

dr inż. Jacek Dębowski<sup>1\*)</sup>  
mgr inż. Katarzyna Nowak-Dziesko<sup>1)</sup>  
mgr inż. Małgorzata Rojewska-Warchał<sup>1)</sup>

# Analiza mostków termicznych w złączach systemowych budynków wielkopłytowych w systemie W70

## *Analysis of thermal bridges in the joints of W70 prefabricated panel buildings*

DOI: dx.doi.org/10.15199/33.2014.12.12

**Streszczenie.** Powszechnie wiadomo, że zabiegi termomodernizacyjne istniejących budynków prowadzą do redukcji zużycia energii na cele ogrzewania. W ostatnich kilkudziesięciu latach zabiegom takim poddano tysiące budynków wielorodzinnych wzniesionych w technologii wielkiej płyty w latach 60. i 70. XX wieku. Jednym z głównych problemów w tego typu budynkach jest występowanie złączy systemowych, które są nierzadkimi punktami konstrukcji, tzw. mostkami termicznymi. W artykule przedstawiono analizę wybranych mostków w miejscach złączy systemowych budynku w systemie W70.

**Słowa kluczowe:** budynek wielkopłytowy, system W70, mostki cieplne, złącza systemowe, AnTherm.

**Abstract.** It is commonly known that the thermal modernization works result in reduction of heating energy need. In the last tens of years thousands of multi-family buildings built in sixties and seventies of XX century have been thermally renovated. One of the main problems in these kind of building in presence of joints between prefabricated panels. Those are the weak points of the construction, thermal bridges where significant heat losses are noticeable. In the article the analysis of thermal bridges in the connection joints, between prefabricated elements of W70 system building, has been presented.

**Keywords:** panel building, W70 system, thermal bridges, system joints, AnTherm.

W latach dziewięćdziesiątych XX wieku rozpoczął się wielki boom na termomodernizację budynków, a w efekcie na oszczędność energii. Wciąż zmieniające się wymagania termiczne spowodowały, że budynki systemowe, które jako jedne z pierwszych zostały poddane termomodernizacji, wymagają obecnie ponownego docieplenia bądź remontu, ponieważ grubość warstwy termoizolacji, zastosowanej 15 lat temu (wówczas na ogół 5 cm) nie spełnia obecnych wymagań WT [1], a ponadto jakość wykonania ocieplenia wymusza jego naprawę. Głównym kryterium podczas tzw. szeroko rozumianej termomodernizacji budynków systemowych jest poprawa charakterystyki energetycznej ścian, w ramach której podejmowane są jedynie działania dociepleniowe. Pomijana jest zwykle kompleksowa analiza cieplna obudowy budynku z uwzględnieniem tak istotnego w bilansie energetycznym wpływu mostków cieplnych, występujących przede wszystkim w miejscach połączeń systemowych.

<sup>1)</sup> Politechnika Krakowska, Zakład Budownictwa i Fizyki Budowli

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji:  
e-mail: jdebowski@pk.edu.pl

### Mostki cieplne

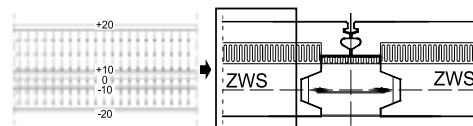
Podczas projektowania izolacyjności cieplnej przegród budowlanych przyjmowane jest najczęściej tylko kryterium grubości izolacji termicznej dobieranej tak, aby spełnione były wymagania WT [1] dotyczące wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  (od 1 stycznia 2014 r. wartość  $U$  ściany zewnętrznej nie powinna przekraczać  $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Wymagana obecnie wartość współczynnika przenikania ciepła będzie ulegała kolejnym zmianom –  $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$  od 1 stycznia 2017 r. i  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$  od 1 stycznia 2021 r. Nie jest to do końca właściwa interpretacja, gdyż zgodnie z zasadami fizyki budowli o izolacyjności przegrody nie decyduje wartość współczynnika  $U$ , lecz tzw. gęstość strumienia cieplnego. Ponadto najczęściej rozważana jest tylko płaska przegroda jednorodna lub warstwowa złożona z materiałów jednorodnych o stałej grubości, w której przepływ ciepła (strumień) jest jednowymiarowy i wtedy jego gęstość określa się wzorem:

$$q = U (t_i - t_e) \quad (1)$$

gdzie:

