

dr inż. Paweł Krause¹⁾
 ORCID: 0000-0002-8398-1961

System ociepleń z barierą ogniową – symulacje numeryczne rozkładu temperatury w obrębie ściany

Thermal insulation system with a fire barrier – numerical simulations of the distribution within the wall

DOI: 10.15199/33.2021.05.08

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych ścian zewnętrznych ocieplonych styropianem z dodatkową barierą ogniową w postaci wełny mineralnej. Założono dwa rodzaje warstwy konstrukcyjnej, wykonanej w postaci monolitycznej żelbetowej i z bloczków z autoklawizowanego betonu komórkowego. W wyniku obliczeń otrzymano rozkłady temperatury w przekroju ściany, z wyznaczeniem charakterystycznych wartości w miejscach szczególnych. Dla przyjętych założeń wykazano nieznaczne zróżnicowanie temperatury na wewnętrznej powierzchni ściany oraz duże wartości czynnika temperaturowego f_{Rsi} .

Słowa kluczowe: izolacja termiczna; styropian; wełna mineralna; modelowanie MES.

Abstract. The article presents the results of numerical calculations of external walls insulated with polystyrene with an additional fire barrier in the form of mineral wool. Two types of construction layer were established, made of monolithic reinforced concrete and autoclaved aerated concrete blocks. As a result of the calculations, temperature distributions in the cross-section of the wall were obtained, with their characteristic values in specific places. For the assumptions made, a slight temperature variation on the inner surface of the wall and high values of the temperature factor f_{Rsi} were demonstrated.

Keywords: thermal insulation; polystyrene; mineral wool; modeling MES.

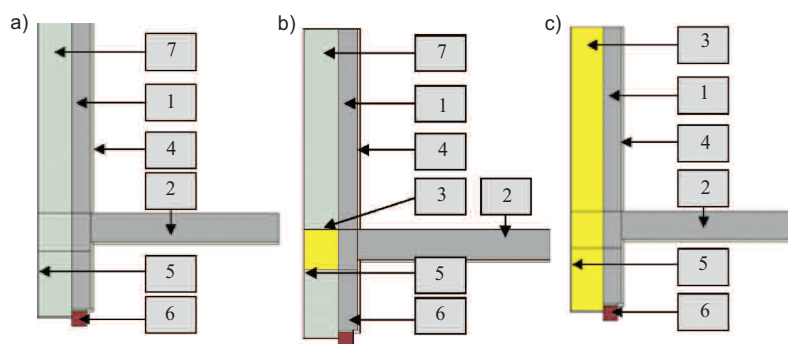
Występowanie w rozwiązaniach ociepleń ścian zewnętrznych zróżnicowanych materiałów termoizolacyjnych, o odmiennych parametrach fizycznych, może skutkować miejscową zmianą izolacyjności cieplnej ściany [1]. Jest to szczególnie istotne w miejscach występowania geometrycznych mostków termicznych.

W wybranych przypadkach dokumentacje projektowe przewidują zastosowanie styropianu i wełny mineralnej w obrębie jednej ściany zewnętrznej. Materiały te charakteryzują się zróżnicowanym współczynnikiem przewodzenia ciepła. Jednym z obszarów, w którym może występować tego typu sytuacja, jest fragment ściany w obrębie połączenia ze stropem międzykondygnacyjnym i nadprożem okiennym, stanowiący mostek termiczny [2]. Niektóre wytyczne zalecają stosowanie w systemach ociepleń barier ogniowych wykonanych z materiałów niepalnych, np. w poziomie stropów

[4]. Nasuwa się pytanie, czy zastosowanie termoizolacji o zróżnicowanym współczynnikiem przewodzenia ciepła może niekorzystnie wpłynąć na stan ochrony cieplnej ścian zewnętrznych, w tym na wartość czynnika temperaturowego f_{Rsi} ?

Założenia obliczeniowe

Oceniano detal połączenia ściany wewnętrznej ze stropem międzykondygnacyjnym. Do analizy przyjęto dwa zróżnicowane warianty. Pierwszy stanowi monolityczna konstrukcja żelbetowa o grubości 10 cm (rysunek 1).



