

ANALIZA NUMERYCZNA PARAMETRÓW CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWYCH ZŁĄCZY ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH Z PŁYTĄ BALKONOWĄ W ŚWIETLE NOWYCH WYMAGAŃ CIEPLNYCH

Monika DYBOWSKA-JÓZEFIAK*, Krzysztof PAWŁOWSKI, Maria WESOŁOWSKA

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy,
Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 5-796 Bydgoszcz

Streszczenie: W artykule przeprowadzono szczegółową analizę porównawczą parametrów cieplnych złączy dwuwarstwowych ścian zewnętrznych z płytami balkonowymi. Przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych wybranych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych. Do obliczeń numerycznych wytypowano złącze połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową przy różnym zastosowaniu układów warstw materiałowych. W celu przedstawienia parametrów cieplno-wilgotnościowych mostków termicznych przeprowadzono analizę numeryczną przy wykorzystaniu programu komputerowego TRISCO. Na podstawie otrzymanych wyników sformułowano wnioski praktyczne projektowo-wykonawcze. Określenie szczegółowe parametrów cieplnych za pomocą programu komputerowego tego typu złączy pozwala na miarodajne oszacowanie strat ciepła i rozkładu temperatur oraz uniknięcie błędów na etapie wykonywania i eksploatacji budynków.

Słowa kluczowe: balkony, analiza cieplno-wilgotnościowa, izolacja cieplna.

1. Wprowadzenie

Analiza cieplno-wilgotnościowa przegród zewnętrznych wymaga znajomości zagadnień z zakresu fizyki budowli, budownictwa ogólnego oraz materiałoznawstwa. Dotyczy to głównie:

- zasad przepływu ciepła przez przegrody i ich złącza w polu jednowymiarowym, dwuwymiarowym oraz trójwymiarowym;
- określenia parametrów technicznych stosowanych materiałów budowlanych (między innymi wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ w W/(m·K), współczynnika oporu dyfuzyjnego μ na podstawie norm przedmiotowych oraz udokumentowanych danych producentów);
- określania parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego;
- zasad konstruowania przegród zewnętrznych i ich złączy zgodnie z wymaganiami konstrukcyjnymi, przeciwpożarowymi i akustycznymi.

Dzięki wiedzy na temat procesów zachodzących w materiałach lub ich komponentach można obniżyć zapotrzebowanie budynków na energię, a także dobierać wyroby budowlane pod kątem ich oddziaływania na zdrowie i samopoczucie człowieka.

Ograniczenie zużycia energii w procesie eksploatacji budynków jest wyzwaniem dla projektantów nowych

budynków oraz stanowi problem przy modernizacji budynków istniejących. Mają na to wpływ przesłanki ekonomiczne, ekologiczne, a także konieczność wdrażania w budownictwie idei zrównoważonego rozwoju, ponieważ ilość energii zużywana na potrzeby eksploatacji budynków jest proporcjonalna do emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

W procesie projektowania obiektów budowlanych, niezbędna jest ponadto znajomość przepisów prawnych w zakresie ochrony cieplno-wilgotnościowej budynków, przegród zewnętrznych i ich złączy. W ciągu ostatnich lat w znaczący sposób zostały zaostrzone wymagania cieplne dla budynków w Polsce – WT 2015 (Wymagania, 2015). W związku z wprowadzeniem nowych wymagań izolacyjności cieplnej niezwykle ważne staje się w procesie projektowym poprawne wykonywanie szczegółowych obliczeń i analiz, które powinny być podstawą wyboru rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych.

Projektując przegrody zewnętrzne należy także pamiętać o uwzględnieniu dodatkowych strat ciepła spowodowanych występowaniem mostków cieplnych. Odpowiednia, szczegółowa analiza pozwala uniknąć błędów wykonawczych i realizacyjnych, a dokładne obliczenia parametrów mostków cieplnych są niezbędne między innymi do poprawnego wykonania charakterystyk energetycznych budynków i lokali. Prawidłowe

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: monikadybowska@op.pl

zaprojektowanie przegród zewnętrznych budynku pod względem cieplnym, jak również wilgotnościowym wymaga od projektanta, aby każde złącze rozpatrzył przy pomocy szczegółowych obliczeń numerycznych lub dokładnych kart katalogowych. Prezentowane w artykule przykłady przedstawiają szczegółową analizę parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z balkonem.

2. Obliczenia własne przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO

Przedstawiono szczegółową analizę parametrów złącza ściany zewnętrznej z balkonem w czterech wariantach połączenia stropu z płytą balkonową:

- wariant I – typowa płyta wspornikowa (rys. 1),
- wariant II – płyta balkonowa – ocieplona dolna część płyty balkonowej (rys. 2),
- wariant III – płyta balkonowa – płyta balkonowa ocieplona dookoła (rys. 3),
- wariant IV – płyta balkonowa – ocieplona górna część płyty balkonowej (rys. 4).

Analizowane warianty (I, II, III, IV) rozpatrywano w dwóch przypadkach materiałowych warstwy nośnej ściany zewnętrznej: A – bloczki z betonu komórkowego, B – z cegły pełnej oraz dla dwóch przypadków izolacji termicznej: płyty styropianowe, płyty PIR.