$q$  – gęstość strumienia cieplnego [ $\text{W/m}^2$ ];  
 $U$  – współczynnik przenikania ciepła [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ];  
 $t_i$  – obliczeniowa temperatura wewnętrzna [K];  
 $t_e$  – obliczeniowa temperatura zewnętrzna [K].

W tak określonym sposobie przepływu ciepła przez przegrodę izotermy są równoległe, natomiast linie gęstości strumienia cieplnego prostopadłe do powierzchni przegrody (rysunek 1).



**Rys. 1.** Rozkład temperatury oraz gęstości strumienia cieplnego w przegrodzie jednorodnej oraz miejsce w elemencie wielkopłytowym, w którym ten rozkład może zostać uwzględniony

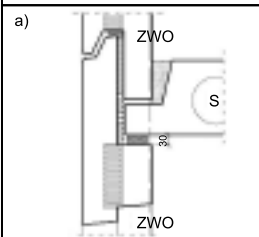
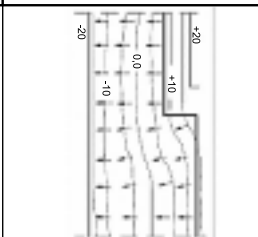

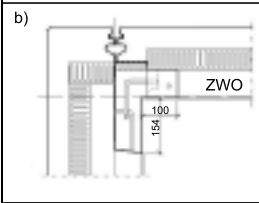
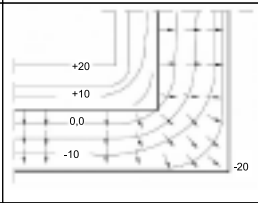

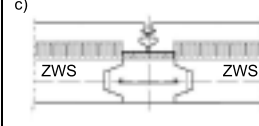
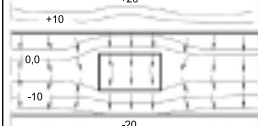
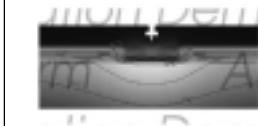
W rzeczywistych przegrodach budowlanych, a szczególnie w budynkach systemowych, występują przypadki odbiegające od schematu przegrody jednorodnej. W wyniku zmian geometrii wymuszonych konstrukcyjnie lub materiałowo, w przegrodzie może występować dwu- lub trójwymiarowy przepływ ciepła, a wszelkie tego typu odstępstwa prowadzą do odchylenia izoterm i linii gęstości strumienia cieplnego w stosunku do układu pokazanego na rysunku 1. Prowadzi to również do znacznych zaburzeń rozkładu temperatury w i na powierzchni przegrody. Na rysunku 2 pokazano przykładowe zaburzenia prze-

plywu strumienia. Ponadto w budownictwie wielkopłytkowym występują systemowe złącza, czyli liniowe mostki (rysunek 2), systemowe wieszaki i szpilki o dużej przewodności cieplnej, łączące warstwę fakturową z warstwą nośną, a przebijające warstwę izolacyjną, czyli punktowe mostki (rysunek 3). Ponadto przy dociepleniu i wzmocnieniu pojawiają się dodatkowe kotwy do mocowania warstw izolacji lub płyt osłonowych powodujące zwielokrotnienie tego efektu (fotografia). Wpływ złączy uwzględnia się, wskazując liczbę liniowych mostków, a wpływ wieszaków i szpilek w postaci tzw. poprawek obliczanych na podstawie Załącznika D do normy PN-EN ISO 6946 [2].

W miejscach występowania mostków cieplnych temperatura powierzchni wewnętrznej przegrody jest dużo niższa od temperatury przegrody, co zwiększa ryzyko pojawienia się tam pleśni. Ocenia się je wg PN-EN 13788 [3] na podstawie wartości bezwymiarowego współczynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$ , będącego funkcją temperatury wewnętrznej, zewnętrznej oraz temperatury powierzchni przegrody  $\theta_{si}$ , która zależy od mikroklimatu wewnątrz pomieszczenia.

