Ocieplenie bez błędów. Jak minimalizować wpływ mostków termicznych?

Osiągnięcie odpowiedniego standardu energooszczędnego budynku jest możliwe przy poprawnie zaprojektowanym i wykonanym ociepleniu przegród zewnętrznych. Kompleksowe działania w tym zakresie powinny dotyczyć pełnych przegród (m.in. ścian zewnętrznych, stropodachów), ale także ich złączy. W celu ograniczenia negatywnego wpływu mostków termicznych należy poprawnie ukształtować strukturę materiałową w analizowanym złączu przegród zewnętrznych.

Wymagania w zakresie ochrony cieplnej budynków i ich przegród zewnętrznych określono w postaci dwóch jednocześnie stosowanych metod (§ 328 Rozporządzenia [1]):

- zaprojektowanie przegród w budynku tak, aby wartości współczynników przenikania ciepła U_c [W/(m^{2}K)] przegród zewnętrznych, okien, drzwi oraz technika instalacyjna odpowiadały wymaganiom izolacyjności cieplnej
- zaprojektowanie budynku pod kątem zapotrzebowania 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 [kWh/(m^{2}rok)].

W praktyce projektowej i wykonawczej budynków niskoenergetycznych pojawiają się także określenia: budynek w standardzie NF40 lub NF15. Dotyczą one energooszczędnych budynków mieszkalnych, na których budowę lub zakup NFOŚiGW [2] uruchamia system dopłat do kredytów. W tablicy 1 zestawiono wybrane wymagania cieplne dla przegród zewnętrznych budynku wg Rozporządzenia WT2013 oraz NFOŚiGW.

Tablica 1. Zestawienie wymagań cieplnych wg Rozporządzenia WT [1] oraz wytycznych NFOŚiGW [2] dla budynków w standardzie NF15 i NF 40

Charakterystyczne parametry			Wymagania według rozporządzeń		Standard budynku	
			WT2008	WT2013	NF40	NF15
Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(maks)}$ przegród zewnętrznych budynku [W/(m^{2}K)]	ściana zewnętrzna	$t_i > 16°C$	0,30	0,25[1]	≤ 0,15	≤ 0,10
				0,23[2]		
				0,20[3]		
	dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub przejazdami	$t_i > 16°C$	0,25	0,20[1]	≤ 0,12	≤ 0,10
				0,18[2]		
				0,15[3]		
	podłoga na gruncie	$t_i > 16°C$	0,45	0,30[1, 2, 3]	≤ 0,20	≤ 0,12
	stropy nad piwnicami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podłogowymi	$t_i > 16°C$	0,45	0,25[1, 2, 3]	≤ 0,20	≤ 0,12
	okna, okna połaciowe, drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwierane	$t_i > 16°C$	1,70-1,80	1,30[1]	≤ 1,00	≤ 0,80
				1,10[2]		
				0,90[3]		
	drzwi zewnętrzne, garażowe		2,60	1,70[1]	≤ 1,30	≤ 0,80
				1,50[2]		
				1,30[3]		
Liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ [W/(mK)]	płyty balkonowe		brak wymagań	brak wymagań	≤ 0,30	≤ 0,01
	pozostałe mostki cieplne		brak wymagań	brak wymagań	≤ 0,10	≤ 0,01

[1] od 1.01.2014 r. [2] od 1.01.2017 r. [3] od 1.01.2021 r.

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 w trakcie wyboru rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych przegród zewnętrznych i złączy.

