

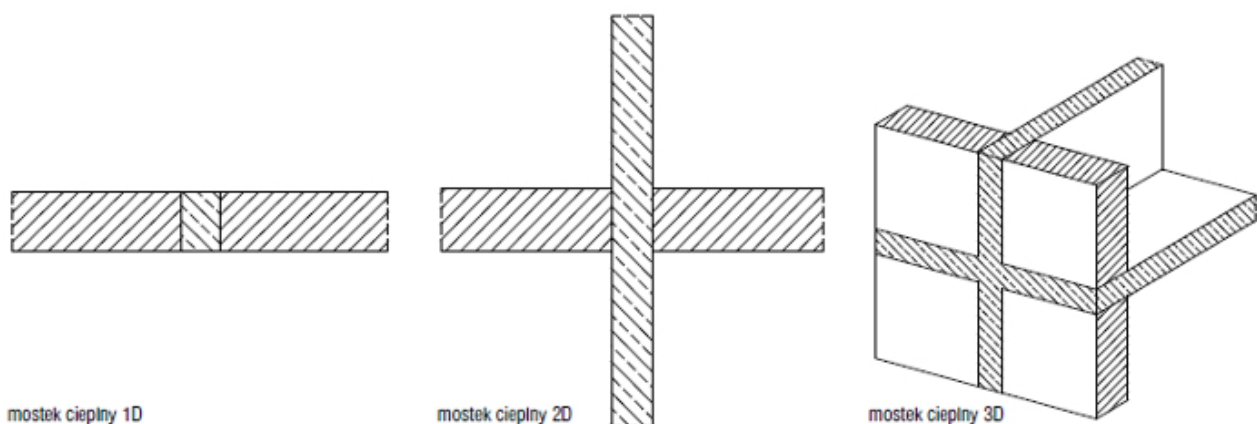
Termomodernizacja a mostki cieplne w budownictwie

Złącza budowlane, nazywane także mostkami cieplnymi (termicznymi) powstają w wyniku połączenia przegród budynku jako naruszenie ciągłości struktury wewnętrznej przegrody (występowanie materiałów budowlanych różniących się wielkością współczynników przewodności cieplnej). Opisuje się także jako obszar wzmożonego przepływu ciepła (tj. wzmożonych strat ciepła) w przegrodzie, objawiający się obniżeniem temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody.

Mostki cieplne a wymagania prawne

Mostki termiczne można podzielić ogólnie na trzy grupy (rysunek 1):

- mostki pierwszego rzędu (płaskie w obrysie przegrody zewnętrznej) - 1D
- mostki drugiego rzędu (w miejscu połączenia przegród; 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 przebiegającymi ją ścianami lub stropami) - 3D.



Rys. 1. Przykładowe mostki cieplne - opracowanie własne

Ze względu na przyczynę występowania mostki termiczne można podzielić na: mostki termiczne powstające w wyniku zmiany geometrii układu (narożniki przegród zewnętrznych), mostki termiczne powstające w wyniku zmiany układu materiałowego, spowodowane występowaniem materiałów budowlanych różniących się, najczęściej znacznie, wielkością współczynników przewodności cieplnej λ [$W/(mK)$] (wzmocnienia, przewiązki, łączniki).

Ze względu na miejsce występowania można natomiast wyodrębnić dwie grupy: mostki termiczne wewnątrz komponentów budowlanych, mostki termiczne na połączeniu komponentów budowlanych.

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.

Zgodnie z rozporządzeniem [N1] mostki cieplne należy uwzględniać w aspekcie cieplno-wilgotnościowym.

Powinno się więc prowadzić obliczenia związane z:

- kondensacją wilgoci na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego
- określeniem izolacyjności cieplnej zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy.

Sprawdzenie warunku ochrony wilgotnościowej – ryzyko występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody wynika z zapisu w rozporządzeniu [N1]:

- „§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 2.2.4. załącznika nr 2 do rozporządzenia.”

