

Anna Justyna WERNER-JUSZCZUK

Politechnika Białostocka, WBiŚ
ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok
E-mail: a.juszczuk@pb.edu.pl

Numeryczne modelowanie mostków cieplnych a projektowe zapotrzebowanie na ciepło w lokalu mieszkalnym

1 Wstęp

Mostek cieplny stanowi część obudowy budynku, w której jednolity opór cieplny jest znacząco zmieniony w stosunku do pozostałej części obudowy. W miejscach występowania mostków cieplnych obserwuje się obniżenie temperatury wewnętrznej powierzchni oraz wzrost gęstości strumienia cieplnego, co skutkuje zwiększeniem strat ciepła przez przenikanie.

Określanie wpływu mostków cieplnych na projektowe obciążenie cieplne budynku jest istotne ze względów ekonomicznych i jest tematem wielu prac badawczych [1, 2, 3]. W Polsce obowiązek uwzględniania wpływu mostków cieplnych w obliczeniach strat ciepła wprowadzono w 2006 roku, powołując normę PN-EN 12831:2006 [4] dotyczącą metodologii obliczania projektowego obciążenia cieplnego.

Oddziaływanie mostków cieplnych jest charakteryzowane przez wartości współczynników przenikania ciepła liniowego i punktowego mostka cieplnego lub przez dodatki korekcyjne. Wartości współczynników przenikania ciepła mostków cieplnych mogą być wyznaczane metodami numerycznymi oraz metodami uproszczonymi. W praktyce inżynierskiej najczęściej wykorzystywane są orientacyjne współczynniki przenikania ciepła mostków cieplnych, określone w załączniku do normy PN-EN ISO 14683:2008 [5], lub współczynniki zebrane w katalogach mostków cieplnych [6]. Współczynniki te nie odzwierciedlają jednak w pełni cech materiałowo-konstrukcyjnych zaprojektowanych przegród budowlanych, a tym samym właściwości występujących w nich mostków cieplnych.

Najdokładniejszą metodą wyznaczania wartości współczynników przenikania mostków cieplnych są metody numeryczne, wykorzystywane w programach komercyjnych do modelowania przepływu ciepła w złożonych strukturach budowlanych. Wśród stosowanych metod przeważają metody siatkowe: metoda różnic skończonych MRS (programy HEAT 2, HEAT 3, KOBRA, BISCO, TRISCO) oraz metoda elementów skończonych MES (programy THERM, SAT).

Alternatywą w stosunku do metod siatkowych jest metoda elementów brzegowych MEB, której zaletą w stosunku do metod różnicowych jest zmniejszenie rzędu analizowanych zagadnień oraz możliwość wyznaczenia rozwiązania i jego pochodnej w dowolnym punkcie wewnątrz obszaru. Metoda elementów brzegowych, wedle najlepszej wiedzy autorów, nie jest wykorzystywana w programach komercyjnych do modelowania mostków cieplnych.

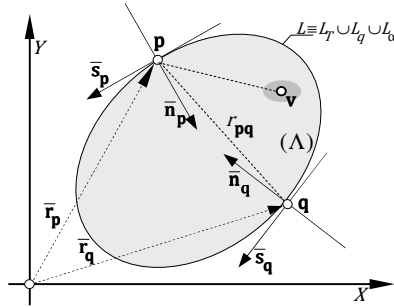
W artykule określono efekt numerycznego wyznaczania wartości współczynników przenikania ciepła mostków cieplnych na projektowe zapotrzebowanie na ciepło w lokalu mieszkalnym w budynku wielorodzinnym. W tym celu obliczono straty ciepła w trzech wariantach: wykorzystując przybliżone wartości współczynników przenikania ciepła liniowych mostków cieplnych wg PN-EN ISO 14683:2008 [5], z uwzględnieniem wartości z katalogu mostków cieplnych [6] oraz przy wykorzystaniu wartości obliczonych numerycznie metodą elementów brzegowych. Obliczenia numeryczne wykonano za pomocą autorskiego programu komputerowego.

