

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI
MONIKA DYBOWSKA
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

ANALIZA PORÓWNAWCZA PARAMETRÓW CIEPLNYCH DWUWARSTWOWYCH ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH I ICH ZŁĄCZY

1. WPROWADZENIE

Warunkiem realizacji wymagań kryterium cieplnego jest zaprojektowanie przegród zewnętrznych spełniających warunek:

$$U \leq U_{max} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (1)$$

Obecnie wszystkie projektowane i wznoszone budynki powinny posiadać przegrody zewnętrzne o współczynniku przenikania ciepła U nie większym niż wartość graniczna, określona w załączniku do Rozporządzenia [7].

Drugą miarą spełnienia kryterium cieplnego (energetycznego) jest wartość wskaźnika EP [$kWh/(m^2 \cdot rok)$], określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i ewentualnego chłodzenia oraz przygotowywania ciepłej wody użytkowej, a dla niektórych budynków wbudowanego oświetlenia.

Warunkiem dopuszczającym do realizacji rozwiązania projektowego przegrody i złącza jest między innymi kryterium wilgotnościowe, uwarunkowane niedopuszczeniem do kondensacji powierzchniowej wilgoci (ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych).

Jeżeli spełniona jest nierówność:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,max} \quad (2)$$

gdzie:

f_{Rsi} – obliczeniowy czynnik temperaturowy w miejscu mostka cieplnego [-],

$f_{Rsi,max}$ – maksymalny czynnik temperaturowy, uwzględniający parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego [-],

wówczas nie wystąpi ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych na wewnętrznej powierzchni przegrody zewnętrznej.

Obowiązujące wymagania odnoszące się do wartości maksymalnej współczynnika przenikania ciepła $U_{max} = 0,30$ [$W/(m^2 \cdot K)$], stały się utrudnieniem w stosowaniu ścian jednowarstwowych. Ze względu na ich zbyt niską termoizolacyjność zostały one praktycznie wyeliminowane z dozwolonych rozwiązań.

W ścianach warstwowych nie ma większej trudności, aby spełnić warunek $U \leq U_{max}$. Jednak w projekcie nowelizacji Rozporządzenia [7] określono niższe (niż obecnie obowiązujące) wartości graniczne współczynnika przenikania ciepła U_{max} - w przy-

padku ścian zewnętrznych $U_{\max} = 0,20$ [W/(m²·K)]. Zaprojektowanie niewłaściwie izolacji złączy jest błędem.

W pracy przedstawiono analizę porównawczą parametrów cieplnych ścian dwuwarstwowych zewnętrznych i ich złączy z zastosowaniem programu komputerowego TRISCO.

2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁOWA ŚCIAN DWUWARSTWOWYCH

Ściany dwuwarstwowe zyskały dużą popularność, gdyż są łatwe do wykonania i stosunkowo niedrogie. Składają się one z dwóch głównych elementów: warstwy konstrukcyjnej i warstwy izolacji termicznej. Dodatkowo po obu stronach nałożone są warstwy tynku.

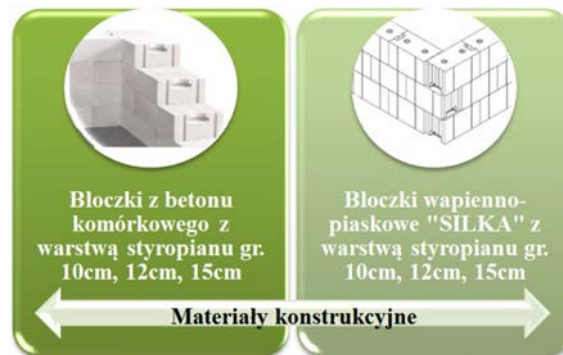
W celu wybudowania ściany dwuwarstwowej najpierw wznosi się warstwę nośną, a dopiero później się ją ociepla. Jest to chyba najczęściej spotykane rozwiązanie, ponieważ stosując warstwę izolacji w łatwy sposób można zapewnić odpowiednie właściwości cieplne i wilgotnościowe przegrody. Warstwa konstrukcyjna 18-30 cm, może być wykonana z dowolnego materiału. Warstwa ocieplenia grubości 12-20 cm, mocowana do ściany od strony zewnętrznej sprawia, że takie miejsca jak nadproża i wieńce stropowe stają się zaizolowane – minimalizując straty ciepła.