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- budynek zlokalizowany w III strefie – temperatura powietrza zewnętrznego $t_e = -20^{\circ}\text{C}$, temperatura powietrza wewnętrznego $t_i = 20^{\circ}\text{C}$;
- wartości współczynników przewodności cieplnej materiałów budowlanych λ [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] przyjęto na podstawie tablic zamieszczonych przez Dyllę (2015) i w normie PN-EN ISO 6946:2008 *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania*;
- współczynniki przenikania ciepła U_c [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$] obliczono zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008;
- warunki przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 dla obliczenia wielkości strumieni cieplnych oraz zgodnie z PN-EN ISO 13788:2003 *Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku przy obliczaniu temperatur i czynnika temperaturowego f_{Rsi}* ;
- modelowanie analizowanych złączy wykonano zgodnie z zasadami sformułowanymi w PN-EN ISO 10211:2008 *Mostki cieplne w budynkach. Strumienie*

ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń przy zastosowaniu programu TRISCO uzyskano wartości strumieni przepływających przez złącza Φ [W], rozkład linii strumieni cieplnych oraz rozkład izoterm. Uzyskane wyniki pozwoliły na wyznaczenie liniowych współczynników przenikania ciepła Ψ [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] wraz z podziałem dla górnej i dolnej części złącza według określonych procedur obliczeniowych, prezentowanych szczegółowo w literaturze (Dylla, 2015; Pawłowski i Dybowska, 2012) oraz czynnik temperaturowy f_{Rsi} [-]. Wyniki przeprowadzonych obliczeń dla rozpatrywanych złączy przedstawiono na rysunku 5 i w tabelach 1-4.

3. Analiza otrzymanych wyników

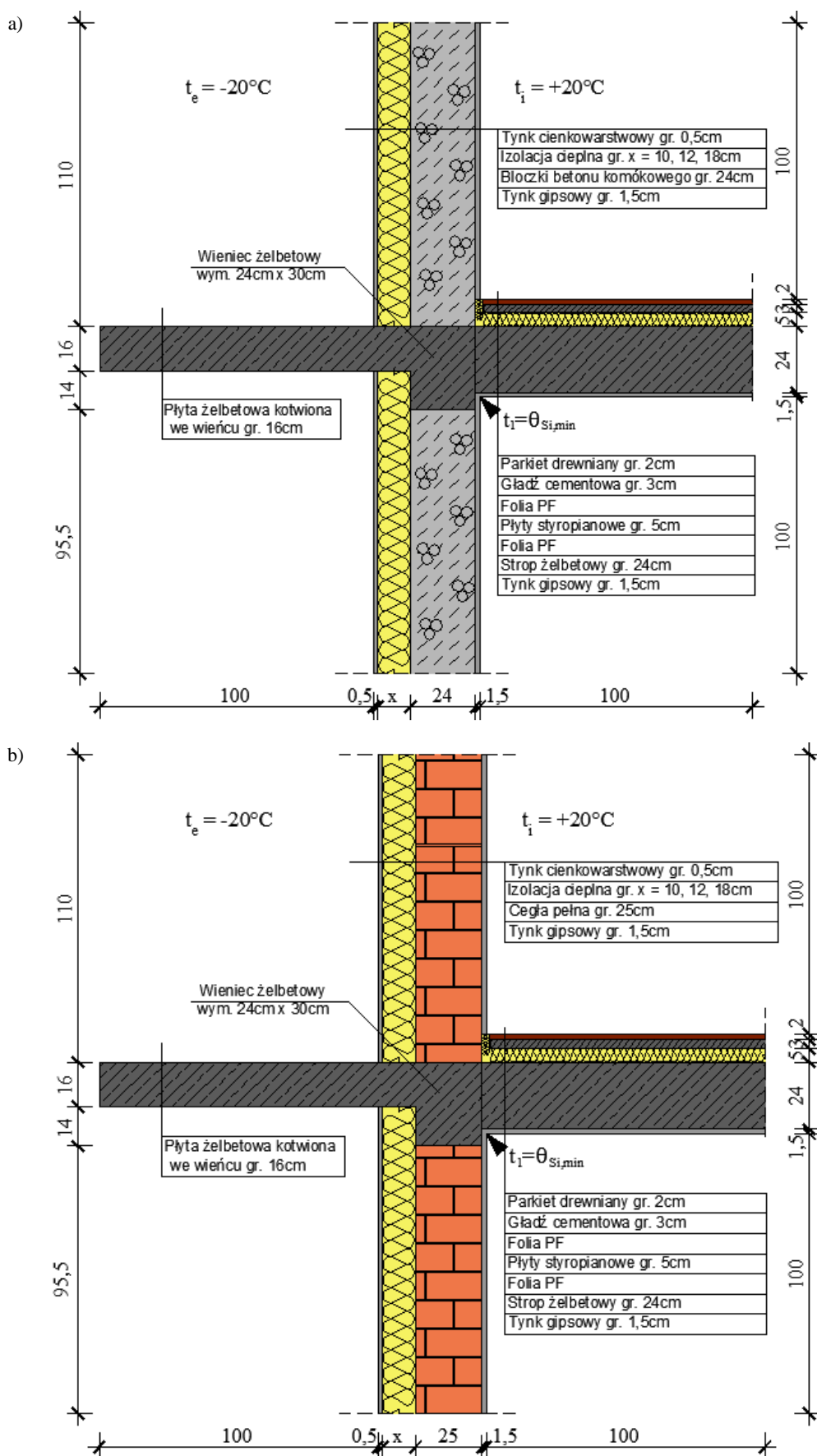
Na rysunkach 6 i 7 zilustrowano wpływ wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] na wartość współczynnika przenikania ciepła przegrody budowlanej U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$] na podstawie wyników uzyskanych w odniesieniu do dwóch rozwiązań konstrukcyjnych ściany zewnętrznej zaprezentowanych w obliczeniach. W obliczeniach różnicowano rodzaj oraz grubość warstwy izolacji cieplnej.