2 Metoda obliczeniowa

Modelowanie procesu przewodzenia ciepła w przegrodach budowlanych sprowadza się do rozwiązania zagadnienia w obszarach wielospójnych, czyli obszarach złożonych z podobszarów o różnych właściwościach fizycznych. Równanie opisujące ustalony proces przewodzenia ciepła przez dwuwymiarowe mostki cieplne ma postać:

$$\nabla^2 T(\mathbf{p}) = 0. \quad (1)$$

Na brzegu analizowanego obszaru ograniczonego przez $L = L_T \cup L_q \cup L_\alpha$ (Rys.1)



Rys. 1. Obszar z warunkami brzegowymi

Fig. 1. Domain with boundary conditions

można sformułować kompleksowy warunek brzegowy ujmujący rozkład temperatury na części L_T brzegu obszaru L (warunek brzegowy Dirichleta (1a)), warunek brzegowy określający strumień ciepła na części L_q brzegu (warunek brzegowy Neumanna (1b)) i warunek ciągłości strumienia ciepła dopływającego od wnętrza do brzegu obszaru i strumienia oddawanego na zewnątrz obszaru (warunek Robina (1c)):

$$T(\mathbf{m})|_{\mathbf{m}=\mathbf{p}} = T_L(\mathbf{p}) \quad ; \quad (\mathbf{p}) \in (L_T), \quad (1a)$$

$$-\lambda \frac{\partial T(\mathbf{m})}{\partial n_{\mathbf{p}}}|_{\mathbf{m}=\mathbf{p}} = q_L(\mathbf{p}) \quad ; \quad (\mathbf{p}) \in (L_q), \quad (1b)$$

$$-\lambda \frac{\partial T(\mathbf{m})}{\partial n_{\mathbf{p}}} \Big|_{\mathbf{m}=\mathbf{p}} = q_L(\mathbf{p}) = \alpha (T(\mathbf{p}) - T_a) \quad ; \quad (\mathbf{p}) \in (L_\alpha) . \quad (1c)$$

Rozwiązanie równania różniczkowego (1) z warunkami brzegowymi (1a),(1b) i (1c) ma postać równania całkowego:

$$\begin{aligned} T(\mathbf{p}) + \int_{(L_T)} q(\mathbf{q})G(\mathbf{p},\mathbf{q}) dL_T + \int_{(L_q)} q_L(\mathbf{q})G(\mathbf{p},\mathbf{q}) dL_q + \int_{(L_\alpha)} [\alpha(T(\mathbf{q}) - T_a)]G(\mathbf{p},\mathbf{q}) dL_\alpha \\ = \int_{(L_T)} T_L(\mathbf{q})H(\mathbf{p},\mathbf{q})dL_T + \int_{(L_q)} T(\mathbf{q})H(\mathbf{p},\mathbf{q})dL_q + \int_{(L_\alpha)} T(\mathbf{q})H(\mathbf{p},\mathbf{q})dL_\alpha \end{aligned} \quad (2)$$

$\mathbf{p}, \mathbf{q} \in (L) ; (L \equiv L_T \cup L_q \cup L_\alpha)$

w którym rozwiązania podstawowe $G(\mathbf{p}, \mathbf{q})$ i $H(\mathbf{p}, \mathbf{q})$ są odpowiednio równe dla $\mathbf{p} \neq \mathbf{q}$:

$$G(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \left(\frac{1}{r_{\mathbf{p}\mathbf{q}}} \right) \quad ; \quad r_{\mathbf{p}\mathbf{q}} = |\mathbf{p} - \mathbf{q}| , \quad (2a)$$

$$\begin{aligned} H(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \frac{\partial G(\mathbf{p}, \mathbf{q})}{\partial n_{\mathbf{p}}} = \frac{1}{2\pi} \frac{(x_{\mathbf{q}} - x_{\mathbf{p}})n^x + (y_{\mathbf{q}} - y_{\mathbf{p}})n^y}{r_{\mathbf{p}\mathbf{q}}^2} , \\ \mathbf{n} = [n^x, n^y] = [\Delta y_{\mathbf{q}}/L_{\mathbf{q}} , \Delta x_{\mathbf{q}}/L_{\mathbf{q}}] \end{aligned} \quad (2b)$$

dla $\mathbf{p} = \mathbf{q}$:

$$G(\mathbf{q}, \mathbf{q}) = \frac{L_{\mathbf{q}}}{2\pi\lambda} \left(1 + \ln \frac{2}{L_{\mathbf{q}}} \right) , \quad (2c)$$

$$H(\mathbf{q}, \mathbf{q}) = 0 , \quad (2d)$$

gdzie: $L_{\mathbf{q}}$ jest długością elementu brzegowego.

