii szkieletu żelbetowego z wypełnieniem z betonu komórkowego. Została wykonana analiza obliczeniowa ocieplonego naroża ściany zewnętrznej o zróżnicowanych grubościach termoizolacji. Dla założonych wariantów obliczono wartości liniowych współczynników przenikania ciepła ψ , oraz temperatury na wewnętrznych powierzchniach ścian. Temperatury obliczono w narożach jak i poza obszarem oddziaływania mostków termicznych oraz określono czynnik temperaturowy na powierzchni wewnętrznej. Wykazano, iż dla przegrody spełniającej wymagania, co do współczynnika przenikania ciepła U zgodnie z WT-2017, w miejscu szczególnym czynnik temperaturowy f_{Rsi} może nie spełniać stosownych wymagań, stwarzając zagrożenie ryzyka zagrzybienia.

Słowa kluczowe: Liniowy współczynnik przenikania ciepła, temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody, czynnik temperaturowy.

1. WPROWADZENIE

Następstwem występowania mostków cieplnych, występujących zawsze przy wszelkich połączeniach między komponentami budowlanymi lub gdy struktura przegrody budynku zmienia swoją budowę, w porównaniu do struktur bez mostka, jest zmiana wielkości strumienia ciepła oraz zmiana temperatury wewnętrznej powierzchni przegrody. Stosowane metody obliczeniowe na ogół nie są zrozumiałe, a istniejące normy zawierają metody uproszczone lub dość skomplikowane wytyczne do obliczeń komputerowych. Takim przykładem jest zestaw przywoływanych w rozporządzeniu [1] norm: PN EN ISO 10211: 2008. Mostki cieplne w budynkach. Strumień cieplny i temperatura

powierzchni. Obliczenia szczegółowe [2], oraz norma PN EN ISO 14683: 2008. Mostki cieplne w budynkach - Liniowy współczynnik przenikania ciepła - Metody uproszczone i wartości orientacyjne [3]. Normy te nie zawierają metody obliczeń mostków cieplnych. Norma [3] to praktycznie zestaw kilkunastu detali, dla których identyfikuje się typowe liniowe mostki cieplne. W normie podano wymagania w odniesieniu do katalogów mostków cieplnych oraz metod obliczeń ręcznych, a także ograniczoną liczbę stabelaryzowanych orientacyjnych wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła. Detale, dla których podano liniowe współczynniki przenikania ciepła oraz liniowe współczynniki sprzężenia cieplnego L^{2D} są uproszczone, a wartości liczbowe mostków, należy traktować, jako bardzo orientacyjne. Przewidywana w normie [3], niepewność uzyskania wyniku przy stosowaniu katalogu, sięga 20%. Projektując ściany zewnętrzne projektanci w większości przypadków nie wykonują szczegółowych obliczeń mostków termicznych tak jak nakazuje to rozporządzenie [1]. W wielu przypadkach obliczenia współczynnika przenikania ciepła U , wykonywane są jedynie dla jednorodnej ściany pełnej. Analogiczna sytuacja występuje dla ścian składających się z warstw niejednorodnych. Takie założenia prowadzą bardzo często do przyjmowania niepoprawnych rozwiązań z punktu widzenia fizyki budowli. Pomimo, iż współczynnik przenikania ciepła warstw jednorodnych termicznie zróżnicowanych ścian zewnętrznych może być identyczny, to wpływ zastosowanych rozwiązań powoduje istotne obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscach szczególnych. Jednym z takich przykładów są ściany wykonane w konstrukcji szkieletowej żelbetowej monolitycznej, jako tzw. ściany wypełniające z bloczkami wykonanymi z betonu komórkowego.

