

Sprawność bariery termicznej

Thermal barrier efficiency

WŁADYSŁAW SZAFLIK

DOI 10.36119/15.2023.6.2

W literaturze technicznej coraz częściej poruszany jest problem ograniczenia zużycia energii pierwotnej. Stosunkowo duże ilości energii przeznaczane są do ogrzewania pomieszczeń. W przypadku zasobów znacznie tańszej energii odpadowej lub pochodzącej ze źródeł odnawialnych o temperaturze niższej niż wymagana w pomieszczeniach, można w celu ograniczenia strat ciepła przez przenikanie wykorzystać tzw. „barierę termiczną” umieszczoną w ścianach zewnętrznych. Bariere termiczną stanowi pionowy element ściany z zamontowanymi w przegrodzie przewodami z czynnikiem grzejącym o temperaturze niższej od temperatury w pomieszczeniu lecz wyższej niż wynikającej z przenikania ciepła przez przegrodę bez bariery. W artykule, na podstawie opracowanego modelu przegrody z barierą termiczną, dla przyjętych wielkości wejściowych i otoczenia przegrody, zdefiniowano i określono sprawność bariery termicznej. Dla wybranego przypadku w artykule, przedstawiono wyniki analizy wpływu na sprawność bariery termicznej połowy odległości między przewodami bariery oraz iloczynu współczynnika przewodzenia ciepła. Wyniki obliczeń przedstawiono na wykresach. Otrzymane wnioski dotyczące wpływu tych parametrów na sprawność bariery potwierdziły oczekiwania. Wraz ze wzrostem odległości między przewodami sprawność bariery maleje, a ze wzrostem iloczynu grubości i przewodności materiału bariery jej sprawność rośnie. Znajomość sprawności bariery umożliwia proste określenie średniej temperatury bariery i ilości ciepła oddawanego przez pomieszczenie oraz przez czynnik grzejący płynący w barierze. Należy stwierdzić, że całkowita ilość ciepła oddana przez ścianę z barierą termiczną jest większa niż przez ścianę bez bariery, lecz koszty ogrzewania pomieszczenia mogą być niższe.

Słowa kluczowe: bariera termiczna, przepływ ciepła przez przegrodę z barierą termiczną, straty ciepła, sprawność bariery termicznej

The problem of reducing primary energy consumption is increasingly discussed in the technical literature. Relatively large amounts of energy are used to heat rooms. In the case of resources of much cheaper waste energy or energy from renewable sources with a temperature lower than required in the rooms, the so-called “thermal barrier” placed in external walls can be used to reduce heat transmission losses. The thermal barrier is a vertical wall element with pipes with a heating medium installed in the partition, with a temperature lower than the temperature in the room but higher than that resulting from the heat transfer through the partition without a barrier. In the paper, on the basis of the developed model of a partition with the thermal barrier, for the assumed input values and the partition’s surroundings, the efficiency of the thermal barrier was defined and determined. For the selected case, the paper presents the results of the analysis of the impact on the efficiency of the thermal barrier of half the distance between the pipes of the barrier and the thermal conductivity coefficient. The results of the calculations are presented in the graphs. The received conclusions regarding the impact of these parameters on the efficiency of the barrier confirmed the expectations. As the distance between the pipes increases, efficiency of the barrier decreases, and as the product of the thickness and conductivity of the barrier material increases, its efficiency increases. Knowledge of the barrier efficiency will allow to easily determine the average barrier temperature and the amount of heat given off by the room and by the heating medium flowing in the barrier. It should be noted that the total amount of heat given off by a wall with a thermal barrier is greater than through a wall without a barrier, but the costs of heating the room may be lower.

