CZASOPISMO TECHNICZNE B
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

z. 1-B/2007
ISSN 0011-4561
ISSN 1897-628X

PAULA HOŁOWNIA*

WPŁYW PRZESTRZENNYCH MOSTKÓW TERMICZNYCH NA PODSTAWOWE PARAMETRY FIZYKALNE JEDNOWARSTWOWYCH ZEWNĘTRZNYCH PRZEGRÓD BUDOWLANYCH

THE INFLUENCE OF THREE-DIMENSIONAL THERMAL BRIDGES ON THE BASIC PHYSICAL PARAMETERS OF ONE-LAYER EXTERNAL BUILDING WALLS

Streszczenie

Mostki termiczne są elementami obudowy mającymi istotny wpływ na jej podstawowe parametry fizykalne, które są też podstawowym kryterium jej oceny. W niniejszym artykule wykonano analizę wpływu mostków termicznych przestrzennych w przypadku przegrody jednomateriałowej wykonanej z autoklawizowanego betonu komórkowego.

Słowa kluczowe: mostek termiczny, straty ciepła, korozja biologiczna

Abstract

Thermal bridges are the parts of buildings which have essential influence for basic factors of its physical parameters, which they are also basic criterion of her quality. The analysis of influence of thermal spatial bridges in article was executed in case of wall executed from light concrete.

Keywords: thermal bridge, heat loss, mould growth

* Dr inż. Paula Hołownia, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

Mostki termiczne są stałymi elementami konstrukcji obudowy zewnętrznej budynku, będącymi przedmiotem badań od kilku dziesięcioleci. Podstawowym zagadnieniem z punktu widzenia fizyki budowli jest określenie pola temperatur właśnie w tych szczególnych miejscach. Złożoność modeli teoretycznych, odwzorowujących rzeczywiste układy konstrukcyjno-materiałowe złączy budowlanych, istotnie ogranicza możliwość znalezienia rozwiązania metodami analitycznymi. Postęp dokonany w dziedzinie komputeryzacji w tej chwili umożliwia prowadzenie dokładnej analizy teoretycznej w obszarze węzłów, w których generowane jest pole dwu-, a nawet trójwymiarowe.

Obecnie budynki, aby zapewnić odpowiedni standard ich użytkownikom, zależnie od swojego przeznaczenia, muszą spełniać pewne wymagania w zakresie fizyki budowli, podane w rozporządzeniu ministra infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [8]. Utrzymanie odpowiednio wysokiej temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody oraz ograniczenie start ciepła jest regulowane za pomocą odgraniczenia maksymalnej wartości współczynnika przenikania ciepła U przegrody zewnętrznej (zależne od funkcji budynku). Warunek uniknięcia ryzyka kondensacji powierzchniowej jest wyrażony w rozporządzeniu wprost: „*w budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego* (...) *opór cieplny nieprzezroczystych przegród zewnętrznych powinien umożliwiać utrzymanie na wewnętrznych jej powierzchniach temperatury wyższej co najmniej o 1°C od punktu rosy powietrza w pomieszczeniu* (...)”. Ponadto w paragrafie 322 punkt 1 powiedziane jest także, że *„rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe zewnętrznych przegród budynku, warunki cieplno-wilgotnościowe, a także intensywność wymiany powietrza w pomieszczeniach, powinny uniemożliwiać powstanie zagrzybienia*. Niestety, praktyka pokazuje, że ze względu na pominięcie na etapie projektowania wpływu przestrzennych mostków termicznych, mogą one być przyczyną problemów w późniejszej eksploatacji.

2. Analiza fragmentu przegrody

Do badań wybrano obszar ściany zewnętrznej, o powtarzalnym dla budynku mieszkalnego wielorodzinnego układzie konstrukcyjnym. Obiekt zaprojektowano i wykonano w jednej z technologii ścian jednowarstwowych – z autoklawizowanego betonu komórkowego odmiany 600, ze ścianami zewnętrznymi o grubości 36,5 cm.

Na rycinie 1 oznaczono zasięg oddziaływania występujących w takim układzie mostków termicznych liniowych (ψ) i punktowych (χ).

