

Anna WERNER-JUSZCZUK<sup>1</sup>

## WPLYW ROZMIESZCZENIA IZOLACJI CIEPLNEJ W ŚCIANIE ZEWNĘTRZNEJ NA PRACĘ OGRZEWANIA ŚCIENNEGO

W referacie określono wpływ sposobu rozmieszczenia izolacji cieplnej w ścianie zewnętrznej z ogrzewaniem ściennym wodnym typu A na jego wydajność cieplną, temperaturę powierzchni oraz straty ciepła. Analizę przeprowadzono dla dwóch wariantów rozmieszczenia izolacji: jedna warstwa izolacji cieplnej od strony środowiska zewnętrznego, oraz dwie warstwy izolacji: jedna na powierzchni zewnętrznej ściany, druga bezpośrednio pod warstwą tynku z rurami. Wariant drugi obejmuje trzy zmienne grubości izolacji cieplnej bezpośrednio pod rurami. W obu wariantach łączny opór cieplny izolacji jest sobie równy. Obliczenia przeprowadzono dla zmiennej temperatury powietrza zewnętrznego i czynnika grzewczego, oporu cieplnego izolacji i warstwy wykończeniowej, rozstawu przewodów. Analizę przeprowadzono na podstawie wyników obliczeń numerycznych przenikania ciepła w ścianie z ogrzewaniem ściennym wykonanych za pomocą programu wykorzystującego metodę elementów brzegowych (MEB). Stwierdzono, że dla analizowanych zmiennych parametrów konstrukcyjnych grzejnika oraz środowiska zewnętrznego wykonanie izolacji cieplnej w dwóch warstwach a nie jednej ma pomijalny wpływ na wydajność cieplną grzejnika ściennego (zmiana maksymalnie o 2,5%) oraz na średnią temperaturę powierzchni grzejnika ściennego i straty ciepła do środowiska zewnętrznego. Rozmieszczenie izolacji cieplnej wpływa natomiast na rozkład izoterm wewnątrz przegrody z grzejnikiem ściennym. Zastosowanie warstwy izolacji cieplnej pod rurami powoduje, że bezwładność cieplna grzejnika ściennego maleje, ze względu na mniejszą masę przegrody budowlanej do nagrzania, co poprawia właściwości regulacyjne systemu.

**Słowa kluczowe:** ogrzewanie płaszczyznowe, straty ciepła, wydajność cieplna, temperatura powierzchni

### 1. Wprowadzenie

Ogrzewanie ścienne należy do systemów ogrzewania płaszczyznowego, które są coraz częściej projektowane i wykonywane w budynkach jednorodzinnych, wielorodzinnych, obiektach sakralnych i medycznych. Są to systemy ni-

---

<sup>1</sup> Anna Werner-Juszczuk, Politechnika Białostocka, Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok; tel. 857469633; a.juszczuk@pb.edu.pl, <http://orcid.org/0000-0002-5460-7874>

skotemperaturowe, w których temperatura czynnika grzewczego nie przekracza  $55^{\circ}\text{C}$ , w związku z czym znajdują one zastosowanie w budynkach ogrzewanych za pomocą energooszczędnych źródeł ciepła, takich jak kotły gazowe kondensacyjne czy źródła ciepła wykorzystujące odnawialne źródła energii, np. pompy ciepła. Takie źródła ciepła pracują z najwyższą sprawnością w zakresie niskich wartości temperatury czynnika grzewczego, wskutek czego zastosowanie niskotemperaturowych systemów grzewczych, np. ogrzewania ściennego, wpływa na zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych ogrzewania budynku [1]. Wykorzystanie ogrzewania ściennego w budynku może spowodować zmniejszenie zużycia energii na cele ogrzania budynku o prawie 30% w odniesieniu do budynku z tradycyjnym ogrzewaniem grzejnikowym, przy jednocześnie większych kosztach inwestycyjnych [2]. W pracy [3] stwierdzono, że przy tej samej temperaturze czynnika grzewczego ogrzewanie ścienne charakteryzuje się niższą temperaturą powierzchni grzewczej oraz wyższą średnią temperaturą powietrza w pomieszczeniu niż ogrzewanie podłogowe, co przesądza na korzyść ogrzewania ściennego, którego wykorzystanie w budynkach będzie skutkowało zmniejszeniem zużycia paliwa.

Ogrzewanie ścienne jest zdecydowanie mniej popularne niż ogrzewanie podłogowe. Jednak w budynkach słabo izolowanych, w pomieszczeniach, w których powierzchnie są zajęte w znacznym stopniu przez wyposażenie, zastosowanie ogrzewania podłogowego może być niewystarczające, aby zapewnić wymaganą wydajność cieplną instalacji grzewczej. Wówczas można zastosować ogrzewanie ścienne jako uzupełnienie ogrzewania podłogowego, co jest zalecane przy niskotemperaturowych źródłach ciepła, np. pompach ciepła. Znacznym ograniczeniem ogrzewania podłogowego jest maksymalna temperatura powierzchni podłogi, która wpływa na maksymalną wydajność cieplną grzejnika, a tym samym możliwość pokrycia projektowego obciążenia cieplnego pomieszczenia. W porównaniu do ogrzewania podłogowego temperatura powierzchni grzejnika ściennego może być wyższa. Norma PN-EN ISO 11855-1 [4] rekomenduje maksymalną temperaturę powierzchni ściany z grzejnikiem płaszczyznowym  $T_{s,max} = 35 - 50^{\circ}\text{C}$ . Według norm PN-EN ISO 11855-3 [5] oraz PN-EN 1264-3 [6] średnia temperatura powierzchni ściany powinna wynosić dla pomieszczeń mieszkalnych  $T_{s,m} = 40^{\circ}\text{C}$ . Skutkuje to większą wydajnością cieplną ogrzewania ściennego z  $1\text{ m}^2$  w porównaniu do ogrzewania podłogowego, dla którego maksymalna temperatura powierzchni w zależności od przeznaczenia pomieszczenia wynosi  $29-33^{\circ}\text{C}$ .

