

PARAMETRY FIZYKALNE ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH I ICH ZŁĄCZY W ŚWIELE NOWYCH WYMAGAŃ W.T.-2014

WPROWADZENIE

Jednoznaczne zdefiniowanie budynku w standardzie niskoenergetycznym w warunkach polskich staje się bardzo trudne i dyskusyjne. W Krajowym planie wsparcia [1] sformułowano rekomendowaną do stosowania w praktyce krajową definicję budynku niskoenergetycznego: „**budynek o niskim zużyciu energii**” to budynek, spełniający wymogi związane z oszczędnością energii i izolacyjnością zawarte w przepisach techniczno-użytkowych, o których mowa w art. 7 ust. 1 pkt 1 ustawy – Prawo budowlane [2], tj. w szczególności dział X oraz załącznik 2 do rozporządzenia [3] obowiązujące od 1 stycznia 2021 roku (w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością – od 1 stycznia 2019 r.). Zgodnie z [1] i w myśl rozporządzenia [3] za energooszczędne można uznać budynki, które charakteryzują się powierzchniowym wskaźnikiem sezonowego zapotrzebowania na ciepło EP_{H+W} poniżej **70 kWh/(m²·rok)** – dla budynku jednorodzinnego oraz poniżej **65 kWh/(m²·rok)** – dla budynku wielorodzinnego. Jednocześnie przegrody zewnętrzne powinny spełniać wymagania w zakresie spełnienia podstawowego kryterium cieplnego $U_c \leq U_{c(max)}$.

WYMAGANIA PRAWNE W ZAKRESIE OCHRONY CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWEJ

Zasadniczą zmianą rozporządzenia w zakresie ochrony cieplnej budynków [3] jest zmiana wartości maksymalnych współczynników przenikania ciepła $U_{c(max)}$. Zaostrzeniu uległy wymagania cząstkowe w zakresie izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych, dachów, podłóg oraz okien i drzwi. Ponadto nie ma już znaczenia typ przegrody (wielo – czy jednowarstwowa) oraz przeznaczenie obiektu (mieszkalny, użyteczności publicznej, magazynowy, gospodarczy itp.).

Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła ścian, podłóg na gruncie, stropów, dachów i stropodachów, zgodnie z załącznikiem 2 do rozporządzenia [3] zestawiono w tabeli 1.

Wg rozporządzenia [3] dopuszcza się dla budynku produkcyjnego, magazynowego i gospodarczego większe wartości współczynnika U niż $U_{c(max)}$ oraz $U_{(max)}$ określone w tabeli 1, jeśli uzasadnia to rachunek efektywności ekonomicznej inwestycji, obejmujący koszt budowy i eksploatacji budynku.

Ponadto w budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej, produkcyjnym, magazynowym i gospodarczym podłoga na gruncie w ogrzewanym pomieszczeniu powinna mieć izolację cieplną obwodową z materiału izolacyjnego w postaci warstwy o oporze cieplnym co najmniej **2,0 (m²·K)/W**, przy czym opór cieplny warstw podłogowych oblicza się zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [4] oraz PN-EN ISO 13370:2008 [5]. W rozporządzeniu [3] określono także wymagania w zakresie izolacji cieplnej przewodów rozdzielczych instalacji C.O. i c.w.u. oraz dodatkowe wymagania dotyczące **okien**.

Wg wprowadzonych zmian w rozporządzeniu [3] wymagania cieplne dotyczą jednoczesnego spełnienia dwóch wymagań w zakresie współczynnika przenikania ciepła U [W/(m²·K)] dla pojedynczych przegród budynku oraz wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/(m²·rok)] dla całego budynku.

Wymagania minimalne, o których mowa w §328 ust. 1 [3] uznaje się za spełnione dla budynku podlegającego przebudowie odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w załączniku 2 do rozporządzenia oraz powierzchnia okien odpowiada wymaganiom określonym w pkt. 2.1. załącznika nr 2 do rozporządzenia [3]. Budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby ograniczyć ryzyko przegrzewania budynku w okresie letnim.

Tabela 1. Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła U_c [$W/(m^2 \cdot K)$] dla ścian, podłóg na gruncie, stropów, dachów i stropodachów [3]

Lp.	Rodzaj przegrody temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [$W/(m^2 \cdot K)$]			
		do 31.12.2013 r.	od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 1.01.2021 r. ^{*)}
1	2	3	4	5	6
1	Ściany zewnętrzne: a) przy $t_i \geq 16^\circ C$ b) przy $8^\circ C \leq t_i < 16^\circ C$ c) przy $t_i < 8^\circ C$	0,28 0,65 0,90	0,25 0,45 0,90	0,23 0,45 0,90	0,20 0,45 0,90
2	Ściany wewnętrzne: a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ C$ oraz oddzielające pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy b) przy $\Delta t_i < 8^\circ C$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,00 bez wymagań 1,00	1,00 bez wymagań 0,30	1,00 bez wymagań 0,30	1,00 bez wymagań 0,30
3	Ściany przyległe do szczelin dylatacyjnych o szerokości: a) 5 cm, trwale zamkniętych i wypełnionych izolacją cieplną na głębokości co najmniej 20 cm, b) powyżej 5 cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	1,00 0,70	1,00 0,70	1,00 0,70	1,00 0,70
4	Ściany nieogrzewanych kondygnacji podziemnych	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
5	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $\Delta t_i \geq 16^\circ C$ b) przy $8^\circ C \leq t_i < 16^\circ C$ c) przy $t_i < 8^\circ C$	0,25 0,50 0,70	0,20 0,30 0,70	0,18 0,30 0,70	0,15 0,30 0,70
6	Podłogi na gruncie: a) przy $t_i \geq 16^\circ C$ b) przy $8^\circ C \leq t_i < 16^\circ C$ c) przy $t_i < 8^\circ C$	0,45 1,20 1,50	0,30 1,20 1,50	0,30 1,20 1,50	0,30 1,20 1,50
7	Stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podłogowymi: a) przy $t_i \geq 16^\circ C$ b) przy $8^\circ C \leq t_i < 16^\circ C$ c) przy $t_i < 8^\circ C$	0,45 1,20 1,50	0,25 0,30 1,00	0,25 0,30 1,00	0,25 0,30 1,00
8	Stropy nad ogrzewanymi kondygnacjami podziemnymi i międzykondygnacyjnymi: a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ C$ b) przy $\Delta t_i < 8^\circ C$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	bez wymagań bez wymagań 0,45	bez wymagań bez wymagań 0,25	bez wymagań bez wymagań 0,25	bez wymagań bez wymagań 0,25
- pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura wewnętrzna, której wartość określona w §134 ust. 2 rozporządzenia [3] - t_i – temperatura obliczeniowa ogrzewanego pomieszczenia zgodnie z §134 ust. 2 rozporządzenia [3] *) od 1.01.2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością					

Maksymalne wartości wskaźnika **EP** [$kWh/(m^2 \cdot rok)$], określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną w zależności od rodzaju budynku wg [3] wynoszą:

1) w budynkach mieszkalnych jednorodzinnych i wielorodzinnych do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej w ciągu roku:

$$EP = EP_{H+W} + \Delta EP_c \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)]}$$

gdzie:

EP_{H+W} – maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej określona zgodnie z tabelą 2, [$kWh/(m^2 \cdot rok)$],

ΔEP_c – wskaźnik na potrzeby chłodzenia określony zgodnie z tabelą 3, [$kWh/(m^2 \cdot rok)$],

2) w budynkach zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej, magazynowych, gospodarczych i produkcyjnych do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody użytkowej i oświetlenia wbudowanego w ciągu roku:

$$EP = EP_{H+W} + \Delta EP_c + \Delta EP_L \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)]}$$

gdzie:

EP_{H+W} – maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej określona zgodnie z tabelą 2, [kWh/(m²·rok)],

ΔEP_c – wskaźnik na potrzeby chłodzenia określony zgodnie z tabelą 3, [kWh/(m²·rok)],

ΔEP_L – wskaźnik na potrzeby oświetlenia, [kWh/(m²·rok)].

Harmonogram czasowy oraz maksymalne wartości wskaźnika EP_{H+W} na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości maksymalne wskaźnika EP_{H+W} [3]

Lp.	Rodzaj budynku	Maksymalne wartości wskaźnika EP_{H+W} na potrzeby ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej [kWh/(m ² ·rok)]		
		od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 1.01.2012 r. ^{*)}
1	Budynek mieszkalny			
	a) jednorodzinny	120	95	70
	b) wielorodzinny	105	85	65
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	95	85	75
3	Budynek użyteczności publicznej:			
	a) opieki zdrowotnej			
	b) pozostałe	390	290	190
		65	60	45
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny	110	90	70

^{*)} od 1.01.2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

Harmonogram czasowy oraz wartości wskaźników ΔEP_c i ΔEP_L zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wartości wskaźników ΔEP_c i ΔEP_L [3]

Lp.	Rodzaj budynku ^{*)}	Wartości wskaźników ΔEP_c i ΔEP_L [kWh/(m ² ·rok)]		
		od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 1.01.2012 r. ^{**)}
1	Budynek mieszkalny			
	a) jednorodzinny	$\Delta EP_c = 10 \cdot A_{f,c}/A_f$	$\Delta EP_c = 10 \cdot A_{f,c}/A_f$	$\Delta EP_c = 5 \cdot A_{f,c}/A_f$
	b) wielorodzinny	$\Delta EP_L = 0$	$\Delta EP_L = 0$	$\Delta EP_L = 0$
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	$\Delta EP_c = 25 \cdot A_{f,c}/A_f$	$\Delta EP_c = 25 \cdot A_{f,c}/A_f$	$\Delta EP_c = 25 \cdot A_{f,c}/A_f$
3	Budynek użyteczności publicznej:			
	a) opieki zdrowotnej			
	b) pozostałe	dla $t_o < 2500$	dla $t_o < 2500$	dla $t_o < 2500$
		$\Delta EP_L = 50$	$\Delta EP_L = 50$	$\Delta EP_L = 25$
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny	dla $t_o \geq 2500$	dla $t_o \geq 2500$	dla $t_o \geq 2500$
		$\Delta EP_L = 100$	$\Delta EP_L = 100$	$\Delta EP_L = 50$