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (2)$$

gdzie:  
 $\theta_{si}$  – temperatura wewnętrznej powierzchni przegrody zewnętrznej [°C];  
 $\theta_i$  – temperatura wewnętrzna [°C];  
 $\theta_e$  – temperatura zewnętrzna [°C].

Rzeczywisty przypadek węzła systemowego	Uproszczone, możliwy do wyboru, wg [4], schemat rozkładu izoterm	Rzeczywisty schemat rozkładu izoterm występujący w węźle
a) 		
b) 		
c) 		

Rys. 2. Przykłady typowych węzłów systemowych w korelacji z możliwymi, uproszczonymi schematami rozkładu izoterm oraz rzeczywisty ich rozkład zamodelowany w programie AnTherm; a) zmienna grubość elementu; b) narożnik ścian; c) przegroda niejednorodna pod względem materiałowym

spełnione, jeśli wartość współczynnika  $f_{Rsi}$  jest większa od jego minimalnej wartości  $f_{Rsimin}$  podanej w przepisach budowlanych lub normie narodowej. Zgodnie z WT [1], dopuszcza się przyjmowanie minimalnej wartości  $f_{Rsi} = 0,72$ .

### Analiza wybranych mostków systemowych

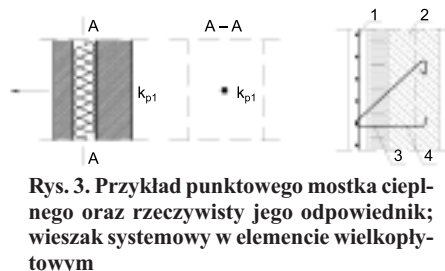
Głównym celem analizy mostka termicznego jest wyznaczenie rozkładu temperatury w analizowanym złączu oraz minimalnej temperatury powierzchni wewnętrznej lub zewnętrznej  $\theta_{si,min}$ . Po przyjęciu warunków brzegowych, na podstawie minimalnej temperatury w analizowanym węźle, określany jest czynnik  $f_{Rsi}$ . Kolejny etap to wyznaczenie dodatkowych strat ciepła, występujących w miejscu mostków cieplnych, określanych za pomocą liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\Psi$  [W/mK]. Na podstawie wzoru (3) można wyznaczyć współczynnik strat ciepła w wyniku przenikania przez obudowę budynku. Pierwsza część równania opisuje jednowymiarowy przepływ ciepła przez pole powierzchni  $A$  przegrody o współczynniku przenikania ciepła  $U$ , a druga dodatkowe straty ciepła przez mostek o współczynniku przenikania ciepła  $\Psi$  i długości  $l$ .

$$H_{tr} = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_i l_i \cdot \psi_i \quad (3)$$

gdzie:  
 $A_i$  – pole powierzchni  $i$ -tej przegrody [m<sup>2</sup>];  
 $U_i$  – współczynnik przenikania ciepła  $i$ -tej przegrody [W/m<sup>2</sup>K];  
 $l_i$  – długość  $i$ -tego liniowego mostka cieplnego [m];  
 $\psi_i$  – liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego [W/mK].

Wartości współczynników  $\Psi$  mogą być przyjmowane na podstawie normy PN-EN ISO 14683 [4]. Są one jednak mało precyzyjne i nie wyczerpują wszystkich rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, przede wszystkim typowych tylko dla konstrukcji prefabrykowanych złączy systemowych, dlatego uzasadnione jest wykorzystanie metod numerycznych przy analizie tego typu złączy.