Ogrzewanie ścienne, podobnie jak ogrzewanie podłogowe, zapewnia większy stan zadowolenia z komfortu cieplnego wśród użytkowników niż systemy wysokotemperaturowe, wykorzystujące grzejniki konwekcyjne. Odczuwanie zadowolenia z komfortu cieplnego w pomieszczeniu z ogrzewaniem ściennym spowodowane jest obecnością dużych pionowych powierzchni grzewczych o optymalnej temperaturze [7] oraz dzięki małemu pionowemu gradientowi temperatury w pomieszczeniu  $<1\text{ K/m}$  [3]. W pomieszczeniu z ogrzewaniem

ściennym obserwuje się mniejszą cyrkulację powietrza niż w pomieszczeniu z ogrzewaniem podłogowym, co przekłada się na poziom zadowolenia z komfortu cieplnego [3].

W zależności od rodzaju medium przenoszącego ciepło ogrzewanie ścienne dzieli się na:

- ogrzewanie wodne,
- ogrzewanie powietrzne,
- ogrzewanie elektryczne,
- ogrzewanie fazowe (z wykorzystaniem rurek ciepła tzw. *heat pipe*).

Systemy ogrzewania ściennego wodnego mogą być wykonywane w systemie suchego i mokrego montażu. System mokrego montażu to rury przymocowane do warstwy konstrukcyjnej ściany, usytuowane w warstwie tynku o grubości od 25 do 40 mm [8]. Małe grubości tynku są możliwe do wykonania jedynie przy zastosowaniu specjalnych tynków dedykowanych systemom ogrzewania ściennego. Ogrzewanie ścienne, w porównaniu do ogrzewania podłogowego w systemie mokrego montażu, charakteryzuje się mniejszą bezwładnością cieplną, ze względu na mniejszą grubość tynku niż wylewki, w której usytuowane są przewody z rurami (minimum 45 mm nad rurą), co ułatwia regulację hydrauliczną instalacji. Systemy suchego montażu stanowią rury mocowane w profilowanych płytach styropianowych przymocowanych do ściany, które są następnie przykryte płytami suchego jastrychu. Przedmiotem tej pracy są systemy ogrzewania wodnego w systemie mokrego montażu.

Grzejniki ścienne mogą być usytuowane w ścianach wewnętrznych i zewnętrznych, przy czym zalecany jest możnaż na ścianach zewnętrznych, w okolicach okien i drzwi.

Ważną kwestią jest sposób rozmieszczenia izolacji cieplnej w przegrodach z ogrzewaniem ściennym. Według norm PN-EN 1264 i PN-EN ISO 11855 izolacja cieplna w ścianach zewnętrznych i wewnętrznych pomiędzy pomieszczeniami ogrzewanymi a nieogrzewanymi może być wykonana jako jednowarstwowa lub dwuwarstwowa. W przypadku jednej warstwy, ze względów cieplnych i wilgotnościowych (minimalizowanie ryzyka wystąpienia kondensacji powierzchniowej na powierzchni przegrody), izolacja cieplna powinna być usytuowana od strony środowiska zewnętrznego. Izolacja cieplna dwuwarstwowa składa się z jednej warstwy usytuowanej od środowiska zewnętrznego oraz drugiej bezpośrednio pod rurami.

W artykule określono wpływ rozmieszczenia izolacji cieplnej w ścianie wewnętrznej na wydajność cieplną grzejnika ściennego, temperaturę jego powierzchni oraz straty ciepła. Analizę przeprowadzono w oparciu o obliczenia numeryczne wykonane za pomocą programu wykorzystującego metodę elementów brzegowych (MEB), opracowanego w Katedrze Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Białostockiej. Wykonano analizę pracy grzejnika ściennego usytuowanego w ścianie zewnętrznej dla dwóch wariantów izolacji cieplnej: jednej warstwy izolacji usytuowanej na zewnętrznej powierzchni prze-

grody oraz dwóch warstw izolacji: pierwszej na powierzchni zewnętrznej przegrody, drugiej bezpośrednio pod rurami. Uwzględniono zmienną grubość izolacji bezpośrednio pod rurami. Analiza obejmuje zmienny opór cieplny izolacji oraz warstwy wykończeniowej ściany, zmienną temperaturę otoczenia i stałą temperaturę powietrza wewnętrznego, zmienny rozstaw przewodów.