Oznaczenia: 1 – prefabrykowana ściana żelbetowa grubości 10,0 cm, $\lambda = 2,30$ W/mK; 2 – strop żelbetowy grubości 20,0 cm, $\lambda = 2,30$ W/mK; 3 – wełna mineralna grubości 18,0 cm, $\lambda = 0,036$ W/mK; 4 – tynk cementowo-wapienny grubości 1,5 cm, $\lambda = 0,82$ W/mK; 5 – warstwa zbrojona i tynk mineralny grubości 0,5 cm, $\lambda = 1,000$ W/mK; 6 – rama okienna grubości 8,0 cm, $\lambda = 0,085$ W/mK; 7 – styropian grubości 18,0 cm, $\lambda = 0,031$ W/mK

Rys. 1. Modele geometryczne ściany monolitycznej przyjęte do analizy wraz z charakterystyką materiałową: a) wariant 1A – ściana żelbetowa + styropian; b) wariant 1B – ściana żelbetowa + styropian + pas wełny mineralnej; c) wariant 1C – ściana żelbetowa + wełna mineralna

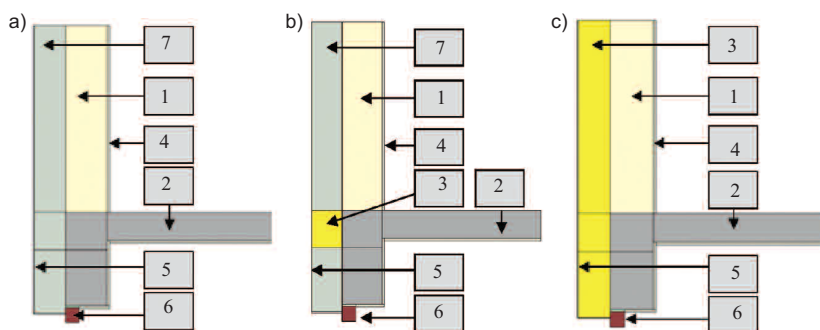
Fig. 1. Geometric models of a monolithic wall adopted for analysis together with material characteristics: a) variant 1A – reinforced concrete wall + polystyrene; b) variant 1B – reinforced concrete wall + polystyrene + mineral wool belt; c) variant 1C – reinforced concrete wall + mineral wool

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; pawel.krause@polsl.pl

W drugim wariancie zastosowano autoklawizowany beton komórkowy (ABK) grubości 24 cm (rysunek 2).

połączenia ściany zewnętrznej i stropu od strony sufitu; w miejscu połączenia ściany zewnętrznej i stropu od stro-

Analizując rozkład temperatury na wewnętrznej powierzchni ściany monolitycznej, stwierdzono nieznaczne jej różnicowanie w przypadku wszystkich trzech wariantów ocieplenia (rysunek 3). Zastosowanie w poziomie wieńca pasa z wełny mineralnej spowodowało nieznaczne obniżenie temperatury w miejscu połączenia ściany i stropu zarówno przy suficie, jak i posadzce, jedynie o $\Delta t = 0,05^\circ\text{C}$, w porównaniu z temperaturą uzyskaną w przypadku ocieplenia wykonanego wyłącznie styropianem. Jeszcze mniejsza różnica temperatury występowała w obrębie połączenia stolarki okiennej i ściany. W przypadku warstwy termoizolacyjnej z wełny mineralnej stwierdzono nieznaczne dalsze obniżenie temperatury w miejscach występujących mostków cieplnych, nieprzekraczające $\Delta t = 0,22^\circ\text{C}$. Najmniejsza wartość czynnika temperaturowego f_{Rsi} , wyznaczona w przypadku wariantu 1C,