Na podstawie przeprowadzonych analiz parametrów charakteryzujących rozpatrywane warianty i przypadki połączeń ściany zewnętrznej z płytą balkonową sformułowano poniższe wnioski.

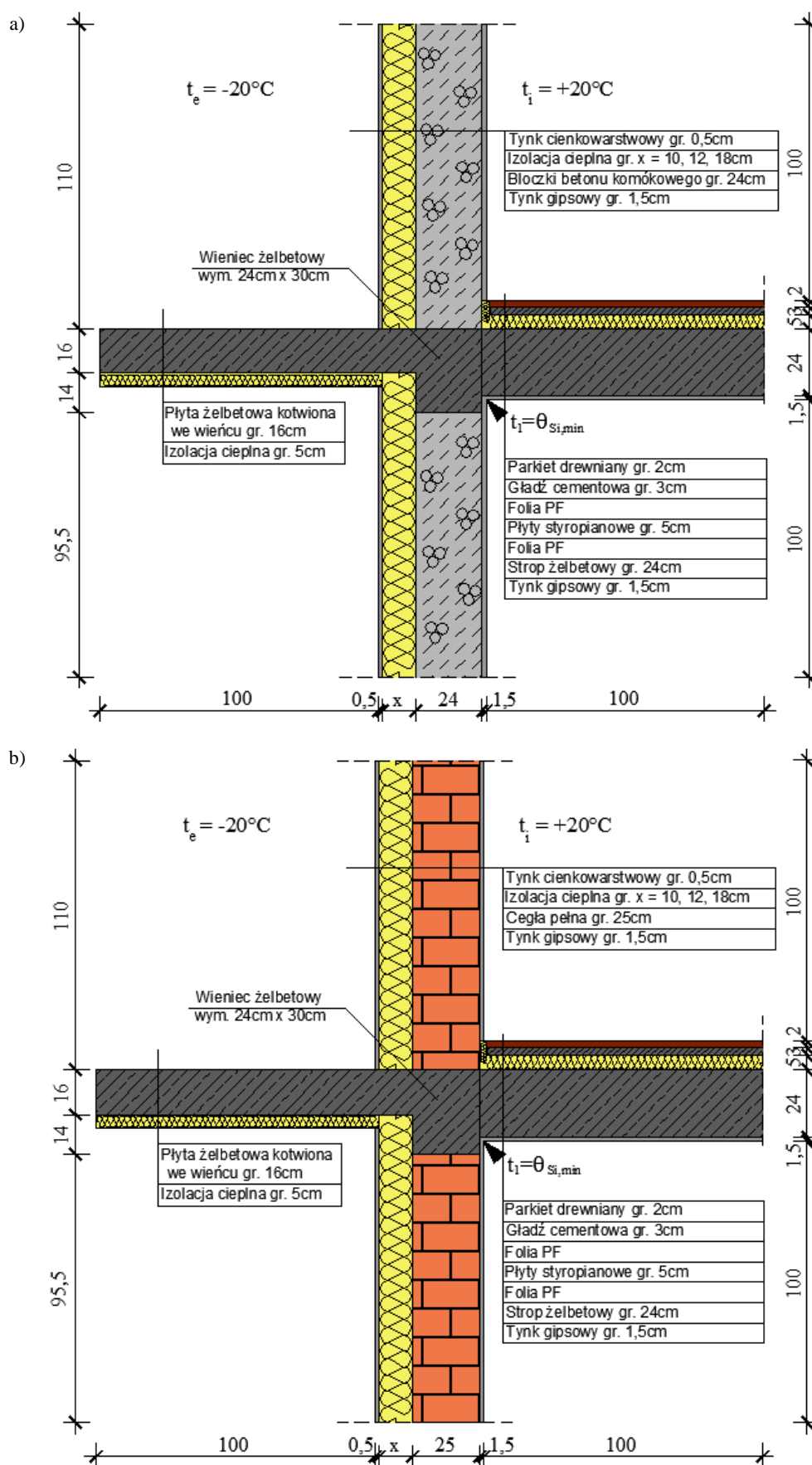
Podstawowe wymaganie w zakresie izolacyjności cieplnej dla ścian zewnętrznych po 2020 roku według rozporządzenia (2015): $U_c < U_{c(max)} = 0,20$ [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$] spełniają rozwiązania z izolacji z pianki PIR. Dla styropianu wymagane jest minimum 18 cm warstwy ocieplenia by spełnić kryterium cieplne. Spełnienie wymagania w zakresie osiągnięcia standardu energetycznego NF40 (Wytyczne, 2015) ($U_c < U_{c(max)} = 0,15$ [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]) dla analizowanych grubości ocieplenia wymaga zastosowania pianki PIR jako materiału termoizolacyjnego.

Mostki cieplne generują dodatkowe straty ciepła określone w postaci parametrów: Φ [W], L_{2D} [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$], Ψ_i [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] oraz występuje obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody $t_{si,min}$ [$^{\circ}\text{C}$].