A_f – powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku, [m²],

$A_{f,c}$ – powierzchnia użytkowa chłodzona budynku, [m²],

t_o – czas działania oświetlenia wbudowanego

^{*)} jeżeli budynek posiada instalację chłodzenia, w przeciwnym przypadku $\Delta EP_c = 0$, jeżeli w budynku należy uwzględnić oświetlenie wbudowane, w przeciwnym przypadku $\Delta EP_L = 0$

^{**)} od 1.01.2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

3) w budynkach, w których występują różne funkcje użytkowe do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, przygotowania wody użytkowej i oświetlenia wbudowanego w ciągu roku:

$$EP_m = \sum_i (EP_i \cdot A_{f,i}) / \sum_i A_{f,i} \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)]}$$

gdzie:

EP_i – wartość wskaźnika EP określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej, chłodzenia oraz oświetlenia wbudowanego, dla części budynku o jednolitej funkcji użytkowej o powierzchni $A_{f,i}$, [kWh/(m²·rok)],

$A_{f,i}$ – powierzchnia użytkowa ogrzewana (chłodzona) części budynku o jednolitej funkcji użytkowej, [m²].

Sprawdzenie warunku ochrony wilgotnościowej – ryzyko występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody wynika z rozporządzenia [3]:

§321.1. „Na wewnętrznej powierzchni nieprzezroczystej przegrody zewnętrznej nie może występować kondensacja pary wodnej umożliwiającą rozwój grzybów pleśniowych.

2. We wnętrzu przegrody, o której mowa w ust. 1, nie może występować narastające w kolejnych latach zawilgocenie spowodowane kondensacją pary wodnej.

3. Warunki określone w ust. 1 i 2 uważa się za spełnione, jeśli przegrody odpowiadają wymaganiom określonym w pkt 2.2. załącznika nr 2 do rozporządzenia.”

2.2.1. W celu zachowania warunku, o którym mowa w §321 ust. 1. rozporządzenia [3], w odniesieniu do przegród zewnętrznych budynków mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjnych, magazynowych i gospodarczych rozwiązania przegród zewnętrznych i ich węzłów konstrukcyjnych powinny charakteryzować się współczynnikiem temperaturowym f_{Rsi} o wartości nie mniejszej niż wymagana wartość krytyczna, obliczona zgodnie z Polską Normą (PN-EN ISO 13788:2003 [6]) dotyczącą obliczania temperatury powierzchni wewnętrznej koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej.

2.2.2. Wymaganą wartość krytyczną czynnika temperaturowego f_{Rsi} w pomieszczeniach ogrzewanych do temperatury co najmniej 20°C w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej należy określać według rozdziału 5 Polskiej Normy, o której mowa w pkt 2.2.1., przy założeniu, że średnia miesięczna wartość wilgotności względnej powietrza wewnętrznego jest równa $\varphi = 50\%$, przy czym dopuszcza się przyjmowanie wymaganej wartości tego współczynnika równej 0,72.

2.2.3. Wartość współczynnika temperaturowego charakteryzującego zastosowane rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe należy obliczać:

1) dla przegrody – według Polskiej Normy (PN-EN ISO 13788:2003 [6]);

2) dla mostków cieplnych przy zastosowaniu przestrzennego modelu przegrody – według Polskiej Normy dotyczącej obliczania strumieni cieplnych i temperatury powierzchni (PN-EN ISO 10211:2008 [7]).

2.2.4. Sprawdzenie warunku, o którym mowa w §321 ust. 1 i 2 rozporządzenia, należy przeprowadzić według rozdziału 5 i 6 Polskiej Normy (PN-EN ISO 13788:2003 [6]).

2.2.5. Dopuszcza się kondensację pary wodnej, o której mowa w §321 ust. 2 rozporządzenia, wewnątrz przegrody w okresie zimowym, o ile struktura przegrody umożliwi wyparowanie kondensatu w okresie letnim i nie nastąpi przy tym degradacja materiałów budowlanych przegrody na skutek tej kondensacji.

W rozdziale 4 rozporządzenia [3] sformułowano wytyczne w zakresie ochrony przed zawilgoceniem i krojącą biologiczną:

§315. Budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby opady atmosferyczne, woda w gruncie i na jego powierzchni, woda użytkowa w budynkach oraz para wodna w powietrzu w tym budynku nie powodowały zagrożenia zdrowia i higieny użytkowania.

§316.1. Budynek posadowiony na gruncie, na którym poziom wód gruntowych może spowodować przenikanie wody do pomieszczeń, należy zabezpieczyć za pomocą drenażu zewnętrznego lub w inny sposób przed infiltracją wody do wnętrza oraz zawilgoceniem.

2. Ukształtowanie terenu wokół powinno zapewniać swobodny spływ wody opadowej od budynku.

§317.1. Ściany piwnic budynku oraz stykające się z gruntem inne elementy budynku, wykonane z materiałów podciągających wodę kapilarnie, powinny być zabezpieczone odpowiednią izolacją przeciwwilgociową.

2. Części ścian zewnętrznych, bezpośrednio nad otaczającym terenem, tarasami, balkonami i dachami, powinny być zabezpieczone przed przenikaniem wody opadowej i z topniejącego śniegu.

§318. Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe przegród zewnętrznych i ich uszczelnienie powinny uniemożliwiać przenikanie wody opadowej do wnętrza budynków.

§319.1. Dachy i tarasy powinny mieć spadki uniemożliwiające odpływ wód opadowych i z topniejącego śniegu do rynien i wewnętrznych lub zewnętrznych rur spustowych.

2. Dachy w budynkach o wysokości powyżej 15 m nad poziomem terenu powinny mieć spadki umożliwiające odpływ wody do wewnętrznych rur spustowych. Wymaganie to nie dotyczy budynków kultu religijnego, budynków widowiskowych, hal sportowych, a także produkcyjnych i magazynowych, w których taki sposób odprowadzenia wody jest niemożliwy ze względów technologicznych.

3. W budynku wolno stojących o wysokości do 4,5 m i powierzchni dachu do 100 m² dopuszcza się niewykonywanie rynien i rur spustowych, pod warunkiem ukształtowania okapów w sposób zabezpieczający przed zaciekaniem wody na ściany.

§320. Balkony, loggie i tarasy powinny mieć posadzki wykonane z materiałów nienasiąkliwych, mrozoodpornych i nieśliskich.

§321.1. Na wewnętrznej powierzchni nieprzezroczystej przegrody zewnętrznej nie może występować kondensacja pary wodnej umożliwiającą rozwój grzybów pleśniowych.

2. We wnętrzu przegrody, o której mowa w ust. 1, nie może występować narastające w kolejnych latach zawilgocenie spowodowane kondensacją pary wodnej.

3. Warunki określone w ust. 1 i 2 uważa się za spełnione, jeśli przegrody odpowiadają wymaganiom określonym w pkt 2.2. załącznika nr 2 do rozporządzenia.”

§322.1. Rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne zewnętrznych przegród budynku, warunki cieplno-wilgotnościowe, a także intensywność wymiany powietrza w pomieszczeniach, powinny uniemożliwiać powstawanie zagrzybienia.

2. Do budowy należy stosować materiały, wyroby i elementy budowlane odporne lub uodpornione na zagrzybienie i inne formy biodegradacji, odpowiednio do stopnia zagrożenia korozją biologiczną.

3. Przed podjęciem przebudowy, rozbudowy lub zmiany przeznaczenia budynku, w przypadku stwierdzenia występowania zawilgocenia i oznak korozji biologicznej, należy wykonać ekspertyzę mykologiczną i na podstawie jej wyników – odpowiednie roboty zabezpieczające.

Należy podkreślić także, że w praktyce projektowej i wykonawczej budynków niskoenergetycznych wprowadzono przez NFOŚiGW [8] dla mostków cieplnych budynków w standardzie NF40 oraz NF15 wartości graniczne liniowego współczynnika przenikania ciepła $\Psi_{\max}$. [W/(m·K)]. Wymagania cieplne i energetyczne dotyczące budynków niskoenergetycznych, które będą podlegały dofinansowaniu z NFOŚiGW [8] są bardziej zaostrzone niż wymagania w rozporządzeniu [3] – tabela 4.

W tabeli 4 zestawiono wybrane wymagania w zakresie ochrony cieplnej wg rozporządzenia [3], [9] oraz wytycznych NFOŚiGW [8]. Jednak spełnienie tych wymagań wiąże się z dodatkowymi kosztami, które ponosi inwestor w zakresie wykonania projektów wykonawczych, weryfikacji dokumentacji i budowy, próby szczelności.

