

Jacek NAWROT (orcid id: 0000-0002-9581-1388)  
Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa

## ANALIZA IZOLACYJNOŚCI CIEPLNEJ ŚCIANY W MIEJSCU OSADZENIA NADPROŻA STALOWEGO

Przedstawiono analizę izolacyjności cieplnej ściany zewnętrznej w rejonie osadzenia nadproża drzwiowego, wykonanego z dwóch ceowników stalowych. Rozpatrzono trzy przypadki: ściana nieocieplona, ściana ocieplona izolacją termiczną o grubości 12 cm oraz 15 cm. Dla analizowanych przypadków obliczono wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\psi$  dla mostka termicznego, powstałego w miejscu wykonania nadproża w ścianie oraz sporządzono mapy rozkładu temperatury w przekroju poprzecznym przegrody. Wskazano na konieczność uwzględnienia lokalnego obniżenia izolacyjności ściany w rejonie nadproża przy ocenie efektywności energetycznej budynku.

**Słowa kluczowe:** izolacyjność cieplna, mostek termiczny, nadproże stalowe

### WPROWADZENIE

Podczas prac remontowo-modernizacyjnych prowadzonych w budynkach, których ściany wykonano jako murowane, a związanych ze zmianą układu funkcjonalnego, często dochodzi do zmiany lokalizacji okien i drzwi. W tym celu w istniejących ścianach zewnętrznych należy wykonać nowe lub poszerzyć istniejące otwory pod stolarkę budowlaną. Pociąga to za sobą konieczność wykonania nowych nadproży. Bardzo wygodnym od strony wykonawczej i często stosowanym rozwiązaniem jest zastosowanie w tym celu dwóch kształtowników stalowych osadzonych od strony wewnętrznej i zewnętrznej ściany, skrzęconych ze sobą śrubami. W ten sposób eliminowana jest konieczność stosowania dodatkowych podpór montażowych. Tego typu rozwiązanie wpływa na zmianę właściwości izolacyjnych przegrody i może powodować powstanie mostków termicznych. W niniejszej pracy podjęto próbę analizy lokalnej izolacyjności ściany zewnętrznej w rejonie osadzenia nadproża stalowego.

### 1. ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNE NADPROŻA

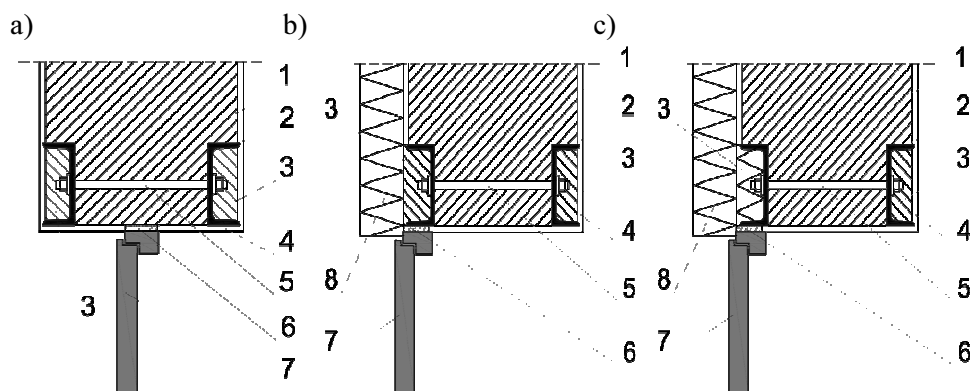
#### 1.1. Wiadomości wstępne

Jest wiele rozwiązań konstrukcyjnych, jakie mogą być stosowane w przypadku konieczności wykonania nadproży w istniejących budynkach o konstrukcji mуро-