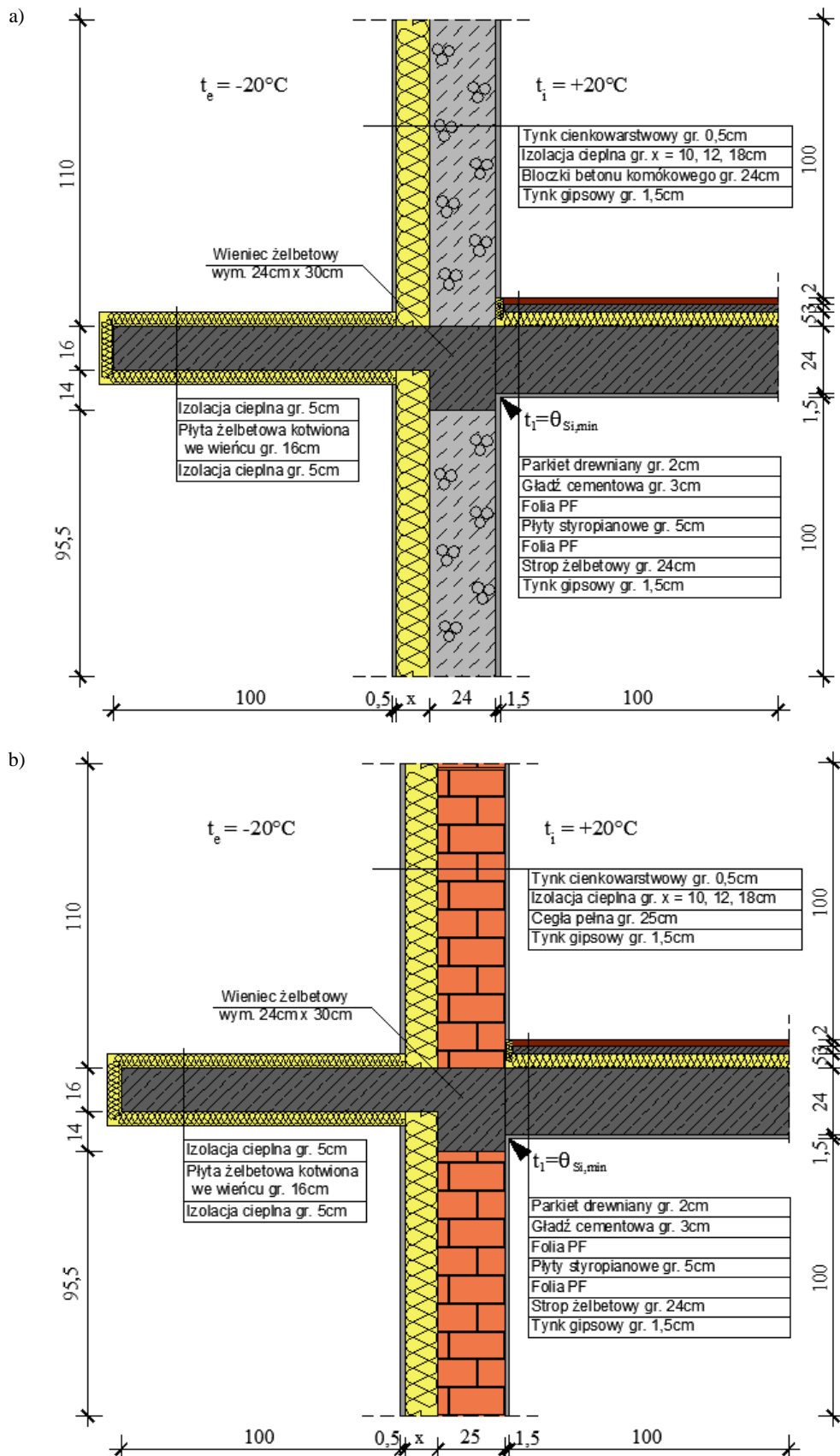
Analizowane rozwiązania materiałowe połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową ocieploną zarówno od góry jak i od dołu (wariant III) spełnia wymaganie w zakresie $\Psi < \Psi_{(max)} = 0,30$ [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$] dla standardu NF40 (Wytyczne, 2015).