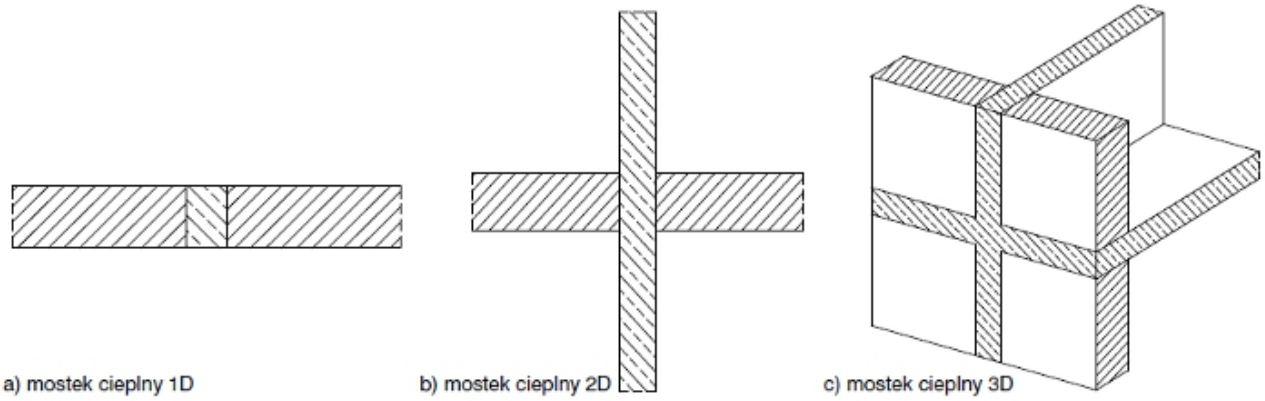
Pojęcia i przykłady mostków cieplnych

W literaturze można spotkać wiele definicji mostków termicznych. W pierwszej polskiej publikacji szerzej podejmującej problematykę fizyki budowli, Kołodziejczyk [3], używa terminu pomost cieplny na oznaczenie mostka termicznego całkowitego.

Według A. Dylli mostek termiczny powstaje w wyniku naruszenia ciągłości struktury wewnętrznej przegrody, w związku z występowaniem materiałów budowlanych różniących się, najczęściej znacznie, wielkością współczynników przewodności cieplnej λ [4], [5].

Mostki termiczne można podzielić na trzy grupy [4], [5]:

- mostki pierwszego rzędu (płaskie w obrysie przegrody zewnętrznej) - 1D
- mostki drugiego rzędu (w miejscu połączenia przegród - w stykach, złączach, narożnikach) - 2D
- mostki trzeciego rzędu (przestrzenne mostki cieplne zarówno w samej przegrodzie zewnętrznej, jak i w ewentualnym złączu przestrzennym tej przegrody z dowiązującymi lub przebijającymi ją ścianami lub stropami) - 3D.



Rys. 1. Przykładowe mostki cieplne

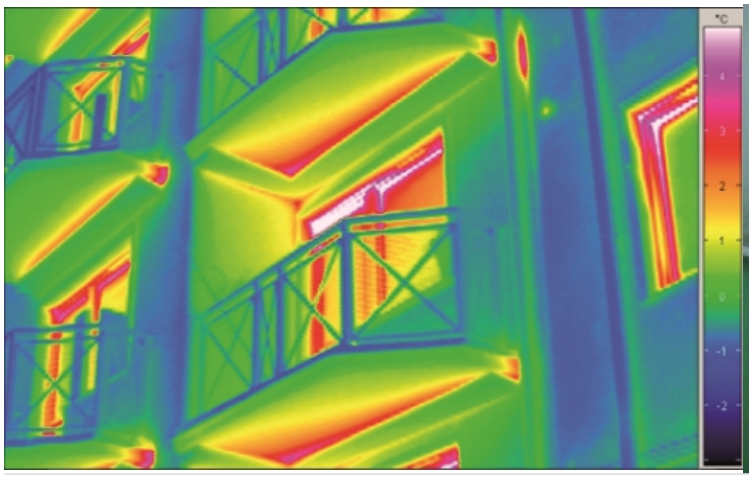
Typowymi przykładami mostków termicznych są: spoiny wypełnione zaprawą w ścianach murowanych z elementów drobnowymiarowych, słupy i rygle w ścianach, żebra w ścianach warstwowych, nadproża, złącza elementów prefabrykowanych, naroża ścian, połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową, ościeża okienne.