W dalszej kolejności równanie całkowe (2) jest rozwiązywane numerycznie. W tym celu dokonuje się podziału linii brzegowej rozpatrywanego obszaru na skończoną liczbę elementów brzegowych, sprowadzając zagadnienie obliczeniowe do układu algebraicznych równań liniowych względem poszukiwanej funkcji $T(\mathbf{q})$.

Temperatura wewnątrz analizowanego obszaru jest wyznaczana na podstawie wartości temperatury i strumienia ciepła na brzegach obszaru wyznaczonych z równania (2):

$$T(\mathbf{v}) = \int_{(L_q)} T(\mathbf{q})H(\mathbf{v}, \mathbf{q})dL_q - \int_{(L_q)} q(\mathbf{q})G(\mathbf{v}, \mathbf{q})dL_q, \quad (3)$$

gdzie:

$$G(\mathbf{v}, \mathbf{q}) = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln\left(\frac{1}{r_{\mathbf{v}\mathbf{q}}}\right); \quad r_{\mathbf{v}\mathbf{q}} = |\mathbf{v} - \mathbf{q}|, \quad (3a)$$

$$H(\mathbf{v}, \mathbf{q}) = \frac{\partial G(\mathbf{v}, \mathbf{q})}{\partial n_{\mathbf{v}}} = \frac{1}{2\pi} \frac{(x_{\mathbf{q}} - x_{\mathbf{v}})n^x + (y_{\mathbf{q}} - y_{\mathbf{v}})n^y}{r_{\mathbf{v}\mathbf{q}}^2}, \quad \mathbf{v} \cup \Lambda; \quad \mathbf{q} \cup L. \quad (3b)$$

Przy rozwiązywaniu zagadnienia przewodzenia ciepła w obszarach wielospójnych należy uwzględnić dodatkowe warunki brzegowe na liniach styku pomiędzy poszczególnymi podobszarami. W wyprowadzonym algorytmie MEB założono idealny kontakt między obszarami, czyli przyjęto warunek równości temperatury oraz ciągłości strumienia ciepłego na wewnętrznych liniach brzegowych podobszarów.

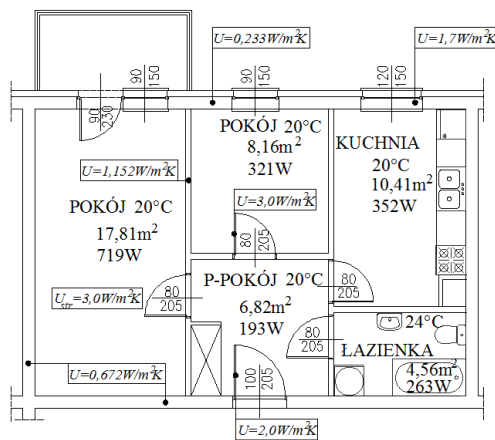
Efektywność programu do rozwiązywania dwuwymiarowych ustalonych zagadnień przewodzenia ciepła w konstrukcjach budowlanych z mostkami cieplnymi została potwierdzona poprzez obliczenia dwóch zadań testowych określonych w [7].

Wyniki potwierdziły skuteczność programu obliczeniowego opracowanego w Katedrze Ciepłownictwa Politechniki Białostockiej do modelowania rozkładu temperatury i strumienia ciepła w mostkach cieplnych.

3 Budowa modelu fizycznego struktury budowlanej

Obliczenia wykonano dla lokalu mieszkalnego o powierzchni 47,8m², usytuowanego na I piętrze w budynku wielorodzinnym w Białymstoku. Przegrody budowlane spełniają wymagania stawiane przez WT2008 [8] (rys.2), dotyczące maksymalnych wartości współczynników przenikania ciepła U .