Warunki spełnienia wymagań dotyczących powierzchniowej kondensacji pary wodnej podaje załącznik nr 2 rozporządzenia [N1]:

„2.2.1. W celu zachowania warunku, o którym mowa w §321.1. rozporządzenia, w odniesieniu do przegród zewnętrznych budynków mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjnych, 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 dotyczącą obliczania temperatury powierzchni wewnętrznej koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej.

2.2.2. Wymaganą wartość krytyczną współczynnika 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 $\phi = 50\%$, przy czym dopuszcza się przyjmowanie wymaganej wartości tego współczynnika równej 0,72.”

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

- dla przegrody – według Polskiej Normy (PN-EN ISO 13788:2003 [N2])
 - dla mostków cieplnych przy zastosowaniu przestrzennego modelu przegrody – według Polskiej Normy dotyczącej obliczania strumieni cieplnych i temperatury powierzchni (PN-EN ISO 10211:2008 [N3]).
- 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 [N2]).

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.

Sprawdzenie kryterium izolacyjności cieplnej zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy polega na wyznaczeniu współczynnika przenikania ciepła U określanego według normy PN-EN ISO 6946:2008 [N4]. Wartość ta nie może być większa niż wartość $U_{C(max)}$ poszczególnych przegród budowlanych. W normach przedmiotowych nie zawarto jednak jednoznacznych procedur uwzględniania mostków cieplnych w obliczeniach współczynnika przenikania ciepła U .

Na podstawie przeprowadzonych badań własnych opracowano własne algorytmy obliczeniowe w formie metod inżynierskich, prezentowane m.in. w pracy [1].

Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku [N5], w celu wyznaczenia miesięcznych wartości zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania i wentylacji $Q_{H,ht}$, niezbędne jest określenie współczynnika strat ciepła H (suma współczynnika strat ciepła przez przenikanie H_{tr} i współczynnika strat ciepła na wentylację H_{ve}). Całkowitą ilość ciepła przeniesionego ze strefy ogrzewanej przez przenikanie w n -tym miesiącu roku $Q_{tr,s,n}$ wyznacza się wg punktu 5.2.3., załącznik 1 do rozporządzenia [N5]:

$$Q_{tr,s,n} = H_{tr,s} \cdot (\theta_{int,s,H} - \theta_{e,n}) \cdot t_M \cdot 10^{-3} \text{ [kWh/m-c]}$$

gdzie:

$H_{tr,s}$ – całkowity współczynnik przenoszenia ciepła przez przenikanie dla strefy ogrzewanej [W/K], określany zgodnie z PN-EN 12831:2006 [N6]

$\theta_{int,s,H}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i) [°C]

θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna (e) [°C]

t_M – liczba godzin w miesiącu [h].

Wpływ mostków cieplnych jest uwzględniany w obliczeniach wg PN-EN 12831:2006 [N6]:

- współczynnika strat ciepła przez przenikanie pomiędzy przestrzenią ogrzewaną a powietrzem zewnętrznym $H_{T,ie}$ [W/K]
- współczynnika strat ciepła przez przenikanie przez przestrzeń nieogrzewaną $H_{T,iue}$ [W/K].

Projektowy współczynnik straty ciepła przez przenikania z przestrzeni ogrzewanej (i) na zewnątrz (e) $H_{T,ie}$ [W/K] zależy od wszystkich elementów budynku i liniowych mostków cieplnych oddzielających przestrzeń ogrzewaną od środowiska zewnętrznego takich jak ściany, podłogi, stropy, drzwi, okna, określa się wg punktu 7, PN-EN 12831:2006 [N6]:

$$H_{T,ie} = \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum \Psi_i \cdot l_i \cdot e_i \text{ [W/K]}$$

gdzie:

A_k – powierzchnia elementu budynku (k) [m²]

U_k – współczynnik przenikania ciepła przegrody (k) [W/(m²K)], obliczany wg norm PN-EN ISO 6946:2008 [N4], PN-EN ISO 10077-1:2008 [N7] lub na podstawie zaleceń podanych w europejskich aprobatkach technicznych

e_k, e_i – współczynniki korekcyjne ze względu na orientację, z uwzględnieniem wpływów klimatu; takich jak różne izolacje, absorpcja wilgoci przez elementy budynku, prędkość wiatru i temperatura powietrza, w przypadku gdy te wpływy nie zostały uwzględnione przy określaniu wartości współczynnika U (PN-EN ISO 6946:2008 [N4]); e_k, e_i powinny być określane na podstawie danych krajowych; w przypadku braku wartości krajowych wartości orientacyjne podano w zał. D.4.1. normy PN-EN 12831:2006 [N6] ($e_k = 1,0, e_i = 1,0$)