W dzisiejszych czasach inwestorzy mają do wyboru wiele materiałów konstrukcyjnych dostępnych na rynku, z których najpopularniejszymi są m.in. cegły, pustaki ceramiczne, beton komórkowy, bloczki wapienno-piaskowe (silikaty) lub keramzytobeton. Do obliczeń i analizy wybrano dwa materiały o tej samej grubości: beton komórkowy oraz bloczki wapienno-piaskowe (silikaty) – rys. 1.

Beton komórkowy wytwarza się z wapna, cementu, piasku lub lotnego popiołu oraz proszku aluminiowego i detergentów. Porowata struktura zapewnia dobre parametry izolacyjne tego materiału. Produkowany jest w odmianach od 300 do 800. Wyższa odmiana oznacza lepszą wytrzymałość, a więc mniejszą porowatość i gorszą izolacyjność cieplną. Najczęściej muruje się je na zwykłą zaprawę cementowo-wapienną, choć można też stosować zaprawę ciepłochronną.

Bloczki wapienno-piaskowe, nazywane także silikatami wytwarzane są z piasku, wapna i wody. Ich cechą charakterystyczną jest znaczna wytrzymałość na ściskanie oraz dobra izolacja akustyczna, wyróżniają się również wysoką odpornością ogniową, zaś w czasie pożaru nie wydzielają szkodliwych substancji. Produkuje się je w klasach: 5; 7,5; 10; 15; 20; 25; 35; 40 i 60. Muruje się je na zwykłe lub cienkie spoiny zaprawą tradycyjną lub ciepłochronną.

Zadaniem warstwy konstrukcyjnej jest głównie przenoszenie obciążeń ze stropu i dachu. Natomiast o izolacyjności cieplnej ściany decyduje głównie materiał izolacyjny (najczęściej styropian lub wełna mineralna). Przy doborze układu materiałowego ściany uwzględnia się minimalną wymaganą konstrukcyjnie grubość warstwy nośnej, zaś zastosowanie odpowiedniej grubości warstwy izolacyjnej zapewnia spełnienie wymagań cieplnych ściany zewnętrznej wg Rozporządzenia [7].



Rys. 1. Charakterystyczne układy materiałowe ścian dwuwarstwowych
Fig. 1. The characteristic material systems of double-layer walls

3. MOSTKI CIEPLNE – ZŁĄCZA ŚCIAN DWUWARSTWOWYCH

Mostkami cieplnymi nazywamy obszary w obudowie zewnętrznej budynku, które w większym stopniu przewodzą ciepło od wewnątrz na zewnątrz niż przegroda poza tymi miejscami. Temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody w obszarze mostka cieplnego jest niższa niż w pozostałych częściach elementu budowlanego.

Mostki cieplne znajdują się w każdym budynku. Ich ilość oraz wielkość dodatkowych strat spowodowanych ich obecnością w znacznym stopniu wynika z zastosowanego rozwiązania projektowego, a także sposobu i dokładności wykonania przegrody. Miejscami szczególnie narażonymi na powstanie mostków termicznych są:

- naroża ścian zewnętrznych budynku,
- ościeża otworów okiennych i drzwiowych,
- nadproża okienne i podokienniki,
- połączenia ścian zewnętrznych ze ścianami wewnętrznymi,
- połączenia płyty balkonowej ze ścianą zewnętrzną,
- połączenia ścian zewnętrznych ze stropodachem lub dachem,
- słupy żelbetowe w ścianach murowanych,
- wieńce ścian zewnętrznych,
- połączenia ścian wewnętrznych ze stropodachem,
- przebicia warstw izolacyjnych elementem o dużej przewodności cieplnej.

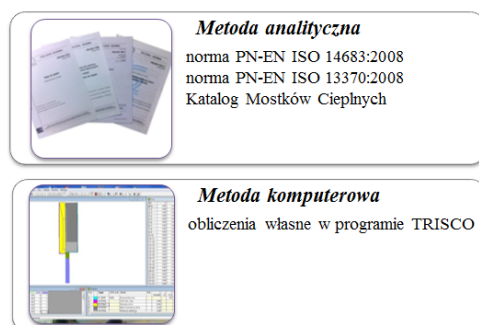
Podstawowym celem analizy mostka termicznego jest wyznaczenie rozkładu temperatur w rozpatrywanym złączu, a szczególnie minimalnej temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody $\theta_{si,min}$ [°C]. Po przyjęciu warunków brzegowych, na podstawie minimalnej temperatury w złączu, wyznaczany jest czynnik temperaturowy f_{Rsi} [-].