W artykule przedstawiono wyniki analizy trzech złączy systemowych, które będą częścią tworzonego przez autorów katalogu mostków systemowych. Żaden z tych przykładów nie występuje w budownictwie tradycyjnym, gdyż detale te są charakterystyczne dla budynków z wielkiej płyty wzniesionych w systemie W70. W każdym przypadku przeprowadzono obliczenia czterech wariantów



Rys. 3. Przykład punktowego mostka cieplnego oraz rzeczywisty jego odpowiednik; wieszak systemowy w elemencie wielkopłytkowym



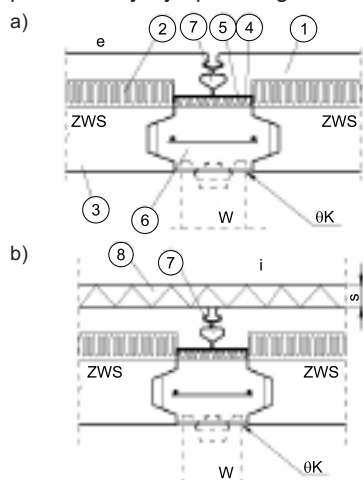
Kotew wzmocniająca ścianę osłonową oraz kołek do mocowania izolacji

Ponadto na podstawie minimalnej dopuszczalnej temperatury powierzchni  $\theta_{si,min}$ , poniżej której wilgotność względna na powierzchni przekroczy wartość 80%, określa się minimalny czynnik temperaturowy  $f_{Rsimin}$  w poszczególnych miesiącach roku, a krytycznym miesiącem jest ten, w którym wymagana wartość  $f_{Rsimin}$  jest największa. Im większa jest wartość współczynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$ , tym wyższa wartość temperatury  $\theta_{si}$ , a ryzyko kondensacji powierzchniowej mniejsze. Wymaganie dotyczące zabezpieczenia przed powstaniem pleśni jest

tów: ściana wewnętrzna bez docieplenia; ściana zewnętrzna ocieplona odpowiednio warstwą styropianu 5, 10, 15 cm. Analizę parametrów ciepło-wilgotnościowych wybranych mostków termicznych przeprowadzono za pomocą programu AnTherm. Do obliczeń, jako  $\theta_e$  przyjęto, zgodnie z PN-EN ISO 13788:2003P [3], średnią miesięczną temperaturę termometru suchego z klimatycznych danych statystycznych dla stacji meteorologicznej Kraków-Balice, wynoszącą -2,6 °C. Natomiast jako  $\theta_i$  przyjęto wg WT [1] wartość 20 °C. Dodatkowo w omawianych przykładach uwzględniono maksymalną wartość wilgotności względnej powietrza wewnętrznego  $\varphi_{1,max}$ , przy której nie pojawi się ryzyko powstania pleśni.

**Złącze nr 1 – Połączenie pionowe ścian szczytowych (ze ścianą zewnętrzną).** Detal złącza systemowego nr 1 przedstawiono na rysunku 4, parametry materiałów w tabeli 1, a wyniki obliczeń w tabeli 2. Z analiz złącza nr 1 wynika, że:

- wartość współczynnika przenikania ciepła uległa znacznej poprawie; docieplenie ściany styropianem grubości 5 cm



Rys. 4. Detal złącza systemowego nr 1: przed dociepleniem (a) i po dociepleniu (b)

Tabela 1. Parametry materiałów złącza nr 1

Oznaczenia z rys. 4	Nazwa materiału	Grubość d [cm]	Współczynnik $\lambda$ [W/mK]
1	Warstwa fakturowa	6	1,7
2	Izolacja	6	0,05
3	Warstwa nośna beton	15	1,7
4	Izolacja	2	0,05
5	Papa	–	0,18
6	Wypełnienie węzła	–	1,7
7	Niewentylowana pustka	–	0,22
8	EPS fasada	s	0,04

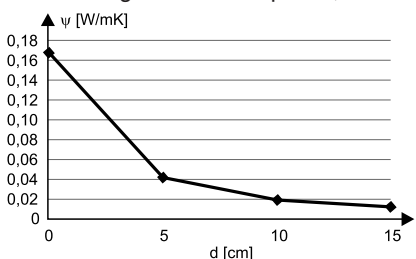
Tabela 2. Wyniki obliczeń złącza nr 1

Parametry w zależności od grubości docieplenia				
$\lambda$ [W/mK]	0,04			
s [cm]	0	5	10	15
U [W/m <sup>2</sup> K]	0,669	0,364	0,25	0,191
$\Psi_e$ [W/mK]	0,169	0,042	0,019	0,012
$\theta_K$ [°C]	17,15	18,62	19,08	19,31
$f_{Rsi}$	0,87	0,94	0,96	0,97
$\varphi_{1,max}$ [%]	83,64	91,78	94,4	95,8