* Autor korespondencyjny, e-mail: pawel.krause@polsl.pl

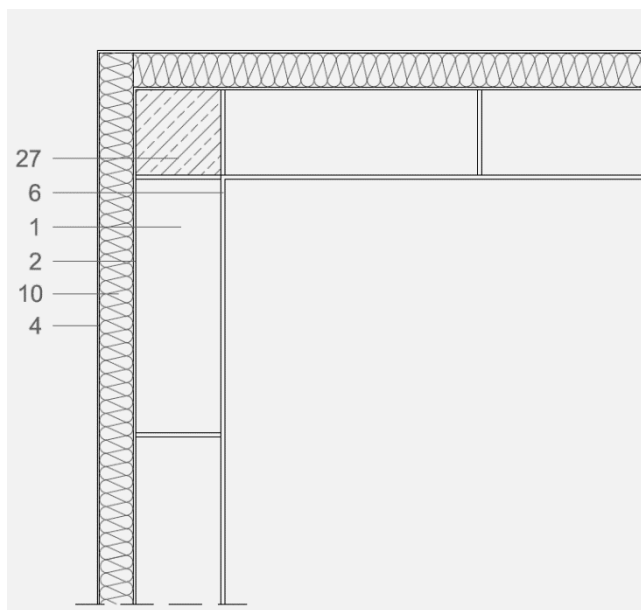
2. PRZEDMIOT ANALIZY

2.1. Założenia do obliczeń

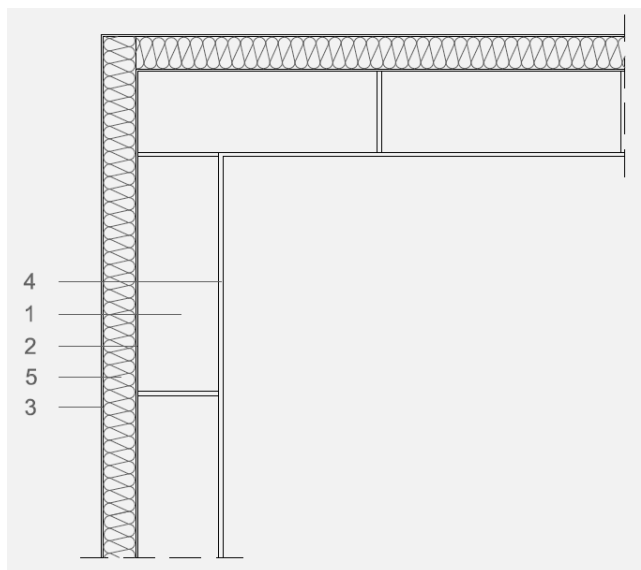
Przedmiotem obliczeń są ściany zewnętrzne budynku wykonanego w technologii szkieletu żelbetowego monolitycznego. Jako element wypełniający szkielet założono bloczki z betonu komórkowego o szerokości równej przekrojowi konstrukcji. Do obliczeń przyjęto ściany o grubości 20cm i 36cm. Ściany zewnętrzne ocieplono za pomocą styropianu w systemie ETICS. W wytypowanych do obliczeń detalach architektonicznych przyjęto następujące dane materiałowe oraz charakteryzujące je współczynniki przewodzenia ciepła:

- Beton lekki - pustaki 400 kg/m³ $\lambda = 0,11$ W/mK
- Zaprawa klejąca w systemie ETICS $\lambda = 1,00$ W/mK
- Tynk cienkowarstwowy ETICS $\lambda = 1,00$ W/mK
- Tynk gipsowy maszynowy $\lambda = 0,30$ W/mK
- Styropian EPS $\lambda = 0,04$ W/mK
- Beton C 20/25 $\lambda = 2,30$ W/mK

Grubość izolacji termicznej została dobrana tak, aby zapewnić identyczne współczynniki przenikania ciepła ściany pełnej, w miejscu poza słupem żelbetowym. Dla ściany z bloczków betonowych gr. 20 cm założono warstwę styropianu gr. 10 cm. Ściana wykonana z bloczków gr. 36cm została ocieplona styropianem gr. 4 cm. Współczynnik przenikania ciepła ścian jednorodnych z betonu komórkowego wynosi 0,22 W/(m²K). Ocenę ryzyka kondensacji powierzchniowej i temperatury na wewnętrznych powierzchniach ścian wykonano dla obliczeniowej temperatury wewnętrznej $t_i = +20^\circ\text{C}$ i obliczeniowej temperatury zewnętrznej $t_e = -20^\circ\text{C}$. Przykład opisywanych przegród pokazano na Rys. 1. W celu porównania otrzymanych wyników dla ścian wypełniających przeprowadzono dodatkowo obliczenia dla ścian wykonanych w technologii tradycyjnej. Różnica polegała na usunięciu słupów żelbetowych w narożach. Pozostałe dane materiałowe nie uległy zmianom - Rys.2. Przyjęto także pewne uproszczenia w modelu detalu architektonicznego, w tym: nie uwzględniono warstwy klejącej między styropianem i podłożem, nie uwzględniono spoin pionowych w ścianie wypełniającej. Autorzy wyszli z założenia, iż stosując jednolity sposób modelowania wszystkich detali błąd związany z przyjętymi uproszczeniami nie będzie miał większego wpływu na zróżnicowane detale. Wymiary geometryczne detalu spełniają wymagania normy [2] to jest 1x1 m. Przyjęte wymiary zapewniły równoległość izoterm na krawędziach obu przekrojów - Rys.4.