Kolejny parametr to wyznaczenie dodatkowych strat ciepła, które powstają w przypadku występowania w elemencie mostków cieplnych, określanych za pomocą liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)]. Liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka liniowego Ψ określa wartość strumienia cieplnego wywołanego przez mostek, w odniesieniu do strumienia cieplnego płynącego w polu jednowymiarowym. Podaje się go na długość mostka $l = 1,0m$. Jego charakterystyczną cechą jest współczynnik Ψ .

Wpływ mostków termicznych na parametry cieplne przegród zewnętrznych możemy uwzględnić przy wykorzystaniu metod analitycznych (norma PN-EN ISO

14683:2008 [11], katalogi mostków cieplnych, np.[2], [6]), jak również przy pomocy metod komputerowych.

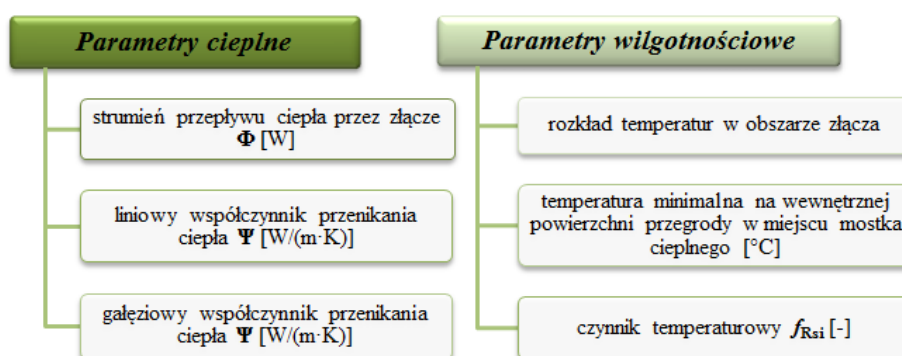
Wartości współczynnika Ψ przyjmowane na podstawie normy i katalogu mostków cieplnych są niepełne i mało precyzyjne, przez co niepewność wyników może wynosić nawet do 50% w przypadku orientacyjnych wartości wg normy oraz 20% dla wartości przyjmowanych z katalogu (rys. 2).



Rys. 2. Sposoby określania wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ

Fig. 2. Methods for determining the value of the linear heat transfer coefficient Ψ

Do określenia charakterystyki mostka cieplnego wyznacza się określone parametry, które można podzielić na dwie grupy zgodnie z rysunkiem 3.



Rys. 3. Parametry charakteryzujące mostki cieplne

Fig. 3. The parameters characterizing the thermal bridges

Norma PN-EN ISO 14683:2008 [11] oraz katalogi mostków cieplnych nie wyczerpują wszystkich rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych ścian zewnętrznych i ich złączy, dlatego zasadne staje się wykorzystanie indywidualnych obliczeń numerycznych przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO.

4. OBLICZENIA PARAMETRÓW MOSTKÓW CIEPLNYCH ŚCIAN DWUWARSTWOWYCH

W celu przedstawienia parametrów cieplno-wilgotnościowych mostków termicznych przeprowadzono analizę numeryczną przy wykorzystaniu programu komputerowego TRISCO. Na ocenę parametrów cieplnych i wilgotnościowych danego złącza pozwalają generowane przez program dane wyjściowe, zawierające wyniki w postaci graficznej i tekstowej. Do obliczeń wytypowano następujące złącza ścian zewnętrznych dwuwarstwowych:

- narożnik ścian zewnętrznych,
- połączenie ściany zewnętrznej z wewnętrzną,
- połączenie ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec,
- połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże,
- połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez podokiennik,
- połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę,
- połączenie ściany zewnętrznej ze stropodachem,
- połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie.

Obliczenia oraz karty katalogowe wykonano dla dwóch wariantów warstwy konstrukcyjnej:

- wariant I – beton komórkowy gr. 24 cm + styropian gr. 15 cm,
- wariant II – bloczek wapienno-piaskowy gr. 24 cm + styropian 15 cm.

Szczegółowe procedury obliczeniowe analizy numeryczne rozpatrywanych złączy przedstawiono w pracach [1], [4].