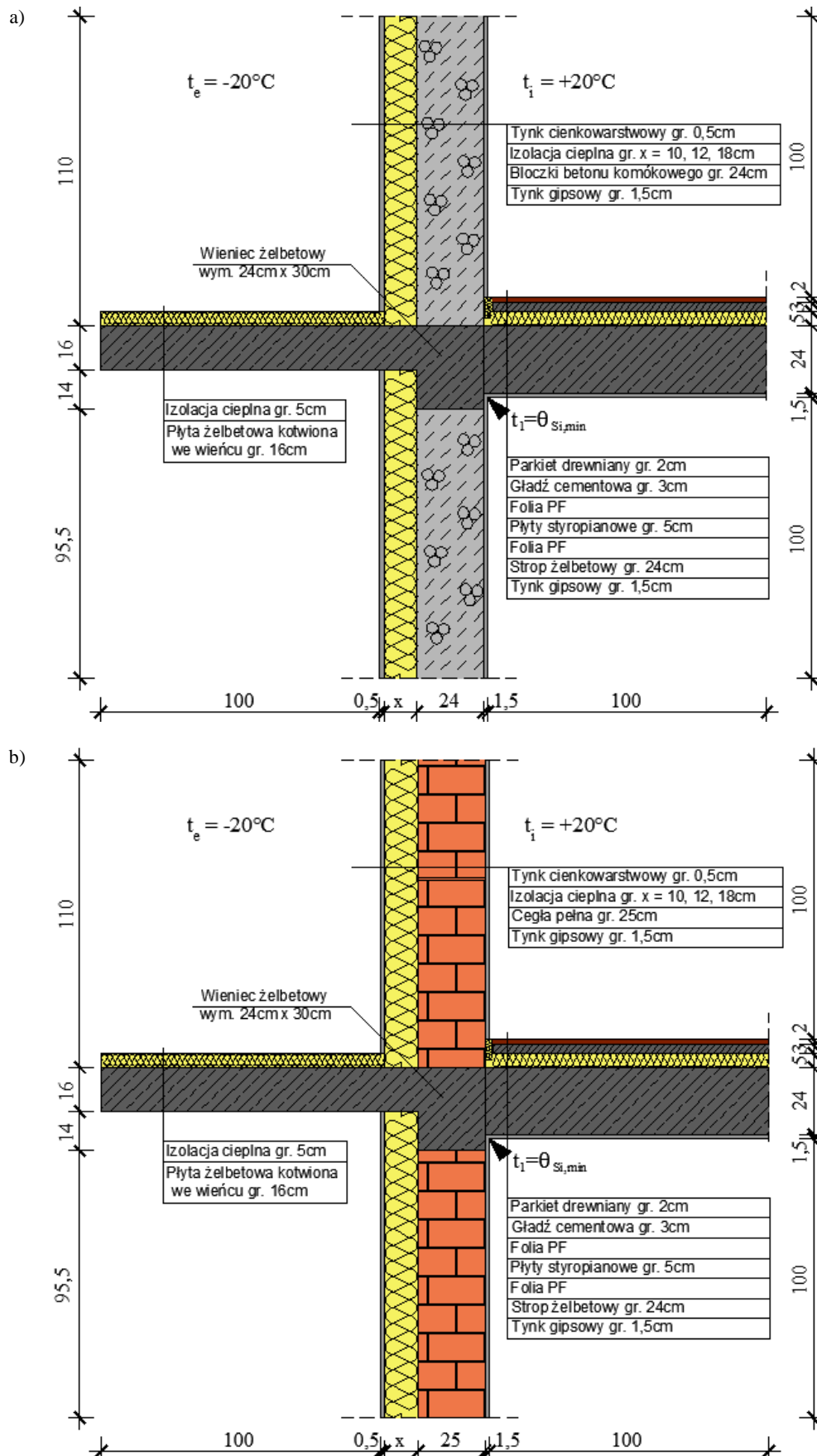
Rys. 1. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową – typowa płyta wspornikowa (wariant I): a) ściana zewnętrzna z betonu komórkowego (A), b) ściana zewnętrzna z cegły pełnej (B)



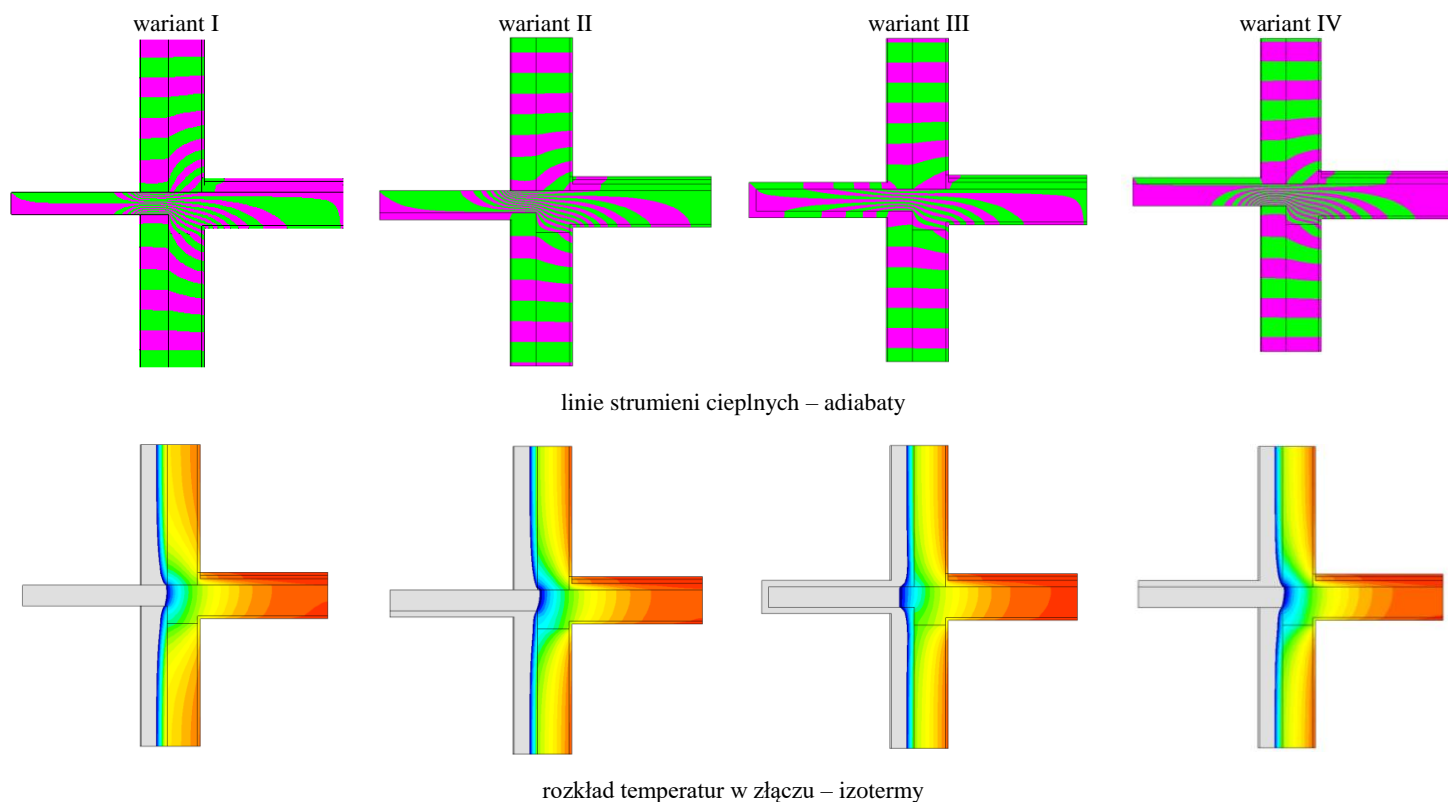
Rys. 2. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową – płyta balkonowa ocieplona od dołu (wariant II): a) ściana zewnętrzna z betonu komórkowego (A), b) ściana zewnętrzna z cegły pełnej (B)