## 2. Izolacja cieplna ścian z ogrzewaniem ściennym

Minimalny opór cieplny izolacji przegród budowlanych z ogrzewaniem ściennym określono w normach PN-EN 1264-4 [9] oraz PN-EN ISO 11855-5 [10], dotyczących projektowania, wymiarowania i montażu wodnych systemów ogrzewania płaszczyznowego. Wymagania w zakresie oporu cieplnego izolacji ogrzewania ściennego są takie same jak dla ogrzewania podłogowego (tabela 1).

Tabela 1. Minimalny opór cieplny izolacji poniżej rur w systemach ogrzewania płaszczyznowego, według norm PN-EN 1264-4 oraz PN-EN ISO 11855-5

Table 1. Minimum thermal resistance of insulation below pipes in surface heating systems, in accordance with standards PN-EN 1264-4 and PN-EN ISO 11855-5

Środowisko po drugiej stronie grzejnika		Minimalny opór cieplny izolacji [m <sup>2</sup> K/W]
Pomieszczenie ogrzewane		0,75
Pomieszczenie nieogrzewane lub czasowo nieogrzewane		1,25
Podłoga na gruncie/ściana przy gruncie		1,25
Powietrze zewnętrzne	$T_e \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$	1,25
	$0 \text{ } ^\circ\text{C} > T_e \geq -5 \text{ } ^\circ\text{C}$	1,5
	$-5 \text{ } ^\circ\text{C} > T_e \geq -15 \text{ } ^\circ\text{C}$	2,0

W Polsce obliczeniowa temperatura zewnętrzna jest niższa niż ta prezentowana w normach PN-EN 1264 oraz PN-EN ISO 11855, w związku z tym minimalną wartość oporu cieplnego izolacji dla warunków klimatycznych Polski określa się poprzez ekstrapolację (tabela 2).

Producenci ogrzewania płaszczyznowego zalecają, aby ogrzewanie ścienne było montowane w ścianach zewnętrznych o wartościach współczynnika przenikania ciepła  $U < 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  [8]. Jeśli współczynnik przenikania ciepła  $U$  przekracza wartość  $0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , ścianę należy dodatkowo zaizolować. Ten wymóg ma zastosowanie do budynków istniejących. Dla nowo wybudowanych budynków wymagany współczynnik przenikania ciepła  $U$  jest niższy, zgodnie z warunkami technicznymi, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (tabela 3) [11].

Tabela 2. Minimalny opór cieplny izolacji ogrzewania ściennego dla stref klimatycznych Polski według [12]

Table 2. Minimal thermal resistance of wall heating insulation for climate zones in Poland according to [12]

Strefa klimatyczna	Temperatura powietrza zewnętrznego [°C]	Minimalny opór cieplny izolacji [m <sup>2</sup> K/W]
I	-16	2,05
II	-18	2,15
III	-20	2,25
IV	-22	2,35
V	-24	2,45

Tabela 3. Wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych według WT [11]

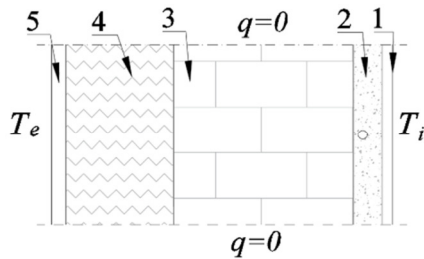
Table 3. Requirements for thermal insulation of external walls according to WT [11]

Wymagania obowiązujące po	Maksymalny współczynnik przenikania ciepła ściany [W/m <sup>2</sup> ·K]	Minimalny opór cieplny ściany [m <sup>2</sup> K/W]
01.01.2014 r.	0,25	4,00
01.01.2017 r.	0,23	4,35
01.01.2021 r.	0,20	5,00

W przypadku ogrzewania ściennego montowanego w ścianach wewnętrznych, według norm PN-EN 1264 oraz PN-EN ISO 11855 ściana może być zainstalowana, wówczas opór cieplny dobiera się według wymagań w tabeli 1. Norma PN-EN ISO 11855 dopuszcza również brak izolacji cieplnej przegrody wewnętrznej z grzejnikiem ściennym.

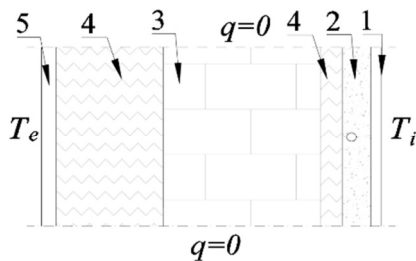
### 3. Model obliczeniowy grzejnika ściennego

Model do obliczeń numerycznych zbudowano w oparciu o wymagania określone w normach PN-EN ISO 11855 i PN-EN 1264 oraz wytyczne producentów systemów ogrzewania ściennego [8]. Przyjęto dwa warianty rozmieszczenia izolacji cieplnej w ścianie zewnętrznej. Wariant A (rys. 1) obejmuje zastosowanie jednej warstwy izolacji na zewnętrznej powierzchni przegrody. W wariantcie B (rys. 2) izolacja cieplna jest podzielona na dwie warstwy: pierwsza znajduje się na powierzchni zewnętrznej przegrody, druga jest usytuowana bezpośrednio pod rurami. Całkowity opór cieplny izolacji w obu wariantach jest sobie równy.