Keywords: thermal barrier, heat flow through a partition with thermal barrier, heat loss, thermal barrier efficiency

Wykaz ważniejszych oznaczeń

e – grubość warstwy przegrody [m],	\dot{Q} – strumień ciepła [W],	λ – współczynnik przewodzenia ciepła [W/(m · °C)],
l – połowa odległości pomiędzy przewodami przegrody [m],	r – promień przewodu [m]	
m – parametr [m ⁻²],	R – opór cieplny [m ² · °C/W],	
q – parametr [°C m ⁻²],	t – temperatura [°C],	Indeksy
	x – współrzędna [m],	b – bariera termiczna,
	η – sprawność [–],	e – zewnętrzna,
	Δ – różnica	i – wewnętrzna,

prof. dr hab. inż. Władysław Szaflik, <https://orcid.org/0000-0003-3767-8766> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Adres do korespondencji / Corresponding adress: Wladyslaw.Szaflik@zut.edu.pl

- is** – izolacji,
- m** – czynnik grzejny przepływający przez barierę,
- p** – podstawa elementu bariery – zewnętrzna średnica przewodu
- śr** – średnica,
- w** – bariera termiczna,
- α – przewodzenie ciepła.

Wstęp

W ostatnich latach ludzie coraz bardziej uświadamiają sobie niekorzystny wpływ spalania paliw na środowisko oraz ograniczoność zasobów kopalnych źródeł energii i ich wyczerpywanie, zaczęto coraz bardziej zwracać uwagę na jej zużycie. Stosunkowo duża ilość energii jest przeznaczana na ogrzewanie budynków, stąd nieprzypadkowo wzrasta zainteresowanie rozwiązaniami umożliwiającymi redukcję tego zużycia. Istotne staje się podnoszenie sprawności systemów i urządzeń stosowanych w ogrzewnictwie. Zastosowanie bardzo taniego lub odpadowego czynnika grzejnego o niskiej temperaturze zmniejsza zużycie wysokotemperaturowego ciepła na ogrzewanie, poprawia efektywność pozyskiwania energii ze spalania paliw i z niekonwencjonalnych źródeł energii [1, 2, 3].

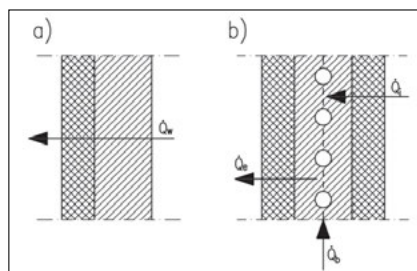
Dla przewodów umieszczonych w pionowej przegrodzie pomieszczenia, w których płynie czynnik grzewczy, można wyróżnić trzy przypadki:

- temperatura czynnika jest wyższa od temperatury w pomieszczeniu, w tym przypadku czynnik ogrzewa pomieszczenie, mamy do czynienia z ogrzewaniem ściennym,
- temperatura czynnika zawarta jest pomiędzy temperaturą w pomieszczeniu a temperaturą w miejscu umieszczenia rur w takiej ścianie bez przewodów. Przy takim rozwiązaniu ograniczane są straty ciepła pomieszczenia przez przenikanie, w przegrodzie występuje aktywna bariera termiczna dla przenikającego na zewnątrz ciepła. Bariere stanowi temperatura podgrzanego materiału przegrody pomiędzy przewodami. Taki sposób wykorzystania czynnika o stosunkowo niskiej temperaturze stosowany jest do ograniczania strat ciepła przez przenikanie w systemie ISOMAX [11, 13],
- temperatura czynnika jest niższa od temperatury w miejscu umieszczenia przewodów w przegrodzie bez przewodów – następuje chłodzenie pomieszczenia. Przy czym przy ustalaniu parametrów wody chłodzącej należy przeanalizować również wpływ jej

temperatury na ewentualne wykraplanie się pary wodnej w przegrodzie.

Rozwiązanie przegród z aktywną barierą termiczną zaczyna być coraz częściej wykorzystywane w budownictwie, zwłaszcza w budownictwie energooszczędnym [5, 6]. Od kilkunastu lat stosowana jest technologia wykonywania domów niskoenergetycznych w systemie ISOMAX [11], która oparta jest właśnie na zastosowaniu takich przegród. W systemie tym ściana na zewnątrz pokryta jest płytami styropianowymi o grubości 12,5 cm, połączonymi poprzez żebra betonowe 12,5 cm z płytami styropianowymi z drugiej wewnętrznej strony ściany. Pomiedzy nimi umieszczone są meandralnie, odpowiednio rozmieszczone w rdzeniu ściany, rury PP. Przestrzeń pomiędzy tymi warstwami styropianowymi wypełniona jest BIO-POR-betonem. Konstrukcja takiej przegrody opiera się na rdzeniu, w którym utrzymywana jest stała temperatura i który po obu stronach jest dobrze zaizolowany cieplnie styropianem. Aktywowanie bariery termicznej występuje w chwili uruchomienia stałego przepływu niskoparametrowego medium przez przewody. Zastosowanie przegrody z barierą termiczną zapobiega wykraplaniu się pary wodnej oraz znacznie redukuje straty przenikania ciepła z budynku poprzez stworzenie blokady przepływu ciepła z obszarów o wyższym do obszarów o niższym poziomie energetycznym.