wanej [1]. Czynnikiem decydującymi o wyborze konkretnego spośród nich są: łatwość i czas wykonania, bezpieczeństwo prowadzenia robót oraz jak najszybsze osiągnięcie wymaganej nośności. W związku z tym preferowane są rozwiązania niewymagające stosowania dodatkowych podpór montażowych oraz eliminujące lub ograniczające prowadzenie robót „mokrych” (np. betonowanie nadproża na budowie). Wymienione kryteria spełnia nadproże w postaci dwóch kształtowników stalowych (ceowników), osadzonych w bruzdach wykutych w ścianie (zarówno od strony zewnętrznej, jak i wewnętrznej) i skręconych ze sobą śrubami (rys. 1). Ponieważ ściany zewnętrzne budynków murowanych mają stosunkowo dużą grubość, podczas osadzania belek stalowych struktura istniejącej ściany naruszona jest tylko w niewielkim stopniu, co pozwala zachować jej właściwości konstrukcyjne, eliminując lub znacząco ograniczając ewentualne podparcia montażowe.

## 1.2. Analizowane rozwiązanie

Najczęściej stosowanym rozwiązaniem konstrukcji stalowego nadproża drzwiowego lub okiennego jest zastosowanie dwóch ceowników gorącowalcowanych, osadzonych półkami na zewnątrz i skręconych ze sobą śrubami, przechodzącymi przez otwory wykonane w ich środkach (rys. 1). W celu zapewnienia równomiernego docisku całej powierzchni środka do ściany jej powierzchnię przed montażem ceownika należy wyrównać zaprawą.



Rys. 1. Konstrukcja nadproża: a) bez docieplenia, b) z dociepleniem i obmurowaniem przestrzeni wewnątrz ceownika, c) z dociepleniem i wypełnieniem przestrzeni wewnątrz ceownika materiałem izolacyjnym; 1 - ściana zewnętrzna, 2 - ceownik stalowy, 3 - obmurowanie, 4 - tynk cem-wap., 5 - śruba, 6 - pianka poliuretanowa, 7 - drzwi zewnętrzne, 8 - warstwa izolacyjna [opracowanie własne]

Ceowniki powinny być o tyle dłuższe od szerokości otworu, aby zapewnić wymaganą, prawidłową długość oparcia na murze (rys. 2).



Rys. 2. Widok nadproża podczas wykonywania robót [archiwum autora]

## 2. BADANIA IZOLACYJNOŚCI PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH W BUDYNKACH

Materiały konstrukcyjne, z których wykonane są ściany zewnętrzne budynków, mają z reguły dosyć niską izolacyjność cieplną. Niektóre rozwiązania konstrukcyjne powodują powstawanie mostków termicznych, które wpływają na zwiększenie energochłonności cieplnej budynku. Mostkiem termicznym jest taka strefa przegrody budynku, w której nie jest zachowana jednowymiarowa ciągłość termiczna [2], co ma niekorzystny wpływ na bilans energetyczny budynku. Podejmowane są liczne badania mające oszacować wpływ mostków termicznych na obniżenie izolacyjności cieplnej przegrody oraz proponowane są rozwiązania mające ograniczać efekt straty ciepła w budynku wywołany ich powstaniem. Zagadnienia związane z eliminacją mostków cieplnych w procesie termomodernizacji budynku omówiono w pracy [3]. Przeanalizowano zmianę wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła typowych mostków cieplnych w budynkach, w zależności od grubości zastosowanej warstwy izolacyjnej, wskazując potrzebę uwzględnienia wpływu mostków termicznych na całkowity bilans energetyczny budynku w procesie projektowania termomodernizacji.

Istotnym czynnikiem przy projektowaniu przegród budowlanych, omówionym w pracy [4], jest minimalizacja wpływu mostków cieplnych na izolacyjność przegrody. Przeanalizowano parametry wybranych mostków termicznych (styk ściany zewnętrznej z płytą balkonową oraz sposób osadzenia stolarki okiennej), wskazując rozwiązania ograniczające straty ciepła w miejscach występowania tych mostków.

Wpływ mostków cieplnych na izolacyjność cieplną przegrody jest niezwykle istotny w przypadku zastosowania w ścianach zewnętrznych stalowych elementów konstrukcyjnych (cechujących się wysoką przewodnością cieplną), szczególnie gdy

nie można zastosować zewnętrznej warstwy izolacyjnej. Zagadnienie to przeanalizowano w pracy [5] na przykładzie stalowych belek wspornikowych będących konstrukcją wsporczą balkonów. Zaproponowano rozwiązanie polegające na zastosowaniu przekładek termicznych w miejscu styku belki stalowej ze ścianą, uzyskując 65% redukcję strat ciepła.