*Numeryczne modelowanie mostków cieplnych
a projektowe zapotrzebowanie na ciepło w lokalu mieszkalnym*



Rys. 2. Rzut mieszkania z właściwościami cieplnymi przegród z i projektowymi całkowitymi stratami ciepła

Fig. 2. View of flat with thermal parameters of partitions and design total heat losses

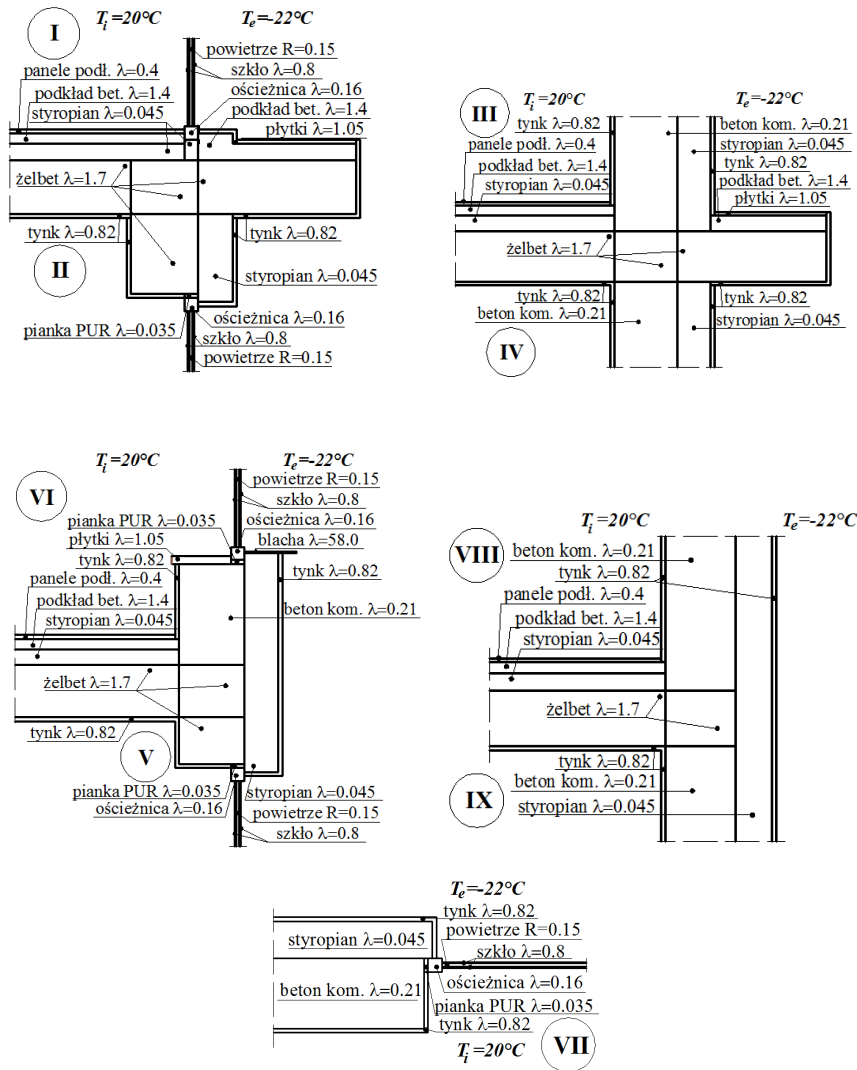
Wyodrębniono pięć konstrukcji budowlanych, w których występują liniowe mostki cieplne (tab. 1).

Tabela 1. Liniowe mostki cieplne w analizowanym mieszkaniu

Table 1. Linear thermal bridges in analysed flat

Nr	Liniowy mostek cieplny
I	Połączenie płyty balkonowej ze stropem w przekroju przez ościeżnicę
II	Połączenie płyty balkonowej ze stropem w przekroju przez ościeżnicę (nadproże)
III	Połączenie płyty balkonowej ze ścianą zewnętrzną (górze)
IV	Połączenie płyty balkonowej ze ścianą zewnętrzną (dół)
V	Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże
VI	Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez podokiennik
VII	Połączenie ściany zewnętrznej z oknem i drzwiami balkonowymi w przekroju przez ościeżnicę
VIII	Połączenie ściany zewnętrznej ze stropem (górze)
IX	Połączenie ściany zewnętrznej ze stropem (dół)

Modele do obliczeń numerycznych struktur budowlanych (rys. 3) zbudowano, uwzględniając obowiązujące wymagania dotyczące granic geometrycznych i podpodziałów [7].