Rys. 1. Schemat grzejnika ściennego w przegrodzie zewnętrznej – wariant A izolacji (oznaczenia według tabeli 4)

Fig. 1. Scheme of a wall heating in the outer wall - variant A of isolation (markings according to table 4)



Rys. 2. Schemat grzejnika ściennego w przegrodzie zewnętrznej – wariant B izolacji (oznaczenia według tabeli 4)

Fig. 2. Scheme of a wall heating in the external wall - variant B of isolation (specification according to table 4)

Przyjęto następujące założenia dotyczące konstrukcji grzejnika ściennego oraz ściany zewnętrznej (rys. 1 i 2):

- grzejnik wodny typu A,
- rura PE-Xc,  $D = 14 \times 2$  mm,  $\lambda_R = 0,35$  W/(m·K),
- opór cieplny warstwy wykończeniowej  $R_{\lambda,b} = 0,02; 0,05; 0,1; 0,15$  (m<sup>2</sup>·K)/W,
- rozstaw przewodów  $W = 0,1; 0,15; 0,2; 0,25$  m,
- temperatura zasilania czynnika grzewczego  $T_V = 30, 35, 40, 45, 50^\circ\text{C}$ ,
- schłodzenie czynnika grzewczego 5 K,
- temperatura powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu  $T_i = 20^\circ\text{C}$ ,
- temperatura powietrza zewnętrznego  $T_e = -20, -10, 0, 10^\circ\text{C}$ ,
- średnia prędkość przepływu wody instalacyjnej 0,3 m/s,
- grubość izolacji bezpośrednio pod rurami  $d_{ins} = 0$  (wariant A izolacji – rys. 1), 20, 30 i 50 mm (wariant B izolacji – rys. 2).
- współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej:  
 $U = 0,20; 0,23; 0,25$  W/(m<sup>2</sup>·K),
- współczynnik przewodzenia ciepła pozostałych materiałów budowlanych według tabeli 4,

- współczynnik przejmowania ciepła z powierzchni grzejnika  $\alpha = 8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- współczynnik przejmowania ciepła na granicy woda - wewnętrzna powierzchnia rury  $\alpha_w$  wyznaczono ze wzoru (1) [13]:

$$\alpha_w = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} \quad (1)$$

gdzie:  $Nu$  – liczba Nusselta [-],

$d$  – wewnętrzna średnica rury [m],

$\lambda$  – współczynnik przewodzenia ciepła wody [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ].

Tabela 4. Charakterystyka elementów grzejnika ściennego

Table 4. Characteristics of the wall heating elements

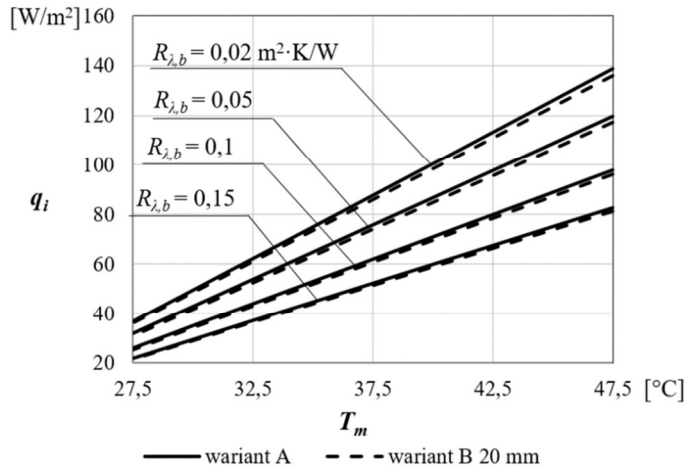
Nr	Materiał	$\lambda$ [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ]	Grubość [m]
1	warstwa wykończeniowa	0,5; 0,2; 0,1; 0,0667	0,01
2	tynek	0,32	0,03
3	cegła silikatowa drażona	0,8	0,25
4	styropian	0,042	0,02÷0,20
5	tynek mineralny na siatce	0,8	0,02

Obliczenia numeryczne przeprowadzono za pomocą programu komputerowego, wykorzystującego metodę elementów brzegowych (MEB), opracowanego w Katedrze Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Białostockiej.

#### 4. Analiza wyników

W wyniku obliczeń numerycznych otrzymano rozkład temperatury na powierzchniach oraz wewnątrz analizowanych struktur budowlanych z ogrzewaniem ściennym oraz wartości gęstości strumienia ciepła emitowanego z powierzchni grzejnika ściennego.