Rys. 1. Naroże zewnętrzne ze słupem żelbetowym, 1- Bloczek Beton lekki, 2 - Zaprawa klejowa, 4 - Tynk cienkowarstwowy, 6 - Tynk gipsowy, 10- Styropian EPS 040, 27-słupek żelbetowy [4].
Fig. 1. External corner with reinforced concrete pillar, 1-ply Lightweight concrete, 2 - Adhesive mortar, 4 - Thin-layer plaster, 6 - Gypsum plaster, 10-EPS EPS 040, 27-Reinforced concrete pile [4].



Rys. 2. Naroże zewnętrzne bez słupa żelbetowego, 1 - Bloczek Beton lekki, 2 - Zaprawa klejowa, 3 - Tynk cienkowarstwowy, 4 - Tynk gipsowy, 5 - Styropian EPS 040 [4].
Fig. 2. External corners without reinforced concrete columns, 1-ply Lightweight concrete, 3 - Thin-layer plaster, 2 - Adhesive mortar, 4 - Gypsum plaster, 5-EPS EPS 040 [4].

2.2. Warianty obliczeń

Ostatecznie ustalono cztery warianty obliczeniowe:

N1 - naroże ze słupem żelbetowym - ściana z bloczków z betonu lekkiego o grubości 20 cm ocieplona styropianem o grubości 10 cm,

N2 - naroże ze słupem żelbetowym - ściana z bloczków z betonu lekkiego o grubości 36 cm ocieplona styropianem o grubości 4 cm,

N3 - naroże zwykle bez słupa żelbetowego - ściana z bloczków z betonu lekkiego o grubości 20 cm ocieplona styropianem o grubości 10 cm,

N4 - naroże - zwykle bez słupa żelbetowego, ściana z bloczków z betonu lekkiego o grubości 36 cm ocieplona styropianem o grubości 4 cm

2.3. Programy obliczeniowe

Na rynku w Polsce istnieje obecnie jeden program dostępny w języku polskim - SAT wspomagający obliczenia elementów dwuwymiarowych zgodny z normą 10211:2008. Program jest dość skomplikowany w obsłudze, zwłaszcza dla mniej sprawnych komputerowo inżynierów.

W Internecie można znaleźć wiele narzędzi obliczeniowych dostępnych komercyjnie lub bezpłatnie, w tym np. DAVID 32, HAM-lab, Unorm, Champs-bes, czy program THERM.

Programy dedykowane dla budownictwa to przede wszystkim klasyczny katalog elektroniczny mostków cieplnych "EUROKOBRA". Program "Unorm" wersja 2012 i "David 32", są wersją pośrednią pomiędzy katalogiem a programem obliczeniowym. Programy nie dają projektantowi pełnych możliwości samodzielnego modelowania dowolnego detalu architektonicznego, będą jednak przydatne w praktyce inżynierskiej dla typowych rozwiązań stosowanych głównie w budownictwie szkieletowym - szkielet drewniany.

THERM® jest działającym w systemie operacyjnym Microsoft Windows programem komputerowym. Opracowanym w Lavrence Berkeley National Laboratory, przeznaczonym dla: architektów, inżynierów budownictwa, nauczycieli akademickich, studentów wydziałów budownictwa, architektury, i innych osób zainteresowanych problemami wymiany ciepła w detalach architektonicznych. Przy użyciu programu THERM 7.4. można modelować dwuwymiarowy przepływ ciepła w detalach budowlanych takich jak: okna, ściany, dachy, fundamenty i inne, w których mostki termiczne stanowią istotny problem. Analizy dokonane przy użyciu THERM, umożliwiają prawidłowe obliczenie gęstości strumienia ciepła i pola temperatury w przekroju. Obliczenia dwuwymiarowego przepływu ciepła bazują na metodzie elementów skończonych (MES), co umożliwia modelowanie skomplikowanych geometrycznie przekrojów architektoniczno-budowlanych z dokładnością wymiarową