2.1. Straty ciepła

Obliczenie wartości współczynnika strat ciepła (sprzężenia cieplnego) L_D pomiędzy przestrzenią ogrzewaną i stroną zewnętrzną wymaga wyznaczenia strat ciepła przez elementy płaskie (bez wpływu zaburzeń pola) oraz liniowe i punktowe współczynniki przenikania ciepła mostków termicznych występujących w rozpatrywanym elemencie (tabl. 1, 2). Współczynnik sprzężenia cieplnego między dwoma środowiskami można zapisać jako sumę poszczególnych współczynników [5]

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

$$L_D = L_D^{1D} + L_D^{2D} + L_D^{3D} \tag{1}$$

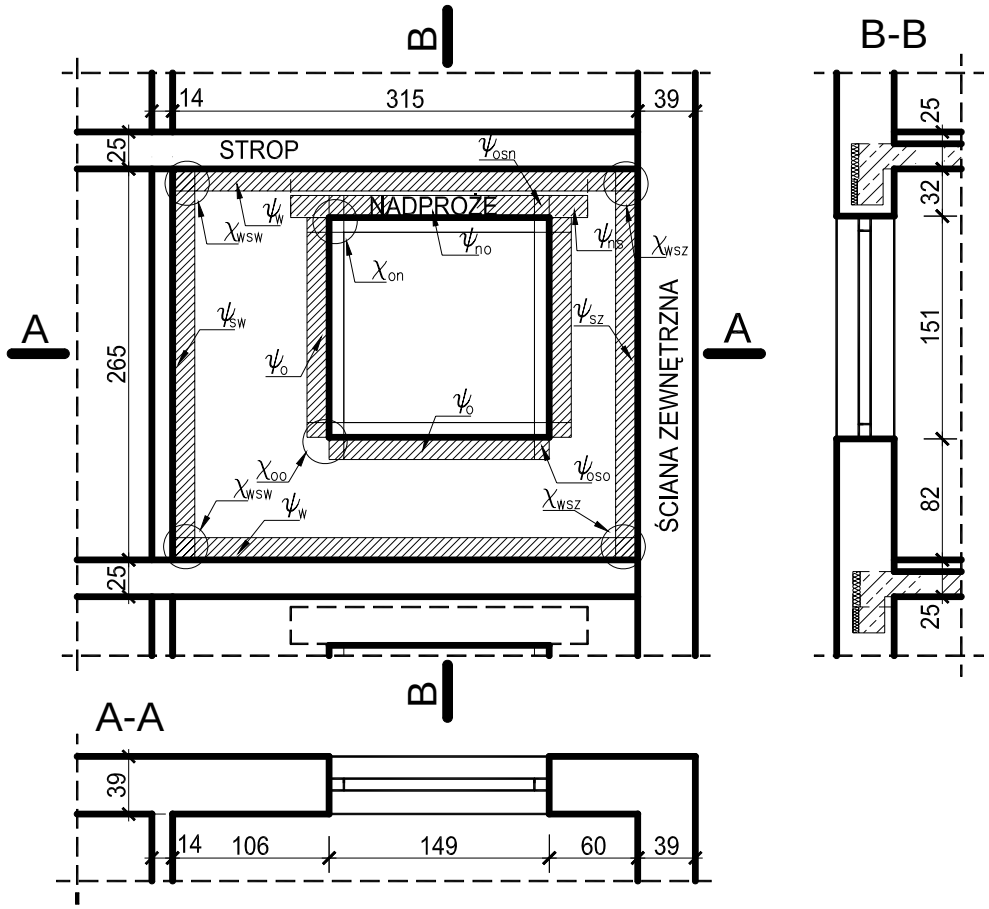
gdzie:

L_D^{1D} – współczynnik sprzężenia cieplnego otrzymany z obliczeń komponentu 1*D*,

L_D^{2D} – współczynnik sprzężenia cieplnego otrzymany z obliczeń komponentu 2*D*,

L_D^{3D} – współczynnik sprzężenia cieplnego otrzymany z obliczeń komponentu 3*D*.

W przykładzie posłużono się wartościami otrzymanymi przy zastosowniu wymiarowania wewnętrznego (*i*) oraz zewnętrznego (*e*).