$\theta_K$  – temperatura w złączu;  
 $\varphi_{1,max}$  – wilgotność względna

zmniejszyło wartość U z 0,67 W/m<sup>2</sup>K do 0,36 W/m<sup>2</sup>K, a kolejne 5 cm styropianu obniżyło wartość do 0,25 W/m<sup>2</sup>K (spełnia ona wymagania WT obowiązujące od 1 stycznia 2014 r.). Docieplenie ściany izolacją grubości 15 cm zmniejszyłoby wartość U aż do 0,19 W/m<sup>2</sup>K (wartość obowiązująca od 1 stycznia 2021 r);

- wartość liniowego współczynnika  $\Psi_e$ , po dociepleniu przegrody styropianem grubości 10 cm, zmniejszyła się prawie dziesięciokrotnie z 0,17 do 0,019. Rysunek 5 przedstawia zależność wartości  $\Psi$  od grubości docieplenia;



Rys. 5. Zależność wartości współczynnika  $\Psi$  od grubości ocieplenia d

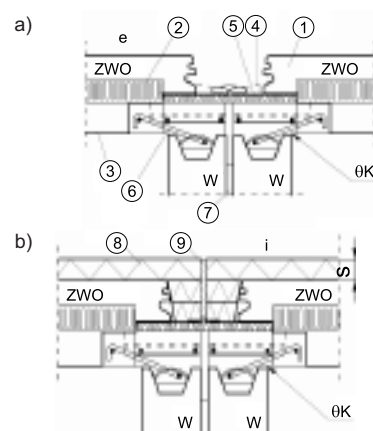
- temperatura powierzchni wewnętrznej wpływająca na ewentualne ryzyko rozwoju pleśni zwiększyła się z 17,2 °C do 18,6 °C, a następnie aż do wartości 19,3 °C. Czynnikiem temperaturowym w przypadku tego złącza we wszystkich przypadkach jest większy niż dopuszczalna wartość 0,72.

**Złącze nr 2 – Dylatacja pionowa.**

Na rysunku 6 przedstawiono złącze nr 2, a w tabeli 3 wyniki jego obliczeń. Z analiz złącza nr 2 wynika, że:

- wartość współczynnika przenikania ciepła zmniejszyła się z  $U = 0,69$  W/m<sup>2</sup>K do 0,37 W/m<sup>2</sup>K, dodanie 5 cm styropianu obniżyło wartość do 0,25 W/m<sup>2</sup>K, a kolejne 5 cm do 0,19 W/m<sup>2</sup>K;

- wartość liniowego współczynnika  $\Psi_e$ , po dociepleniu budynku styropianem grubości 10 cm, zmniejszyła się dziesięciokrotnie z 0,35 do 0,035;



Rys. 6. Detal złącza systemowego nr 2: przed dociepleniem (a) i po dociepleniu (b). Oznaczenia jak w tabeli 1, przy czym 9 – dylatacja pionowa

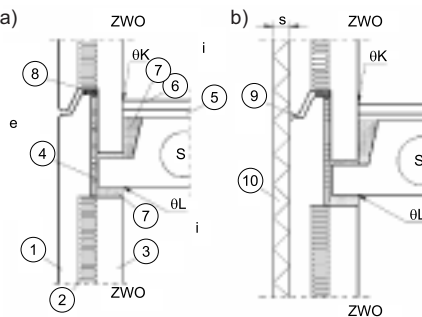
Tabela 3. Wyniki obliczeń złącza nr 2

Parametry w zależności od grubości docieplenia				
$\lambda$ [W/mK]	0,04			
s [cm]	0	5	10	15
U [W/m <sup>2</sup> K]	0,689	0,37	0,253	0,192
$\Psi_e$ [W/mK]	0,359	0,035	0,02	0,014
$\Psi_i$ [W/mK]	0,579	0,154	0,101	0,076
$\theta_K$ [°C]	16,6	18,72	19,14	19,34
$f_{Rsi}$	0,85	0,94	0,96	0,97
$\varphi_{1,max}$ [%]	80,8	92,3	94,5	96