Konsekwencje występowania mostków cieplnych

Występujące w rzeczywistości pole dwu- i trójwymiarowe powinno zostać każdorazowo określone dla konkretnych warunków brzegowych, a uzyskane wyniki determinują jakość cieplną badanych przegród zewnętrznych z należytą dokładnością. Do podstawowych parametrów charakteryzujących mostki cieplne można zaliczyć:

- liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ [W/(mK)], określający dodatkowe straty ciepła wynikające z występowania liniowych mostków cieplnych; jego wartość może być określana wg wymiarów wewnętrznych (Ψ_i), wg wymiarów zewnętrznych (Ψ_e) lub wg wymiarów całkowitych wewnętrznych – osiowych (Ψ_{oi})
- punktowy współczynnik przenikania ciepła χ [W/K], określający dodatkowe straty ciepła wynikające z występowania punktowych mostków cieplnych
- gałęziowy współczynnik przenikania dotyczący strat ciepła dla pojedynczej części złącza budowlanego np. dla dolnej części złącza (tablica 4)
- minimalną temperaturę na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego $t_{min.}$ [°C] ($\vartheta_{si\ min.}$ [°C]) oraz czynnik temperaturowy f_{Rsi} [-] zależny tmin [°C] ($\vartheta_{si\ min.}$ [°C]) .

W tzw. „słabych miejscach” występuje zwiększony przepływ ciepła - opisany przy wykonaniu pomiarów kamerą termowizyjną (fot. 1), a na ich wewnętrznej powierzchni utrzymuje się niższa temperatura w porównaniu z temperaturą pozostałej części przegrody. Wskutek tego często następuje wykraplanie się pary wodnej na powierzchni mostków i powstają mokre plamy, a nawet pleśń (fot. 2).



Fot. 1. Termografia budynku – obraz dodatkowych strat ciepła [6], [7]

Fot. 2. Zjawisko obniżonej temperatury na wewnętrznej powierzchni
przegrody – ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych

Opisując zagadnienia związane z mostkami termicznymi można przywołać następujące postulaty:

- należy dążyć do ograniczenia wartości niekorzystnego wpływu na straty ciepła i ryzyko kondensacji wszystkich występujących mostków cieplnych
- wszystkie mostki termiczne, których można uniknąć, należy wyeliminować na etapie projektowania lub realizacji budynku
- wszystkie mostki, które nie mogą być usunięte powinny być skonstruowane lub ocieplone tak, aby ich wpływ na straty ciepła był minimalny, a także ryzyko kondensacji było minimalne.

Mostki cieplne a wymagania prawne, obligatoryjne

Według znowelizowanego rozporządzenia [1], mostki cieplne należy uwzględniać w zakresie sprawdzenia ryzyka występowania kondensacji wilgoci na wewnętrznej powierzchni przegrody (określenie temperatury min. oraz czynnika temperaturowego f_{Rsi}). Natomiast obliczona wartość współczynnika przenikania ciepła U_c [W/(m^{2}K)], wg PN-EN ISO 6946:2008 [8], dla pojedynczej przegrody nie uwzględnia dodatkowych strat ciepła wynikających z występowania mostków cieplnych. Na podstawie przeprowadzonych badań własnych opracowano własne algorytmy obliczeniowe w formie metod inżynierskich, prezentowane w pracy [9], [10], [11]. Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku [12], w celu określenia wartości całkowitego współczynnika strat ciepła przez przenikanie H_{tr} [W/K] należy przeprowadzić obliczenia zgodnie z PN-EN 12831:2006 [13]. Wpływ liniowych mostków cieplnych uwzględnia się przy zastosowaniu liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [W/(mK)], którego wartości wg PN-EN 12831:2006 [13] należy przyjmować na podstawie PN-EN ISO 14683:2008 [14] (ocena przybliżona) lub na podstawie obliczeń numerycznych w oparciu o PN-EN ISO 10211:2008 [15] (ocena dokładna). Należy zwrócić także uwagę, że wg PN-EN 12831:2006 [13] wpływ liniowych mostków cieplnych można określić metodą uproszczoną, obliczając współczynnik przenikania ciepła z uwzględnieniem mostków cieplnych U_{kc} [W/(m^{2}K)] wg wzoru $U_{kc} = U_k + \Delta U_{Tb}$. Wartości współczynnika korekcyjnego ΔU_{Tb} przyjmuje się wg załącznika D.4.1 normy [13] w zależności od typu elementu budynku (poziomy czy pionowy) oraz występujących otworów okiennych i drzwiowych. Jednak taki sposób budzi wiele niejasności i wątpliwości, ponieważ przyjmowanie stałych (zryczałtowanych) współczynników ΔU_{Tb} nie prowadzi do uzyskania miarodajnych wyników obliczeń w zakresie strat ciepła.