Rys. 3. Budowa analizowanych struktur budowlanych z mostkami cieplnymi;
 λ - współczynnik przewodzenia ciepła, [W/m K]; R - opór cieplny [$\text{m}^2\text{K/W}$]
 Fig. 3. Scheme of analysed building structures with thermal bridges;
 λ - thermal conductivity, [W/m K]; R - thermal resistance [$\text{m}^2\text{K/W}$]

4 Warunki brzegowe

W miejscach przekroju przez przegrody budowlane założono zerową wartość strumienia ciepła $q=0$ [W/m^2].

Na powierzchni przegród budowlanych przyjęto warunek Robina, określony przez temperaturę i opór przejmowania ciepła na powierzchni (tab. 2).

Tabela 2. Opór przejmowania ciepła na powierzchni [9]

Table 2. Thermal surface resistance [9]

Opór przejmowania ciepła [m ² ·K/W]	Kierunek strumienia ciepła		
	w górę	w dół	poziomy
R_{si}	0,10	0,17	0,13
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Temperatura powietrza wewnętrznego wynosi $T_i=20^{\circ}\text{C}$ (obliczeniowa temperatura w pokoju i kuchni), a temperatura powietrza zewnętrznego $T_e=-22^{\circ}\text{C}$ (IV strefa klimatyczna - Białystok [4]).

5 Wyniki

W wyniku przeprowadzonych symulacji komputerowych otrzymano pole temperatury w badanych konstrukcjach budowlanych (rys. 4).

Na podstawie obliczonych numerycznie wartości gęstości strumienia ciepła na poszczególnych krawędziach analizowanych modeli określono współczynniki liniowych mostków cieplnych Ψ_l w oparciu o wymiary wewnętrzne przegród:

$$\Psi_l = L_{2D} - \sum_{j=1}^n U_j \cdot l_j \left[\frac{W}{m \cdot K} \right], \quad (4)$$

gdzie: U_j – współczynnik przenikania ciepła j -tego elementu budowlanego [W/m² K],

l_j – długość j -tego elementu budowlanego [m]

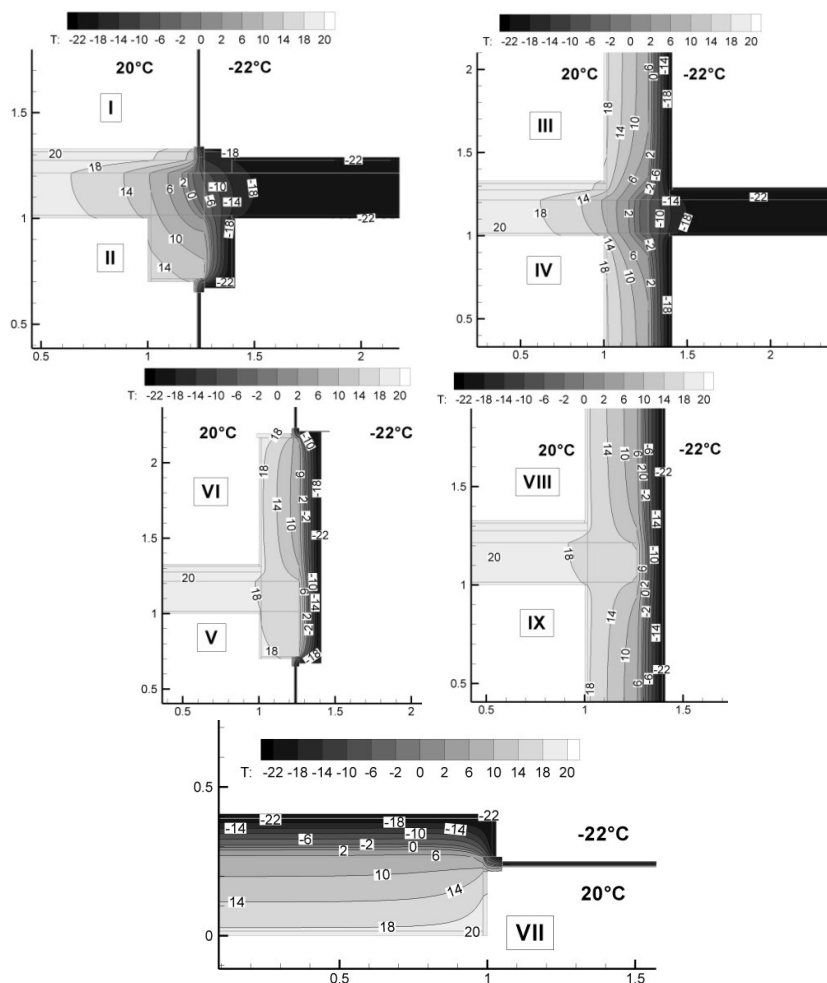
L_{2D} - współczynnik sprzężenia cieplnego, wyznaczony na podstawie obliczeń numerycznych [W/m K]:

$$L_{2D} = \frac{q \cdot l}{\Delta T} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right], \quad (5)$$

gdzie: q – średnia gęstość strumienia ciepła na krawędzi modelu przegrody budowlanej [W/m²],

l – długość krawędzi modelu [m],

ΔT – różnica temperatury pomiędzy środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym [°C].



Rys. 4. Pole temperatury w analizowanych w strukturach budowlanych z mostkami cieplnymi

Fig.4. Temperature field in analysed building structures with thermal bridges

W dalszej kolejności określono współczynniki liniowych mostków cieplnych Ψ_l dla analizowanych rozwiązań konstrukcyjnych, korzystając z wartości orientacyjnych [5] oraz wartości z katalogu mostków cieplnych [6]. Na tej podstawie obliczono straty ciepła Q przez mostki cieplne dla każdej metody wyznaczenia współczynników Ψ_l . (tab. 3).

*Numeryczne modelowanie mostków cieplnych
a projektowe zapotrzebowanie na ciepło w lokalu mieszkalnym*

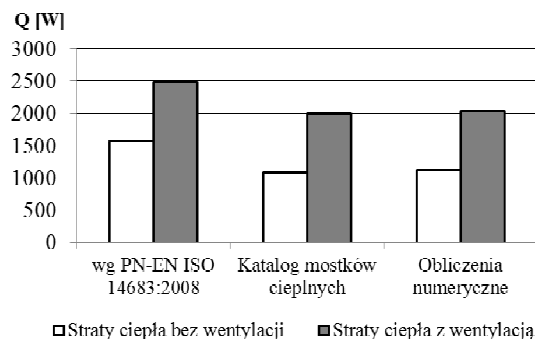
Tabela 3. Wartości liniowych współczynników przenikania ciepła oraz straty ciepła przez mostki cieplne

Table 3. Values of linear thermal transmittance and heat losses through thermal bridges

Mostek cieplny	Ψ_l [W/m K]			L^* [m]	Q [W]		
	PN-EN 14683	Katalog mostków cieplnych	Obliczenia numeryczne		PN-EN 14683	Katalog mostków cieplnych	Obliczenia numeryczne
I	1,05	0,16	0,168	0,9	41,58	6,34	6,65
II	1,05	0,43	0,725	0,9	41,58	17,03	28,71
III	1,05	0,09	0,113	1,4	64,68	5,54	6,96
IV	1,05	0,09	0,433	1,4	64,68	5,54	26,67
V	0,45	0,15	0,203	3	59,4	19,8	26,8
VI	0,45	0,22	0,088	3	59,4	29,04	11,62
VII	0,45	0,07	0,095	13,6	269,28	41,89	56,85
VIII	0,1	0,09	0,016	3,5	15,4	13,86	2,46
IX	0,1	0,09	0,085	3,5	15,4	13,86	13,09
				Σ	631,4	152,9	179,81

* L – długość oddziaływania mostka cieplnego

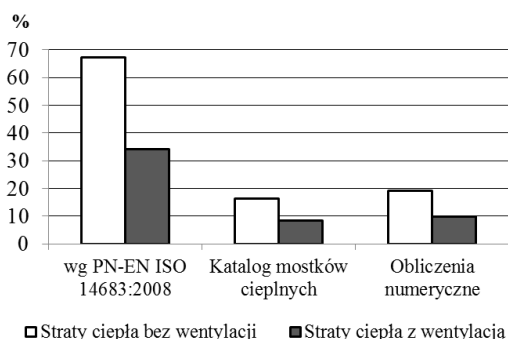
Obliczone wartości strat ciepła przez mostki cieplne porównano ze stratami ciepła przez przenikanie oraz z sumą strat ciepła przez przenikanie i przez wentylację (rys. 5).