Ψ_i – współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego (i) [W/(mK)]; określany na podstawie PN-EN ISO 14683:2008 (ocena przybliżona) lub na podstawie obliczeń numerycznych w oparciu o PN-EN ISO 10211:2008 [N3]

l_i – długość liniowego mostka cieplnego (i) między przestrzenią wewnętrzną a zewnętrzną [m].

Zgodnie z zapisami w PN-EN 12831:2006 [N6] wartości stabelaryzowane Ψ_i podane w PN-EN ISO 14683:2008 [N8] stosuje się w obliczeniach wykonywanych w odniesieniu do całego budynku, a nie metodą pomieszczenie po pomieszczeniu. Proporcjonalny podział wartości Ψ_i pomiędzy pomieszczeniami pozostawia się do uznania projektanta instalacji.

W obliczeniach nie uwzględnia się nieliniowych mostków cieplnych. Do obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_{kc} z uwzględnieniem liniowych strat ciepła przez przenikanie może być stosowana metoda uproszczona wg punktu 7., PN-EN 12831:2006 [N6]:

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{Tb}$$

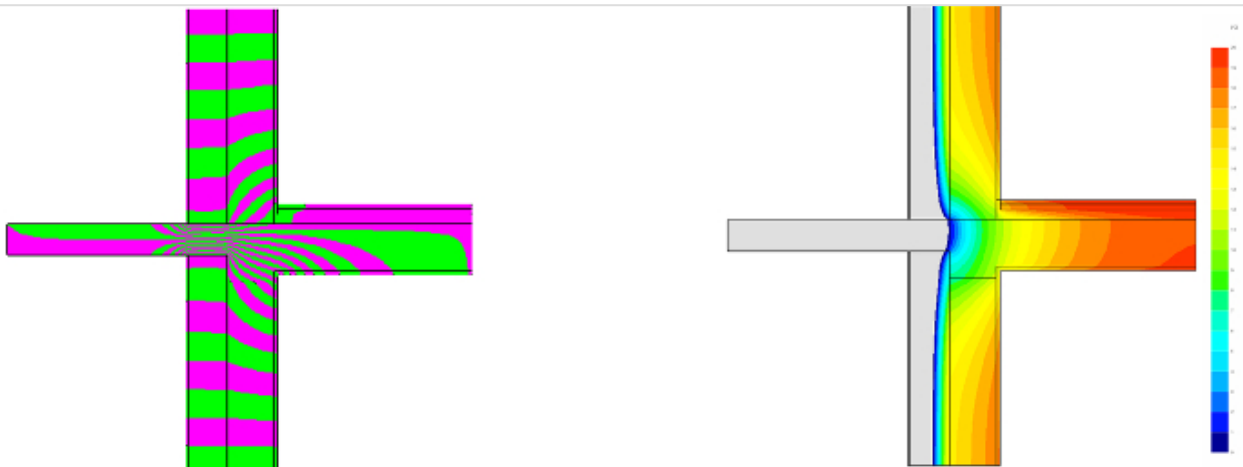
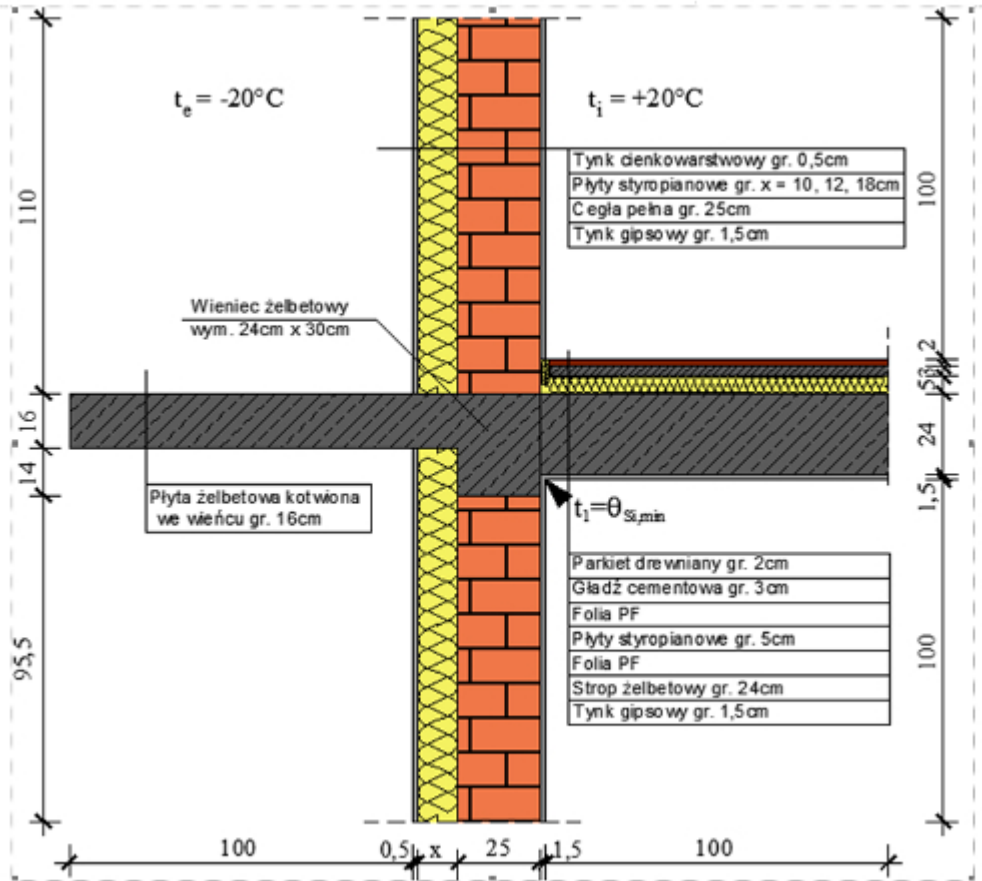
gdzie:

U_{kc} - skorygowany współczynnik przenikania ciepła elementu budynku (k) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych [W/(m²K)]

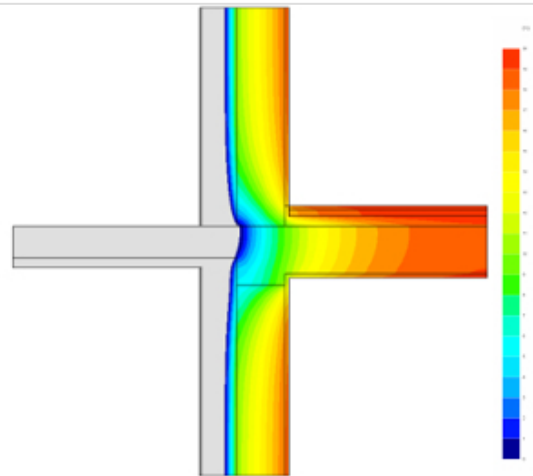
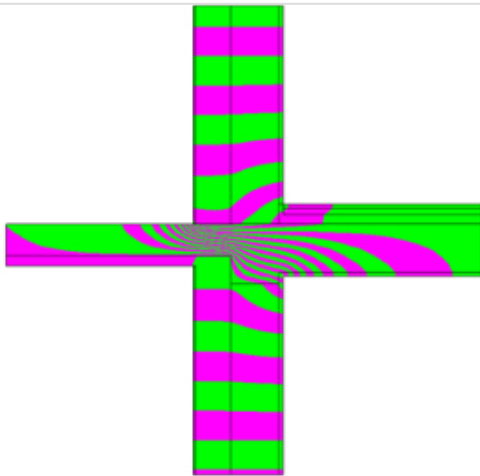
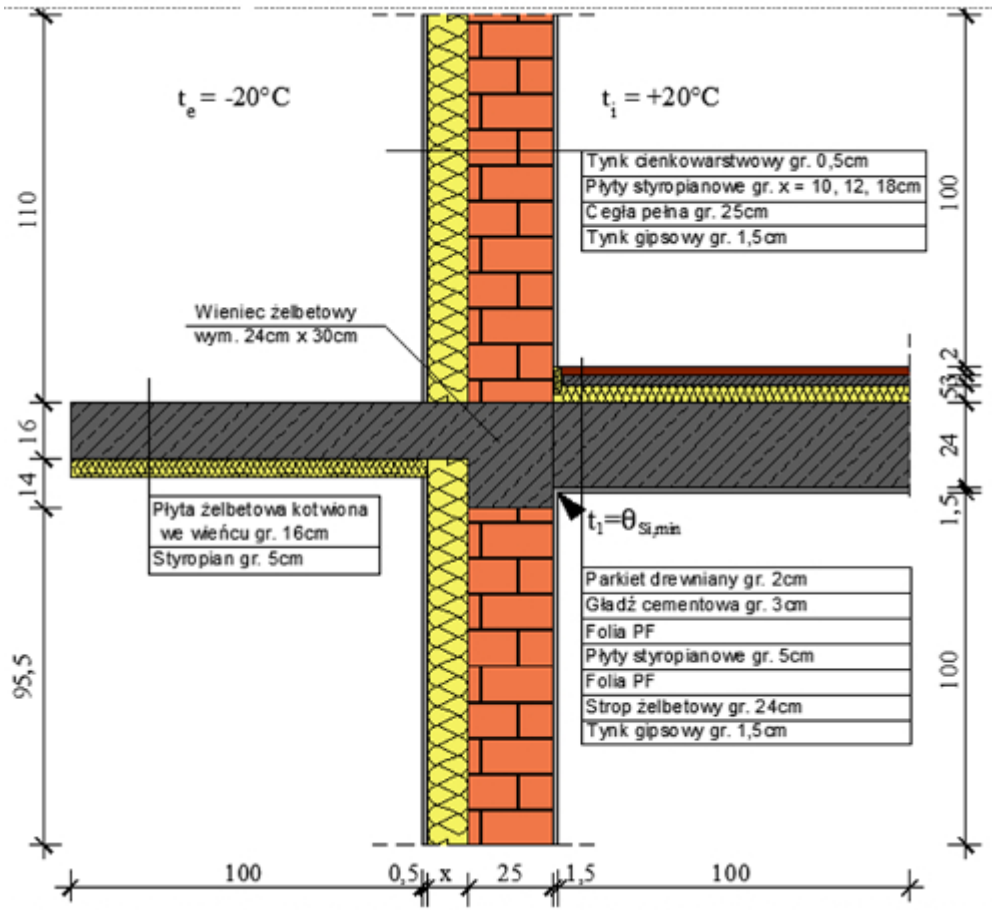
U_k - współczynnik przenikania ciepła przegrody (k) [W/(m²K)]

ΔU_{Tb} - współczynnik korekcyjny w zależności od typu elementu budynku; wartości określone na podstawie tablic D.3a, D.3b, D.3c normy PN-EN 12831:2006 [N6].