Tabela 4. Wybrane graniczne wartości charakterystycznych parametrów budynku jednorodzinnego w standardzie niskoenergetycznym – opracowanie własne na podstawie [3], [9], [8]

Charakterystyczne parametry		Wymagania wg rozporządzenia		Standard budynku wg [8]	
		W.T. [3]	W.T. [9] ¹⁾	NF15	NF40
➤ Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/(m²·K)] przegród zewnętrznych budynku					
• ściana zewnętrzna	$t_i>16^{\circ}\text{C}$	0,30	0,25 ^{a)}	$\leq 0,10$	$\leq 0,15$
			0,23 ^{b)}		
			0,20 ^{c)}		
• dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub przejazdami	$t_i>16^{\circ}\text{C}$	0,25	0,20 ^{a)}	$\leq 0,10$	$\leq 0,12$
			0,18 ^{b)}		
			0,15 ^{c)}		
• podłoga na gruncie	$t_i>16^{\circ}\text{C}$	0,45	0,30 ^{a,b,c)}	$\leq 0,12$	$\leq 0,20$
• stropy nad piwnicami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podłogowymi	$t_i>16^{\circ}\text{C}$	0,45	0,25 ^{a,b,c)}		
• okna, okna połaciowe, drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne	$t_i>16^{\circ}\text{C}$	1,70÷1,80	1,30 ^{a)}	$\leq 0,80$	$\leq 1,00$
			1,10 ^{b)}		
			0,90 ^{c)}		
• drzwi zewnętrzne, garażowe		2,60	1,70 ^{a)}	$\leq 0,80$	$\leq 1,30$
			1,50 ^{b)}		
			1,30 ^{c)}		
➤ Liniowy współczynnik przenikania ciepła (dla mostków cieplnych) Ψ [W/(m·K)]					
• płyty balkonowe		2)	2)	$\leq 0,01$	$\leq 0,30$
• pozostałe mostki cieplne		2)	2)	$\leq 0,01$	$\leq 0,10$
➤ Szczelność powietrzna budynku n_{50} [1/h]					
• wentylacja grawitacyjna		$\leq 3,00$	$\leq 3,00$	-	-
• wentylacja mechaniczna		$\leq 1,50$	$\leq 1,50$	$\leq 1,00$	$\leq 0,60$
➤ Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową na cele ogrzewania $EU_{c.o.}$ [kWh/(m²·rok)]					
		2)	2)	40	15
➤ Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza w budynku, lokalu mieszkalnym lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową – $EP_{H,w}$ [kWh/(m²·rok)]					
		3)	120 ^{a)}	2)	2)
			95 ^{b)}		
			70 ^{c)}		

1) w rozporządzeniu W.T. [3] sformułowano wymagania a) od 1.01.2014 r. b) od 1.01.2017r. c) od 1.01.2021 r.

2) nie sformułowano wymagań

3) wartość maksymalna EP zależy od współczynnika kształtu budynku A/V

Zmiany wprowadzone w rozporządzeniu [3] oraz wymagania dodatkowe wg [8] będą skutkować zwiększeniem grubości powszechnie stosowanych izolacji cieplnych (styropianu i wełny mineralnej) oraz

częstszym wykorzystaniem nowych materiałów, m.in. płyt izolacyjnych z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej, płyt z poliizocyjanuratu (PIR-u).

ANALIZA ROZWIĄZAŃ MATERIAŁOWYCH ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH W ŚWIELE NOWYCH WYMAGAŃ CIEPLNYCH

Ściana zewnętrzna stanowi sztuczną przegrodę pomiędzy otoczeniem zewnętrznym (o zmiennej temperaturze i wilgotności) a wnętrzem (o określonej temperaturze i wilgotności). W pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi powinny być zapewnione użytkownikom odpowiednie warunki w zakresie:

- nośności konstrukcji,
- **ochrony ciepłno-wilgotnościowej,**
- **ochrony przed zmiennymi warunkami klimatycznymi: zmiana temperatur, deszczem, wiatrem,**
- ochrony przed hałasem,
- ochrony przeciwpożarowej,
- walorów architektonicznych i estetycznych.

Zmieniające się wymagania powodują, że na etapie projektowania i wykonywania pojawiają się nowe rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe ścian zewnętrznych. Najczęściej stosowanymi technologiami wznoszenia ścian zewnętrznych budynków w Polsce są: technologia murowana lub drewniana.

Do analizy wybrano **ściany zewnętrzne murowane warstwowe** (rysunek 1), które składają się z:

- warstwy konstrukcyjnej,
- warstwy izolacji cieplnej,
- warstwy pustki powietrznej dobrze wentylowanej (w przypadku ścian szczelinowych),
- warstwy elewacyjnej (w przypadku ścian trójwarstwowych i szczelinowych).

Najczęściej stosowanymi materiałami do wznoszenia warstwy konstrukcyjnej są:

- materiały ceramiczne: cegła pełna, cegła kratówka, cegła dziurawka, pustaki ścienne (MAX, SZ, U, z ceramiki pofryzowanej),
- materiały silikatowe: pełne lub drążone,
- elementy betonowe, np. pustaki szalunkowe,
- pustaki z autoklawizowanego betonu komórkowego,
- elementy murowe z kamienia naturalnego.

Głównym zadaniem tej warstwy jest zdolność przenoszenia obciążeń z wyższych kondygnacji oraz w wyniku parcia wiatru. W przypadku znaczących obciążeń często stosuje się słupy żelbetowe (jako trzpienie).

Materiały do warstwy izolacji cieplnej powinny charakteryzować się niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] i dużą porowatością. Inne parametry techniczne są zależne od ich pochodzenia. Do grupy materiałów warstwy izolacji cieplnej można zaliczyć:

- **styropian** – materiał syntetyczny, sztuczny, produkowany z granulek polistyrenowych, które podczas spienienia powiększają swoją objętość ponad czterokrotnie,
- **wełna mineralna** – materiał nieorganiczny, włóknisty, produkowany z mieszaniny surowców naturalnych (bazalty, margle) i odpadowych (żużel wielkopiecowy),
- **polistyren ekstrudowany** – materiał nienasiąkliwy, nieulegający korozji biologicznej,
- **styropian grafitowy** – materiał produkowany jest z gotowego półproduktu w postaci grafitowych granulek, które należy spienić, uformować i pociąć, proces produkcji styropianu grafitowego wygląda tak, jak w przypadku styropianu białego; posiada lepsze właściwości izolacyjne z powodu grafitowego dodatku zwiększającego absorpcję promieniowania cieplnego,
- **płyty z poliuretanu (PUR) i poliizocyjanuratu (PIR)** – twarde płyty piankowe, które są odporne termicznie i posiadają niższe wartości współczynnika przewodzenia ciepła niż np. wełna mineralna i styropian,
- **płyty izolacyjne** z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej – idealne do nowych budynków i do renowacji; łatwe w obróbce i instalacji; spełniają najwyższe wymagania stawiane materiałom izolacyjnym dedykowanym budownictwu energooszczędnemu; charakteryzują się niewielkim oporem dyfuzyjnym,
- **płyty celulozowe** – włókna celulozowe są produktem przyjaznym naturze, ponieważ powstają z surowców wtórnych, a konkretnie z makulatury; powstające w efekcie mielenia papierowych resztek, impregnowane są preparatami solnymi (dzięki temu zyskują wysoką odporność na mikroorganizmy, owady, a także na ogień, włóknoceluloza to materiał trudnozapalny); włóknoceluloza potrafi również pochłaniać dźwięki, zwiększając komfort akustyczny w izolowanych nią budynkach.

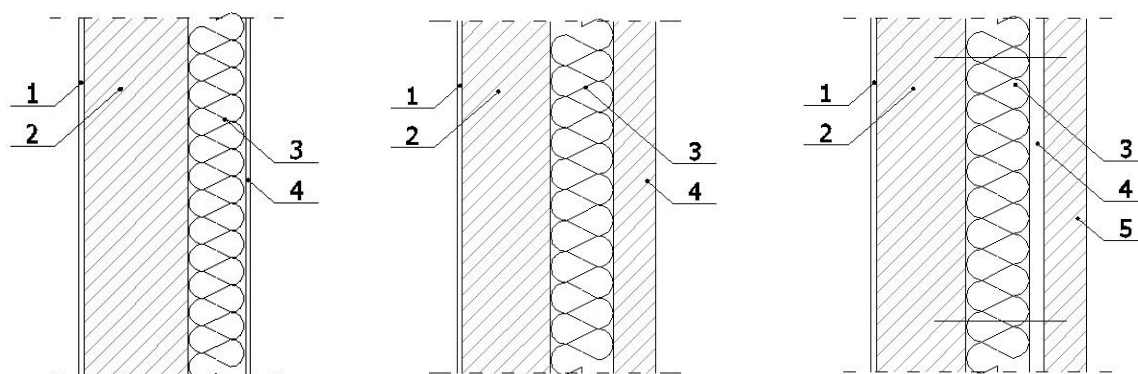
Przed wyborem odpowiedniego materiału do izolacji cieplnej należy zwrócić uwagę na następujące właściwości: współczynnik przewodzenia ciepła (λ [W/(m·K)]), gęstość objętościowa, izolacyjność akustyczna, przepuszczalność pary wodnej (współczynnik oporu dyfuzyjnego μ [-]), wrażliwość na czynniki biologiczne i chemiczne.

Od strony zewnętrznej należy zastosować tynk zewnętrzny (w przypadku ścian dwuwarstwowych) lub warstwę elewacyjną (w przypadku ścian trójwarstwowych i szczelinowych).

Do wykończenia ścian dwuwarstwowych można stosować siatki zbrojące z włókna szklanego, metalowego lub tworzywa sztucznego, które stanowią podkład dla tynków cienkowarstwowych: mineralnych, silikatowych (krzemianowych), silikonowych, silikatowo-silikonowych, polimerowych (np. akrylowych). Ze względu na rodzaj faktury wyróżnia się tynki: gładkie, drapane, ziarniste (baranki), modelowane i mozaikowe.