Ryc. 1. Liniowe i przestrzenne mostki termiczne w wymiarowanej przegrodzie

Fig. 1. Linear and spatial thermal bridges in particular wall

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Tablica 1

Wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła ψ

Oznaczenie	Element	ψ_i	ψ_e
		[W·m^{-1}·K^{-1}]	[W·m^{-1}·K^{-1}]
Ψ_w	wieniec	0,197	0,082
Ψ_{sw}	ściana wewnętrzna	0,062	–0,003
Ψ_{sz}	ściana zewnętrzna	0,093*	–0,267*
Ψ_o	ościeże	0,134	0,134
Ψ_{on}	ościeże z nadprożem	0,181	0,181
Ψ_{ns}	nadproże w ścianie	0,032	0,032
Ψ_{osn}	ościeżnica z nadprożem	0,105	0,105
Ψ_{oso}	ościeżnica z ościeżem	0,057	0,057
* do obliczeń strat ciepła przyjęto wartość liniowego współczynnika odnoszącą się do jednej gałęzi narożnika			

Tablica 2

Wartości punktowego współczynnika przenikania ciepła χ

Oznaczenie	Element	χ_i	χ_e
		[W·K^{-1}]	[W·K^{-1}]
χ_{wsw}	wieniec – ściana wewnętrzna	0,053*	–0,034*
χ_{wsz}	wieniec – ściana zewnętrzna	0,027	0,000
χ_{oo}	ościeże – ościeże	0,001	0,001
χ_{on}	ościeże – nadproże	0,010	0,010
* do obliczeń strat ciepła przyjęto wartość liniowego współczynnika odnoszącą się do jednej gałęzi narożnika			

Tablica 3

Współczynnik sprzężenia cieplnego L^{1D}

Lp.	Rodzaj przegrody	Powierzchnia A		U	$L_{1D} = A \cdot U$	
		(*i*)	(*e*)		(*i*)	(*e*)
		[m^2]		[W·m^{-2}·K^{-1}]	[W·K^{-1}]	
1	ściana pełna	5,344	7,4659	0,461	2,464	3,4395
2	nadproże	0,503	0,503	0,486	0,244	0,244
3	wieniec	0,221	0,221	0,519	0,115	0,115
4	mocowanie stolarki	0,060	0,060	0,398	0,024	0,024
5	ościeżnica	0,556	0,556	2,798	1,556	1,556
6	szkło okienne	1,664	1,664	1,402	2,333	2,333
Suma		8,348	10,469	–	6,736	7,711
(*i*) – dotyczy wymiarowania wewnętrznego (*e*) – dotyczy wymiarowania zewnętrznego						

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Straty ciepła przez poszczególne wycinki jednorodne cieplnie zestawiono w tabl. 3. Oszacowanie procentowego udziału mostków w stratach ciepła rozpatrzono w dwojaki sposób. W pierwszym przypadku uwzględniono straty dla fragmentu ściany przedstawionego na ryc. 1, tj. ze stolarką okienną (tabl. 4). W drugim przypadku przyjęto, że jest to ściana pełna, bez otworów oraz związanych z tym strat ciepła przez powierzchnie przezroczyste i powstające w tym miejscu mostki liniowe i przestrzenne (tabl. 5).

Przy zastosowaniu wymiarowania zewnętrznego suma współczynnika sprzężenia cieplnego otrzymanego z obliczeń komponentów 3*D* w obydwu przypadkach jest mniejsza od zera. Składowa wpływu mostków liniowych L^{2D} także maleje, a dla przegrody bez stolarki jest również ujemna. W tym ujęciu wpływ mostków jest mocno ograniczony.

Tablica 4

Straty ciepła przez przegrodę z wbudowaną stolarką okienną

Współczynnik sprzężenia cieplnego	Wymiarowanie wewnętrzne		Wymiarowanie zewnętrzne
	L (*i*)	udział procentowy	L (*e*)
	[W·K^{-1}]	[%]	[W·K^{-1}]
Ściany pełnej – L^{1D}	6,736	79,4	7,711
Liniowy – L^{2D}	1,651	19,4	0,823
Punktowy – L^{3D}	0,103	1,0	–0,012
Suma – *LD*1	8,490	100,0	8,522