Zjawisko obniżenia lokalnej izolacyjności przegrody występuje również w przypadku wzmocniania ścian budynków z wykorzystaniem kształtowników stalowych. W pracy [6] omówiono wpływ wzmocnień warstwy fakturowej budynków wielkopłytowych na właściwości termiczne ściany w rejonie wzmocnienia. Przeanalizowano typowe rozwiązania w tym zakresie oraz zaproponowano nowe, cechujące się lepszą izolacyjnością cieplną. Wskazano ponadto na konieczność uwzględnienia w audycie energetycznym budynku wpływu wykonanych wzmocnień na zapotrzebowanie energetyczne obiektu.

Dla przypadków, w których nie mogą być stosowane standardowe procedury obliczeniowe w zakresie określenia wpływu mostka cieplnego na właściwości termiczne przegrody, są wykonywane i analizowane modele numeryczne [7], a także w celu potwierdzenia ich poprawności prowadzone są badania eksperymentalne na obiektach w skali naturalnej [8].

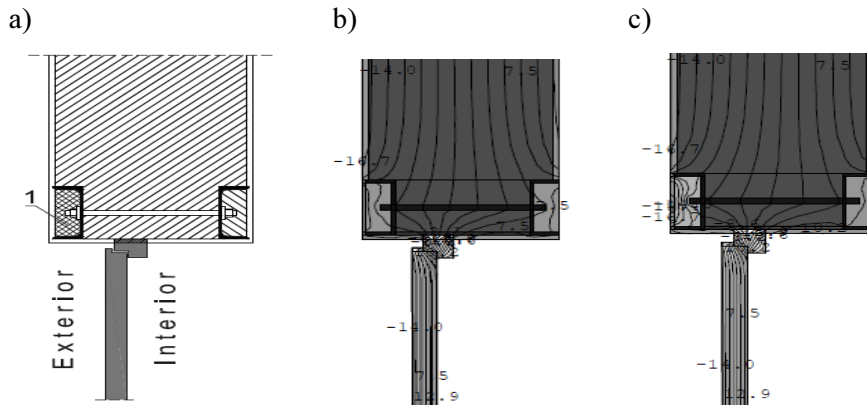
### 3. CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy jest obliczenie wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\psi$  mostka cieplnego powstałego w miejscu osadzenia nadproża drzwiowego oraz określenie rozkładów temperatury w analizowanej przegrodzie. Analizie poddano: pasmo ściany o szerokości 2 m (1 m w górę i 1 m w dół od dolnej krawędzi nadproża), grubość ściany 51 cm (bez warstwy izolacyjnej), drzwi zewnętrzne o współczynniku przenikania ciepła  $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , grubości skrzydła 6,5 cm oraz grubości ościeżnicy 8 cm, ceowniki stalowe C200, skręcone śrubami M20 w rozstawie co 40 cm (rys. 1).