Poniżej na rysunku 1 przedstawiono schemat tradycyjnej przegrody i przegrody z barierą termiczną systemu ISOMAX [11].



Rys. 1. Schemat ocieplonej przegrody zewnętrznej: a) tradycyjnej, b) z barierą termiczną systemu ISOMAX. Fig. 1. Diagram of the insulated external partition: a) traditional, b) with the thermal barrier of the ISOMAX system [11]

W niniejszej pracy, dla rozwiązania, gdy przewody umieszczone w ścianie wraz z jej rdzeniem stanowią aktywną barierę termiczną, zostanie określony wpływ jej parametrów na rozkład temperatury w barierze i wielkości strumieni ciepła przepływających z pomieszczenia do przegrody i od przegrody na zewnątrz.

W celu ułatwienia określenia wpływu parametrów geometrycznych i termodynamicznych bariery na jej temperaturę

w pracy wprowadzono pojęcie sprawności bariery termicznej. Została ona zdefiniowana jako stosunek różnicy średniej temperatury bariery termicznej $t_{sr b}$ i temperatury przegrody t_w w miejscu umieszczenia bariery przy jej wyłączeniu, do różnicy temperatury na powierzchni przewodu t_p i temperatury przegrody t_w w miejscu umieszczenia bariery przy jej wyłączeniu.

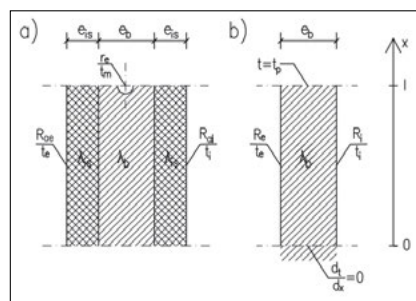
$$\eta_b = \frac{t_{sr b} - t_w}{t_p - t_w} \quad (1)$$

Znajomość sprawności pozwoli w łatwy sposób określić średnią temperaturę elementu bariery termicznej i strumienie ciepła dopływające i odpływające od przegrody.

Model przegrody z barierą termiczną

Przegroda z barierą termiczną składa się z warstwy stanowiącej barierę pokrytą jednostronnie lub dwustronnie izolacją termiczną. Centralną warstwą przegrody jest bariera termiczna, wewnątrz niej umieszczone są przewody z tworzywa sztucznego, w których przepływa czynnik grzejny, jednocześnie bariera termiczna stanowi element nośny ściany. Do bariery przymocowana jest warstwa izolacji [7, 8, 9].

Model wymiany ciepła wyprowadzono dla wydzielonego powtarzalnego elementu przegrody z barierą termiczną o szerokości wynoszącej połowę rozstawu przewodów i o długości 1 m. Od strony przewodu jest do niego dostarczane ciepło, przeciwległy koniec bariery jest płaszczyzną symetrii i ciepło przez nią nie przepływa. Przewodność cieplna materiału elementu nośnego, stanowiącego barierę termiczną, jest znacznie większa od przewodności cieplnej izolacji, w związku z tym przewodzenie wzdłużne w izolacji pominięto a opór przejmowania ciepła na zewnątrz bariery powiększono o opór



Rys. 2. Schemat modelu przegrody z barierą termiczną: a) przekrój przez wydzielony element przegrody, b) schemat modelu przegrody. Fig. 2. Diagram of the partition model with a thermal barrier: a) cross-section through a separate element of the partition, b) diagram of the partition model

ciepłny izolacji [12]. Przejmowanie ciepła z jednej strony bariery i oddawanie z drugiej potraktowano jako wewnętrzne źródła ciepła elementu bariery. Pozostałe założenia przyjęto jak dla klasycznego zebra. Schemat przyjętego modelu przegrody z barierą termiczną pokazano na rysunku 2.