W przypadku ścian trójwarstwowych i szczelinowych warstwa elewacyjna wykonywana jest najczęściej z cegły klinkierowej, bloczków wapienno-piaskowych (silikatowych) oraz płyt z drewna.

W kształtowaniu układu warstw materiałowych, w ścianie szczelinowej, należy zaprojektować szczelinę dobrze wentylowaną pomiędzy warstwą izolacji cieplnej a warstwą elewacyjną o odpowiedniej grubości z zapewnieniem swobodnej cyrkulacji powietrza (otwory w warstwie elewacyjnej). Warstwa elewacyjna powinna połączona z warstwą konstrukcyjną za pomocą kotew metalowych (łącników mechanicznych) w ilości od 5 do 6 szt./m² powierzchni ściany. Ze względu na zmiany temperatur (w okresie letnim do 50°C a w okresie zimowym do -25°C), w celu uniknięcia występowania zarysowań, wybrzuszeń, kruszenia i odpryskiwania materiału warstwy elewacyjnej, zaleca się stosowanie w zewnętrznej warstwie ściany szczelinowej przerwy dylatacyjnej (w odległości od 8÷12 m w zależności od rodzaju warstwy elewacyjnej).



a) dwuwarstwowa:

- 1 – tynk gipsowy,
- 2 – warstwa konstrukcyjna,
- 3 – izolacja cieplna,
- 4 – tynk cienkowarstwowy

b) trójwarstwowa:

- 1 – tynk gipsowy,
- 2 – warstwa konstrukcyjna,
- 3 – izolacja cieplna,
- 4 – warstwa elewacyjna

c) szczelinowa:

- 1 – tynk gipsowy,
- 2 – warstwa konstrukcyjna,
- 3 – izolacja cieplna,
- 4 – szczelna dobrze wentylowana,
- 5 – warstwa elewacyjna

- **warstwa konstrukcyjna:** bloczek z betonu komórkowego 24 cm, cegła pełna 25 cm, bloczek wapienno-piaskowy (silikatowy) 24 cm,
- **warstwa izolacji cieplnej:** styropian, styropian grafitowy, wełna mineralna, płyty z poliizocyanuratu (PIR), płyty z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej, płyty ekstrudowane XPS, płyty celulozowe, płyty klimatyczne
- **warstwa elewacyjna:** cegła klinkierowa 12cm, bloczek wapienno-piaskowy 12 cm

Rysunek 1. Przykładowe rozwiązania materiałowe ścian zewnętrznych murowanych – opracowanie własne

W ramach szczegółowej analizy parametrów fizykalnych w pierwszym etapie obliczono współczynnik przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] warstwowych ścian zewnętrznych:

- dwuwarstwowych (tabela 5, rysunek 1a),
- trójwarstwowych (tabela 6, rysunek 1b),

w zróżnicowanym układzie warstw materiałowych zgodnie z procedurą normy PN-EN ISO 6946:2008 [4].

Do obliczenia współczynnika przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] przyjęto następujące założenia:

- temperatura obliczeniowa zewnętrzna: Toruń – III strefa klimatyczna: $t_e = -20^\circ\text{C}$
- temperatura obliczeniowa wewnętrzna: pomieszczenia przeznaczone do przebywania ludzi bez okryć zewnętrznych nie wykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej (pokoje mieszkalne, przedpokoje, kuchnie, korytarze): $t_i = 20^\circ\text{C}$
- opory przejmowania ciepła dla ściany; wartości oporów przejmowania ciepła zostały przyjęte wg tabeli normy PN-EN ISO 6946:2008 [4] dla poziomego kierunku strumienia ciepła:

- opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{se} = 0,04 [(m^2 \cdot K)/W]$,
- opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{si} = 0,13 [(m^2 \cdot K)/W]$,
- w przypadku ściany szczelinowej zaprojektowano dobrze wentylowaną warstwę powietrza gr. 4 cm – spełnia to kryterium wg pkt. 5.3.4. normy PN-EN ISO 6946:2008 [4]; „całkowity opór cieplny komponentu budowlanego zawierającego dobrze wentylowaną warstwę powietrza należy obliczyć, pomijając opór cieplny warstwy powietrza i wszystkich innych warstw między warstwą powietrza a środowiskiem zewnętrznym oraz dodając zewnętrzny opór przejmowania ciepła, odpowiadający powietrzu nieruchomemu; alternatywnie może być zastosowana wartość R_{si} z Tablicy 1 normy”.
- wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] przyjęto na podstawie pracy „Fizyka ciepła budowlanej w praktyce. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe” [10], „Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle nowych warunków technicznych dotyczących budynków WT2013” [11] oraz udokumentowanych danych producentów.

Tabela 5. Wyniki obliczeń wartości współczynnika przenikania ciepła U_c według PN-EN ISO 6946:2008 [4] w odniesieniu do ściany zewnętrznej dwuwarstwowej

	Warstwy materiałowe	d [m]	λ [W/(m·K)]	$x^*)$ [m]	$y^{**})$ współczynnik przewodzenia ciepła materiałów izolacji cieplnej λ [W/(m·K)]			
					I	II	III	IV
					0,059	0,040	0,038	0,020
I	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,33	0,26	0,25	0,16
	Bl. z betonu komórkowego	0,24	0,21	0,12	0,30	0,23	0,22	0,14
	Izolacja cieplna	$x^*)$	$y^{**})$	0,15	0,26	0,20	0,19	0,11
	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,20	0,21	0,16	0,15	0,09
II	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,43	0,32	0,31	0,18
	Bl. wapienno-piaskowy	0,24	0,56	0,12	0,38	0,28	0,26	0,15
	Izolacja cieplna	$x^*)$	$y^{**})$	0,15	0,32	0,23	0,22	0,12
	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,20	0,25	0,18	0,17	0,09
III	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,45	0,33	0,32	0,18
	Cegła pełna	0,25	0,77	0,12	0,39	0,28	0,27	0,15
	Izolacja cieplna	$x^*)$	$y^{**})$	0,15	0,33	0,23	0,22	0,12
	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,20	0,26	0,18	0,17	0,09

*) x – grubość izolacji cieplnej [m], **) y – warianty materiału izolacyjnego (w zależności od współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] warianty izolacji cieplnej: I – płyty klimatyczne $\lambda = 0,059$ W/(m·K), II – płyty styropianowe $\lambda = 0,040$ W/(m·K), III – płyty z wełny mineralnej $\lambda = 0,038$ W/(m·K), IV – płyty izolacyjne z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej $\lambda = 0,020$ W/(m·K); do obliczeń U_c przyjęto $\Delta U=0$

Tabela 6. Wyniki obliczeń wartości współczynnika przenikania ciepła U_c według PN-EN ISO 6946:2008 [4] w odniesieniu do ściany zewnętrznej trójwarstwowej

	Warstwy materiałowe	d [m]	λ [W/(m·K)]	$x^*)$ [m]	$y^{**})$ współczynnik przewodzenia ciepła materiałów izolacji cieplnej λ [W/(m·K)]			
					I	II	III	IV
					0,059	0,040	0,038	0,020
I	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,32	0,26	0,25	0,16
	Bl. z betonu komórkowego	0,24	0,21	0,12	0,29	0,23	0,23	0,14
	Izolacja cieplna	$x^*)$	$y^{**})$	0,15	0,26	0,20	0,19	0,12
	Bl. wapienno-piaskowe	0,12	0,80	0,20	0,22	0,16	0,16	0,10
II	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,42	0,32	0,30	0,18
	Bl. wapienno-piaskowy	0,24	0,56	0,12	0,37	0,28	0,26	0,16
	Izolacja cieplna	$x^*)$	$y^{**})$	0,15	0,31	0,23	0,22	0,13
	Bl. wapienno-piaskowy	0,12	0,80	0,20	0,25	0,18	0,18	0,10
III	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,44	0,33	0,32	0,19
	Cegła pełna	0,25	0,77	0,12	0,39	0,29	0,27	0,16
	Izolacja cieplna	$x^*)$	$y^{**})$	0,15	0,33	0,24	0,23	0,13
	Cegła klinkierowa	0,12	1,05	0,20	0,26	0,19	0,18	0,11

*) x – grubość izolacji cieplnej [m], **) y – warianty materiału izolacyjnego (w zależności od współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] warianty izolacji cieplnej: I – płyty klimatyczne $\lambda = 0,059$ W/(m·K), II – płyty styropianowe $\lambda = 0,040$ W/(m·K), III – płyty z wełny mineralnej $\lambda = 0,038$ W/(m·K), IV – płyty izolacyjne z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej $\lambda = 0,020$ W/(m·K); do obliczeń U_c przyjęto $\Delta U=0,01$

Istotny wpływ na wartość współczynnika przenikania ciepła przegrody budowlanej U [W/(m²·K)] ma wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·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. W obliczeniach różnicowano grubość warstwy izolacji cieplnej i wartość współczynnika przewodzenia ciepła materiału izolacyjnego λ [W/(m·K)]. Współczynnik przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] jest podstawowym parametrem służącym do sprawdzenia kryterium cieplnego $U_c \leq U_{max}$. Wraz ze zmieniającymi się wartościami U_{max} niektóre rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe ścian zewnętrznych nie spełniają podstawowego kryterium ($U_c \leq U_{max}$) – tabela 5, 6. Określone wartości U_c wykorzystywane są do dalszych obliczeń w zakresie analizy cieplno-wilgotnościowej przegród i całego budynku (np. współczynnik strat ciepła przez przenikanie H_{tr} [W/K], zapotrzebowanie na energię końcową **EK** i pierwotną **EP** [kWh/(m²·rok)]). Należy także podkreślić, że przy kształtowaniu układu warstw materiałowych ścian zewnętrznych i ich złączy trzeba uwzględniać kryteria w zakresie: izolacyjności cieplnej, kondensacji powierzchniowej i międzywarstwowej, izolacyjności akustycznej, ochrony przeciwpożarowej oraz nośności i trwałości konstrukcji. Niektóre układy warstw materiałowych spełniają wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej ($U_c \leq U_{max}$), jednak po przeprowadzeniu analizy w zakresie wymagań wilgotnościowych, akustycznych lub przeciwpożarowych usytuowanie warstwy izolacji cieplnej wewnątrz przegrody jest niedopuszczalne.