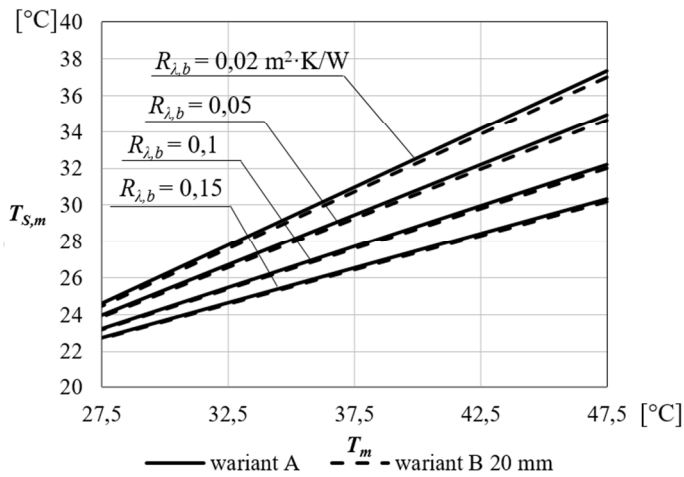
Na podstawie wyników obliczeń stwierdzono, że w zależności od średniej temperatury czynnika grzewczego  $T_m$  gęstość strumienia ciepła przekazywanego z powierzchni grzejnika  $q_i$  zmienia się o 2 – 2,5%, jeżeli zamiast jednej warstwy izolacji na powierzchni zewnętrznej przegrody (wariant A) zastosuje się dwie warstwy, w tym jedną bezpośrednio pod rurami (wariant B) (rys. 3).



Rys. 3. Wydajność cieplna  $q_i$  grzejnika ściennego dla wariantu A i B izolacji cieplnej ( $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $W = 0,1 \text{ m}$ )

Fig. 3. Thermal efficiency  $q_i$  of a wall heating for the variant A and B of thermal insulation ( $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $W = 0,1 \text{ m}$ )

Zastosowanie dwóch warstw izolacji (wariant B) zamiast jednej (wariant A) w małym stopniu wpływa na wartość średniej temperatury powierzchni grzejnika  $T_{S,m}$ . Różnica pomiędzy wartościami  $T_{S,m}$  dla wariantu A i B izolacji wynosi maksymalnie 0,3 K (rys. 4).

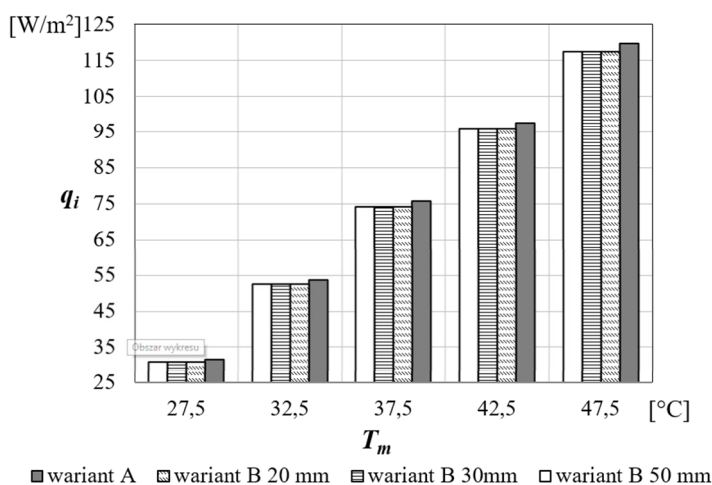


Rys. 4. Średnia temperatura powierzchni  $T_{S,m}$  grzejnika ściennego dla wariantu A i B izolacji cieplnej ( $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $W = 0,1 \text{ m}$ )

Fig. 4. Average surface temperature  $T_{S,m}$  of a wall heating for the variant A and B of thermal insulation ( $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $W = 0,1 \text{ m}$ )

W dalszej kolejności przeprowadzono analizę gęstości strumienia ciepła emitowanego z powierzchni grzejnika ściennego  $q_i$  dla trzech grubości warstwy izolacji cieplnej bezpośrednio pod rurami w wariantcie B izolacji: 20, 30 i 50 mm.

Zastosowanie zmiennej grubości warstwy izolacji bezpośrednio pod rurami (wariant B) ma pomijalny wpływ na gęstość strumienia ciepła  $q_i$  przekazywanego z powierzchni grzejnika oraz na średnią temperaturę jego powierzchni  $T_{s,m}$ . Różnice w wartościach  $q_i$  dla trzech analizowanych wariantów grubości izolacji 20, 30 i 50 mm wynoszą maksymalnie  $0,02 \text{ W/m}^2$  dla zmiennej wartości średniej temperatury wody w rurach  $T_m$  (rys. 5).

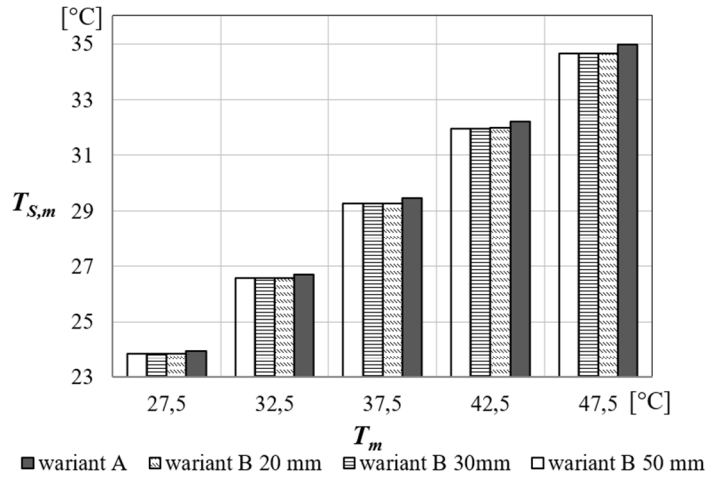


Rys. 5. Wydajność cieplna grzejnika ściennego  $q_i$  w zależności od wariantu izolacji cieplnej ( $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $W = 0,1 \text{ m}$ ;  $R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ )

Fig. 5. Thermal efficiency  $q_i$  of a wall heating depending on the variant of thermal insulation ( $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $W = 0,1 \text{ m}$ ;  $R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ )

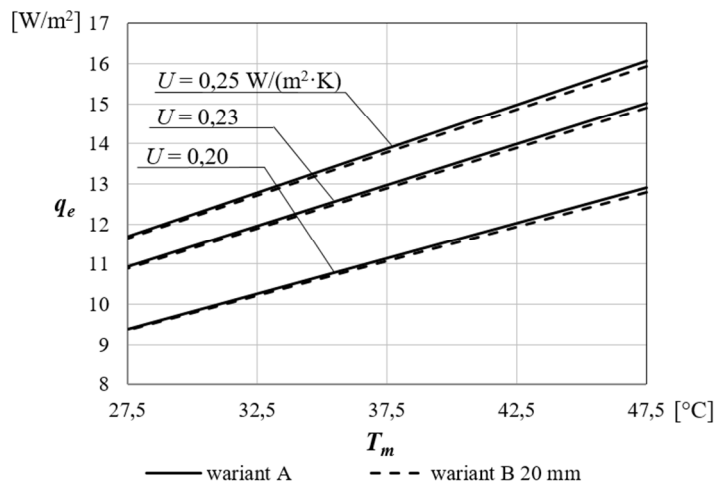
W przypadku średniej temperatury powierzchni grzejnika różnice w wartościach  $T_{s,m}$  dla trzech analizowanych wariantów grubości izolacji 20, 30 i 50 mm wynoszą maksymalnie  $0,01 \text{ K}$ , niezależnie od przyjętego rozstawu przewodów  $W$ , średniej temperatury czynnika grzewczego  $T_m$  oraz oporu cieplnego warstwy wykończeniowej  $R_{\lambda,b}$  (rys. 6).

Zastosowanie dwóch warstw izolacji, w tym jednej bezpośrednio pod rurami (wariant B) a drugiej na powierzchni warstwy konstrukcyjnej, zamiast jednej warstwy na powierzchni zewnętrznej przegrody (wariant A) nieznacznie wpływa na zmniejszenie gęstości strumienia ciepła emitowanego z zewnętrznej powierzchni grzejnika  $q_e$ , a tym samym na wielkość strat ciepła (rys. 7).



Rys. 6. Średnia temperatura powierzchni  $T_{S,m}$  grzejnika ściennego w zależności od wariantu izolacji cieplnej ( $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $W = 0,1 \text{ m}$ ;  $R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ )

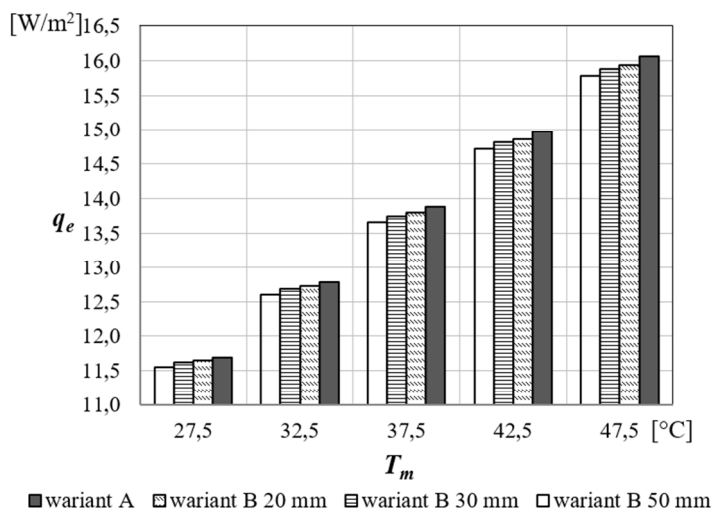
Fig. 6. The average surface temperature  $T_{S,m}$  of a wall heating depending on the variant of thermal insulation ( $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $W = 0,1 \text{ m}$ ;  $R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ )



Rys. 7. Wpływ rozmieszczenia izolacji cieplnej w grzejniku ściennym na straty ciepła  $q_e$  ( $R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ ;  $W = 0,1 \text{ m}$ )

Fig. 7. The influence of thermal insulation location in a wall radiator on heat loss ( $R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ ;  $W = 0,1 \text{ m}$ )

Zwiększenie grubości izolacji bezpośrednio pod rurami powoduje zmniejszenie strat ciepła  $q_e$  maksymalnie o  $0,3 \text{ W/m}^2$  (2%) dla wariantu B z grubością izolacji pod rurami 50 mm w stosunku do izolacji jednowarstwowej dla wszystkich analizowanych wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  ściany zewnętrznej (rys. 8).