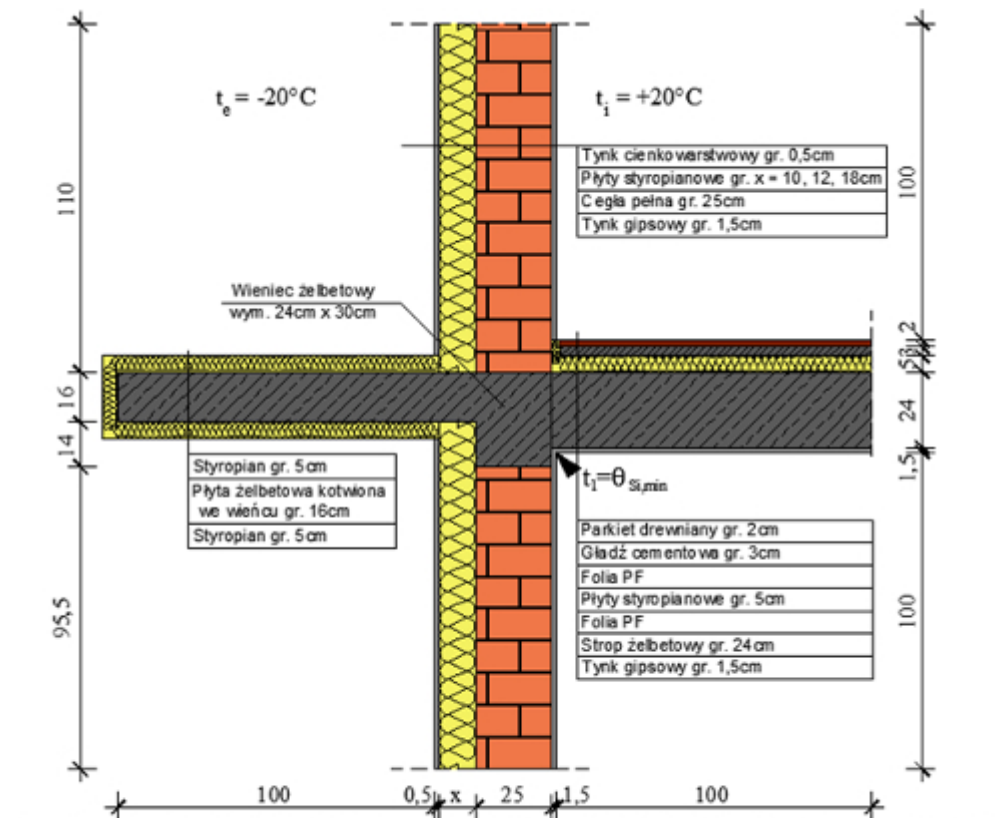
wariant I - typowa płyta wspornikowa



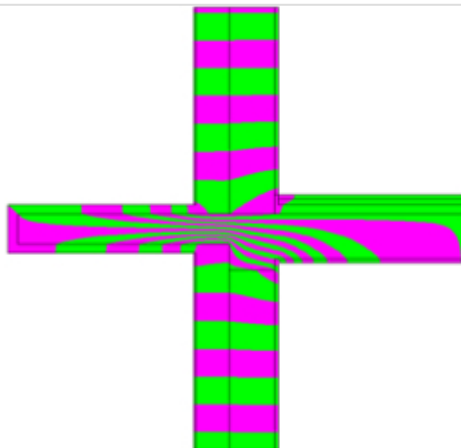
wariant II - płyta balkonowa ocieplona - dolna część płyty balkonowej



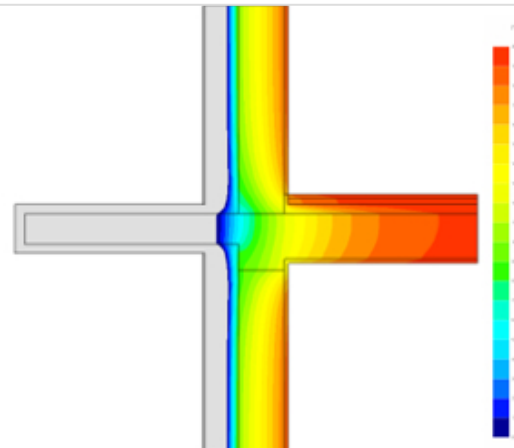
wariant III - płyta balkonowa ocieplona - dolna i górna część płyty balkonowej



a) model obliczeniowy



b) linie strumieni ciepłych (adiabaty)



c) rozkład temperatury (izotermy)

Rysunek 2. Połączenie ściany zewnętrznej dwuwarstwowej z płytą balkonową - opracowanie własne [8]

Minimalizacja wpływu mostków cieplnych przy termomodernizacji

Termomodernizacja to dostosowanie budynku do nowych wymagań ochrony cieplnej i oszczędności energii.

Wiąże się z zabiegami mającymi na celu wyeliminowanie lub znaczne ograniczenie strat ciepła w istniejących budynkach. Aby ograniczyć dodatkowe straty ciepła oraz możliwość obniżenia temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego, należy odpowiednio ukształtować układ materiałowy, przy zastosowaniu obliczeń numerycznych parametrów fizykalnych złączy przegród zewnętrznych.