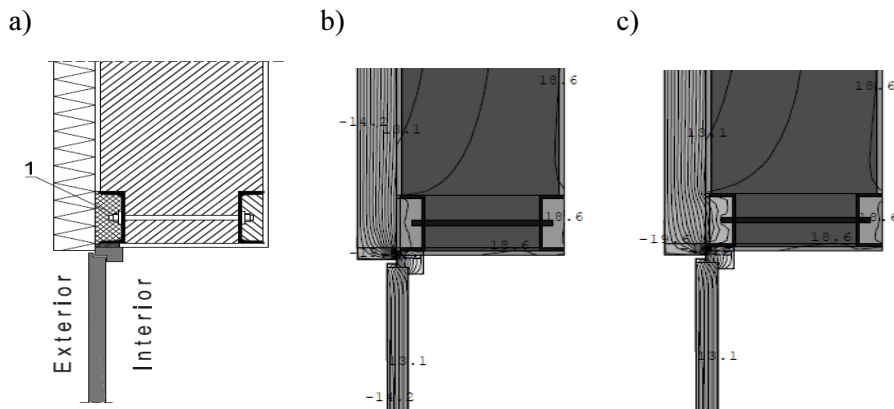
### 4. ANALIZA

Obliczenia wykonano za pomocą programu THERM, rozpatrując trzy przypadki: ściana nieocieplona (rys. 3), ściana z izolacją termiczną gr. 12 cm, dla której wartość współczynnika  $U$  (bez uwzględnienia mostka termicznego) wynosi  $0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (rys. 4), oraz ściana z izolacją termiczną gr. 15 cm, dla której wartość współczynnika  $U$  (bez uwzględnienia mostka termicznego) wynosi  $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (rys. 5). Analizowane wartości grubości izolacji termicznej przyjęto tak, aby wartość współczynnika  $U$  dla przegrody spełniała wymogi dla ścian zewnętrznych zgodnie z [9], odpowiednio w okresie do 31.12.2020 r. (gr. 12 cm) oraz od 01.01.2021 r. (gr. 15 cm). Do obliczeń przyjęto następujące wartości współczynników przewodzenia ciepła:  $\lambda = 0,031 \text{ W}/(\text{mK})$  dla styropianu,  $\lambda = 0,820 \text{ W}/(\text{mK})$  dla tynku cem. wap.,  $\lambda = 0,770 \text{ W}/(\text{mK})$  dla ściany z cegły,

$\lambda = 50 \text{ W}/(\text{mK})$  dla elementów stalowych oraz  $\lambda = 0,108 \text{ W}/(\text{mK})$  dla ościeżnicy drzwi. Z uwagi na dość dużą szerokość analizowanego pasma ściany (2 m) rozkłady temperatur pokazane na rysunkach 3-5 ograniczono do strefy bezpośredniej bliskości nadproża.

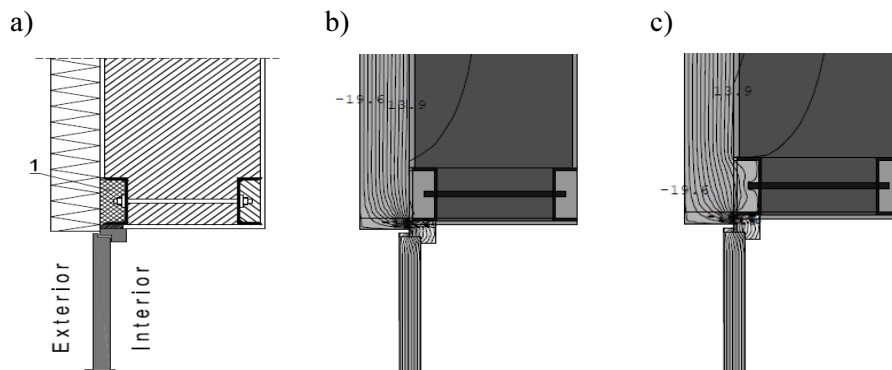


Rys. 3. Rozkład temperatury w ścianie nieocieplonej w miejscu wykonania nadproża [°C]: a) przekrój poprzeczny, b) rozkład temperatury przy obmurowaniu przestrzeni wewnątrz ceownika, c) rozkład temperatury przy wypełnieniu przestrzeni wewnątrz ceownika styropianem; 1 - obmurowanie lub wypełnienie styropianem [opracowanie własne]



Rys. 4. Rozkład temperatury w ścianie ocieplonej styropianem gr. 12 cm [°C]: a) przekrój poprzeczny, b) rozkład temperatury przy obmurowaniu przestrzeni wewnątrz ceownika, c) rozkład temperatury przy wypełnieniu przestrzeni wewnątrz ceownika styropianem; 1 - obmurowanie lub wypełnienie styropianem [opracowanie własne]

Przedstawione rozkłady temperatur na rysunkach 3c, 4c, 5c odnoszą się do sytuacji, w której przestrzeń między środnikiem a półkami ceownika jest idealnie wypełniona styropianem. W praktyce, w warunkach budowy z uwagi na nierówne docięcie styropianu mogą wystąpić w tym miejscu pustki powietrzne.