Przykładowe sposoby minimalizowania wpływu mostków cieplnych

W celu ograniczenia dodatkowych strat ciepła oraz możliwości obniżenia temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego należy odpowiednio kształtować układy materiałowe w danym złączu przegród zewnętrznych budynku.
W artykule przedstawiono szczegółową analizę parametrów wybranych mostków cieplnych: połączenie

ściany zewnętrznej dwuwarstwowej z oknem w przekroju przez ościeżnicę (przykład 1) oraz połączenie ściany zewnętrznej dwuwarstwowej z płytą balkonową (przykład 2). Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- budynek zlokalizowany w III strefie - temp. powietrza zewnętrznego t_e = -20°C, temp. powietrza wewnętrznego t_i = +20°C
- wartości współ. przewodności cieplnej materiałów budowlanych λ [W/(mK)] przyjęto na podstawie tablic zamieszczonych w publikacji [10], [11]
- współ. przenikania ciepła U_c [W/(m^{2}K)] obliczono zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [8]
- warunki przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [8] dla obliczenia wielkości strumieni cieplnych oraz zgodnie z PN-EN ISO 13788:2003 [16] przy obliczaniu temperatur i czynnika temperaturowego f_{Rsi} [-]
- modelowanie analizowanych złączy wykonano zgodnie z zasadami sformułowanymi w PN-EN ISO 10211:2008 [15].

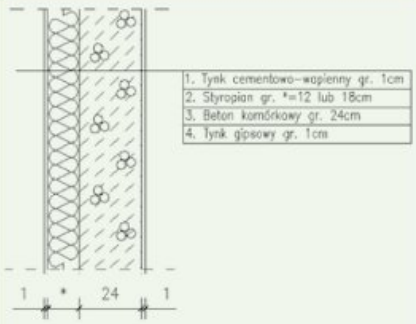
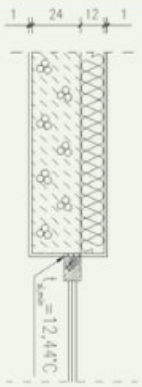
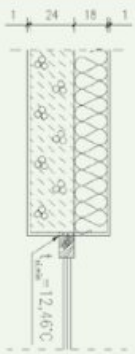
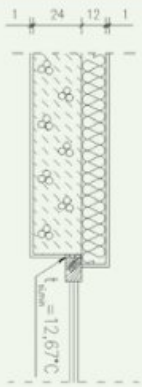
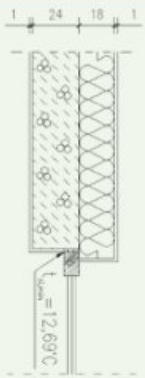
Przykład 1