1 mm. Wykonane obliczenia dla praktycznie dowolnego detalu z zachowaniem wymagań, co do jego geometrii jak w normie [2], pozwala na określenie częściowych (krawędziowych) współczynników przenikania ciepła U_x i U_y , a w konsekwencji na wyznaczenie liniowego współczynnika przenikania ciepła ψ [W/mK]. Ustalenie temperatury w dowolnym punkcie węzłów siatki elementu dwuwymiarowego, w tym w dowolnym miejscu brzegu wewnętrznego pozwala na obliczenie czynnika temperaturowego f_{Rsi} , co jest wymagane w projekcie budowlanym. Graficzny interfejs umożliwia wykreślenie przekrojów analizowanych elementów o znanych wymiarach lub import gotowych rysunków w postaci plików dxf. lub plików graficznych typu bmp.

Wyniki obliczeń otrzymuje się w postaci:

1) graficznej w tym:

- rozkładu izoterm w przekroju modelowanego elementu,
- barwnego pola temperatury w przekroju,
- barwnego pola gęstości strumienia ciepła.

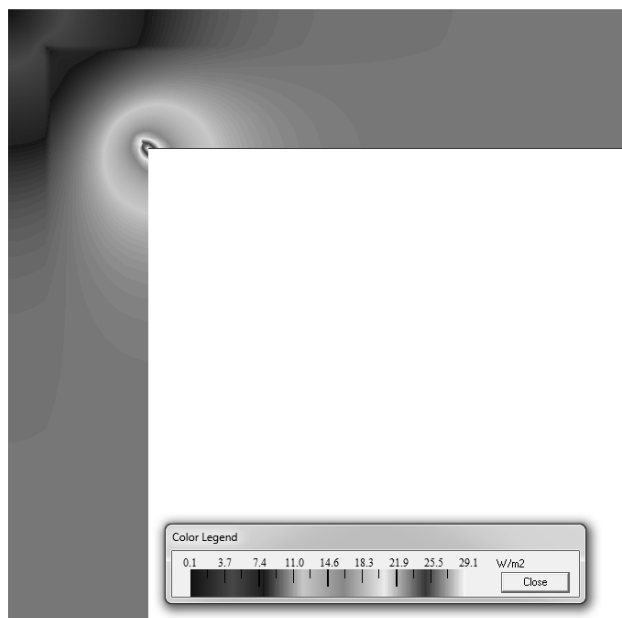
2) tekstowej w tym:

- współczynniki przenikania ciepła U [W/(m²K)],
- wartość strumienia ciepła [W/m],
- wartość gęstości strumienia [W/m²].

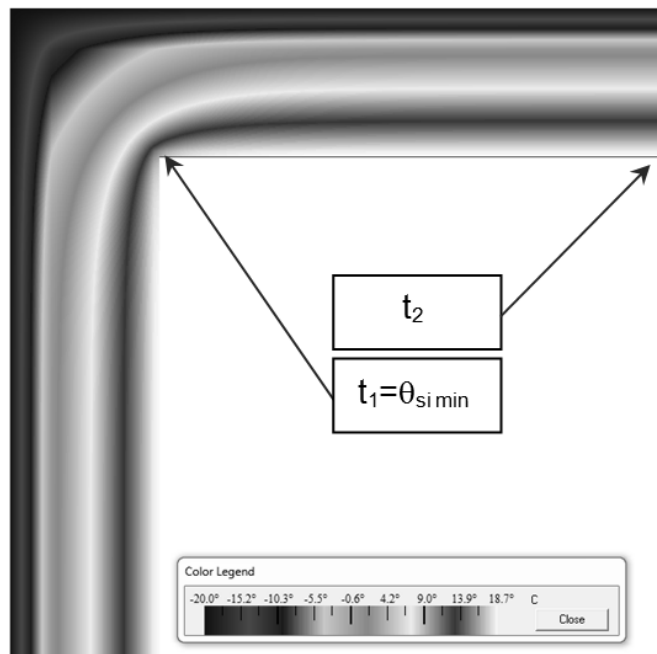
Uzyskane wyniki w postaci barwnych rysunków można łatwo przenieść do dowolnego programu graficznego lub edytora tekstów. Dodatkowo można wygenerować siatkę MES z numeracją węzłów.