Rys. 3. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową – płyta balkonowa ocieplona dookoła (wariant III): a) ściana zewnętrzna z betonu komórkowego (A), b) ściana zewnętrzna z cegły pełnej (B)



Rys. 4. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową – płyta balkonowa ocieplona od góry (wariant IV): a) ściana zewnętrzna z betonu komórkowego (A), b) ściana zewnętrzna z cegły pełnej (B)



Rys. 5. Analiza przepływu ciepła (adiabaty) oraz rozkładu temperatur w złączach

Tab. 1. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową – ściana zewnętrzna z betonu komórkowego ocieplona styropianem (A)

Beton komórkowy $\lambda = 0,21 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	Wariant I			Wariant II			Wariant III			Wariant IV		
	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm
Styropian $\lambda = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$												
Parametry cieplne węzła												
U_c [W/(m ² ·K)]	0,259	0,229	0,171	0,259	0,229	0,171	0,259	0,229	0,171	0,259	0,229	0,171
Φ [W]	44,79	41,52	34,43	42,74	39,62	32,91	35,26	32,5	26,85	42,59	39,66	32,92
Φ_g [W]	14,7	13,4	10,74	14,29	13,02	10,42	12,77	11,57	9,15	14,24	13,02	10,41
Φ_d [W]	30,09	28,12	23,69	28,45	26,6	22,49	22,49	20,93	17,7	28,35	26,64	22,51
L^{2D} [W/(m·K)]	1,120	1,038	0,861	1,069	0,991	0,823	0,882	0,813	0,671	1,065	0,992	0,823
Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,109	0,106	0,098	0,098	0,097	0,090	0,060	0,060	0,058	0,097	0,097	0,089
Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,489	0,471	0,421	0,448	0,433	0,391	0,299	0,291	0,271	0,446	0,434	0,390
Ψ_i [W/(m·K)]	0,598	0,577	0,518	0,546	0,529	0,480	0,359	0,351	0,329	0,543	0,530	0,479
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: $t_e = -20^\circ\text{C}$, $t_i = 20^\circ\text{C}$) według PN-EN ISO 13788												
$\theta_{si,min}$ [°C]	9,13	9,64	10,89	9,38	10,33	11,44	12,65	12,97	13,69	0,748	0,758	0,786
f_{Rsi} [-]	0,728	0,741	0,772	0,747	0,758	0,786	0,816	0,824	0,842	9,92	10,32	11,44

Tab. 2. Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową – ściana zewnętrzna z cegły pełnej ocieplona styropianem (B)