- temperatura powierzchni wewnętrznej wpływająca na ewentualne ryzyko rozwoju pleśni wzrosła z 16,6 °C do 18,7 °C i kolejno aż do wartości 19,3 °C. Czynnikiem temperaturowym również w przypadku tego złącza we wszystkich przypadkach jest większy niż dopuszczalna wartość 0,72.

**Złącze nr 3 – Połączenie poziome ścian osłonowych z płytą stropową.**

przedstawiono na rysunku 7, parametry materiałów złącza w tabeli 4, a wyniki obliczeń w tabeli 5. Z analiz złącza nr 3 wynika, że zmiany wielkości analizowanych parametrów są podobne jak w dwóch poprzednich przykładach.



Rys. 7. Detal złącza systemowego nr 3: przed dociepleniem (a) i po dociepleniu (b), gdzie  $\theta_K$ ,  $\theta_L$  – temperatura w złączu

Tabela 4. Parametry materiałów złącza nr 3

Oznaczenia z rys. 7	Nazwa materiału	Grubość $d$ [cm]	Współczynnik $\lambda$ [W/mK]
1	Warstwa fakturowa	6	1,7
2	Izolacja	6	0,05
3	Warstwa nośna beton	8	1,7
4	Izolacja	2	0,05
5	Piłsnia	2	0,07
6	Zaprawa cementowa	3	1
7	Zaprawa cementowa	–	1
8	Materiał elastyczny	–	0,09
9	Szczelina niewentylowana	–	0,18
10	EPS fasada	s	0,04

Tabela 5. Wyniki obliczeń złącza nr 3

Parametry w zależności od grubości docieplenia				
$\lambda$ [W/mK]			0,04	
s [cm]	0	5	10	15
$U$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,689	0,37	0,253	0,192
$\Psi_e$ [W/mK]	0,293	0,065	0,029	0,016
$\Psi_f$ [W/mK]	0,444	0,165	0,1	0,076
$\theta K$ [°C]	16,54	18,49	19,01	19,27
$\theta L$ [°C]	16,77	18,58	19,07	19,31
$f_{Rsi}$	0,85	0,93	0,96	0,97
$\varphi_{max}$ [%]	80,5	90,91	94	95,5

### Ocena wpływu mostków na straty ciepła

Dokonano analizy strat ciepła przez prostokątny element o wymiarach 2 x 10 m, wzdłuż którego przebiega mostek długości 10 m (tabele 6 + 8). Zastosowanie docieplenia znacznie zredukowało straty ciepła w analizowanym elemencie. W przypadku 5 cm izolacji straty ciepła zmniejszyły się o połowę, a 15 cm izolacji, aż o 75%. Znaczny (11%, 21% i 18%) udział strat wywołanych występowaniem mostka przed dociepleniem został znacznie zredukowany już dociepleniem grubości 5 cm, natomiast w przypadku wariantu 15 cm wpływ ten mógłby być praktycznie pomijany. Przed zabiegami dociepleniowymi najbardziej widoczny udział mostka w bilansie energetycznym jest przy dylatacji pionowej (21%). Zastosowanie docieplenia „zamyka” mostek i praktycznie go eliminuje. W ostatnim analizowanym przypadku znaczny udział mostka w bilansie energetycznym przed zabiegami dociepleniowymi (18%) jest również minimalizowany

Tabela 6. Połączenie pionowe ścian szczytowych (ze ścianą zewnętrzną)