Do analizy wybrano połączenie ściany zewnętrznej dwuwarstwowej z płytą balkonową (rysunek 2):

- wariant I - typowa płyta wspornikowa
- wariant II - płyta balkonowa ocieplona - dolna część płyty balkonowej
- wariant III - płyta balkonowa ocieplona - dolna i górna część płyty balkonowej.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki parametrów fizycznych analizowanego złącza. Do obliczeń przy zastosowaniu programu TRISCO przyjęto następujące założenia:

- budynek zlokalizowany w III strefie – temperatura powietrza zewnętrznego $\theta_e = -20^\circ\text{C}$, temperatura powietrza wewnętrznego $\theta_i = +20^\circ\text{C}$
- wartości współczynników przewodności cieplnej materiałów budowlanych λ [W/(mK)] przyjęto na podstawie tablic w [1]
- współczynniki przenikania ciepła U_c [W/(m²K)] obliczono zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [N4]
- warunki przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [N4] dla obliczenia wielkości strumieni cieplnych oraz zgodnie z PN-EN ISO 13788:2003 [N2] przy obliczaniu temperatur i czynnika temperaturowego f_{Rsi}
- modelowanie analizowanych złączy wykonano zgodnie z zasadami sformułowanymi w PN-EN ISO 10211:2008 [N3].

	Wariant I			Wariant II			Wariant III		
Izolacja cieplna	10 cm	12 cm	18 cm	10 cm	12 cm	18 cm	10 cm	12 cm	18 cm
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
Φ [W]	53,67	48,89	39,23	50,98	46,42	37,3	41,68	37,63	29,96
L^{2D} [W/(mK)]	1,342	1,222	0,981	1,275	1,161	0,933	1,042	0,941	0,749
Ψ_i [W/(mK)]	0,683	0,656	0,585	0,616	0,594	0,537	0,383	0,374	0,353
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: $t_e = -20^\circ\text{C}$, $t_i = +20^\circ\text{C}$) wg PN-EN ISO 13788									
$\theta_{s,min}$ [°C]	10,74	11,29	12,55	11,43	11,92	13,04	13,82	14,18	14,93
f_{Rsi} [-]	0,769	0,782	0,814	0,786	0,798	0,826	0,845	0,854	0,873
U_c – współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej [W/(m ² K)] Φ – strumień cieplny przepływający przez złącze [W] L^{2D} – liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego [W/(mK)] Ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła [W/(mK)] $\theta_{s,min}$ – temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego [°C] f_{Rsi} – czynnik temperaturowy [-]									

Tabela 1. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową – opracowanie własne [2]

Podsumowanie

Podjęcie działań związanych z termomodernizacją budynków powinno uwzględniać nie tylko płaskie przegrody i usprawnienia systemów instalacyjnych, ale także złącza przegród zewnętrznych czyli mostki cieplne. Istnieje potrzeba minimalizacji wpływu mostków termicznych ograniczając dodatkowe straty ciepła oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody, zapewniając odpowiednie parametry mikroklimatu wnętrza: temperatura, wilgotność i jakość (czystość) powietrza.

dr inż. Krzysztof Pawłowski

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

Normy i rozporządzenia

- N1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. z 2017 r., poz. 2285.
- N2. 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.
- N3. PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- N4. PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik

przenikania ciepła. Metoda obliczania.

N5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, Dz.U. z 2015 r., poz. 376.

N6. PN-EN 12831:2006 Instalacje grzewcze w budynkach – Metoda obliczania obciążenia cieplnego.

N7. PN-EN ISO 10077-1:2008 Ciepłne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji – Obliczanie współczynnika przenikania ciepła – Część 1: Postanowienia ogólne.

N8. PN-EN ISO 14683:2008 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.

Literatura

1. Pawłowski K., Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy, Warszawa: Grupa Wydawnicza Medium, 2016.
2. Wesołowska M., Pawłowski K., Aspekty związane z dostosowaniem obiektów istniejących do standardów budownictwa energooszczędnego, Agencja Reklamowa TOP, Włocławek, 2016.