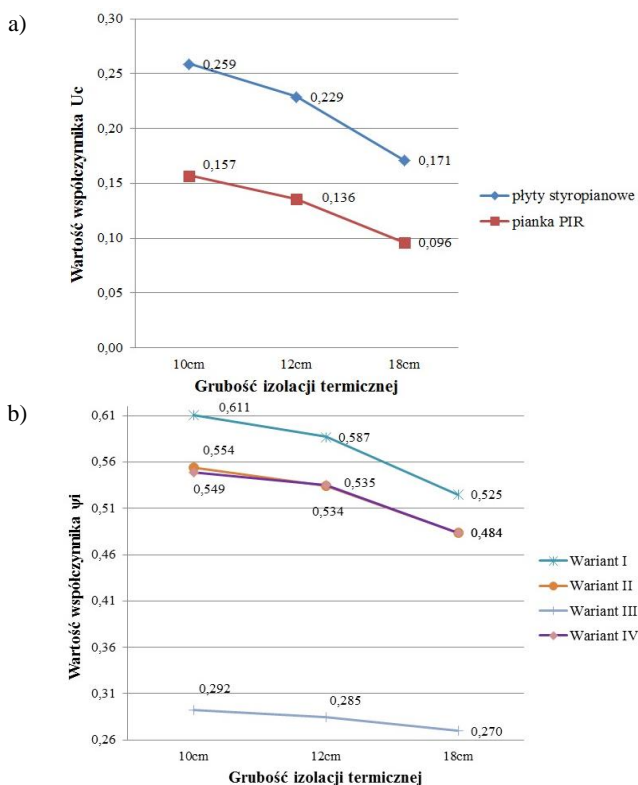
Cegła pełna $\lambda = 0,77 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	Wariant I			Wariant II			Wariant III			Wariant IV		
	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm
Styropian $\lambda = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$												
Parametry cieplne węzła												
U_c [W/(m ² ·K)]	0,329	0,283	0,198	0,329	0,283	0,198	0,329	0,283	0,198	0,329	0,283	0,198
Φ [W]	53,67	48,89	39,23	50,98	46,42	37,3	41,68	37,63	29,96	50,74	46,45	37,31
Φ_g [W]	21,12	19,04	14,96	20,3	18,27	14,36	17,33	15,47	12,00	20,17	18,24	14,34
Φ_d [W]	32,55	29,85	24,27	30,68	28,15	22,94	24,35	22,16	17,96	30,57	28,21	22,97
L^{2D} [W/(m·K)]	1,342	1,222	0,981	1,275	1,161	0,933	1,042	0,941	0,749	1,269	1,161	0,933
Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,199	0,193	0,176	0,179	0,174	0,161	0,104	0,104	0,102	0,175	0,173	0,161
Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,484	0,463	0,409	0,437	0,420	0,376	0,279	0,270	0,251	0,434	0,422	0,376
Ψ_i [W/(m·K)]	0,683	0,656	0,585	0,616	0,594	0,537	0,383	0,374	0,353	0,610	0,595	0,536
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: $t_e = -20^\circ\text{C}$, $t_i = 20^\circ\text{C}$) według PN-EN ISO 13788												
$\theta_{si,min}$ [°C]	10,74	11,29	12,55	11,43	11,92	13,04	13,82	14,18	14,93	0,787	0,797	0,826
f_{Rsi} [-]	0,769	0,782	0,814	0,786	0,798	0,826	0,845	0,854	0,873	11,48	11,88	13,04

Tab. 3. Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową – ściana zewnętrzna z betonu komórkowego ocieplona płytą PIR (A)

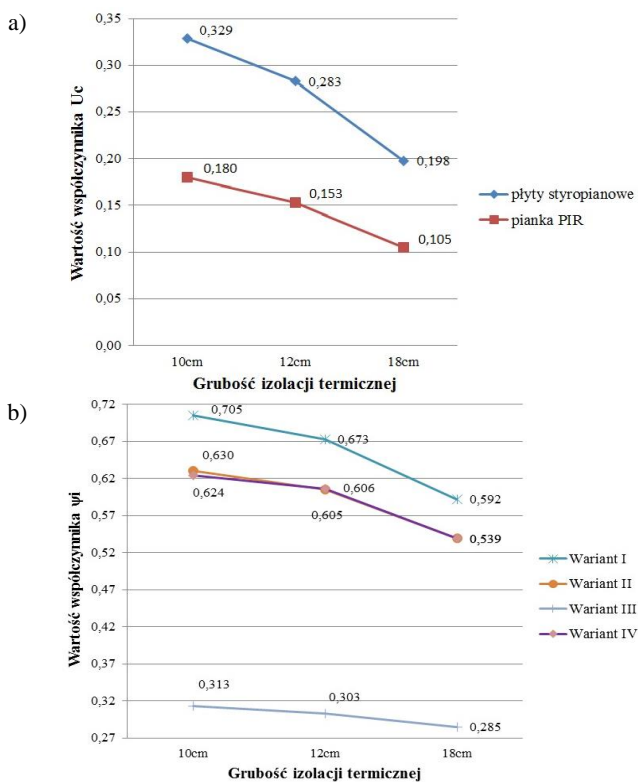
Beton komórkowy $\lambda = 0,21 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	Wariant I			Wariant II			Wariant III			Wariant IV		
	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm
Pianka PIR $\lambda = 0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$												
Parametry cieplne węzła												
U_c [W/(m ² ·K)]	0,157	0,136	0,096	0,157	0,136	0,096	0,157	0,136	0,096	0,157	0,136	0,096
Φ [W]	36,99	34,34	28,69	34,72	32,25	27,03	24,25	22,29	18,48	34,59	32,3	27,04
Φ_g [W]	10,95	9,97	7,99	10,50	9,54	7,65	8,35	7,49	5,86	10,45	9,54	7,64
Φ_d [W]	26,04	24,37	20,70	24,22	22,71	19,38	15,90	14,80	12,62	24,14	22,76	19,4
L^{2D} [W/(m·K)]	0,925	0,859	0,717	0,868	0,806	0,676	0,606	0,557	0,462	0,865	0,808	0,676
Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,117	0,113	0,104	0,106	0,103	0,095	0,052	0,051	0,051	0,104	0,103	0,095
Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,494	0,473	0,422	0,449	0,432	0,389	0,241	0,234	0,220	0,445	0,432	0,389
Ψ_i [W/(m·K)]	0,611	0,587	0,525	0,554	0,534	0,484	0,292	0,285	0,270	0,549	0,535	0,484
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: $t_e = -20^\circ\text{C}$, $t_i = 20^\circ\text{C}$) według PN-EN ISO 13788												
$\theta_{si,min}$ [°C]	9,63	10,11	11,28	10,46	11,87	11,89	14,37	14,60	15,1	0,762	0,771	0,797
f_{Rsi} [-]	0,741	0,753	0,782	0,762	0,772	0,797	0,859	0,865	0,878	10,48	10,84	11,88

Tab. 4. Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową – ściana zewnętrzna z cegły pełnej ocieplona płytą PIR (B)

