

PAWEŁ GAŁEK*

WYBRANE ROZWIĄZANIA CIEPŁOCHRONNE
DETALI KONSTRUKCYJNYCH W BUDYNKACH
NISKOENERGETYCZNYCHSELECTED HEAT-INSULATING SOLUTIONS RELATED
TO STRUCTURE DETAILS IN LOW ENERGY BUILDINGS

Streszczenie

Budownictwo energooszczędne to jedno z najważniejszych wyzwań gospodarczych początku XXI wieku. Wśród budynków energooszczędnych wyróżnić można niskoenergetyczne, pasywne oraz zeroenergetyczne. Im wyższa kategoria energooszczędności, tym większe wymagania w stosunku do materiałów, rozwiązań konstrukcyjnych czy instalacyjnych. W artykule przedstawiono alternatywne rozwiązania wybranych detali konstrukcyjnych oraz analizę tych rozwiązań z uwagi na ich właściwości ciepłochronne oraz koszty zastosowania.

Słowa kluczowe: budynek niskoenergetyczny, budynek pasywny, budynek zeroenergetyczny, mostek cieplny

Abstract

Energy-saving construction is one of the most crucial economic challenges of the beginning of 21st century. Energy-saving buildings can be categorized in three groups: low energy buildings, passive buildings and zero-energy buildings. The higher the energy-saving category, the more demanding the requirements as regards materials, structure or system solutions. This article presents alternative solutions related to selected structure details, and the analysis of those solutions in terms of their heat-insulating properties and costs of implementation.

Keywords: low energy building, passive building, zero-energy building, thermal bridge

* Dr inż. Paweł Gałek, Zakład Budownictwa i Fizyki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Ograniczenie zużycia energii oraz konwersja jej źródeł jest obecnie jednym z głównych priorytetów światowej gospodarki. Również dla Unii Europejskiej jest to jedno z podstawowych zadań, co znajduje odzwierciedlenie zarówno w przyjmowanych dokumentach, jak i realizowanych programach ramowych. W marcu 2011 roku Komisja Europejska przyjęła ścieżkę obniżania unijnych emisji CO₂ o 80% do 2050 r., potwierdzając jednocześnie cel redukcji emisji do 2020 r. o 20%. Szczegóły planów zawarto w „Mapie drogowej 2050” [6]. W Polsce podstawowymi nośnikami energii są konwencjonalne surowce energetyczne, a zużycie energii na ogrzewanie pomieszczeń stanowi ok. 40% całkowitego zużycia energii w kraju [1]. Dlatego projektowanie energooszczędnych budynków jest szczególnie ważne dla krajowej gospodarki.

Wymagania, jakie obecnie stawia ustawodawca wobec nowo projektowanych budynków, pozwalają uznać je za budynki energooszczędne. Realizacja wymagań określona jest w ustawach i rozporządzeniach poprzez ograniczenie zapotrzebowania na energię pierwotną *EP* oraz poprzez określenie maksymalnych współczynników przenikania ciepła *U* między środowiskiem zewnętrznym a środowiskiem wewnętrznym przez przegrody w budynku (ściany, stropodachy, podłogę na gruncie itp.). Jeszcze wyższe wymagania stawiane są budynkom niskoenergetycznym, pasywnym i zeroenergetycznym. Aktualnie w polskim ustawodawstwie brakuje definicji tych budynków, tym bardziej nie określono wymagań, jakie są im stawiane. W literaturze najczęściej przytacza się wymagania dla budynków pasywnych. Dom pasywny to budynek, w którym komfortowy mikroklimat może być utrzymywany bez oddzielnego aktywnego systemu ogrzewania (lub też klimatyzacji). Przyjmuje się, że w warunkach europejskich osiągnięcie celu stawianego przed budynkami pasywnymi jest możliwe przy założeniu ograniczenia do 15 kWh/(m²a) rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania [2]. To z kolei wymusza zastosowanie wielu rozwiązań, zarówno konstrukcyjno-materiałowych, jak i instalacyjnych. Przed przegrodami zewnętrznymi w budynkach pasywnych stawia się wymagania ograniczenia współczynnika przenikania ciepła poniżej 0,15 W/(m²K), z jednoczesną minimalizacją wpływu mostków cieplnych.

Ogólnie można stwierdzić, że budynki niskoenergetyczne to budynki o bardzo małym zużyciu energii. Budynki pasywne, z uwagi na wskazane wyżej wymagania, można uznać za budynki niskoenergetyczne.