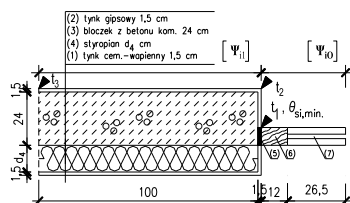
KSZTAŁTOWANIE STRUKTURY MATERIAŁOWEJ ZŁĄCZY BUDOWLANYCH

Rozporządzenie W.T.-2014 [3] wprowadza od 1 stycznia 2014 r. nowe wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej poprzez zaostrenie wymagań w zakresie wartości granicznych współczynnika przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/(m²·K)] dla przegród zewnętrznych oraz wartości granicznych wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną **EP** [kWh/(m²·rok)] dla całego budynku. Jednak w rozporządzeniu [3] nie sformułowano wymagań w zakresie ograniczenia strat ciepła przez złącza przegród zewnętrznych. Są to „mostki cieplne (termiczne)”, które powstają w wyniku połączenia przegród budynku. Generują dodatkowe straty ciepła przez przegrody budowlane. Dobór materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych złączy nie powinien być przypadkowy, ale oparty na podstawie szczegółowych obliczeń i analiz.

Należy jednak podkreślić, że są to tzw. „słabe miejsca”, w których występuje:

- zwiększony przepływ strumienia cieplnego przez złącze, co wpływa na wzrost wartości wskaźnika **EU**, **EK** a w ostateczności **EP** [kWh/(m²·rok)],
- obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody, co prowadzi do ryzyka występowania kondensacji powierzchniowej (ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych), można je określić wyznaczając czynnik temperaturowy f_{Rsi} .

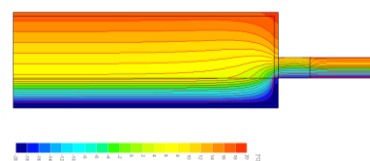
Aby ocenić komfort cieplny danego pomieszczenia i uwzględnić dodatkowe straty ciepła spowodowane działaniem mostka, należy określić rozkład temperatur na powierzchniach wewnętrznych przegród (rysunek 2).



a) model obliczeniowy – połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę



b) linie strumieni ciepłych – adiabaty



c) rozkład temperatur w złączu – izotermy

Rysunek 2. Parametry charakterystyczne mostka cieplnego – opracowanie własne

Dlatego niezwykle ważne staje się w procesie projektowym poprawne wykonywanie szczegółowych obliczeń i analiz numerycznych, które powinny być podstawą do wyboru rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy.

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi mostki cieplne są:

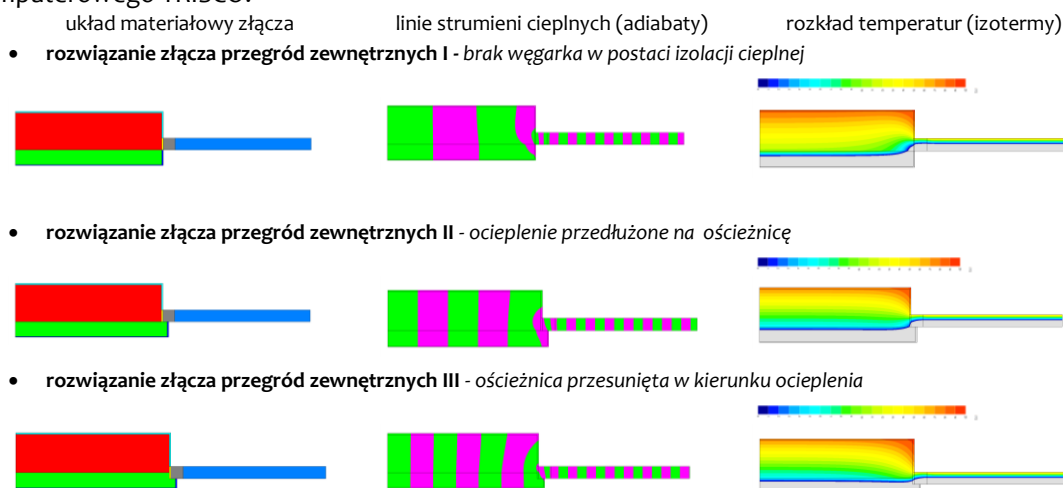
- liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)], obliczany na podstawie normy PN-EN ISO 10211:2008 [7] lub przyjmować ich wartości na podstawie katalogu mostków cieplnych (np. załącznik do [10], [11]) oraz normy PN-EN ISO 14683:2008 [12];
- punktowy współczynnik przenikania ciepła χ [W/K], obliczany na podstawie normy PN-EN ISO 10211:2008 [7] lub przyjmować ich wartości na podstawie katalogu mostków cieplnych na podstawie danych producentów;

- czynnik temperaturowy f_{Rsi} , określany zgodnie z normą PN-EN ISO 13788:2003 [6] na podstawie temperatury minimalnej w miejscu mostka cieplnego.

ANALIZA PARAMETRÓW FIZYKLANYCH POŁĄCZENIA ŚCIANY ZEWNĘTRZNEJ Z OKNEM

Do obliczeń parametrów fizykalnych (cieplno-wilgotnościowych) wytypowano połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę w kilku wariantach obliczeniowych (rysunek 3):

- rozwiązanie I (brak węgaraka w postaci izolacji cieplnej),
- rozwiązanie II (zastosowanie węgaraka – ocieplenie przedłużone na ościeżnicę),
- rozwiązanie III (ościeżnica przesunięta w kierunku ocieplenia). W ramach przykładu obliczeniowego przedstawiono wyniki przykładowych obliczeń numerycznych przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO.



Rysunek 3. Analizowane układy materiałowe połączenia ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę – opracowanie własne

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- modelowanie złączy wykonano zgodnie z zasadami prezentowanymi w PN-EN ISO 10211:2008 [7],
- opory przejmowania ciepła (R_{si} , R_{se}) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [4] przy obliczeniach strumieni ciepłych oraz wg PN-EN ISO 13788:2003 [6] przy obliczeniach rozkładu temperatur i czynnika temperaturowego f_{Rsi} ,
- temperatura powietrza wewnętrznego $t_i = 20$ °C (pokój dzienny), temperatura powietrza zewnętrznego $t_e = -20$ °C (III strefa),
- wartości współczynnika przewodzenia ciepła materiałów budowlanych λ [W/(m·K)] przyjęto na podstawie pracy „Fizyka ciepła budowli w praktyce. Obliczenia cieplno-wilgotnościowe” [10] oraz „Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle nowych warunków technicznych dotyczących budynków WT2013” [11] oraz udokumentowanych danych producentów.

W analizowanych przypadkach złączy budowlanych zastosowano stolarkę okienną o zmiennej wartości współczynnika przenikania ciepła U_w [W/(m²·K)] oraz ścianę zewnętrzną dwuwarstwową z zróżnicowaną warstwą konstrukcyjną (błoczek z betonu komórkowego lub cegła pełna) i warstwą izolacji cieplnej (płyty styropianowe lub płyty izolacyjne o zamkniętej strukturze komórkowej z rdzeniem uzyskiwanym z żywicy fenolowo-formaldehydowej) o zmiennej grubości. W tabelach 7, 8, 9 zestawiono wyniki obliczeń parametrów fizykalnych złączy budowlanych:

U_c [W/(m²·K)] – współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej,

U_w [W/(m²·K)] – współczynnik przenikania ciepła stolarki okiennej,

Φ [W] – strumień cieplny przepływający przez złącze,

L^{2D} [W/(m·K)] – liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego,

Ψ [W/(m·K)] – liniowy współczynnik przenikania ciepła,

Ψ_{sc} [W/(m·K)] – gałęziowy współczynnik przenikania ciepła (dotyczący ściany zewnętrznej),

Ψ_o [W/(m·K)] – gałęziowy współczynnik przenikania ciepła (dotyczący stolarki okiennej),

t_{min} [°C] – temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego,

f_{Rsi} [-] – czynnik temperaturowy,

przeprowadzonych przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO.