Rys. 5. Udział strat ciepła przez mostki cieplne w stratach ciepła w mieszkaniu

Fig. 5. Effect of heat losses through thermal bridges on heat losses in flat

Następnie dodano straty ciepła wynikające z występowania mostków cieplnych do strat przez przenikanie i sumy strat przez przenikanie i wentylację, otrzymując projektowe zapotrzebowanie na ciepło w lokalu mieszkalnym (rys. 6).



Rys. 6. Projektowe zapotrzebowanie na ciepło w mieszkaniu z uwzględnieniem obliczeniowych strat ciepła przez mostki cieplne

Fig. 6. Design heat load in flat with computational heat losses through thermal bridges

Obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło, w skład którego wchodzi straty ciepła przez przenikanie, przez mostki cieplne oraz na cele wentylacji, stanowi podstawę do wymiarowania i doboru urządzeń grzewczych oraz źródła ciepła w budynku.

6 Wnioski

Wybór metody określenia wartości współczynników przenikania liniowych mostków cieplnych wpływa na obliczeniowe projektowe obciążenie cieplne w lokalu mieszkalnym. Największe obliczeniowe straty ciepła przez mostki cieplne występują przy uwzględnieniu wartości orientacyjnych wg PN-EN ISO 14683:2008 [5]. Straty ciepła otrzymane w wyniku przyjęcia wartości współczynników z katalogu mostków cieplnych [6] są na podobnym poziomie, jak te oparte na wynikach obliczeń numerycznych. Przyjmowanie wartości orientacyjnych powoduje przeszacowanie całkowitych strat ciepła w mieszkaniu (z uwzględnieniem strat przez przenikanie, na wentylację oraz przez mostki cieplne) o około 23%, co w analizowanym przykładzie stanowi około 450 W. Odpowiada to ciepłu, które należy dostarczyć do pomieszczenia o powierzchni około 11 m² w celu jego ogrzania. Straty ciepła przez mostki cieplne stanowią wówczas prawie 70% wszystkich strat ciepła przez przenikanie w lokalu oraz ponad 30% sumy strat ciepła przez przenikanie i wentylację. Wartość przeszacowania całkowitych strat ciepła przy wykorzystaniu wartości orientacyjnych ψ_l jest więc relatywnie duża i w znaczący sposób wpływa na projektowe obciążenie cieplne budynku. Efektem zawyżenia wartości strat ciepła jest przewymiarowanie elementów grzewczych przekazujących ciepło do pomieszczenia, tj. grzejników konwekcyjnych i ogrzewania płaszczyznowego, przewymiarowanie średnic przewodów oraz źródeł ciepła. Wpływa to na wzrost kosztów inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych systemów grzewczych.

W analizowanym mieszkaniu straty ciepła przez mostki cieplne wyznaczone na podstawie danych z katalogu mostków cieplnych [6] są mniejsze od strat określonych na podstawie obliczeń numerycznych. Różnice pomiędzy tymi wartościami wynikają między innymi z innych warunków brzegowych przyjętych do obliczeń. W katalogu mostków cieplnych [6] przyjęto temperaturę powietrza zewnętrznego dla III