2. Mostki cieplne w budynku

Mostek cieplny można określić jako fragment obudowy budynku, w którym w porównaniu z fragmentem bez mostka, następuje zmiana wielkości strumienia cieplnego oraz zmiana wewnętrznej temperatury powierzchni [3]. Mostek cieplny zazwyczaj powoduje powstawanie dwuwymiarowych lub trójwymiarowych strumieni ciepła. Mostek cieplny może być w formie mostka liniowego lub punktowego.

Liniowe mostki cieplne zasadniczo występują w niżej wymienionych miejscach w obudowie budynku:

- na połączeniach elementów zewnętrznych (naroże ścian, ściana ze stropem itp.),
- na połączeniach ścian wewnętrznych ze ścianami zewnętrznymi i dachami,
- na połączeniu stropów oraz podłogi na gruncie ze ścianami zewnętrznymi,
- wokół otworów okiennych i drzwiowych,
- w miejscu zamocowania płyty balkonowej.

Każdy rodzaj budynku energooszczędnego powinien być projektowany pod kątem jak największego ograniczenia wpływu mostków cieplnych, których jednak nie da się zupełnie uniknąć. Im większe wymagania co do energooszczędności budynku (niskoenergetyczne, pasywne, zeroenergetyczne), tym bardziej należy zastosować dobre rozwiązania, zarówno materiałowe, jak i konstrukcyjne, miejsc, w których występują mostki cieplne. W dalszej części artykułu przeanalizowano dwa miejsca w budynku, w których ze względu na konstrukcję nośną trudno jest zachować ciągłość izolacji. Do takich miejsc należą: połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie oraz zamocowanie płyty balkonowej w ścianie nośnej zewnętrznej. Porównaniu poddano rozwiązania alternatywne: tradycyjne (z użyciem powszechnie dostępnych materiałów termoizolacyjnych) oraz nowoczesne (z zastosowaniem specjalnych elementów umożliwiających „zasymulowanie” ciągłości izolacji).

2.1. Założenia oraz podstawa obliczeń

Podstawą przeprowadzonych obliczeń jest norma EN ISO 10211:2007 [3], zgodnie z którą większość liniowych mostków cieplnych można modelować w programach komputerowych jako dwuwymiarowe. Do obliczeń zastosowano program THERM 6.2. Program umożliwia analizę termiczną dla stacjonarnego przepływu ciepła przy założeniu, że właściwości materiałów nie zależą od temperatury. Wartości obliczeniowe współczynników przewodzenia ciepła przyjęto na podstawie [4] oraz kart katalogowych wyrobów. W przypadku elementów o niejednorodnej strukturze do obliczeń przyjęto, podawane przez producentów, tzw. ekwiwalentne współczynniki przewodzenia ciepła. W modelach obliczeniowych pozwoliło to na uwzględnienie tych elementów jako materiały jednorodne. Z uwagi na porównawczy charakter przeprowadzanej analizy pominięto mało istotne (z punktu widzenia tej analizy) warstwy przegród, np. tynki, izolację przeciwwilgociową.

Określono następujące parametry cieplne mostków:

- strumień ciepła przepływający przez mostek Φ ,
- liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego między dwoma środowiskami L_{2D} ,
- liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ .

Współczynnik Ψ równy jest stracie ciepła, liczonej na 1 metr długości mostka, zmniejszonej o stratę ciepła, która miałaby miejsce w przypadku braku mostka cieplnego:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j \quad (1)$$

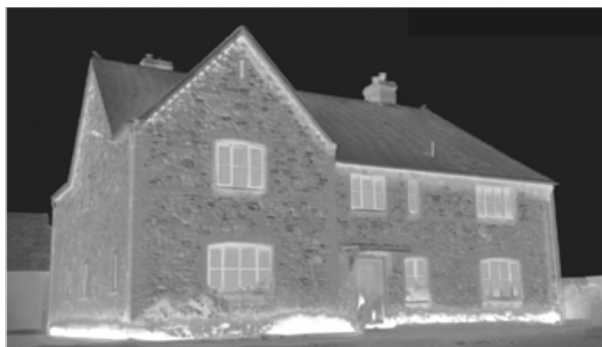
gdzie:

- L_{2D} – współczynnik sprzężenia cieplnego otrzymany z obliczenia w modelu dwuwymiarowym, komponentu oddzielającego dwa rozpatrywane środowiska,
- U_j – współczynnik przenikania ciepła j -tego komponentu jednowymiarowego (np. element ściany poza mostkiem), oddzielającego dwa rozpatrywane środowiska,
- l_j – długość, na której stosuje się wartość U_j [3].

3. Połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie

W części cokołowej budynków, na styku ściany zewnętrznej i podłogi na gruncie lub stropu, powstaje mostek cieplny (il. 1), który jest wynikiem geometrii tego detalu oraz co bardziej istotne przerwania ciągłości izolacji budynku (tab. 1a). Dla osłabienia skutków most-

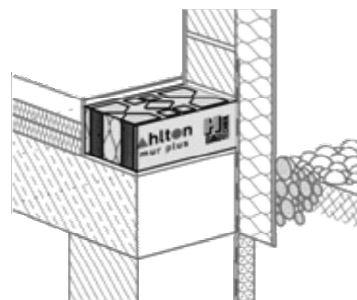
ków cieplnych w obszarach cokołowych budynku wprowadza się często ocieplenie ścian zewnętrznych poniżej poziomu gruntu (tab. 1b).



II. 1. Mostki cieplne w miejscu połączenia ściany z podłogą na gruncie
(źródło: www.thermoblock.com)

III. 1. Thermal bridges between the floor and the walls (source: www.thermoblock.com)

Alternatywnym rozwiązaniem jest wprowadzenie elementu konstrukcyjnego, który charakteryzuje się wystarczającą wytrzymałością na ściskanie, aby go zastosować jako element ściany nośnej, oraz wystarczająco niskim współczynnikiem przenikania ciepła, aby dać efekt zbliżony do ciągłości izolacji termicznej prowadzonej w podłodze oraz ścianie zewnętrznej (tab. 1c). Przykładem takiego elementu są cokołowe pustaki izolacyjne ISOMUR Plus (il. 2), które charakteryzują się dobrą izolacyjnością w porównaniu z materiałami stosowanymi na ściany nośne ($\lambda_{eq} = 0,22 \text{ W/mK}$), a jednocześnie mają wysoką nośność: 20 MPa. Pustaki ISOMUR Plus zastosowano w jednym z alternatywnych rozwiązań analizowanego łącza.



II. 2. Cokołowe pustaki izolacyjne ISOMUR Plus (źródło: www.stahlton.com.pl)

III. 2. ISOMUR Plus – thermal insulation element for wall bases (source: www.stahlton.com.pl)

Obliczenia liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_g dla mostka w połączeniu ściany z podłogą na gruncie przeprowadzono wg zależności (2) podanej w normie [3], przyjmując h_w równe 1 m oraz B' równe 8 m – z zastosowaniem wymiarów wewnętrznych. Przyjęto temperaturę na zewnątrz -20°C , wewnątrz $+20^\circ\text{C}$.

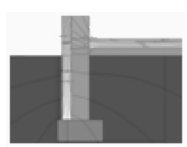
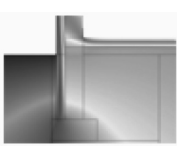
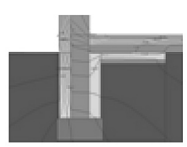
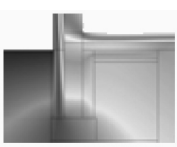
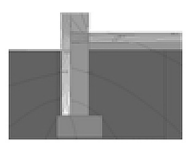
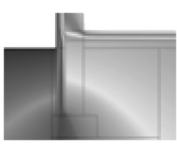
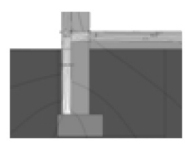
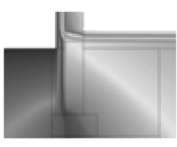
$$\Psi_g = L_{2D} - h_w U_w - 0,5 \times B' U_g \quad (2)$$

gdzie:

- L_{2D} – współczynnik sprzężenia cieplnego otrzymany z obliczenia w modelu dwuwymiarowym, komponentu oddzielającego dwa rozpatrywane środowiska,
 U_w – współczynnik przenikania ciepła ściany,
 U_g – współczynnik przenikania ciepła podłogi, liczony z zastosowaniem procedury uproszczonej wg PN-EN ISO 13370 [5].