4.1. ZAŁOŻENIA WSTĘPNE

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- zasady modelowania złączy zgodnie z PN-EN ISO 10211:2008 [10] (opisane szczegółowo np. w pracach [1], [2]),
- temperatura powietrza wewnętrznego $t_i = 20^\circ\text{C}$ oraz zewnętrznego $t_e = -20^\circ\text{C}$,
- wartości współczynnika przejmowania ciepła h_i , h_e [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$], przyjęto w zależności od wyznaczanego parametru złącza, zgodnie z rysunkiem 4,
- przyjęto siatkę podziału równą 1 cm.

Obliczenie współczynnika przenikania ciepła ψ	Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej f_{Rsi}
<input type="checkbox"/> wg PN-EN ISO 6946:2008	<input type="checkbox"/> wg PN-EN ISO 13788:2008
<input type="checkbox"/> na powierzchni wewnętrznej: - przepływ poziomy: $h_i = 7,69 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$ - przepływ w górę: $h_i = 10,00 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$ - przepływ w dół: $h_i = 5,88 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$	<input type="checkbox"/> na powierzchni wewnętrznej: - oszklenia i ramy: $h_i = 7,69 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$ - inne elementy: $h_i = 4,00 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$
<input type="checkbox"/> na powierzchni zewnętrznej: - $h_e = 25,00 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$	<input type="checkbox"/> na powierzchni zewnętrznej: - $h_e = 25,00 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$

Rys. 4. Wartości współczynnika przejmowania ciepła
Fig. 4. The value of heat transfer coefficient

4.2. WYNIKI OBLICZEŃ DLA WYBRANYCH MOSTKÓW CIEPLNYCH

Posługując się programem komputerowym TRISCO uzyskano wyniki obliczeń, które pozwoliły na wyznaczenie wartości liniowych współczynników przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)] oraz czynnika temperaturowego f_{Rsi} [-] dla typowych mostków cieplnych występujących w przegrodzie zewnętrznej budynku. Wyniki przeprowadzonych obliczeń dla rozpatrywanych złączy zestawiono w tabeli 1.

Na podstawie obliczeń parametrów cieplnych oraz wilgotnościowych sporządza się karty katalogowe dla rozpatrywanych złączy budowlanych. Na rysunku 5 przedstawiono przykładową kartę katalogową dla złącza połączenia ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże dla ściany dwuwarstwowej z betonu komórkowego gr. 24 cm z warstwą izolacji cieplnej gr. 10, 12 i 15 cm.

Wartość parametrów cieplno-wilgotnościowych złączy ścian dwuwarstwowych zależą od:

- przyjętych warunków brzegowych wg zasad modelowania złączy,
- temperatury powietrzna wewnętrznego i zewnętrznego,
- parametrów materiałowych złącza,
- przyjętej grubości izolacji cieplnej elementów konstrukcyjnych.

Tabela 1. Zestawienie wyników obliczeń mostków cieplnych ściany zewnętrznej [1]

Table 1. Summary of the results of calculation of thermal bridges in the exterior wall [1]