Równanie wyjściowe dla przyjętego modelu ma postać:

$$\frac{d^2 t}{dx^2} = m \cdot t - q. \quad (2)$$

gdzie:

$$m = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_e} \quad (3)$$

i

$$q = \frac{t_i}{R_i} + \frac{t_e}{R_e} \quad (4)$$

gdzie:

$$R_i = R_{ci} + \frac{R_{ic}}{2} + R_{iis} \quad (5)$$

i

$$R_e = R_{ae} + \frac{R_{ec}}{2} + R_{eis} \quad (7)$$

Równanie rozwiązano przy klasycznych warunkach brzegowych:

$$\text{Dla } x = 0 \rightarrow \frac{dt}{dx} = 0 \quad (8)$$

$$\text{Dla } x = \frac{l}{2} \rightarrow t = t_p \quad (9)$$

Otrzymano rozwiązanie:

$$t(x) = \frac{t_p - \frac{q}{m}}{\cosh(\sqrt{m} \cdot x)} \cdot \cosh(\sqrt{m} \cdot x) + \frac{q}{m} \quad (10)$$

Temperatura średnia elementu bariery wynosi:

$$t_{\text{śrb}} = \frac{t_p - \frac{q}{m}}{\sqrt{m} \cdot l} \cdot \operatorname{tgh}(\sqrt{m} \cdot l) + \frac{q}{m} \quad (11)$$

Natomiast strumień ciepła przekazywany do elementu bariery oblicza się ze wzoru:

$$\dot{Q}_b = -\lambda \cdot e_b \cdot \sqrt{m} \cdot \left(t_p - \frac{q}{m} \right) \cdot \operatorname{tgh}(\sqrt{m} \cdot l) \quad (12)$$

Otrzymane z przyjętego powyżej modelu ściany z barierą termiczną wartości: strumienia ciepła oddawanego przez płynące w barierze medium i temperatury średniej elementu, umożliwiają opracowanie wykresów i tabel sprawności bariery

termicznej pozwalające na szybkie wyznaczenie średniej temperatury bariery i strumienia ciepła.

Wpływ parametrów przegrody na sprawność bariery termicznej

Wprowadzenie

Interesujący jest wpływ wartości parametrów przegrody na sprawność bariery termicznej. A szczególnie odległości między przewodami bariery i wartość jej przewodności cieplnej. Przeanalizowano wpływ zmiany tych parametrów na sprawność bariery termicznej, określono go na przykładzie typowego rozwiązania

Tabela 1. Przyjęte do obliczeń parametry geometryczne i termodynamiczne przegrody z barierą termiczną

Lp.	Nazwa parametru	Symbol	Jednostka	Wartość
1.	Grubość bariery termicznej	e_b	m	0,15
2.	Grubość warstwy izolacji	e_{is}	m	0,13
3.	Grubość ścianki przewodu	e_p	m	0,002
4.	Połowa odległości pomiędzy przewodami bariery	l	m	0,1
5.	Prędkość czynnika w przewodzie	v	m/s	0,25
6.	Przewodność cieplna ciepła materiału bariery	λ_b	W/(m·°C)	1,7
7.	Przewodność cieplna materiału izolacji	λ_{is}	W/(m·°C)	0,032
8.	Przewodność cieplna materiału rury	λ_p	W/(m·°C)	0,22
9.	Promień zewnętrzny rury	r_e	m	0,01
10.	Temperatura bariery	t_b	°C	12
11.	Temperatura wewnętrzna	t_i	°C	20
12.	Temperatura zewnętrzna	t_e	°C	-16
13.	Wewnętrzny opór przejmowania ciepła	R_i	m ² ·°C/W	0,13
14.	Zewnętrzny opór przejmowania ciepła	R_e	m ² ·°C/W	0,04

bariery [10]. Poniżej w tabeli 1 przedstawiono przyjęte parametry geometryczne i termodynamiczne przegrody z barierą termiczną.