Tabela 1

Wyniki obliczeń termicznych dla 4 wariantów rozwiązania łącza ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie

	Rysunek mostka	Rozkład temperatur	Opis	Izol.	Ψ_g	%
a)			Brak ciągłości izolacji podłogi na gruncie oraz ściany zewnętrznej	12 cm	0,35	100%
b)			Dodatkowa izolacja ściany od strony zewnętrznej oraz krawędziowa podłogi	12 cm 15 cm	0,31 0,29	90% 84%
c)			Pustak ISOMUR Plus w miejscu, gdzie przerwana jest izolacja	12 cm	0,28	82%
d)			Przypadek teoretyczny, gdzie w miejscu ściany uciążlona została izolacja termiczna	12 cm	0,23	67%

Obliczenia mostków cieplnych (wyniki podano w tab. 1), przeprowadzono dla 4 wariantów rozwiązania węzła na połączeniu ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie: izolacja pionowa ściany tylko od strony zewnętrznej (tab. 1a), izolacja pionowa ściany z obydwu stron oraz dodatkowa izolacja krawędziowa podłogi pod płytą betonową (tab. 1b), izolacja w ścianie nośnej poprzez wprowadzenie pustaka ISOMUR Plus (tab. 1c), izolacja w ścianie z tego samego materiału co izolacja podłogi – rozwiązanie teoretyczne niemożliwe w realizacji (tab. 1d). We wszystkich rozwiązaniach przyjęto grubość izolacji termicznej 12 cm (w rozwiązaniu „b” dodatkowo przeprowadzono obliczenia dla grubości izolacji 15 cm). We wszystkich wariantach zastosowano izolację podłogi o grubości 12 cm na całej powierzchni. Ścianę nośną o grubości 25 cm przyjęto z cegły ceramicznej pełnej.

4. Utwierdzenie płyty balkonowej w ścianie

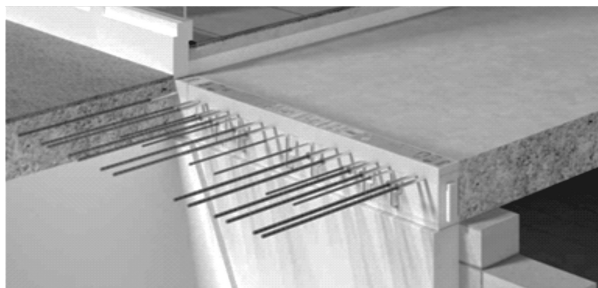
Rozwiązanie konstrukcyjne balkonów bez mostka cieplnego jest możliwe jedynie przy zastosowaniu konstrukcji wsporczej zewnętrznej opartej na gruncie. Takie rozwiązanie jest jednak najczęściej niewygodne i niepożądane z różnych powodów (np. architektonicznych). Powszechnie stosowane utwierdzenie płyty balkonowej w ścianie konstrukcyjne powoduje przerwanie pionowej izolacji termicznej ściany i w konsekwencji powstanie mostka cieplnego (il. 3). Tradycyjnym sposobem ograniczenia wielkości tego mostka jest zastosowanie izolacji termicznej dookoła płyty balkonowej. Takie rozwiązanie powoduje jednak powstanie innych problemów wykonawczych, np. konieczność obniżenia płyty balkonu ze względu na izolację termiczną po wierzchniej stronie płyty. Pogrubienie płyty balkonowej ogranicza też możliwości architektoniczne kształtowania tego elementu.



Il. 3. Mostki cieplne w miejscu połączenia płyty balkonowej ze ścianą (oprac. P. Gałek)

Il. 3. Balcony connections thermal bridges (by P. Gałek)

Alternatywnym rozwiązaniem, które pozwala uzyskać efekt ciągłości izolacji, jest zastosowanie elementów Isokorb (lub innych podobnych rozwiązań). W najnowszych elementach Isokorb XT (il. 4), o szerokości 12 cm zastosowano rozwiązania, które znacznie poprawiły izolacyjność w stosunku do Isokorb o szerokości 8 cm. Ekwiwalentny współczynnik przenikania ciepła, przyjmowany w obliczeniach dla tego elementu, zmniejszył się z wartości 0,212 do 0,174 W/mK. Analizę termiczną mostków cieplnych przeprowadzono dla 5 wariantów rozwiązań: utwierdzona płyta balkonowa bez ocieplenia, przecinająca izolację ściany







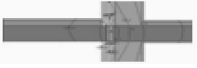




Il. 4. Isokorb XT – element izolacji cieplnej do mocowania płyt balkonowych
(źródło: www.schoeck.co.uk)

Ill. 4. Isokorb XT – thermal insulation element for balcony connections
(source: www.schoeck.co.uk)

(tab. 2a), płyta balkonowa z izolacją termiczną dookoła o grubości 5 lub 10 cm (tab. 2b), płyta balkonu zamocowana za pośrednictwem Isokorb (tab. 2c) oraz Isokorb XT (tab. 2d), teoretyczne rozwiązanie, w którym zachowano ciągłość izolacji ściany (tab. 2e). Rozwiązanie „e” można w praktyce uzyskać, stosując niezależną zewnętrzną konstrukcję. Grubość izolacji ściany przyjęto równą 12 cm. Obliczenia liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ dla mostków przeprowadzono wg zależności (1). Wyniki obliczeń przedstawia tab. 2.