Rys. 5. Rozkład temperatury w ścianie ocieplonej styropianem gr. 15 cm [°C]: a) przekrój poprzeczny, b) rozkład temperatury przy obmurowaniu przestrzeni wewnątrz ceownika, b) rozkład temperatury przy wypełnieniu przestrzeni wewnątrz ceownika styropianem; 1 - obmurowanie lub wypełnienie styropianem [opracowanie własne]

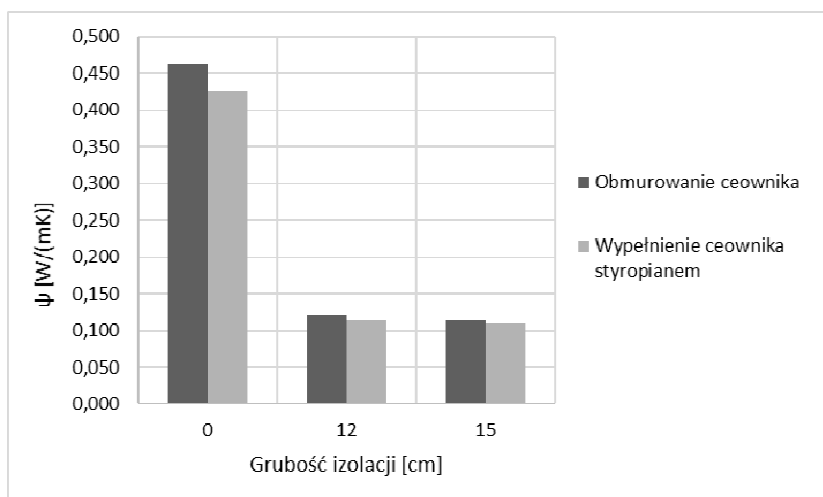
Na podstawie obliczeń wykonanych przy użyciu programu THERM, zgodnie z zasadami podanymi w [10], określono wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\psi$  dla mostka termicznego w miejscu osadzenia nadproża (tab. 1). Dla każdego przypadku wyznaczono dwie wartości współczynnika  $\psi$  - dla przekroju przegrody przecinającego śrubę łączącą ceowniki oraz dla przekroju pomiędzy śrubami.

Tabela 1. Wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\psi$  dla mostka termicznego w rejonie nadproża [opracowanie własne]

Grubość ocieplenia [cm]	$\psi$ [W/(m·K)]			
	Obmurowanie ceownika		Wypełnienie ceownika styropianem	
	przekrój w miejscu śruby	przekrój pomiędzy śrubami	przekrój w miejscu śruby	przekrój pomiędzy śrubami
0	1,009	0,462	0,913	0,425
12	0,207	0,121	0,198	0,114
15	0,196	0,115	0,189	0,110

Do obliczeń przyjęto warunek Robina określony przez temperaturę i opory przejmowania ciepła (dla poziomego kierunku przepływu strumienia ciepła): opory przejmowania ciepła na powierzchni przegrody  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  oraz  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ , temperatura powietrza wewnętrznego równa  $20^\circ\text{C}$ , temperatura powietrza zewnętrznego równa  $-20^\circ\text{C}$ .

Zilustrowano zmianę wartości współczynnika  $\psi$  w zależności od grubości warstwy izolacji oraz rodzaju wypełnienia przestrzeni wewnątrz ceownika dla przekroju w miejscu występowania śruby (rys. 6).



Rys. 6. Wykres wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła  $\psi$  mostka termicznego w miejscu nadproża w funkcji grubości warstwy izolacyjnej dla przekroju pomiędzy śrubami [opracowanie własne]

## WNIOSKI

Wartość strat ciepła przegrody wyrażona liniowym współczynnikiem przenikania ciepła  $\psi$  mostka termicznego w rejonie nadproża zależy od grubości warstwy izolacyjnej (rys. 6). Dla ściany nieocieplonej współczynnik  $\psi$  jest ok. pięciokrotnie większy (w przekroju przecinającym śrubę) oraz ok. czterokrotnie większy (w przekroju między śrubami) w porównaniu do ścian z izolacją termiczną. W przypadku ścian zaizolowanych trzycentymetrowa różnica grubości warstwy izolacyjnej powoduje niewielką zmianę wartości współczynnika  $\psi$ , wynoszącą ok. 5÷6%.