Tablica 5

Straty ciepła przez przegrodę pełną bez uwzględnienia stolarki

Współczynnik sprzężenia cieplnego	Wymiarowanie wewnętrzne		Wymiarowanie zewnętrzne
	L (*i*)	udział procentowy	L (*e*)
	[W·K^{-1}]	[%]	[W·K^{-1}]
Ściany pełnej – L^{1D}	3,851	80,9	6,145
Liniowy – L^{2D}	0,826	17,4	–0,996
Punktowy – L^{3D}	0,081	1,7	–0,034
Suma – *LD*2	4,760	100,0	5,145

Współczynnik przenikania ciepła dla podstawowego układu materiałowego omawianej przegrody zewnętrznej (gazobeton z obustronną wyprawą tynkarską) wynosi: $U = 0{,}461$ W·m^{-2}·K^{-1} i nie przekracza wartości dopuszczalnej: $U_{max} = 0{,}5$ W·m^{-2}·K^{-1}. Po uwzględnieniu liniowych mostków termicznych (przy zastosowaniu wymiarowania wewnętrznego – *i*) wartość współczynnika U dla układu przegrody bez stolarki okiennej wynosi: $U = 0{,}564$ W·m^{-2}·K^{-1}. Po uwzględnieniu wpływu mostków liniowych dla rozwiązania ze stolarką (jak na ryc. 1) wartość ta jeszcze ulega podwyższeniu do $U = 0{,}738$ W·m^{-2}·K^{-1}. W obydwu przypadkach zwiększenie wartości współczynnika przenikania ciepła spowodowane jest wpływem mostków termicznych, co jest konsekwencją zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych detali. Dużo gorsza izolacyjność cieplna okna powoduje, że wartość średnia współczynnika przenikania ciepła

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

z uwzględnieniem strat ciepła przez przegrody pełne i dodatkowo przezroczyste wynosi: $U_{śr} = 1{,}006\ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}$.

2.2. Zagrożenie kondensacją powierzchniową i rozwojem pleśni

Zagrożenie rozwojem korozji biologicznej określono przy przyjęciu parametrów powietrza wewnętrznego na podstawie norm PN-78/B-03421 [8] oraz PN-82/B-02403 [7]. Poziom temperatury na powierzchni wewnętrznej przegrody pełnej θ_{si}^{1D} oraz minimalnych temperatur w miejscach występowania mostków termicznych liniowych ($\theta_{si,\min}^{2D,x}$, $\theta_{si,\min}^{2D,z}$) nie zagraża wystąpieniem kondensacji powierzchniowej, nawet przy osiągnięciu maksymalnej wilgotności względnej odpowiadającej warunkom komfortu cieplnego człowieka ($\varphi_i = 60\%$).

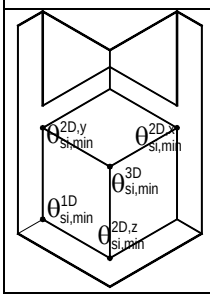
Najniższą wartość temperatury w badanym węźle uzyskano w miejscu przecięcia liniowych mostków termicznych. Krytyczna wartość wilgotności względej, przy której może rozpocząć się proces kondensacji, dla tej temperatury wynosi: $\varphi_i = 43$ %.

Korzystając z procedury wprowadzonej normą PN-EN ISO 13788 [6] dla średnich miesięcznych wartości parametrów powietrza wewnętrznego podanych w pracy [9], w tabl. 7 określono współczynnik temperaturowy f_{Rsi} dla klas wilgotności od 2 do 4. Wytłuszczeniem oznaczono wartości wyższe od $f_{Rsi,\min}^{3D}$, wyznaczonego dla modelu przestrznnego mostka termicznego.

Ze względu na wystąpienie mostków liniowych stosowane rozwiązanie nie zagraża rozwojem pleśni maksymalnie w przypadku 3 klasy wilgotności wewnętrznej pomieszczeń, natomist z powodu obniżenia wartości współczynnika temperaturowego w obszarze mostka przestrzennego, wilgotność wewnętrzna pomieszczeń nie powinna przekroczyć 2 klasy. Oznacza to, że takie rozwiązanie może być stosowane w budynkach biurowych i sklepach.