Charakterystyczne parametry	Grubość warstwy docieplenia [cm]			
	0	5	10	15
Pole powierzchni elementu [m <sup>2</sup> ]	20			
Długość analizowanego mostka [m]	10			
Straty ciepła przez element U·A [W/K]	13,4 (89%)	7,2 (95%)	5 (96%)	3,8 (97%)
Straty ciepła wywołane występowaniem mostków cieplnych $\Psi_{f,i}$ [W/K]	1,7 (11%)	0,4 (5%)	0,2 (4%)	0,1 (3%)
Całkowity współczynnik strat ciepła analizowanego elementu $H_{tr}$ [W/K]	15,1 (100%)	7,6 (100%)	5,2 (100%)	3,9 (100%)

Tabela 7. Dylatacja pionowa

Charakterystyczne parametry	Grubość warstwy docieplenia [cm]			
	0	5	10	15
Pole powierzchni elementu [m <sup>2</sup> ]	20			
Długość analizowanego mostka [m]	10			
Straty ciepła przez element U·A [W/K]	13,4 (79%)	7,2 (96%)	5 (96%)	3,8 (97%)
Straty ciepła wywołane występowaniem mostków cieplnych $\Psi_{f,i}$ [W/K]	3,6 (21%)	0,3 (4%)	0,2 (4%)	0,1 (3%)
Całkowity współczynnik strat ciepła analizowanego elementu $H_{tr}$ [W/K]	17 (100%)	7,5 (100%)	5,2 (100%)	3,9 (100%)

Tabela 8. Połączenie poziome ścian osłonowych z płytą stropową

Charakterystyczne parametry	Grubość warstwy docieplenia [cm]			
	0	5	10	15
Pole powierzchni elementu [m <sup>2</sup> ]	20			
Długość analizowanego mostka [m]	10			
Straty ciepła przez element U·A [W/K]	13,4 (82%)	7,2 (92%)	5 (94%)	3,8 (95%)
Straty ciepła wywołane występowaniem mostków cieplnych $\Psi_{f,i}$ [W/K]	2,9 (18%)	0,6 (8%)	0,3 (6%)	0,2 (5%)
Całkowity współczynnik strat ciepła analizowanego elementu $H_{tr}$ [W/K]	16,3 (100%)	7,8 (100%)	5,3 (100%)	4 (100%)

warstwą izolacyjną zastosowaną na powierzchni przegrody. Już przy 5 cm izolacji efekt jest znaczny.

### Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz stwierdzono, że:

- kompleksowa ocena cieplno-wilgotnościowa obudowy budynków wielkopłytowych powinna dotyczyć nie tylko elementów systemowych; ale również złączy między płytami;

- w przypadku skomplikowanych rozwiązań złączy, jakie występują w budynkach wielkopłytowych, do analizy mostków cieplnych niezbędne jest stosowanie programów komputerowych bazujących na metodzie elementów skończonych;

- stworzenie katalogu mostków cieplnych występujących w budynkach systemowych ułatwiłoby sporządzanie bilansu energetycznego budynków oraz analizę indywidualnych złączy;

- w przypadku przedstawionych w artykule detali, występujących wyłącznie w prefabrykowanych budynkach systemowych, zastosowanie ocieplenia w znacznym stopniu zredukowało ich wpływ na straty ciepła. Docieplenie bu-

dynku „zamyka” nieszczelności w miejscu złącz systemowych.

- wszystkie analizy prowadzono przy założeniu poprawnie wykonanego złącza; w rzeczywistości taka sytuacja nie zawsze występuje, dlatego też należy rozważyć błędne warianty wykonania (np. niepełne wypełnienie szczeliny przydylatacyjnej izolacją).

W artykule przedstawiono tylko trzy typowe złącza, które nie wyczerpują wszystkich możliwości. Należy rozważyć również takie, w których wykonanie jest trudne lub popełnia się najwięcej błędów, np. w obszarze stolarki okiennej.

### Literatura

- [1] Warunki Techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [2] PN-EN ISO 6946 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [3] PN-EN ISO 13788 Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej – Metody obliczania.
- [4] PN-EN ISO 14683 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.

Otrzymano 17.07.2014 r.