Polepszenie izolacyjności termicznej ściany w rejonie nadproża w przypadku wypełnienia ceownika styropianem w stosunku do obmurowania jest stosunkowo niewielkie - wartość strat ciepła wyrażona współczynnikiem  $\psi$  jest mniejsza o 6,1% (przekrój między śrubami) i 4,5% (przekrój przecinający śrubę) w przypadku izolacji grubości 12 cm oraz o 4,5% (przekrój między śrubami) i 3,7% (przekrój przecinający śrubę) w przypadku izolacji grubości 15 cm. Można zatem stwierdzić, iż dodatkowe docieplenie nadproża styropianem (zamiast obmurowania) ma niewielki wpływ na poprawę izolacyjności ściany.

Wykonując prace remontowo-budowlane w budynkach, dużą wagę przykładają się do zagadnień konstrukcyjnych, pomijając często zagadnienia cieplne. Przeprowadzona analiza pozwala w sposób przybliżony oszacować wpływ zastosowania nadproża stalowego na zmianę lokalnej izolacyjności ściany. Wykonane obliczenia wskazują na istotne pogorszenie się parametrów termicznych przegrody, które powinny być uwzględnione przy obliczeniach efektywności energetycznej budynku.

## LITERATURA

- [1] Masłowski E., Spiżewska D., Wzmacnianie konstrukcji budowlanych, Arkady, Warszawa 2000.
- [2] Dylla A., Fizyka ciepła budowli w praktyce. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2015, 124-125.
- [3] Pawłowski K., Dybowska M., Józefiak K., Przykłady minimalizacji wpływu mostków cieplnych na izolacyjność przegrody, Izolacje 2014, 3, 15-21.
- [4] Dumitrescu L., Baran I., Pescaru R.A., The influence of thermal bridges in the process of buildings thermal rehabilitation, Procedia Engineering 2017, 181, 682-689.
- [5] Ben Larbi, Couchaux M., Bouchair A., Thermal and mechanical analysis of thermal break with end-plate for attached steel structures, Engineering Structures 2017, 131, 362-379.
- [6] Ligenza W., Dębowski J., Wpływ wzmocnień budynków wielkopłytowych na lokalną zmianę izolacyjności ściany, Czasopismo Techniczne 2009, 1-B, 147-155.
- [7] Martin K., Erkoreka A., Odriozola M., Sala J.M., Problems in the calculation of thermal bridges in dynamic conditions, Energy and Buildings 2011, 43, 529-535.
- [8] Garay R., Uriarte A., Apraiz I., Performance assessment of thermal bridge elements into a full scale experimental study of a building facade, Energy and Buildings 2014, 85, 579-591.
- [9] Rozporządzenie ministra infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dn. 12.04.2002, Dz.U. z 2013 r., poz 1409 z późn. zm.
- [10] Norma PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach - Strumienie ciepła i temperatury powierzchni - Obliczenia szczegółowe.

## ANALYSIS OF WALL THERMAL INSULATION AT THE LOCATION OF STEEL LINTEL

**This publication, presents an analysis of insulation of the external wall in the region of the door lintel installation, made of two steel channels. Three cases were considered: a non-insulated wall, a wall insulated with a layer of 12 cm thick styrofoam and 15 cm thick. For the analysed cases, the values of the linear thermal transmittance for the wall at the place of the lintel were calculated and maps of the temperature distribution in the cross-section of the partition were made. It was pointed out that it is necessary to take into account the local reduction of wall insulation in the area of the lintel when assessing the energy efficiency of the building.**

**Keywords:** thermal insulation, thermal bridge, steel lintel