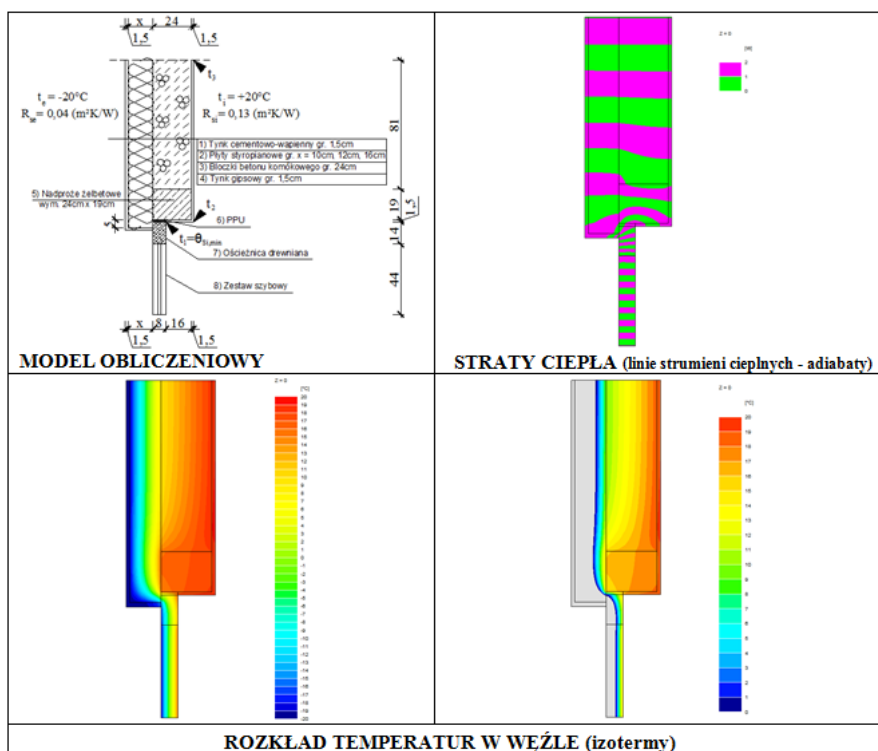
Lp.	Mostek cieplny	Wariant I U = 0,195 [W/(m ² ·K)]		Wariant II U = 0,226 [W/(m ² ·K)]	
		Ψ_i [W/(m·K)]	f_{Rsi} [-]	Ψ_i [W/(m·K)]	f_{Rsi} [-]
1	Narożnik ścian zewnętrznych	0,079	0,880	0,109	0,877
2	Połączenie ściany zewnętrznej z wewnętrzną	0,056	0,945	0,065	0,944
3	Połączenie ściany ze stropem w przekroju przez wieniec	0,076	0,944	0,070	0,945
4	Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże	0,081	0,819	0,078	0,819
5	Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez podokiennik	0,041	0,810	0,062	0,812
6	Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę	0,060	0,816	0,069	0,818
7	Połączenie ściany zewnętrznej ze stropodachem	0,031	0,839	0,092	0,801
8	Połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie	0,103	0,859	0,181	0,814

Ściana zewnętrzna w przekroju przez nadproże

Karta katalogowa DB-N

Lp.	Układ warstw węzła	d_i [m]	λ_i [W/(m·K)]
1	Tynk cementowo-wapienny	0,015	1,00
2	Styropian EPS-70	x)	0,04
3	Błoczki betonu komórkowego	0,24	0,21
4	Tynk gipsowy	0,015	0,40
5	Nadproże żelbetowe	0,19	2,5
6	PPU	0,015	0,035
7	Ościeżnica drewniana	0,08	0,16
8	Zestaw szybowy	0,08	0,075
x) Wyniki parametrów dla $d_2=0,10m$, $d_2=0,12m$ i $d_2=0,15m$			

Parametry cieplne węzła				
d_2	[m]	0,10	0,12	0,15
U_s	[W/(m ² ·K)]	0,259	0,229	0,195
Φ	[W]	35,010	33,630	32,160
Φ_s	[W]	14,260	12,900	11,450
Φ_o	[W]	20,750	20,730	20,710
L^{2D}	[W/(m·K)]	0,875	0,841	0,804
Ψ_i	[W/(m·K)]	0,075	0,077	0,081
Ψ_e	[W/(m·K)]	0,075	0,077	0,081
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: $t_e=-20^{\circ}\text{C}$, $t_i=20^{\circ}\text{C}$)				
t_1	[°C]	12,74	12,74	12,75
t_2	[°C]	17,35	17,56	17,76
t_3	[°C]	17,51	17,79	18,11
Ocena ryzyka rozwoju pleśni wg PN-EN ISO 13788				
$\theta_{si,min}$	[°C]	12,74	12,74	12,75
f_{Rsi}	[-]	0,819	0,819	0,819



Rys. 5. Przykładowa karta katalogowa mostka cieplnego [1]

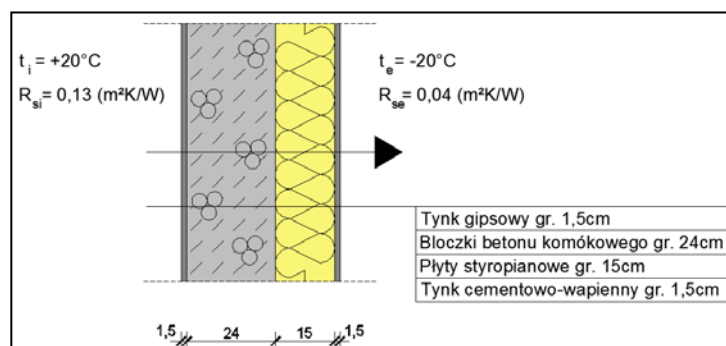
Fig. 5. Example of catalog card for thermal bridge [1]