Tablica 6

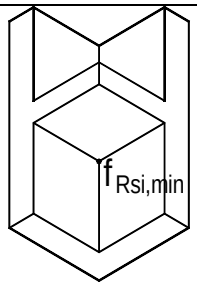
Ryzyko kondensacji powierzchniowej w węźle oparcia stropu ($\theta_i = +20°C$, $\theta_e = -18°C$)

Schemat	θ_{si}^{1D}	$\theta_{si,\min}^{2D,x}$	$\theta_{si,\min}^{2D,y}$	$\theta_{si,\min}^{2D,z}$	$\theta_{si,\min}^{3D}$	$\theta_i = +20°C$		
						40%	50%	60%
	[°C]					[°C]		
	15,9	13,2	13,2	12,3	8,0	6,0	9,3	12,0

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Tablica 7

Maksymalne wartości współczynnika temperaturowego dla złącza narożnika przestrzennego oparcia stropu [1]

Schemat	f_{Rsi}
 $f_{si,\min}^{3D} = 0{,}684$ $f_{si,\min}^{2D,x,y} = 0{,}837$ $f_{si,\min}^{2D,z} = 0{,}790$	

miesiąc	klasa wilgotnościowa		
	2	3	4
październik	0,434	0,574	**0,706**
listopad	0,512	0,678	**0,815**
grudzień	0,558	**0,719**	**0,853**
styczeń	0,534	**0,688**	**0,806**
luty	0,550	**0,710**	**0,840**
marzec	0,518	0,683	**0,821**
kwiecień	0,377	0,532	**0,675**

3. Podsumowanie

Rozpatrując straty ciepła przegrody bez oraz z uwzględnieniem stolarki, okazuje się, że mostki liniowe stanowią około 20% wartości ogólnej strat. Należy pamiętać, że udział ten może się znacząco zwiększyć przy zastosowaniu błędnych rozwiązań detali węzłów konstrukcyjnych. W obydwu przypadkach (przegrody z wbudowaną stolarką i przegrody pełnej) udział mostków przestrzennych stanowi zaledwie 1–2% strat przez przenikanie, a więc mają one drugorzędne znaczenie w całkowitych stratach ciepła przez przenikanie w stosunku do strat przez powierzchnie pełne obudowy i liniowe mostki termiczne. Dlatego też można stwierdzić, że mają one niewielki wpływ na współczynnik przenikania ciepła U przegrody. Natomiast na podstawie obliczeń temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody θ_{si} oraz współczynnika temperaturowego f_{Rsi} wykazano, że najniekorzystniejsze z punktu widzenia użytkownika wartości tych parametrów otrzymano właśnie w miejscach przestrzennych mostków termicznych. Aby uniknąć rozwoju grzybów pleśniowych, w procesie projektowania powinno się szczególną uwagę zwrócić właśnie na te węzły. W danych warunkach cieplno-wilgotnościowych sposób rozwiązania detali w miejscach przestrzennych mostków termicznych decyduje o poprawności całej konstrukcji obudowy.

Literatura

[1] Hołownia P., *Warunki komfortu cieplnego w budynkach wznoszonych z autoklawizowanego betonu komórkowego,* Czasopismo Techniczne z. 5-B/2006, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.

[2] PN-EN ISO 6946:2004 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

[3] PN-EN ISO 10211-1:2005 Mostki cieplne w budynkach. Strumień cieplny i temperatura powierzchni. Część 1: Ogólne metody obliczania.
[4] PN-EN ISO 10211-2:2002 Mostki cieplne w budynkach. Strumień cieplny i temperatura powierzchni. Część 2: Liniowe mostki cieplne.
[5] PN-EN ISO 13789:2001 Właściwości cieplne budynków. Współczynnik strat ciepła przez przenikanie. Metoda obliczania.
[6] PN-EN ISO 13788:2003 Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.
[7] PN-82/B-02403 Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne.
[8] PN-78/B-03421 Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi.
[9] Praca zbiorowa pod redakcją D. G a w i n a i E. K o s s e c k i e j, *Komputerowa fizyka budowli. Typowy rok meteorologiczny od symulacji wymiany ciepła i masy w budynkach*, Politechika Łódzka, Łódź 2002.
[10] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU Nr 75, poz. 690, z późniejszymi zmianami).

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