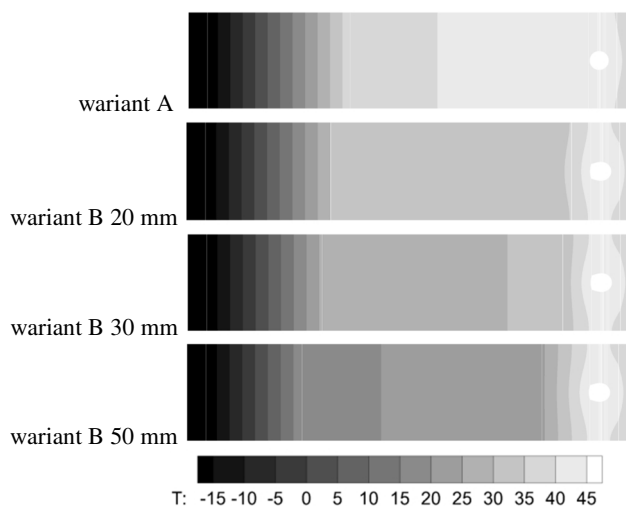
Rys. 8. Straty ciepła  $q_e$  grzejnika ściennego w zależności od wariantu izolacji cieplnej ( $U = 0,25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ;  $W = 0,1 \text{ m}$ ;  $R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ )

Fig. 8. Heat losses  $q_e$  of a wall heating depending on the variant of thermal insulation ( $U = 0,25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ;  $W = 0,1 \text{ m}$ ;  $R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ )

Podział izolacji cieplnej grzejnika ściennego zlokalizowanego w ścianie zewnętrznej na dwie części: warstwę na powierzchni zewnętrznej ściany i warstwę bezpośrednio pod rurami (wariant B), wpływa na zmianę rozkładu izoterm wewnątrz grzejnika w porównaniu do grzejnika z jedną warstwą izolacji (wariant A), co przedstawia rysunek 9.

Zastosowanie dodatkowej warstwy izolacji bezpośrednio pod rurami (wariant B) powoduje, że warstwa konstrukcyjna ściany zewnętrznej nie ulega nagrzaniu w takim stopniu jak przy zastosowaniu jednej warstwy izolacji na powierzchni zewnętrznej ściany (wariant A). Im większa grubość izolacji bezpośrednio pod rurami grzejnika ściennego, tym niższa temperatura warstwy konstrukcyjnej ściany (rys. 9).

Zastosowanie dodatkowej warstwy izolacji bezpośrednio pod rurami przyczynia się do zmniejszenia bezwładności cieplnej całego układu, co wpływa na lepszą regulację pracy systemu ogrzewania ściennego. W trakcie uruchamiania instalacji nie ma konieczności nagrzewania dużej masy ściany zewnętrznej, w związku z czym w pomieszczeniu ogrzewanym za pomocą grzejnika ściennego szybciej jest osiągnięta temperatura obliczeniowa i zapewniony komfort cieplny.



Rys. 9. Pole temperatury dla różnych wariantów izolacji grzejnika ściennego ( $T_m = 47,5^\circ\text{C}$ ;  $W = 0,1\text{ m}$ ;  $R_{\lambda,b} = 0,05\text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ ;  $U = 0,25\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ;  $T_e = -20^\circ\text{C}$ )

Fig. 9. Temperature field for different wall heating insulation variants ( $T_m = 47,5^\circ\text{C}$ ;  $W = 0,1\text{ m}$ ;  $R_{\lambda,b} = 0,05\text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ ;  $U = 0,25\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ;  $T_e = -20^\circ\text{C}$ )

## 5. Wnioski

W pracy przeprowadzono analizę wpływu rozmieszczenia izolacji cieplnej w ścianie zewnętrznej z ogrzewaniem ściennym wodnym na jego wydajność, temperaturę powierzchni oraz straty ciepła. Obliczenia numeryczne wykonano za pomocą programu komputerowego wykorzystującego metodę elementów brzegowych (MEB), biorąc pod uwagę zmienne parametry konstrukcyjne grzejnika, czynnika grzewczego i środowiska zewnętrznego (rozstaw przewodów, opór cieplny warstwy wykończeniowej i warstwy izolacji, temperatura powietrza i wody). Wykonano analizę dla dwóch wariantów izolacji cieplnej, zgodnie z wytycznymi norm z zakresu projektowania grzejników płaszczyznowych PN-EN ISO 11855 oraz PN-EN 1264. Pierwszy wariant to usytuowanie izolacji cieplnej na powierzchni zewnętrznej ściany z ogrzewaniem ściennym. Drugi wariant to podział izolacji cieplnej na dwie warstwy – jedną na powierzchni zewnętrznej ściany, drugą bezpośrednio pod warstwą tynku z rurami. Przyjęto założenie, że w obu wariantach łączny opór cieplny izolacji jest sobie równy.

Stwierdzono, że zastąpienie jednej warstwy izolacji dwiema warstwami ma pomijalny wpływ na gęstość strumienia ciepła przekazywanego z powierzchni grzejnika ściennego oraz temperaturę jego powierzchni. Zmiana grubości izolacji cieplnej bezpośrednio pod rurami, czyli zmiana oporu cieplnego warstwy izolacji, nie wpływa na wydajność grzejnika ściennego i temperaturę jego powierzchni. Wykazano, że dla grzejnika ściennego zlokalizowanego w ścianie

zewnętrznej zastosowanie dwóch warstw izolacji cieplnej zamiast jednej nie powoduje zmiany wielkości strat ciepła.