Tabela 7. Wyniki parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z oknem (brak węgaraka w postaci izolacji cieplnej) – opracowanie własne

Parametry fizykalne złącza przegród zewnętrznych	ściana zewnętrzna: błoczek z betonu komórkowego z ociepleniem				ściana zewnętrzna: cegła pełna z ociepleniem			
	wariant I *)		wariant II **)		wariant I *)		wariant II **)	
grubość izolacji	0,15	0,20	0,15	0,20	0,15	0,20	0,15	0,20
$U_c [W/(m^2 \cdot K)]$	0,20	0,16	0,11	0,09	0,23	0,18	0,12	0,09
$U_w [W/(m^2 \cdot K)]$	1,10	0,90	0,90	0,80	1,30	0,90	0,90	0,80
$\Phi [W]$	54,14	44,95	42,23	38,35	67,70	49,76	47,54	42,48
$L^{2D} [W/(m \cdot K)]$	1,354	1,124	1,081	0,959	1,693	1,244	1,189	1,062
$\Psi [W/(m \cdot K)]$	0,060	0,068	0,064	0,067	0,159	0,163	0,159	0,162
$\Psi_{sc} [W/(m \cdot K)]$	0,050	0,056	0,055	0,058	0,147	0,152	0,150	0,153
$\Psi_o [W/(m \cdot K)]$	0,010	0,012	0,009	0,009	0,012	0,011	0,009	0,009
$t_{min. [^{\circ}C]}$	13,72	14,16	14,57	14,80	12,77	13,36	13,84	14,04
$f_{Rsi} [-]$	0,843	0,854	0,864	0,870	0,819	0,834	0,846	0,851

*) wariant I – płyty styropianowe $\lambda=0,04 W/(m \cdot K)$
 **) wariant II – płyty izolacyjne z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej $\lambda=0,02 W/(m \cdot K)$

Tabela 8. Wyniki parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z oknem (ocieplenie przedłużone na ościeżnicę) – opracowanie własne

Parametry fizykalne złącza przegród zewnętrznych	ściana zewnętrzna: błoczek z betonu komórkowego z ociepleniem				ściana zewnętrzna: cegła pełna z ociepleniem			
	wariant I *)		wariant II **)		wariant I *)		wariant II **)	
grubość izolacji	0,15	0,20	0,15	0,20	0,15	0,20	0,15	0,20
$U_c [W/(m^2 \cdot K)]$	0,20	0,16	0,11	0,09	0,23	0,18	0,12	0,09
$U_w [W/(m^2 \cdot K)]$	1,10	0,90	0,90	0,80	1,30	0,90	0,90	0,80
$\Phi [W]$	52,46	43,21	41,32	36,39	62,54	44,78	42,23	37,08
$L^{2D} [W/(m \cdot K)]$	1,312	1,080	1,033	0,910	1,564	1,120	1,056	0,927
$\Psi [W/(m \cdot K)]$	0,053	0,054	0,047	0,046	0,073	0,068	0,057	0,055
$\Psi_{sc} [W/(m \cdot K)]$	0,025	0,028	0,024	0,025	0,051	0,050	0,041	0,041
$\Psi_o [W/(m \cdot K)]$	0,028	0,026	0,023	0,021	0,022	0,018	0,016	0,014
$t_{min. [^{\circ}C]}$	15,32	15,83	16,46	16,77	15,64	16,48	17,15	17,46
$f_{Rsi} [-]$	0,883	0,896	0,912	0,919	0,891	0,912	0,929	0,937

*) wariant I – płyty styropianowe $\lambda=0,04 W/(m \cdot K)$
 **) wariant II – płyty izolacyjne z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej $\lambda=0,02 W/(m \cdot K)$

Tabela 9. Wyniki parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z oknem (ościeżnica przesunięta w kierunku ocieplenia) – opracowanie własne

Parametry fizykalne złącza przegród zewnętrznych	ściana zewnętrzna: błoczek z betonu komórkowego z ociepleniem				ściana zewnętrzna: cegła pełna z ociepleniem			
	wariant I *)		wariant II **)		wariant I *)		wariant II **)	
grubość izolacji	0,15	0,20	0,15	0,20	0,15	0,20	0,15	0,20
$U_c [W/(m^2 \cdot K)]$	0,20	0,16	0,11	0,09	0,23	0,18	0,12	0,09
$U_w [W/(m^2 \cdot K)]$	1,10	0,90	0,90	0,80	1,30	0,90	0,90	0,80
$\Phi [W]$	52,08	42,78	40,92	35,98	61,67	43,92	51,56	36,41
$L^{2D} [W/(m \cdot K)]$	1,302	1,070	1,023	0,900	1,542	1,098	1,039	0,910
$\Psi [W/(m \cdot K)]$	0,041	0,042	0,036	0,035	0,048	0,045	0,039	0,038
$\Psi_{sc} [W/(m \cdot K)]$	0,015	0,017	0,013	0,015	0,027	0,027	0,022	0,023
$\Psi_o [W/(m \cdot K)]$	0,026	0,025	0,023	0,020	0,021	0,018	0,017	0,015
$t_{min. [^{\circ}C]}$	15,55	16,11	16,74	17,07	16,01	16,88	17,46	17,77
$f_{Rsi} [-]$	0,898	0,903	0,919	0,927	0,900	0,922	0,937	0,944

*) wariant I – płyty styropianowe $\lambda=0,04 W/(m \cdot K)$
 **) wariant II – płyty izolacyjne z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej $\lambda=0,02 W/(m \cdot K)$

Usytuowanie ościeżnicy okiennej na styku warstwy konstrukcyjnej i izolacji cieplnej pozwala na otrzymanie najmniejszych strat ciepła. Należy zauważyć, że przedłużenie ocieplenia na ościeżnicę powoduje, że temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody (w miejscu połączenia ściany zewnętrznej z ościeżnicą) jest wyższa niż w przypadku braku izolacji na ościeżnicy. W przypadku tego typu złączy bardzo zasadne staje się określenie gałęziowych współczynników przenikania ciepła, osobno dla części ściany zewnętrznej $\Psi_{sc} [W/(m \cdot K)]$ i dla części okna $\Psi_o [W/(m \cdot K)]$, ponieważ pozwala to na określenie dodatkowych strat ciepła dla ściany zewnętrznej i okna.

Wykonanie szczegółowych obliczeń, przy zastosowaniu programu komputerowego, pozwala na uzyskanie miarodajnych wyników parametrów cieplno-wilgotnościowych. Ich wartości zależą od zastosowanego materiału budowlanego (konstrukcyjnego), rodzaju i grubości izolacji cieplnej oraz ukształtowania struktury materiałowej analizowanego złącza. Posługiwanie się wartościami przybliżonymi

i orientacyjnymi, np. w oparciu o PN-EN ISO 14683:2008 [12], staje się nieuzasadnione, ponieważ nie uwzględniają zmiany układów materiałowych oraz rodzaju i grubości izolacji cieplnej. W tabeli 10 zestawiono wyniki liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)] wg normy PN-EN ISO 14683:2008 [12] oraz obliczeń własnych.

Tabela 10. Analiza porównawcza wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)]

Złącze budowlane	Wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)]				
	wg [12]	wg obliczeń własnych			
		ściana A – wariant:		ściana II – wariant :	
		I	II	I	II
Połączenie ściany zewnętrznej z oknem	(W7) 0,45	0,060÷ 0,068	0,064÷ 0,067	0,159÷ 0,163	0,159÷ 0,162
Połączenie ściany zewnętrznej z oknem (ocieplenie przedłużone na ościeżnicę)	brak karty katalogowej	0,053÷ 0,054	0,046÷ 0,047	0,068÷ 0,073	0,055÷ 0,057
Połączenie ściany zewnętrznej z oknem (ościeżnica przesunięta w kierunku ocieplenia)	(W1) 0,00	0,041÷ 0,042	0,035÷ 0,036	0,045÷ 0,048	0,038÷ 0,039
(W7), (W1) – symbole kart katalogowych w normie PN-EN ISO 14683:2008 [12] ściana A – ściana zewnętrzna: bloczek z betonu komórkowego z ociepleniem ściana B – ściana zewnętrzna: cegła pełna z ociepleniem					

Analizowane złącza spełniają tylko wymagania standardu budynku energooszczędnego **NF40** stawiane przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej [8], które dotyczą maksymalnej wartości współczynnika Ψ_{max} [W/(m·K)] w celu zmniejszenia strat ciepła. Jednak przy ocenie strat ciepła należy przeanalizować także inne parametry Φ (wielkość strumienia cieplnego przepływającego przez złącze) [W] lub L^{2D} (współczynnik sprzężenia cieplnego) [W/(m·K)] odzwierciedlające straty ciepła przez złącze.

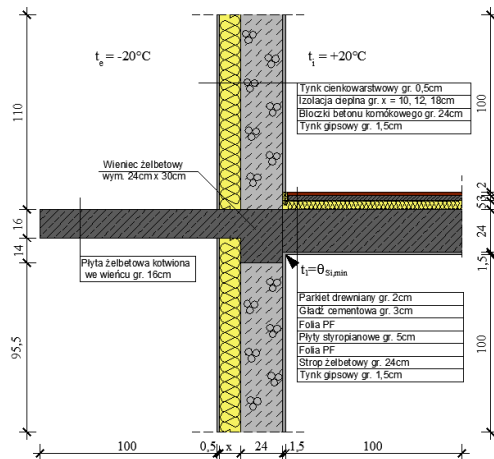
Szczególne znaczenie ma poprawne zaprojektowanie złączy przegród zewnętrznych w zakresie zminimalizowania strat ciepła oraz także wyeliminowania ryzyka kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody. Na podstawie wartości czynnika temperaturowego f_{Rsi} można stwierdzić, że w analizowanych złączach (tabela 7, 8, 9) nie występuje ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych. We wszystkich analizowanych złączach zachowany jest warunek uniknięcia kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody (ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych) $f_{Rsi} \geq f_{Rsi(kryt.)}$. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego, uwzględniając parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych, wynosi $f_{Rsi(kryt.)} = 0,785$.

W celu poprawnego ukształtowania struktury materiałowej złączy budowlanych przegród zewnętrznych należy każdorazowo uwzględniać zmienne parametry powietrza zewnętrznego i wewnętrznego odpowiadające rzeczywistemu usytuowaniu i użytkowaniu budynku. Istnieje więc potrzeba prowadzenia dalszych badań i obliczeń zarówno dla złączy dwuwymiarowych jak trójwymiarowych (przestrzennych).