Tabela 2

Wyniki obliczeń termicznych dla 5 wariantów rozwiązania łącza płyty balkonu ze ścianą konstrukcyjną budynku

	Rysunek mostka	Rozkład temperatur	Opis	Izol.	Ψ	%
a)			Balkon bez ocieplenia		0,31	100%
b)			Balkon ocieplony dookoła	5 cm 10 cm	0,17 0,12	54% 39%
c)			Isokorb 8 cm		0,13	43%
d)			Isokorb XT 12 cm		0,09	29%
e)			Zachowanie ciągłości izolacji ściany – przypadek teoretyczny lub balkon oparty na konstrukcji zewnętrznej		0,03	10%

5. Wnioski

W analizowanych rozwiązaniach izolacji płyty balkonowej, zauważyć można bardzo wysoką skuteczność zastosowania elementów izolacyjnych Isokorb. Liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ mostka z zastosowaniem tego elementu, w stosunku do rozwiązania bez ocieplenia (100%), jest dużo mniejszy i wynosi 43% w przypadku Isokorb oraz tylko 29% dla Isokorb XT. Ocieplając płytę balkonową izolacją termiczną dookoła, uzyskano dużo gorsze wartości (54% dla izolacji grubości 5 cm). Jedynie zastosowanie 10 cm warstwy izolacji (39%) pozwala uzyskać efekt lepszy niż zastosowanie podstawowej wersji Isokorb. Zastosowanie izolacji 10 cm powoduje jednak znaczne powiększenie grubości płyty oraz podniesienie poziomu posadzki balkonu. Elementy Isokorb są łatwe w montażu, a wykonana z ich użyciem płyta balkonu jest łatwiejsza w późniejszej konserwacji. Niewątpliwą wadą elementów Isokorb jest ich cena. Rozpatrywany typ Isokorb KXT50-CV35 o długości 1 m kosztuje 236 euro.

Analiza rozwiązań złącza ściany z podłogą na gruncie wskazuje niewielką poprawę warunków cieplnych w każdym z prezentowanych rozwiązań. Nawet przypadek teoretyczny (ciągła izolacja), niemożliwy w realizacji, poprawia wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła zaledwie o 1/3 w stosunku do rozwiązania bez ocieplenia. Zastosowanie pu-

staków Isomur też daje niewielką poprawę (82%). Ten sam efekt można uzyskać, stosując izolację pionową po stronie wewnętrznej oraz dodatkową izolację krawędziową podłogi. Zabiegi te pozwalają obniżyć wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła do poziomu 84% (dla grubszej 15 cm izolacji) oraz 90% (12 cm). Koszt wykonania izolacji z użyciem pustaków Isomur jest porównywalny z kosztami poniesionymi na materiały oraz wykonanie ocieplenia 15 cm warstwą tradycyjnej izolacji termicznej.

W niskoenergetycznych budynkach, gdzie wymagania wobec izolacyjności przegród są bardzo wysokie, zastosowanie pokazanych rozwiązań z użyciem nowoczesnych elementów izolacyjnych jest nieodzowne. Dodatkową zaletą ich stosowania jest łatwiejszy montaż. Jedyną barierą wydaje się cena, zwłaszcza w przypadku elementów izolacyjnych balkonów Isokorb.

Literatura

- [1] Fedorczak-Cisak M., Stachowicz A., *Budynki niskoenergetyczne dla każdego*, Czasopismo Techniczne, Politechnika Krakowska, Kraków 2007, s. 307-312.
- [2] Feista W., *Passive House Research Project*, Institute Housing and Environment, 2nd Ed., Darmstadt 1995.
- [3] PN-EN ISO 10211: *Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe*.
- [4] PN-EN ISO 10456:2009: *Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabełacyjne wartości obliczeniowe i procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych*.
- [5] PN-EN ISO 13370:2007: *Cieplne właściwości użytkowe budynków. Przenoszenie ciepła przez grunt. Metody obliczania*.
- [6] Roadmap 2050, *Practical guide to a prosperous, low-carbon Europe*, European Climate Foundation 2011 (<http://www.roadmap2050> – 4.05.2011).