5. OCENA WPŁYWU MOSTKÓW CIEPLNYCH NA STRATY CIEPŁA PRZEZ ŚCIANĘ ZEWNĘTRZNĄ BUDYNKU

Mostki termiczne mają znaczny wpływ na parametry cieplne ściany zewnętrznej np. współczynnik przenikania ciepła U_k [$W/(m^2 \cdot K)$] z uwzględnieniem mostków cieplnych.

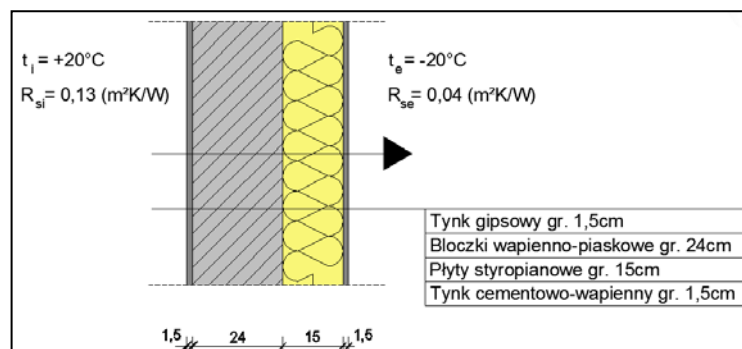
5.1. OBLICZENIE WSPÓŁCZYNNIKA PRZENIKANIA CIEPŁA U_c wg PN-EN ISO 6946:2008 [9]

Do analizy wybrano ściany: zewnętrzną dwuwarstwową z betonu komórkowego (rys. 6) oraz bloczku wapienno-piaskowego (rys. 7) ocieplone styropianem gr. 15cm.



Rys. 6. Model obliczeniowy ściany dwuwarstwowej z betonu komórkowego [1]

Fig. 6. Calculation model of double-layer walls made of cellular concrete [1]



Rys. 7. Model obliczeniowy ściany dwuwarstwowej z bloczków wapienno-piaskowych [1]

Fig. 7. Calculation model of double-layer walls made of sand-lime bricks

Obliczenia współczynnika przenikania ciepła U_c [$W/(m^2 \cdot K)$] przeprowadzono zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [9]. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła
Table 2. The results of calculation of heat transfer coefficient

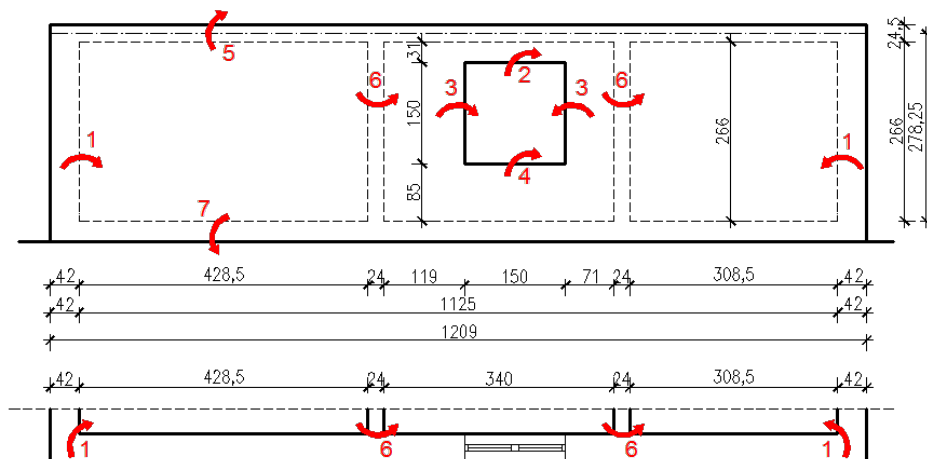
Wariant	Warstwy materiałowe	U_c [W/(m ² ·K)]
I	<ul style="list-style-type: none"> tynk gipsowy gr. 1,5 cm beton komórkowy gr. 24 cm styropian gr. 15 cm tynk cementowo-wapienny gr. 1,5 cm 	0,195
II	<ul style="list-style-type: none"> tynk gipsowy gr. 1,5 cm błoczki wapienno-piaskowe gr. 24 cm styropian gr. 15 cm tynk cementowo-wapienny gr. 1,5 cm 	0,226