Dla analizowanych parametrów na początku ze wzoru (12) obliczano ilość ciepła oddawaną przez czynnik płynący w przewodach bariery, przy założeniu, że temperatura po zewnętrznej stronie przewodu zasilającego w ciepło barierę (u podstawy bariery) równa jest temperaturze czynnika w nim płynącego t_m . Następnie uwzględniając parametry geometryczne i termiczne przewodu obliczono współczynnik przejmowania ciepła α_m i opór cieplny ścianki przewodu R_p , ze wzoru (13) oraz określono spadek tempe-

ratury pomiędzy czynnikiem i podstawą bariery:

$$\Delta t = \frac{\dot{Q}}{\pi \cdot r \cdot \left(\alpha_m + \frac{1}{R_p} \right)} \quad (13)$$

Wartość współczynnika przejmowania ciepła od czynnika grzejnego płynącego w barierze obliczono ze wzoru Gnielińskiego [3]. W celu określenia temperatury na zewnątrz przewodu korygowano o tę wartość temperaturę czynnika i następnie obliczano średnią temperaturę bariery termicznej. Otrzymana wartość z wystarczającą dokładnością estymuje tę średnią

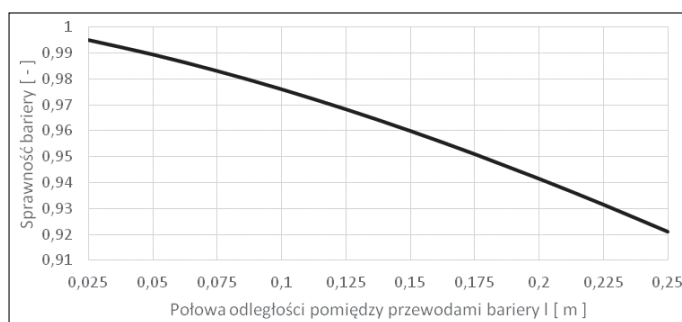
temperaturę bariery. Znając budowę i wymiary ściany z barierą z podstawowych wzorów wyznaczono temperaturę przegrody w miejscu bariery przy jej braku. Następnie dla analizowanych przypadków z zależności (1) obliczano sprawność bariery termicznej.

Wpływ odległości między przewodami bariery na sprawność bariery

Poniżej dla analizowanego rozwiązania na wykresie przedstawiono wpływ odległości pomiędzy przewodami umieszczonymi w barierze na sprawność bariery.

Jak można zauważyć na rysunku 3 odległość pomiędzy przewodami bariery

Rys. 3. Wpływ odległości pomiędzy przewodami umieszczonymi w barierze na jej sprawność Fig. 3. The influence of the distance between pipes placed in the barrier on its efficiency

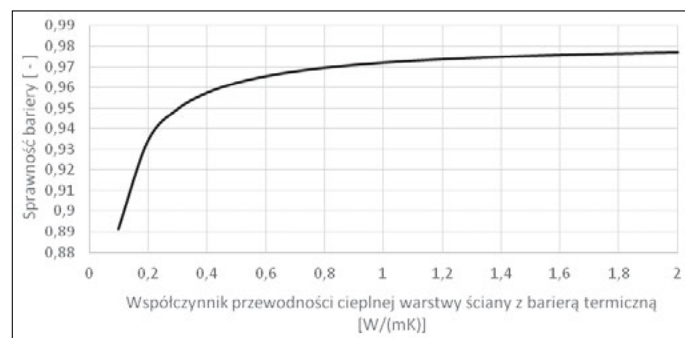


wpływa na sprawność bariery. W miarę wzrostu tej odległości sprawność bariery maleje, dla przyjętych pozostałych parametrów bariery (patrz tabela 1.) dla odległości przewodów 0,2 m sprawność wynosi 0,975 przy odległości przewodów 0,5 m zmniejsza się do wartości 0,92.

Wpływ przewodności cieplnej bariery na sprawność bariery

Poniżej dla analizowanego rozwiązania na wykresie przedstawiono wpływ odległości pomiędzy przewodami umieszczonymi w barierze na sprawność bariery.