W przykładzie tym przedstawiono wpływ poprawnego osadzenia stolarki okiennej na parametry cieplne połączenia ściany zewnętrznej dwuwarstwowej z oknem w przekroju przez ościeżnicę. W tablicy 2 przedstawiono wyniki obliczeń parametrów fizycznych analizowanych złączy w dwóch wariantach:

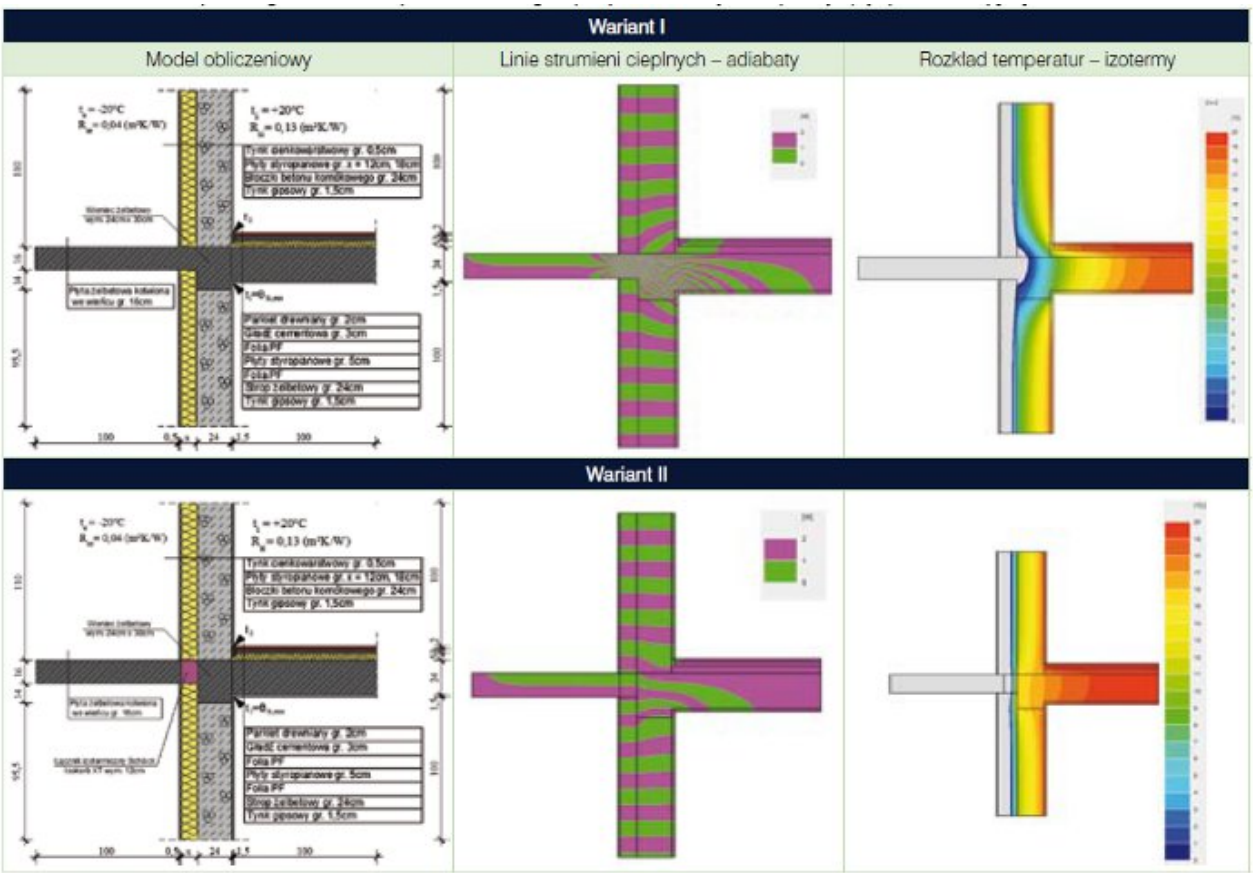
- wariant I - brak ocieplenia na ościeżnicy okiennej
- wariant II - ocieplenie zachodzi (3 cm) na ościeżnicę.