3. WYNIKI

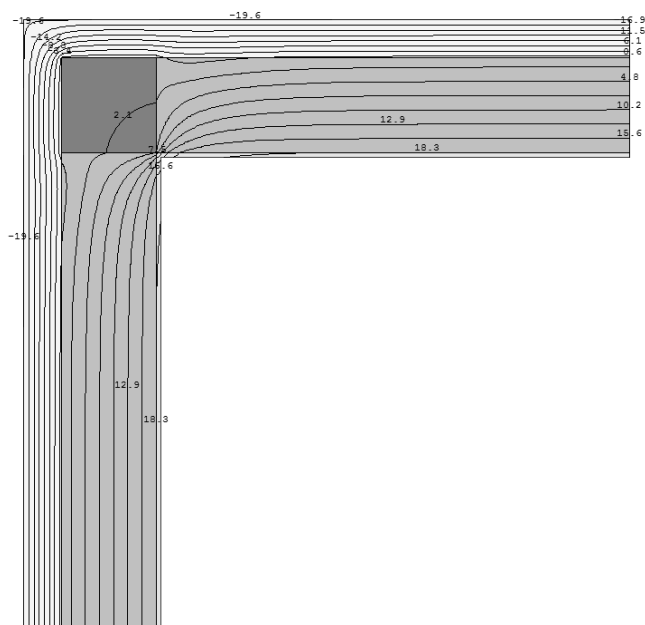
Przedstawiono wyniki obliczeń dla przyjętych detali o scharakteryzowanych właściwościach fizycznych i geometrycznych. W tabelach wyników podano całkowite wartości liniowych mostków cieplnych ψ_e - dla wymiarowania zewnętrznego oraz ψ_i - dla wymiarowania wewnętrznego. Dodatkowo dla każdego mostka podano temperatury w charakterystycznych punktach tj. w narożu ściennym oraz na powierzchni wewnętrznej przegrody poza obszarem oddziaływania mostka termicznego i wyliczono wartość f_{Rsi} . Na Rys. 3 przedstawiono przykładowy wynik z programu Therm 7.4 w postaci gęstości strumienia ciepła w przekroju modelu obliczeniowego. Rys. 4 i 5 przedstawiają przykładowe pole temperatury w przekroju oraz izolację pola temperatur w skali barw. Wszystkie obliczenia wykonywano przy ilości iteracji $n=10$, uzyskując błąd obliczeń numerycznych $< 3\%$.



Rys. 3. Gęstość strumienia ciepła w przekroju modelu [4].
Fig. 3. Density of heat flux in model cross-section [4].



Rys. 5. Pole temperatur w przekroju - skala barw [4].
Fig. 5. Temperature field in cross-section - color scale [4].



Rys. 4. Pole temperatur w przekroju - izolinie [4].
Fig. 4. Temperature field in cross section - isotherms [4].

W tabelach 1-4 przedstawiono szczegółowe wyniki dla dwóch grubości ścian zewnętrznych ze słupem żelbetowym oraz dla porównania dwóch grubości ścian wykonanych w technologii tradycyjnej.

Tabela 1. Wyniki obliczeń dla ściany z bloczków z betonu komórkowego ze słupem żelbetowym gr. 20 cm.
Table 1. Results of calculations for walls made of cellular concrete blocks with reinforced concrete column gr. 20 cm.

Parametr		Wartości przy grubości termoizolacji
		$d_i=0,10m$
Współczynnik przenikania ciepła	U [W/(m²K)]	0,22
Strumień ciepła	Φ [W]	21,49
Współczynnik sprzężenia cieplnego	L_{e2D} [W/mK]	0,5373
Współczynnik sprzężenia cieplnego	L_{i2D} [W/mK]	0,5373
Liniowy współczynnik przenikania ciepła	ψ_e [W/mK]	-0,0374
Liniowy współczynnik przenikania ciepła	ψ_f [W/mK]	0,0996
Temperatura na powierzchni w punkcie 1	t_1 [°C]	12,2
Temperatura na powierzchni w punkcie 2	t_2 [°C]	18,8
Minimalna temperatura	$\theta_{si min}$ [°C]	12,2
Czynnik temperaturowy	f_{Rsi}	0,81
Błąd obliczeń	%	2,29

Tabela 2. Wyniki obliczeń dla ściany z bloczków z betonu komórkowego ze słupem żelbetowym gr. 36 cm.