strefy klimatycznej, czyli -20°C , podczas gdy temperatura powietrza zewnętrznego dla analizowanego mieszkania w Białymstoku wynosi -22°C . Kolejną przyczyną różnic pomiędzy współczynnikami przenikania ciepła liniowych mostków cieplnych jest inna konstrukcja przegród budowlanych zaprojektowanych w analizowanym mieszkaniu w stosunku do konstrukcji przedstawionych w katalogu [6]. Katalog [6] zawiera tylko niektóre rozwiązania konstrukcyjne, stąd jeżeli konstrukcja przegrody budowlanej różni się od tej określonej w katalogu mostków cieplnych, na przykład miejscem usytuowania izolacji cieplnej, współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego również będzie miał inną wartość. Ponadto w katalogu [6] są określone wartości bez rozróżnienia na pomieszczenia górne i dolne, zaś w rzeczywistości wartości współczynników dla obu pomieszczeń będą różne, ze względu na stosowaną izolację cieplną na stropie. Wyniki analizy wskazują, że różnica pomiędzy stratami ciepła z uwzględnieniem mostków cieplnych wyznaczonych na podstawie danych z katalogu mostków cieplnych [6] a stratami określonymi na podstawie obliczeń numerycznych jest stosunkowo niewielka i wynosi mniej niż 30 W, co stanowi około 1,3% całkowitych strat ciepła w mieszkaniu i około 3% strat ciepła przez przenikanie. Można stwierdzić, że do obliczeń inżynierskich wystarczająca jest dokładność współczynników przenikania ciepła liniowych mostków cieplnych przyjmowanych na podstawie katalogów mostków cieplnych i nie ma konieczności wykonywania dodatkowych obliczeń numerycznych.

Wyniki wskazują, że straty ciepła przez mostki cieplne stanowią mniej niż 20% strat ciepła przez przenikanie i około 10% sumy strat ciepła przez przenikanie i wentylację. Nieuwzględnianie wpływu mostków cieplnych w obliczeniach obciążenia cieplnego budynków spowoduje niedoszacowanie rzeczywistych strat ciepła i dobór elementów systemu grzewczego o zbyt małych parametrach cieplnych.

Literatura

1. Zalewski L., Lassue S., Rousse D., Boukhalfa K.: Experimental and numerical characterization of thermal bridges in prefabricated building walls. *Energy Conversion and Management* 51, 2010, pp. 2869–2877
2. Theodosiou T.G., Papadopoulos A.M.: The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions. *Energy and Buildings* 40, 2008, pp. 2083–2089
3. Al-Sanea S.A., Zedan M.F.: Effect of thermal bridges on transmission loads and thermal resistance of building walls under dynamic conditions. *Applied Energy* 98, 2012, pp. 584–593
4. Norma PN-EN 12831:2006 Instalacje ogrzewcze w budynkach - Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego
5. Norma PN-EN ISO 14683:2008 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
6. Pogorzelski J.A., Awksientjuk J.: *Katalog mostków cieplnych: budownictwo tradycyjne*. Wydaw. Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2003
7. Norma PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach - Strumienie ciepła i temperatury powierzchni - Obliczenia szczegółowe
8. Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 6 listopada 2008r. Dz.U. nr 201, poz.1238
9. Norma PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania

Streszczenie

Przedstawiono obliczenia projektowego obciążenia cieplnego w lokalu mieszkalnym w budynku wielorodzinnym w trzech wariantach: z uwzględnieniem przybliżonych wartości współczynników przenikania ciepła liniowych mostków cieplnych wg PN-EN ISO 14683:2008, z uwzględnieniem wartości z katalogu mostków cieplnych oraz przy wykorzystaniu obliczeń numerycznych wykonanych przy użyciu autorskiego programu komputerowego, bazującego na algorytmie metody elementów brzegowych (MEB). Określono wpływ poszczególnych metod na całkowite projektowe straty ciepła w lokalu mieszkalnym.

Słowa kluczowe: MEB, liniowy współczynnik przenikania ciepła, projektowe obciążenie cieplne

Numerical modelling of thermal bridges versus design heat load in flat

Summary

The results of calculation of design heat load in flat in residential building are presented. Calculation was performed allowing of approximate values of linear thermal transmittance determined with PN-EN ISO 14683:2008, allowing of values from catalogue of thermal bridges and values determined with the use of authoring computer program, basing on boundary element method (BEM) algorithm. The effect of each method on overall design heat losses in flat was determined.

Keywords: BEM, linear thermal transmittance, design heat load

Opracowanie zrealizowano w ramach pracy nr S/WBiŚ/4/2014.