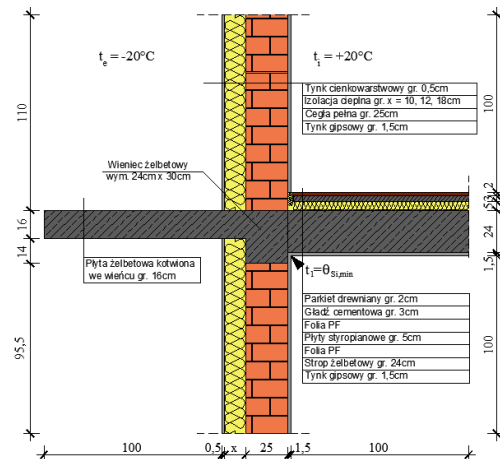
ANALIZA PARAMETRÓW FIZYKALNYCH POŁĄCZENIA ŚCIANY ZEWNĘTRZNEJ Z PŁYTĄ BALKONOWĄ

Do analizy parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową wybrano następujące warianty obliczeniowe:

- rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe I – typowa płyta wspornikowa (rysunek 4),
- rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe II – ocieplenie górnej części płyty balkonowej (rysunek 5),
- rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe III – ocieplenie górnej i dolnej części płyty balkonowej (rysunek 6).

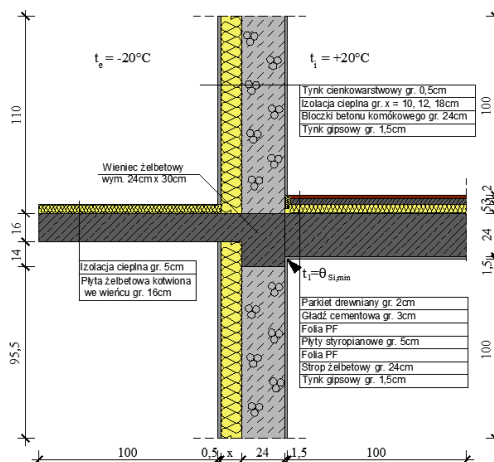


a) ściana zewnętrzna z betonu komórkowego (A)

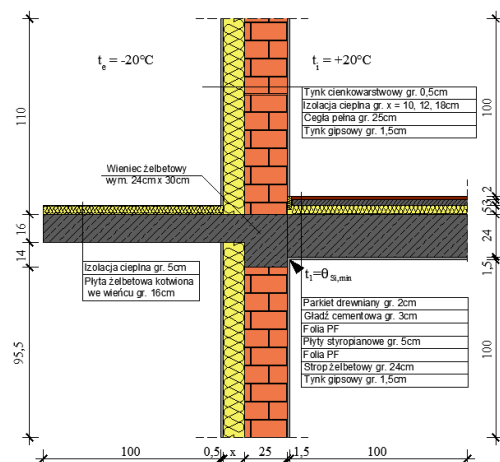


b) ściana zewnętrzna z cegły pełnej (B)

Rysunek 4. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową – typowa płyta wspornikowa

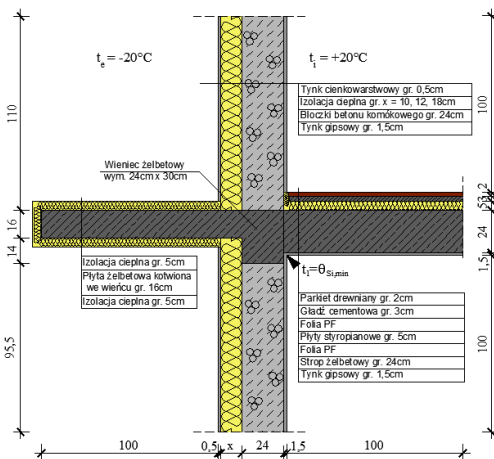


a) ściana zewnętrzna z betonu komórkowego (A)

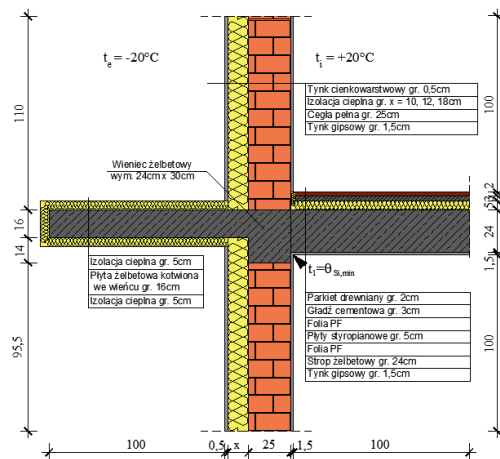


b) ściana zewnętrzna z cegły pełnej (B)

Rysunek 5. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową – ocieplenie górnej części płyty balkonowej



a) ściana zewnętrzna z betonu komórkowego (A)



b) ściana zewnętrzna z cegły pełnej (B)

Rysunek 6. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową – ocieplenie górnej i dolnej części płyty balkonowej

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- modelowanie złączy wykonano zgodnie z zasadami prezentowanymi w PN-EN ISO 10211:2008 [7],
- opory przejmowania ciepła (R_{si} , R_{se}) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [4] przy obliczeniach strumieni ciepłych oraz wg PN-EN ISO 13788:2003 [6] przy obliczeniach rozkładu temperatur i czynnika temperaturowego f_{Rsi} ,
- temperatura powietrza wewnętrznego $t_i = 20^\circ\text{C}$ (pokój dzienny), temperatura powietrza zewnętrznego $t_e = -20^\circ\text{C}$ (III strefa),

- wartości współczynnika przewodzenia ciepła materiałów budowlanych λ [W/(m·K)] przyjęto na podstawie pracy „Fizyka ciepła budowli w praktyce. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe” [10] oraz „Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle nowych warunków technicznych dotyczących budynków WT2013” [11] oraz udokumentowanych danych producentów.

W analizowanych przypadkach złączy budowlanych wytypowano ścianę zewnętrzną dwuwarstwową z zróżnicowaną warstwą konstrukcyjną (błoczek z betonu komórkowego lub cegła pełna) i warstwą izolacji cieplnej (płyty styropianowe lub płyty izolacyjne z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej) o zmiennej grubości. W tabelach 11, 12, 13 zestawiono wyniki obliczeń parametrów fizykalnych złączy budowlanych:

U_c [W/(m²·K)] – współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej,

Φ [W] – strumień cieplny przepływający przez złącze,

Φ_g [W] – strumień cieplny przepływający przez górną część złącza,

Φ_d [W] – strumień cieplny przepływający przez dolną część złącza,

L^{2D} [W/(m·K)] – liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego,

Ψ_i [W/(m·K)] – liniowy współczynnik przenikania ciepła,

Ψ_{ig} [W/(m·K)] – gałęziowy współczynnik przenikania ciepła (dotyczący górnej części złącza),

Ψ_{id} [W/(m·K)] – gałęziowy współczynnik przenikania ciepła (dotyczący dolnej części złącza),

Ψ_i [W/(m·K)] – liniowy współczynnik przenikania ciepła,

t_{min} [°C] – temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego,

f_{Rsi} [-] – czynnik temperaturowy,

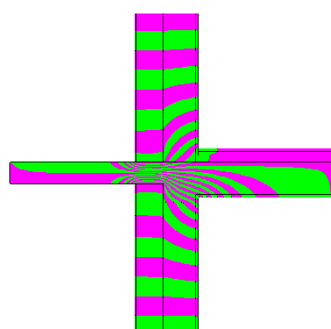
przeprowadzonych przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO.

Tabela 11. Wyniki parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową (typowa płyta wspornikowa) – opracowanie własne

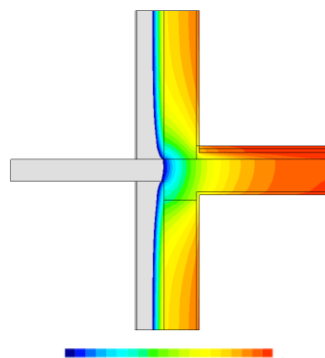
Parametry fizykalne złącza przegród zewnętrznych	ściana zewnętrzna: bloczek z betonu komórkowego z ociepleniem						ściana zewnętrzna: cegła pełna z ociepleniem					
	wariant I *)			wariant II **)			wariant I *)			wariant II **)		
grubość izolacji	0,10	0,12	0,18	0,10	0,12	0,18	0,10	0,12	0,18	0,10	0,12	0,18
U_c [W/(m ² ·K)]	0,26	0,23	0,17	0,16	0,14	0,10	0,33	0,28	0,20	0,18	0,15	0,10
Φ [W]	44,79	41,52	34,43	36,99	34,34	28,69	53,67	48,89	39,23	42,58	39,15	32,06
Φ_g [W]	14,7	13,4	10,74	10,950	9,970	7,990	21,12	19,04	14,96	15,79	14,37	11,54
Φ_d [W]	30,09	28,12	23,69	26,040	24,370	20,700	32,55	29,85	24,27	26,790	24,780	20,520
L^{2D} [W/(m·K)]	1,120	1,038	0,861	0,925	0,859	0,717	1,342	1,222	0,981	1,065	0,979	0,802
Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,109	0,106	0,098	0,117	0,113	0,104	0,199	0,193	0,176	0,215	0,206	0,184
Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,489	0,471	0,421	0,494	0,473	0,422	0,484	0,463	0,409	0,490	0,467	0,408
Ψ_i [W/(m·K)]	0,598	0,577	0,518	0,611	0,587	0,525	0,683	0,656	0,585	0,705	0,673	0,592
t_{min} [°C]	9,13	9,64	10,89	9,63	10,11	11,28	10,74	11,29	12,55	11,43	11,91	13,03
f_{Rsi} [-]	0,728	0,741	0,772	0,741	0,753	0,782	0,769	0,782	0,814	0,786	0,798	0,826