Poprawne osadzenie stolarki okiennej w ścianie zewnętrznej dwuwarstwowej (wariant II) powoduje, że starty ciepła przez dane złącze są dużo mniejsze, a temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego jest wyższa niż w wariancie I. Wymagania programu NFOŚiGW [2] dotyczące maks. wartości współczynnika Ψmaks. [W/(mK)] mają pomóc w zmniejszeniu strat ciepła przez złącza przegród. Jednak przy ocenie strat ciepła należy dodatkowo przeanalizować także parametry: wielkość strumienia cieplnego przepływającego przez złącze Φ [W] lub współczynnik sprężenia cieplnego L^{2D} [W/(mK)], odzwierciedlające straty ciepła przez złącze. Analiza wyłącznie współczynnika Ψ [W/(mK)] nie potwierdza zasadności konkretnego rozwiązania. W analizowanych przykładach zwiększenie grubości izolacji cieplnej do 18 cm powoduje, że wartość Ψ wynosi 0,073 W/(mK), a przy grubości 12 cm Ψ wynosi 0,065 W/(mK). Wynika to z metodyki obliczeń. Warto jednak zauważyć, że analiza wielkości Φ [W] potwierdza ograniczenie strat ciepła przez złącze (tablica 2).

Tablica 2. Wyniki obliczeń parametrów cieplnych złącza połączenia ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę [17]

Układ warstw materiałowych ściany dwuwarstwowej	Wariant I – grubość izolacji cieplnej		Wariant II – grubość izolacji cieplnej	
	12 cm	18 cm	12 cm	18 cm
				
Współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej U_c [W/(m²K)]	0,240	0,177	0,240	0,177
Wielkość strumienia cieplnego przepływającego przez złącze Φ [W]	35,68	33,50	34,14	31,82
Liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ [W/(mK)]	0,065	0,073	0,064	0,063
Temperatura min. w złączu na wewnętrznej powierzchni przegrody $t_{si,min.}$ [°C]	12,44	12,46	12,67	12,69
Czynnik temperaturowy $f_{R,si}$ [-]	0,811	0,811	0,817	0,817

Tablica 3. Analiza cieplno-wilgotnościowa złącza budowlanego – połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową [18]



Przykład 2

W przykładzie tym przedstawiono wpływ ukształtowania połączenia ściany zewnętrznej dwuwarstwowej z płytą balkonową. W tablicach 3 i 4 przedstawiono wyniki obliczeń parametrów fizycznych, dla dwóch wariantów obliczeniowych:

- wariant I - płyta balkonowa przebija warstwę izolacji cieplnej
- wariant II - połączenie płyty balkonowej ze ścianą zewnętrzną za pomocą łącznika izotermicznego.

Złącze z typowym rozwiązaniem, wskutek przebicia izolacji cieplnej płytą balkonową, generuje znacznie większe straty ciepła niż złącze z zastosowaniem łącznika izotermicznego. Praktyczne zastosowanie wariantu II powoduje, że na stykach wewnętrznych przegród występują temperatury (t_1, t_2) wyższe niż w wariancie I (tablica 3, 4). W związku z tym
nie występuje ryzyko kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego.

Tablica 4. Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową [18]