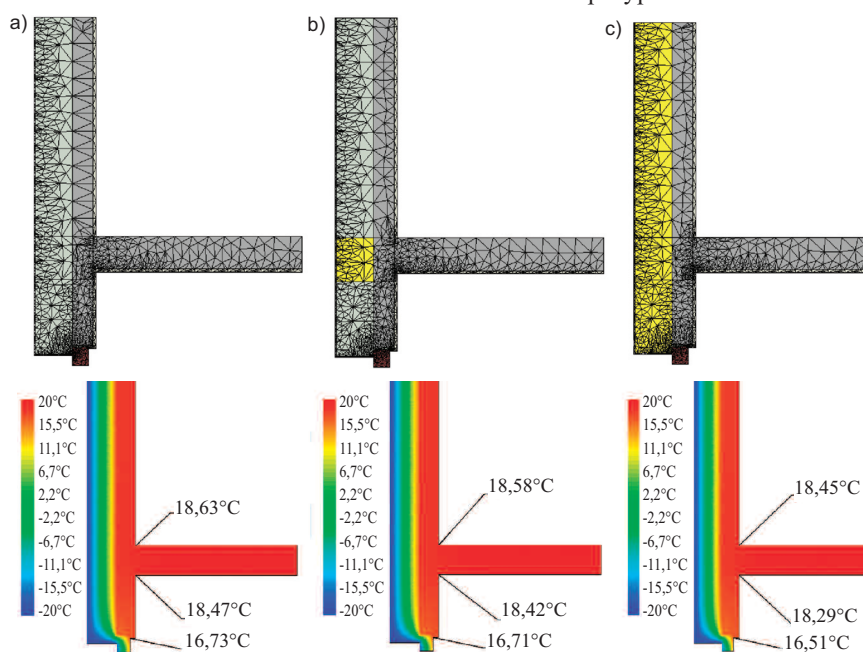


Oznaczenia: 1 – autoklawizowany beton komórkowy (ABK) grubości 24 cm, $\lambda = 0,14 \text{ W/mK}$; 2 – strop żelbetowy grubości 20,0 cm, $\lambda = 2,30 \text{ W/mK}$; 3 – wełna mineralna grubości 18,0 cm, $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$; 4 – tynk cementowo-wapienny grubości 1,5 cm, $\lambda = 0,82 \text{ W/mK}$; 5 – warstwa zbrojona i tynk mineralny grubości 0,5 cm, $\lambda = 1,000 \text{ W/mK}$; 6 – rama okienna grubości 8,0 cm, $\lambda = 0,085 \text{ W/mK}$; 7 – styropian grubości 18,0 cm, $\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$

Rys. 2. Modele geometryczne ściany wykonanej z ABK przyjęte do analizy wraz z charakterystyką materiałową: a) wariant 2A – ściana ABK + styropian; b) wariant 2B – ABK + styropian + pas wełny mineralnej; c) wariant 2C – ABK + wełna mineralna

Fig. 2. Geometric models of the ABK wall adopted for analysis along with the material characteristics: a) variant 2A – ABK wall + polystyrene; b) variant 2B – ABK + polystyrene + mineral wool belt; c) variant 2C – ABK + mineral wool

W przypadku analizowanego ocieplenia założono trzy zróżnicowane rozwiązania. W wariantcie A zastosowano wyłącznie izolację termiczną ze styropianu z dodatkiem atermicznym (tzw. styropian grafitowy/szary) grubości 18 cm. Współczynnik przenikania ciepła ściany monolitycznej wynosił $U = 0,165 \text{ W/m}^2\text{K}$, a ściany wykonanej z ABK – $U = 0,130 \text{ W/m}^2\text{K}$. Wariant B obejmował wykonanie dodatkowych pasów z wełny mineralnej grubości 18 cm i szerokości 20 cm, natomiast w wariantcie C zastosowano wyłącznie wełnę mineralną grubości 18 cm. W przypadku ściany monolitycznej skutkowało to współczynnikiem przenikania ciepła $U = 0,191 \text{ W/m}^2\text{K}$, a ściany z ABK – $U = 0,145 \text{ W/m}^2\text{K}$. Strop i nadproże przyjęto jako żelbetowe.



Rys. 3. Siatka MES i rozkład temperatury z wartościami wyznaczonymi w punktach charakterystycznych – ściana monolityczna: a) wariant 1A – ściana żelbetowa + styropian; b) wariant 1B – ściana żelbetowa + styropian + pas wełny mineralnej; c) wariant 1C – ściana żelbetowa + wełna mineralna

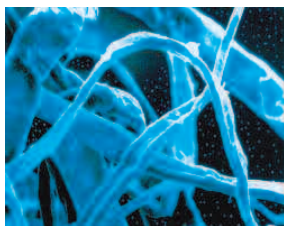
Fig. 3. FEM grid and temperature distribution with the values determined for the characteristic points – monolithic wall: a) variant 1A – reinforced concrete wall + polystyrene; b) option 1B – reinforced concrete wall + polystyrene + mineral wool belt; c) variant 1C – reinforced concrete wall + mineral wool

Wyniki obliczeń numerycznych

Obliczenia numeryczne założonych wariantów wykonano w programie Psi-Therm 2D. Miały one na celu porównanie rozkładu temperatury na wewnętrznej powierzchni przegród o zróżnicowanych rozwiązaniach izolacji termicznej. W tym celu wyznaczono temperatury w charakterystycznych punktach przegrody, tj. w miejscu

ny posadzki, a także w miejscu zamocowania stolarki okiennej. Założono, iż temperatura zewnętrzna wynosi $t_e = -20^\circ\text{C}$, a temperatura wewnętrzna $t_i = +20^\circ\text{C}$.

w miejscu połączenia okna i nadproża, wynosiła $f_{Rsi} = 0,91$. W pozostałych przypadkach wartość ta była większa i wahała się w przedziale $f_{Rsi} = 0,92 \div 0,97$.