5.2. OKREŚLENIE WSPÓŁCZYNNIKA PRZENIKANIA CIEPŁA Z UWZGLĘDNIENIEM MOSKTKÓW CIEPLNYCH U_k [W/(m²·K)]

Obliczenia wykonano dla ściany budynku jednorodzinnego, ograniczonej przez przegrody do niej prostopadłe, takie jak: ściany zewnętrzne, strop i podłoga na gruncie. Pole powierzchni ściany zewnętrznej biorącej udział w przenikaniu A_i [m²], współczynniki Ψ_i [W/(m·K)] (podane w tabeli 3) oraz długości mostków cieplnych l_i [m] przyjęto na podstawie wymiarów wewnętrznych budynku podanych na rys.8. Przy obliczaniu pola powierzchni A_{oi} [m²] uwzględniono wymiary ściany po obrysie ścian zewnętrznych oraz wysokość parteru do osi stropu.

Obliczenie współczynnika przenikania ciepła U_k [W/(m²·K)] z uwzględnieniem mostków cieplnych dla ściany zewnętrznej parteru przedstawiono w dwóch wariantach:

- I wariant – warstwa konstrukcyjna wykonana z betonu komórkowego gr. 24 cm + styropian gr. 15 cm
- II wariant – warstwa konstrukcyjna wykonana z bloczków wapienno-piaskowych gr. 24 cm + styropian 15 cm.



Rys. 8. Schemat ściany zewnętrznej parteru z oznaczonymi mostkami cieplnymi [1]

Fig. 8. Diagram of the exterior wall on the ground floor with marked thermal bridges [1]

Tabela 3. Parametry mostków cieplnych

Table 3. Parameters of thermal bridges

Lp.	Mostek cieplny	l_i [m]	Ψ_i [W/(m·K)]	
			variant	
			I	II
1	Narożnik ściany zewnętrznej	2,66	0,079	0,109
2	Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez nadproże	1,50	0,081	0,078
3	Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez ościeżnicę	$2 \cdot 1,5 = 3,0$	0,060	0,069
4	Węzeł połączenia ściany z oknem w przekroju przez podokiennik	1,50	0,041	0,062
5	Węzeł połączenia ściany ze stropem	11,25	0,076*	0,070*
6	Połączenie ściany zewnętrznej z wewnętrzną	$2 \cdot 2,66 = 5,32$	0,056	0,065
7	Połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie	11,25	0,103**	0,181**
*) dla połączenia ściany ze stropem do obliczeń zastosowano gałęziowy współczynnik przenikania ciepła dla dolnej części złącza Ψ_{id} , **) dla połączenia ściany z podłogą na gruncie do obliczeń zastosowano gałęziowy współczynnik przenikania ciepła dla ściany $\Psi_{se,i}$.				

Obliczenia współczynnika przenikania ciepła U_k [W/(m²·K)] dla ściany zewnętrznej z oknem dla obu wariantów wykonano według własnego algorytmu [3], [5]. Wyniki obliczeń zestawiono poniżej w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki obliczeń

Table 4. The results of calculations

Charakterystyczne parametry	Wyznaczone wartości	
	Wariant I	Wariant II
Współczynnik przenikania ciepła U_c [W/(m ² ·K)]	0,195	0,226
Pole powierzchni elementu i obudowy A_i [m ²]:	26,398	
Straty ciepła przez pełną ścianę zewnętrzną budynku $U_c \cdot A_i$ [W/K]:	5,148	5,966
Wpływ mostków termicznych na straty ciepła $\sum \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]:	2,886	3,876
Straty ciepła przez ścianę zewnętrzną wyrażone za pomocą współczynnika sprzężenia cieplnego $H_D = U_c \cdot A_i + \sum \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]:	8,034	9,842
Powierzchnia ściany liczona w osiach przegród do niej prostopadłych A_{oi} [m ²]:	31,396	
Współczynnik przenikania ciepła U_k uwzględniający wpływ mostków cieplnych $U_k = H_D / A_{oi}$ [W/(m ² ·K)]	0,256	0,313

6. PODSUMOWANIA I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz można sformułować następujące wnioski:

1. Kompleksowa ocena ścian zewnętrznych powinna dotyczyć jednocześnie przegrody i jej złączy według kryterium cieplnego i wilgotnościowego. Ich równoczesne stosowanie daje możliwość wyboru poprawnych rozwiązań ścian zewnętrznych.
2. Przy zaprojektowaniu ściany zewnętrznej i jej złączy w zakresie fizyki budowli niezbędne jest zastosowanie programu komputerowego w celu określenia parametrów cieplno-wilgotnościowych mostków termicznych.
3. Wpływ mostków cieplnych na straty ciepła przez ścianę zewnętrzną jest znaczący (tabela 5). Pomijanie ich w obliczeniach jest nie uzasadnione.