Table 2. Results of calculations for walls made of cellular concrete blocks with reinforced concrete column gr. 36 cm.

Parametr		Wartości przy grubości termoizolacji
		$d_2=0,04m$
Współczynnik przenikania ciepła	U [W/(m ² K)]	0,22
Strumień ciepła	Φ [W]	25,10
Współczynnik sprzężenia cieplnego	L_{e2D} [W/mK]	0,6275
Współczynnik sprzężenia cieplnego	L_{i2D} [W/mK]	0,6275
Liniowy współczynnik przenikania ciepła	ψ_e [W/mK]	0,0153
Liniowy współczynnik przenikania ciepła	ψ_f [W/mK]	0,1899
Temperatura na powierzchni w punkcie 1	t_1 [°C]	8,5
Temperatura na powierzchni w punkcie 2	t_2 [°C]	18,8
Minimalna temperatura	$\theta_{si\ min}$ [°C]	8,5
Czynnik temperaturowy	f_{Rsi}	0,71
Błąd obliczeń	%	2,17

Tabela 3. Wyniki obliczeń dla ściany z bloczków z betonu komórkowego gr. 20 cm w technologii tradycyjnej.

Table 3. Results of calculations for walls made of cellular concrete blocks gr. 20 cm in traditional technology

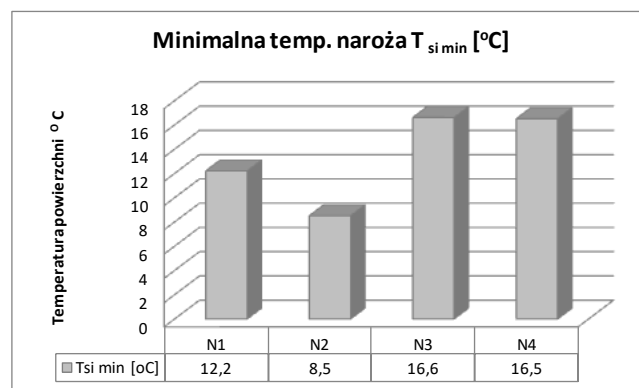
Parametr		Wartości przy grubości termoizolacji
		$d_2=0,10 m$
Współczynnik przenikania ciepła	U [W/(m ² K)]	0,22
Strumień ciepła	Φ [W]	19,60
Współczynnik sprzężenia cieplnego	L_{e2D} [W/mK]	0,4899
Współczynnik sprzężenia cieplnego	L_{i2D} [W/mK]	0,4898
Liniowy współczynnik przenikania ciepła	ψ_e [W/mK]	-0,0849
Liniowy współczynnik przenikania ciepła	ψ_f [W/mK]	0,0514
Temperatura na powierzchni w punkcie 1	t_1 [°C]	16,6
Temperatura na powierzchni w punkcie 2	t_2 [°C]	18,9
Minimalna temperatura	$\theta_{si\ min}$ [°C]	16,6
Czynnik temperaturowy	f_{Rsi}	0,92
Błąd obliczeń	%	0,92

Tabela 4. Wyniki obliczeń dla ściany z bloczków z betonu komórkowego gr. 36 cm w technologii tradycyjnej.

Table 4. Results of calculations for walls made of cellular concrete blocks gr. 36 cm in traditional technology