ARBOCEL – The Power of Reinforcement

– wyjątkowe włókna na bazie celulozy, redukujące ilość powstających rys/mikropęknięć i spękań tynków, szpachli i farb

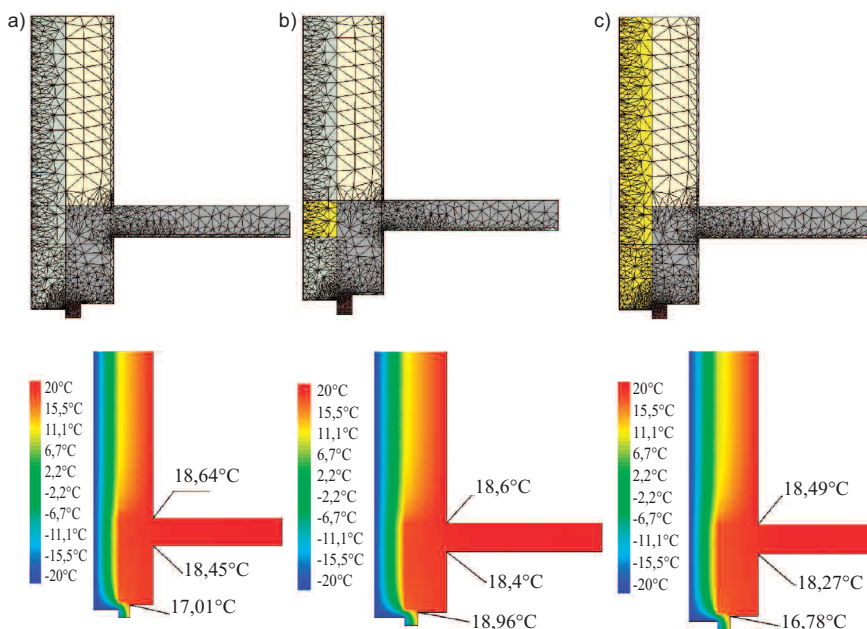


Rettenmaier Polska
Sp. z o.o.
Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B
02-366 Warszawa
mobile +48 600 423 423
Tel + 48 22 608 51 00
e-mail: arbocel@jrs.pl

Obliczenia zrealizowane dla ściany wykonanej z autoklawizowanego betonu komórkowego wykazały zbliżone wyniki (rysunek 4). Porównując wyniki uzyskane dla obu wariantów ściany, widać, praktycznie pomijalne, różnice temperatury w miejscu połączenia ściany i stropu, wynoszące $\Delta t_{\max} = 0,04^{\circ}\text{C}$. Nieznacznie większe zróżnicowanie temperatury odnotowano w miejscu os-

nolityczna), jak i ściany wykonanej z ABK.

Temperatura na wewnętrznej powierzchni ściany i obliczone wartości czynnika temperaturowego f_{Rsi} wskazują, iż spełnione są wymagania obowiązujących przepisów prawa dotyczących braku zagrożenia kondensacją pary wodnej na wewnętrznej powierzchni ściany [3].



Rys. 4. Siatka MES i rozkład temperatury z wartościami wyznaczonymi w punktach charakterystycznych – ściana ABK: a) wariant 2A – ściana z ABK + styropian; b) wariant 2B – ściana z ABK + styropian + pas wełny mineralnej; c) wariant 2C – ściana z ABK + wełna mineralna

Fig. 4. The FEM grid and the distribution of temperature with the values determined in the form of tangential points – walls on ABK: a) variant 2A – wall of ABK + polystyrene; b) variant 2B – wall of ABK + polystyrene + mineral wool belt; c) variant 2C – wall of ABK + wool mineral

dzenia stolarki okiennej ($\Delta t_{\max} = 0,27^{\circ}\text{C}$ w przypadku wariantu ocieplenia wełną mineralną). Najmniejsza wartość czynnika temperaturowego, wyznaczona dla wariantu 2C (połączenie okna i ściany), wynosiła $f_{Rsi} = 0,92$.

Podsumowanie

Przeprowadzone obliczenia nie wykazały istotnego wpływu zastosowania w analizowanym systemie ociepleń pasów z wełny mineralnej na stan ochronny cieplnej ściany zewnętrznej. Nieznaczne zróżnicowanie obliczeniowej temperatury na wewnętrznej powierzchni ściany występowało zarówno w przypadku zastosowania ocieplenia na warstwie konstrukcyjnej o niewielkim oporze cieplnym (ściana mo-

Literatura

- [1] Krause Paweł, Tomasz Steidl. 2017. *Uszkodzenia i naprawy przegród budowlanych w aspekcie izolacyjności termicznej*. Warszawa. PWN.
- [2] Krause Paweł, Tomasz Steidl, B. Orlik-Koźdoń. 2016. „Ciepłno-wilgotnościowe projektowanie ścian z betonu komórkowego”. Z. 3, Cz. 2, *Mostki termiczne*. Warszawa. Stowarzyszenie Producentów Betonów.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 75, poz. 690), wraz z późniejszymi zmianami.
- [4] Wytyczne projektowania ocieplenia elewacji budynków z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa SITP WP-03:2018.

Przyjęto do druku: 22.02.2021 r.