Parametry cieplne złącza budowlanego	Wariant I		Wariant II	
Grubość izolacji d_2 [m]	0,120	0,180	0,120	0,180
Współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej U_c [W/(m²K)]	0,230	0,171	0,230	0,171
Wielkość strumienia cieplnego przepływającego przez złącze Φ [W]	41,510	34,430	22,340	17,070
Wielkość strumienia cieplnego przepływającego przez górną część złącza Φ_g [W]	13,400	10,740	9,570	7,230
Wielkość strumienia cieplnego przepływającego przez dolną część złącza Φ_d [W]	28,110	23,690	12,770	9,840
Współczynnik sprzężenia cieplnego L^{2D} [W/(mK)]	1,038	0,861	0,559	0,427
Liniowy współczynnik przenikania ciepła dotyczy górnej części złącza Ψ_{ig} [W/(mK)]	0,106	0,098	0,010	0,010
Liniowy współczynnik przenikania ciepła dotyczy dolnej części złącza Ψ_{id} [W/(mK)]	0,472	0,420	0,088	0,074
Liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ_i [W/(mK)]	0,578	0,518	0,099	0,084
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temp. min. przy: t_e=-20°C, t_i=20°C)	**Wariant I**		**Wariant II**	
Temperatura na stykach wewnętrznych złącza t_1 [°C]	9,640	10,890	16,940	17,540
Temperatura na stykach wewnętrznych złącza t_2 [°C]	15,300	15,940	17,780	18,330
Temperatura minimalna w złączu na wewnętrznej powierzchni przegrody t_{simin} [°C]	9,640	10,890	16,940	17,540
Czynnik temperaturowy f_{Rsi} [-]	0,741	0,772	0,924	0,938

Podsumowanie

Kompleksowa ocena przegród zewnętrznych w aspekcie cieplno-wilgotnościowym powinna dotyczyć przegród, ale także ich złączy. Dobór materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych nie powinien być przypadkowy, ale oparty na podstawie szczegółowych obliczeń i analiz. Określenie szczegółowe parametrów fizycznych złączy budowlanych (mostków cieplnych), przy zastosowaniu programu komputerowego, umożliwia miarodajne oszacowanie strat ciepła i rozkładu temperatur oraz uniknięcie błędów na etapie projektowania, wykonywania i eksploatacji budynków. Istnieje potrzeba prowadzenia szczegółowych dalszych obliczeń, w celu opracowania profesjonalnego katalogu mostków cieplnych budynków w standardzie niskoenergetycznym.

dr inż. Krzysztof Pawłowski
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
2. Wytyczne określające podstawowe wymogi niezbędne do osiągnięcia oczekiwanych standardów energetycznych dla budynków mieszkalnych oraz sposób weryfikacji projektów i sprawdzania wykonanych domów energooszczędnych www.nfosigw.gov.pl
3. Kołodziejczyk S., *Fizyka konstrukcji budowlanych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Łódź 1962.
4. Dylla A., *Fizyka budowli*, Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1985.
5. Dylla A., *Ochrona cieplna słabych miejsc w przegrodach budowlanych*, Wydawnictwo ART Olsztyn 1988.
6. http://www.ladnydom.pl/budowa/L106570, 5498166,Balkon_bez_przemarzania.html
7. http://www.budowlany.pl/pl/tynki/cieply_ dom_to_oszczednosc_pieniedzy
8. PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
9. Pawłowski K., *Efektywność zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym*, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, rozprawa doktorska, 2008.
10. Dylla A., *Praktyczna fizyka cieplna budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych*, Wydawnictwo

Uczelniane UTP w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2009.
11. Pawłowski K., *Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle nowych warunków technicznych dotyczących budynków WT2013*, Wydawnictwo MEDIUM, Warszawa 2013.
12. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej (DzU z 2014 r., poz. 888).
13. PN-EN 12831:2006 Instalacje grzewcze w budynkach. Metoda obliczania obciążenia cieplnego.
14. PN-EN ISO 14683:2008 Mostki cieplne w budynkach, Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
15. PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach, Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
16. PN-EN ISO 13788:2003 Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania.
17. Józefiak K., *Analiza numeryczna wybranych złączy budowlanych w zakresie wymagań wilgotnościowych*, praca dyplomowa magisterska, napisana pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Pawłowskiego w Katedrze Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2012.
18. Pawłowski K., Dybowska M., Józefiak K., *Przykłady minimalizacji wpływu mostków cieplnych na izolacyjność przegrody*, Izolacje 3/21014.