*) wariant I – płyty styropianowe $\lambda=0,04$ W/(m·K)

**) wariant II – płyty izolacyjne z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej $\lambda=0,02$ W/(m·K)



a) adiabaty



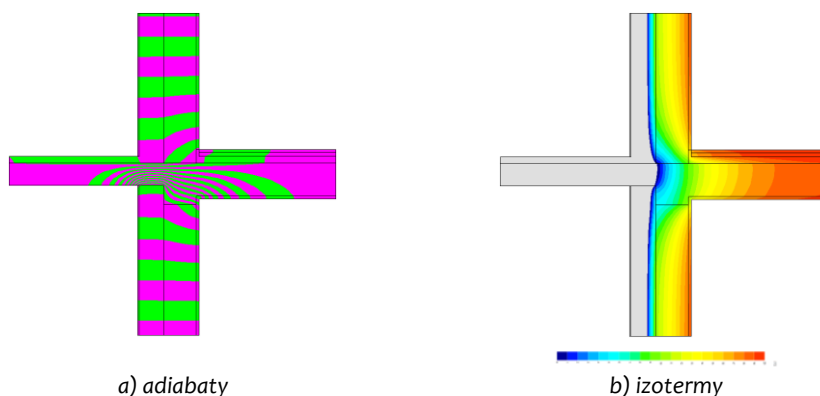
b) izotermy

Rysunek 7. Analiza strat ciepła i rozkładu temperatur w złączu – typowa płyta wspornikowa

Tabela 12. Wyniki parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową (ocieplenie górnej części płyty balkonowej) – opracowanie własne

Parametry fizyczne złącza przegród zewnętrznych	ściana zewnętrzna: błoczek z betonu komórkowego z ociepleniem						ściana zewnętrzna: cegła pełna z ociepleniem					
	wariant I *)			wariant II **)			wariant I *)			wariant II **)		
grubość izolacji	0,10	0,12	0,18	0,10	0,12	0,18	0,10	0,12	0,18	0,10	0,12	0,18
U_c [W/(m ² ·K)]	0,26	0,23	0,17	0,16	0,14	0,10	0,33	0,28	0,20	0,18	0,15	0,10
Φ [W]	42,59	39,66	32,92	34,59	32,3	27,04	50,74	46,45	37,31	39,39	36,47	29,98
Φ_g [W]	14,24	13,02	10,41	10,45	9,54	7,64	20,17	18,24	14,34	14,75	13,5	10,86
Φ_d [W]	28,35	26,64	22,51	24,14	22,76	19,4	30,57	28,21	22,97	24,64	22,97	19,12
L^{2D} [W/(m·K)]	1,065	0,992	0,823	0,865	0,808	0,676	1,269	1,161	0,933	0,985	0,912	0,750
Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,097	0,097	0,089	0,104	0,103	0,095	0,175	0,173	0,161	0,189	0,185	0,167
Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,446	0,434	0,390	0,445	0,432	0,389	0,434	0,422	0,376	0,436	0,421	0,373
Ψ_i [W/(m·K)]	0,543	0,530	0,479	0,549	0,535	0,484	0,610	0,595	0,536	0,624	0,606	0,539
t_{min} [°C]	9,92	10,32	11,44	10,48	10,84	11,88	11,48	11,88	13,04	12,23	12,58	13,56
f_{Rsi} [-]	0,748	0,758	0,786	0,762	0,771	0,797	0,787	0,797	0,826	0,806	0,815	0,839

*) wariant I – płyty styropianowe $\lambda=0,04$ W/(m·K)
 **) wariant II – płyty izolacyjne z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej $\lambda=0,02$ W/(m·K)

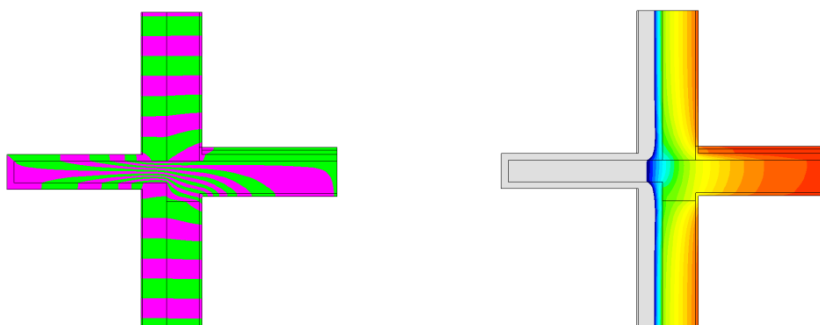


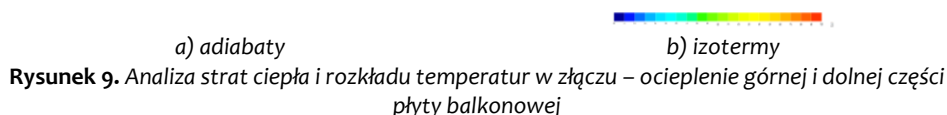
Rysunek 8. Analiza strat ciepła i rozkładu temperatur w złączu – ocieplenie górnej części płyty balkonowej

Tabela 12. Wyniki parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową (ocieplenie górnej i dolnej części płyty balkonowej) – opracowanie własne

Parametry fizyczne złącza przegród zewnętrznych	ściana zewnętrzna: błoczek z betonu komórkowego z ociepleniem						ściana zewnętrzna: cegła pełna z ociepleniem					
	wariant I *)			wariant II **)			wariant I *)			wariant II **)		
grubość izolacji	0,10	0,12	0,18	0,10	0,12	0,18	0,10	0,12	0,18	0,10	0,12	0,18
U_c [W/(m ² ·K)]	0,26	0,23	0,17	0,16	0,14	0,10	0,33	0,28	0,20	0,18	0,15	0,10
Φ [W]	35,26	32,5	26,85	24,250	22,290	18,480	41,68	37,63	29,96	26,90	24,34	19,79
Φ_g [W]	12,77	11,57	9,15	8,350	7,490	5,860	17,33	15,47	12,00	10,77	9,65	7,61
Φ_d [W]	22,49	20,93	17,7	15,900	14,800	12,620	24,35	22,16	17,96	16,130	14,690	12,180
L^{2D} [W/(m·K)]	0,882	0,813	0,671	0,606	0,557	0,462	1,042	0,941	0,749	0,673	0,609	0,495
Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,060	0,060	0,058	0,052	0,051	0,051	0,104	0,104	0,102	0,089	0,088	0,085
Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,299	0,291	0,271	0,241	0,234	0,220	0,279	0,270	0,251	0,223	0,214	0,200
Ψ_i [W/(m·K)]	0,359	0,351	0,329	0,292	0,285	0,270	0,383	0,374	0,353	0,313	0,303	0,285
t_{min} [°C]	12,65	12,97	13,69	14,37	14,60	15,1	13,82	14,18	14,93	15,50	15,74	16,22
f_{Rsi} [-]	0,816	0,824	0,842	0,859	0,865	0,878	0,845	0,854	0,873	0,888	0,893	0,906

*) wariant I – płyty styropianowe $\lambda=0,04$ W/(m·K)
 **) wariant II – z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej $\lambda=0,02$ W/(m·K)





Rysunek 9. Analiza strat ciepła i rozkładu temperatur w złączu – ocieplenie górnej i dolnej części płyty balkonowej

W aspekcie oceny ciepłno-wilgotnościowej najbardziej korzystnym jest rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe III – połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową przy ociepleniu płyty balkonowej w górnej i dolnej powierzchni. Uzyskano najniższe, z rozpatrywanych wariantów obliczeniowych, wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)]. Poza tym, rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe I lub II generuje obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody do poziomu w którym występuje ryzyko kondensacji powierzchniowej, ponieważ $f_{Rsi} < f_{Rsi, \text{ kryt. }}$ (tabela 11, 12). Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego, uwzględniając parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych, wynosi $f_{Rsi(\text{kryt})} = \mathbf{0,778}$. Zastosowanie materiału termoizolacyjnego (np. płyty izolacyjne z zamkniętokomórkowej pianki rezolowej o $\lambda = \mathbf{0,02}$ W/(m·K)) pozwala na ograniczenia strat ciepła przez pełne przegrody zewnętrzne oraz złącza budowlane. Należy jednak ponadto podjąć próbę zmiany ukształtowania elementu konstrukcyjnego płyty balkonowej, np. jako układ belek wspornikowych, na których układa się płytę balkonową lub zastosowanie łącznika izotermicznego.

Literatura

1. Uchwała Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”
2. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (DzU z 2013 r. poz. 1409, z późn.zm.)
3. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania (DzU z 2013 r., poz. 926).
4. PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
5. PN-EN ISO 13370:2008 Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metoda obliczania.
6. PN-EN ISO 13788: 2003 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania.
7. PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
8. Wymagania określające podstawowe wymogi niezbędne do osiągnięcia oczekiwanych standardów energetycznych dla budynków mieszkalnych oraz sposób weryfikacji projektów i sprawdzania wykonywanych domów energooszczędnych, www.nfosigw.gov.pl.
9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2008 r., nr 201, poz. 1238).
10. A. Dylla, „Fizyka ciepła budowli w praktyce. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe”, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., Warszawa 2015.
11. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle nowych warunków technicznych dotyczących budynków WT2013”, Wydanie Specjalne miesięcznika IZOLACJE 2/2013, Warszawa 2013.
12. PN-EN ISO 14683:2008 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.