W przypadku grzejnika ściennego zlokalizowanego w ścianie zewnętrznej zastosowanie dwóch warstw izolacji cieplnej: jednej bezpośrednio pod rurami, drugiej na powierzchni zewnętrznej ściany, zamiast jednej warstwy na powierzchni zewnętrznej ściany, powoduje zmniejszenie bezwładności cieplnej grzejnika ściennego, co poprawia możliwości regulacji jego pracy. Analiza rozkładu temperatury wewnątrz grzejnika ściennego pozwala stwierdzić, że element konstrukcyjny ściany zewnętrznej z podwójną warstwą izolacji nie ulega nagrzaniu w takim stopniu jak przy zastosowaniu jednej warstwy izolacji. Im grubsza warstwa izolacji bezpośrednio pod rurami, tym niższa temperatura warstwy konstrukcyjnej ściany. W związku z tym zaleca się stosowanie dwóch warstw izolacji cieplnej w ogrzewaniu ściennym w ścianie zewnętrznej, w tym jednej pod warstwą tynku z przewodami. Zastosowanie tylko jednej warstwy izolacji termicznej na powierzchni zewnętrznej ściany przyczyni się do utraty jednej z zalet ogrzewania ściennego, czyli mniejszej bezwładności cieplnej w porównaniu do ogrzewania podłogowego.

*Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WBiIŚ/4/14 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.*

## Literatura

- [1] Werner-Juszczuk A.: Koszty instalacji centralnego ogrzewania w budynku jednorodzinym, Rynek Instalacyjny, nr 12, 2017.
- [2] Bojic M., Cvetkovic D., Miletic M., Malesevic J., Boyer H.: Energy, cost, and CO<sub>2</sub> emission comparison between radiant wall panel systems and radiator systems, *Energy and Buildings*, vol. 54, 2012, pp. 496-502.
- [3] Karabay H., Arıcı M., Sandık M.: A numerical investigation of fluid flow and heat transfer inside a room for floor heating and wall heating systems, *Energy and Buildings*, vol. 67, 2013, pp. 471-478.
- [4] PN-EN ISO 11855-1:2015-09: Projektowanie środowiska w budynku – Projektowanie, wymiarowanie, instalacja oraz regulacja wbudowanych systemów ogrzewania i chłodzenia przez promieniowanie – Część 1: Definicje, symbole i kryteria komfortu.
- [5] PN-EN ISO 11855-3:2015-09: Projektowanie środowiska w budynku – Projektowanie, wymiarowanie, instalacja oraz regulacja wbudowanych systemów ogrzewania i chłodzenia przez promieniowanie – Część 3: Projektowanie i wymiarowanie.
- [6] PN-EN 1264-3:2009: Instalacje wodne grzewcze i chłodzące płaszczyznowe – Część 3: Wymiarowanie.
- [7] Kosir M., Krainer A., Dovjak M., Perdan R., Kristl Z.: Alternative to the conventional heating and cooling systems in public buildings, *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 56, no. 4, 2010, pp. 575-583.
- [8] [www.sankom.pl](http://www.sankom.pl) (data dostępu 12.2017 r.).
- [9] PN-EN 1264-4:2009: Instalacje wodne grzewcze i chłodzące płaszczyznowe – Część 4: Instalowanie.

- [10] PN-EN ISO 11855-5:2015-10: Projektowanie środowiska w budynku – Projektowanie, wymiarowanie, instalacja oraz regulacja wbudowanych systemów ogrzewania i chłodzenia przez promieniowanie – Część 5: Instalacja.
- [11] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U z 2013 r., poz. 926 z późniejszymi zmianami).
- [12] Strzeszewski M.: Ekstrapolacja wymagań normy PN-EN 1264 dotyczących izolacji grzejników podłogowych do warunków polskich, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo i Wentylacja, nr 4, 2008, s. 29-30.
- [13] Wiśniewski S., Wiśniewski T.: Wymiana ciepła, WNT, Warszawa 2000.

## THE IMPACT OF THE LOCATION OF THE THERMAL INSULATION IN THE EXTERIOR WALL ON THE WALL HEATING PERFORMANCE

### Summary

The paper specifies the influence of the method of thermal insulation distribution in the external wall with type A wall heating on its thermal efficiency, surface temperature and heat loss. The analysis was carried out for two variants of the insulation layout: one thermal insulation layer from the outside side of the wall, and two layers of insulation: one on the external wall surface, the other directly under the plaster layer with the pipes. The second variant covers three variables of thermal insulation thickness directly under the pipes. In both variants, the total thermal resistance of the insulation is equal. The calculations were carried out for the variable external air temperature and heating medium, resistance of thermal insulation and finishing layer, and the spacing of pipes. The analysis was based on the results of numerical calculations of heat transfer in the wall with wall heating made using a program basing on the boundary element method (BEM). It was found that for the analyzed variable parameters of the radiator and the external environment, the use of the two layer of thermal insulation instead of one has a negligible effect on the thermal efficiency of a wall heating (change by a maximum of 2,5%), on the average surface temperature of a wall heating and heat losses to the external environment. The location of the thermal insulation influences the isothermal distribution inside the wall with the wall heating. The use of a thermal insulation layer under the pipes causes the decrement of thermal inertia of the wall radiator due to the lower mass of the heating panel, which improves the system's regulatory properties.

**Keywords:** surface heating, heat loss, thermal efficiency, surface temperature

*Przesłano do redakcji: 18.12.2017 r.*

*Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.*