Cegła pełna $\lambda = 0,77 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	Wariant I			Wariant II			Wariant III			Wariant IV		
	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm
Pianka PIR $\lambda = 0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$												
Parametry cieplne węzła												
U_c [W/(m ² ·K)]	0,180	0,153	0,105	0,180	0,153	0,105	0,180	0,153	0,105	0,180	0,153	0,105
Φ [W]	42,58	39,15	32,06	39,61	36,44	29,97	26,90	24,34	19,79	39,39	36,47	29,98
Φ_g [W]	15,79	14,37	11,54	14,88	13,53	10,87	10,77	9,65	7,61	14,75	13,5	10,86
Φ_d [W]	26,79	24,78	20,52	24,73	22,91	19,10	16,13	14,69	12,18	24,64	22,97	19,12
L^{2D} [W/(m·K)]	1,065	0,979	0,802	0,990	0,911	0,749	0,673	0,609	0,495	0,985	0,912	0,750
Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,215	0,206	0,184	0,192	0,185	0,167	0,089	0,088	0,085	0,189	0,185	0,167
Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,490	0,467	0,408	0,438	0,420	0,373	0,223	0,214	0,200	0,436	0,421	0,373
Ψ_i [W/(m·K)]	0,705	0,673	0,592	0,630	0,605	0,539	0,313	0,303	0,285	0,624	0,606	0,539
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: $t_e = -20^\circ\text{C}$, $t_i = 20^\circ\text{C}$) według PN-EN ISO 13788												
$\theta_{si,min}$ [°C]	11,43	11,91	13,03	12,19	12,60	13,57	15,50	15,74	16,22	0,806	0,815	0,839
f_{Rsi} [-]	0,786	0,798	0,826	0,805	0,815	0,839	0,888	0,893	0,906	12,23	12,58	13,56



Rys. 6. Wpływ grubości materiału izolacyjnego na wartości parametrów cieplnych w odniesieniu do ściany z betonu komórkowego: a) współczynnik przenikania ciepła U [$W/(m^2 \cdot K)$], b) liniowy współczynniki przenikania ciepła Ψ_i [$W/(m \cdot K)$] dla pianki PIR



Rys. 7. Wpływ grubości materiału izolacyjnego na wartości parametrów cieplnych w odniesieniu do ściany z cegły pełnej: a) współczynnik przenikania ciepła U [$W/(m^2 \cdot K)$], b) liniowy współczynniki przenikania ciepła Ψ_i [$W/(m \cdot K)$] dla pianki PIR

4. Podsumowanie

Podstawowym zagadnieniem w procesie projektowania obiektów budowlanych jest odpowiedni dobór grubości i miejsca zastosowania izolacji cieplnej. Istotny wpływ ma także wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ [$W/(m \cdot K)$] materiału izolacyjnego. W odniesieniu do jednego rodzaju izolacji może się ona wahać w znacznym przedziale w zależności od produktu, co wynika z szybkiego rozwoju rynku materiałów termoizolacyjnych oraz coraz bardziej zaawansowanych technologii produkcyjnych.

Dobór materiałów nie powinien być przypadkowy, ale oparty na podstawie szczegółowych obliczeń i analiz. Określenie szczegółowe parametrów cieplnych za pomocą programu komputerowego tego typu złączy pozwala na miarodajne oszacowanie strat ciepła i rozkładu temperatur oraz uniknięcie błędów na etapie wykonywania i eksploatacji budynków. Przy czym, projektowanie tych fragmentów z wykorzystaniem programów komputerowych wymaga znajomości zasad modelowania, przyjmowania warunków brzegowych oraz określania parametrów cieplno-wilgotnościowych materiałów budowlanych. Warto zaznaczyć, że przedstawione warianty obliczeniowe nie wyczerpują wszystkich rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych złączy ściany zewnętrznej z płytą balkonową oraz konieczne jest sprawdzenie kryterium wilgotnościowego ze względu na możliwość kondensacji wilgoci i ryzyka rozwoju pleśni na wewnętrznej powierzchni przegrody oraz możliwość występowania kondensacji międzywarstwowej pary wodnej.

Literatura

- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 5 lipca 2013 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U z 2013, poz. 926).
- Dylla A. (2009). Praktyczna fizyka budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych. *Wydawnictwo Uczelniane UTP*, Bydgoszcz.
- Pawłowski K., Dybowska M. (2012). Analiza numeryczna parametrów cieplno-wilgotnościowych złączy ścian zewnętrznych. *Izolacje*, Vol. 10, 80-85.
- Program „Poprawa efektywności energetycznej” Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) – Wymagania techniczne dla budynków (2015).

NUMERICAL ANALYSIS OF HYGRO-THERMAL PARAMETERS FOR EXTERNAL WALLS – BALCONY SLAB JOINTS IN TERMS OF NEW THERMAL REQUIREMENTS

Abstract: The paper includes a detailed comparative analysis of thermal parameters of the double layer connectors of exterior walls with balcony slabs. The results of numerical calculations of selected solutions involving structures and materials are presented herein. For numerical calculations the joints, which connects outer wall with balcony plate, using various layers

of the specific materials, were selected. In order to present the parameters of temperature and humidity of thermal bridges, the numerical analysis was performed by TRISCO computer programme. On the basis of the results the practical conclusions were drawn for design and construction. The detailed

specifications of thermal parameters by means computer programme for these type of joints, allow us to receive an appropriate estimation of heat loss and temperature distribution, in order to avoid mistakes at the stage of the construction and operation of buildings.