Tabela 5. Straty ciepła przez ścianę zewnętrzną

Table 5. The heat loss through the exterior wall

Procedura obliczania strat ciepła przez przenikanie	Wariant I	Wariant II
Straty ciepła przez pełną ścianę zewnętrzną: $U_c \cdot A_i$ [W/K]	5,148 (64%)	5,966 (61%)
Straty ciepła wywołane występowaniem mostków cieplnych: $\sum \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]	2,886 (36%)	3,876 (39%)
Współczynnik przenoszenia ciepła między przestrzenią ogrzewaną a środowiskiem zewnętrznym przez obudowę: $H_D = U_c \cdot A_i + \sum \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]	8,034 (100%)	9,842 (100%)

4. Analizowane ściany zewnętrzne spełniają podstawowy warunek cieplny w zakresie współczynnika przenikania ciepła U [W/(m²·K)] ($U \leq U_{\max.}$). Jednak przegroda (wariant II) nie spełniała wymagania niższej wartości $U_{\max.} = 0,20$ W/(m²·K) proponowanej w projekcie Rozporządzenia [7].
5. Złącza ścian zewnętrznych (wariant I i II) spełniają wymaganie w zakresie uniknięcia ryzyka kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody, ponieważ spełniony jest warunek $f_{Rsi} \geq f_{Rsi(max)}$. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego uwzględniając parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych, wynosi $f_{Rsi(max)} = 0,778$.

Autorzy pracy proponują określenie w Rozporządzeniu [7] wartości granicznych liniowego współczynnika przenikania ciepła dla mostków cieplnych np. na poziomie $\Psi_{\max.} = 0,10$ W/(m·K). Spowoduje to niedopuszczenie błędnych rozwiązań materiałowych złączy budowlanych do stosowania w budownictwie.

LITERATURA

- [1] Dybowska M., 2012. Analiza numeryczna parametrów cieplnych wybranych przegród zewnętrznych budynku i ich złączy, praca dyplomowa magisterska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz.
- [2] Dylla A., 2009. Praktyczna fizyka budowli. Szkoła projektowania złączy bu-

- dowlanych. Wydawnictwo Uczelniane UTP Bydgoszcz.
- [3] Pawłowski K., 2008. Efektywność zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym, rozprawa doktorska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz.
 - [4] Pawłowski K., Dybowska M., 2012. Analiza numeryczna parametrów cieplno-wilgotnościowych złączy ścian zewnętrznych. Czasopismo Izolacje 10.
 - [5] Pawłowski K., Kończal K., 2010. Procedury projektowe dotyczące ścian zewnętrznych jednowarstwowych w świetle różnych wymagań cieplnych. Izolacje 11,12.
 - [6] Pogorzelski J.A., 2003. Katalog mostków cieplnych. Budownictwo tradycyjne. Wyd. ITB, Warszawa.
 - [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U z 2008 r. nr 201, poz. 1238 ze zm.).
 - [8] PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaryczne wartości obliczeniowe.
 - [9] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
 - [10] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
 - [11] PN-EN ISO 14683:2008 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL PARAMETERS OF DOUBLE-LAYER EXTERIOR WALLS AND THEIR JOINTS

Streszczenie

W artykule przeprowadzono szczegółową analizę porównawczą parametrów cieplnych dwuwarstwowych ścian zewnętrznych i ich złączy. Przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych wybranych mostków cieplnych. Określono wpływ mostków cieplnych na parametry ściany zewnętrznej.

SUMMARY

This article includes a detailed comparative analysis conducted for thermal parameters of double-layer exterior walls and their joints. It presents the results of some numerical calculations of selected thermal bridges. It defines the influence of thermal bridges on the parameters of the exterior wall.