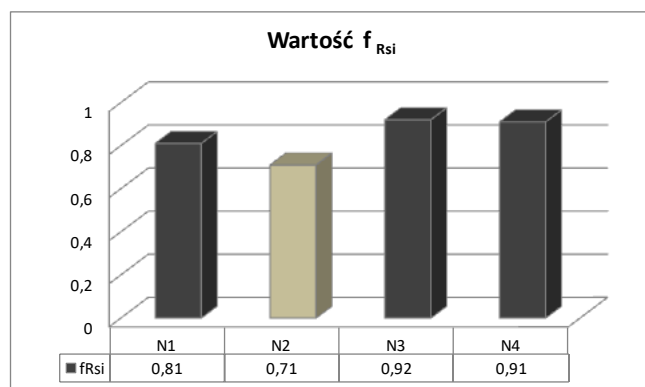
Parametr		Wartości przy grubości termoizolacji
		$d_2=0,04 m$
Współczynnik przenikania ciepła	U [W/(m ² K)]	0,22
Strumień ciepła	Φ [W]	19,85
Współczynnik sprzężenia cieplnego	L_{e2D} [W/mK]	0,4963
Współczynnik sprzężenia cieplnego	L_{i2D} [W/mK]	0,4963
Liniowy współczynnik przenikania ciepła	ψ_e [W/mK]	-0,1248
Liniowy współczynnik przenikania ciepła	ψ_f [W/mK]	0,0586
Temperatura na powierzchni w punkcie 1	t_1 [°C]	16,5
Temperatura na powierzchni w punkcie 2	t_2 [°C]	18,8
Minimalna temperatura	$\theta_{si\ min}$ [°C]	16,5
Czynnik temperaturowy	f_{Rsi}	0,91
Błąd obliczeń	%	0,87

Najistotniejsze wyniki obliczeń, to jest temperaturę w narożu oraz odpowiadającą jej wartość f_{Rsi} zilustrowano na Rys.6 i Rys.7.



Rys.6. Minimalna temperatura w narożu w zależności od wariantu obliczeń

Fig.6. Minimum temperature in the corner, depending on the calculation option



Rys.7. Wartość f_{Rsi} w narożu dla kolejnych wariantów obliczeń.
Fig.7. The f_{Rsi} value in the corner for further variants of the calculation.

Wariant N2, zaznaczony jaśniejszym kolorem nie spełnia wymagań zawartych w [1].

4. WNIOSKI

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki obliczeń dla technologii wznoszenia ścian w postaci szkieletu żelbetowego z wypełnieniem z betonu lekkiego.

- Wszystkie warianty przyjęte do obliczeń spełniają obecne wymagania, co do współczynnika przenikania ciepła U zawarte w [1] dla ściany wypełniającej.

- Pomimo zapewnienia identycznych wartości współczynnika przenikania ciepła ścian wypełniających, wartości temperatury na wewnętrznej powierzchni analizowanych przegród ściennych mogą powodować możliwość wystąpienia kondensacji pary wodnej, prowadząc w wybranych przypadkach do porażenia mykologicznego (wariant N2).

- Rozważane przykłady wskazują jednoznacznie na konieczność przeprowadzania w projektach budowlanych wszystkich zalecanych obliczeń w tym obliczenia ryzyka kondensacji powierzchniowej w miejscach mostków cieplnych.

- Dla wariantu N2 dodatkowo należy zauważyć, iż wartość liniowego mostka cieplnego ψ , jest wartością dodatnią niezależnie od sposobu wymiarowania.

HEAT BRIDGES IN GEL BETTER BUILDING WITH FILLING WITH CELLETS - CASE ANALYSIS

Summary: The article presents a selected example of the presence of linear thermal bridges in construction technology implemented in the technology of reinforced concrete framework filled with cellular concrete. An analysis of the insulated corner of the outer wall with different thicknesses of thermal insulation was performed. For the assumed variants the values of the linear heat transfer coefficients ψ and the internal wall surfaces were calculated. Temperatures were calculated in the corners as well as outside the area of thermal bridges and temperature was determined on the inner surface. It has been shown that for a baffle complying with the requirements for heat transfer coefficient U in accordance with WT-2017, in particular, the temperature factor f_{Rsi} may not meet the relevant requirements, posing a risk of mold infestation.

Literatura

[1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75, poz. 690) z późniejszymi zmianami.

[2] PN-EN ISO 10211:2008, Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.

[3] PN-EN ISO 14683:2008, Mostki cieplne w budynkach, Liniowy współczynnik przenikania ciepła, Metody uproszczone i wartości orientacyjne.

[4] Krause P., Steidl T., Orlik-Koźdoń B. Ciepłno-wilgotnościowe projektowanie ścian z betonu komórkowego. Zeszyt 3 Część 2 Mostki termiczne. SPB. Warszawa 2016.