Jak można zauważyć na rysunku 4, wartość współczynnika przewodzenia ciepła bariery termicznej wpływa na jej



Rys. 4.
Wpływ przewodności cieplnej bariery na jej sprawność
Fig. 4. The influence of the thermal conductivity coefficient

sprawność. Dla przyjętych pozostałych parametrów bariery (patrz tabela 1.) w miarę jego wzrostu sprawność bariery rośnie, dla wartości współczynnika powyżej 0,8 W/(m · °C) wynosi ona powyżej 0,97.

Podsumowanie i wnioski

W artykule, na podstawie opracowanego modelu przegrody z barierą termiczną, dla przyjętych wielkości wejściowych i otoczenia przegrody określono sprawność bariery termicznej. Zdefiniowano ją jako stosunek różnicy średniej temperatury

bariery i temperatury przegrody w miejscu zamontowania przy jej wyłączeniu, do różnicy temperatury podstawy bariery i temperatury przegrody w miejscu zamontowania przy jej wyłączeniu. Dla przyjętych danych obliczono sprawność bariery w zależności od połowy odległości między przewodami bariery termicznej oraz jej współczynnika przewodzenia ciepła i przedstawiono ją na wykresach. Otrzymane wnioski dotyczące wpływu tych parametrów na sprawność bariery potwierdziły oczekiwania, że wraz ze wzrostem odległości między przewodami sprawność bariery maleje, a ze wzrostem przewodności materiału bariery rośnie. Znajomość sprawności bariery umożliwia

proste określenie średniej temperatury bariery i ilości ciepła oddawanego przez pomieszczenie i przez czynnik grzewczy płynący w barierze.

Należy stwierdzić, że całkowita ilość ciepła oddana przez ścianę z barierą termiczną jest większa niż przez ścianę bez bariery, lecz koszty ogrzewania pomieszczenia mogą być niższe [8].

BIBLIOGRAFIA

[1] Barkanyi T.: Patent Nr: P398122, Element of building construction for active insulation of buildings, 2012.

[2] Barkanyi T., Nagylucskay L.: Building structure with active heat. EP2231952A1 European Patent Office, 11.06.2009.

[3] Incropera F. P., DeWitt D. P., Bergman T. L., Lavine A. S.: Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John Wiley & Sons, 2007.

[4] Kisilewicz T., Fedorczak-Cisak M., a, Barkanyi T.: Active thermal insulation as an element limiting heat loss through external walls. Energy and Buildings Volume 205, 15 December 2019, 109541.

[5] Krzaczek M.: Koncepcja Bariery Termicznej w budynkach o bardzo niskim zapotrzebowaniu na energię," Inżynieria Morska i Geotechnika, vol. 2, pp. 154-162, 2010.

[6] Krzaczek M., Kowalczyk Z.: Thermal Barrier as a technique of indirect heating and cooling for residential buildings," (in English), Energy and Buildings, Article vol. 43, no. 4, pp. 823-837, Apr 2011, DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.12.002.

[7] Leciej-Pirczewska D., Szaflik W.: Wykorzystanie niskotemperaturowego czynnika w ogrzewaniu ściennym. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 41, no. 5, pp. 168-172, 2010.

[8] Leciej-Pirczewska D., W. Szaflik: Wykorzystanie niskotemperaturowego czynnika w ogrzewaniu ściennym. Część II, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 41, no. 12, pp. 455-459, 2010.

[9] Leciej - Pirczewska D., Szaflik W.: Wpływ temperatury bariery termicznej w ścianie budynku na straty ciepła. X Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje, 2006.

[10] Małek M.: Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie na komfort cieplny i zużycie energii. Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki. Rozprawa doktorska. Promotor: prof. dr hab. inż. Halina Koczyk. Poznań, 2022.

[11] Strona internetowa: isomax.isodom.pl;

[12] Szaflik W.: Analiza wymiany ciepła w żebrach dwuwarstwowych. Wydział Budowy Maszyn i Okrętów. Rozprawa Doktorska. Promotor: prof. dr hab. inż. Władysław Nowak. Szczecin, 1982.

[13] Ulbrich R., Radlak G.: Application of environmental energy in modern solutions of passive buildings based on Isomax system. Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej s. Inżynieria Środowiska, 2005.