

## **ANALIZA CIEPLNA ZEWNĘTRZNYCH PRZEGRÓD PIONOWYCH W BUDYNKACH MIESZKALNYCH WYBRANYCH GOSPODARSTW EKOLOGICZNYCH W WOJEWÓDZTWIE PODKARPACKIM**

Norbert Dąbkowski, Krzysztof Matuszewicz

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano wyniki badań oraz obliczenia dotyczące analizy cieplnej (określenie oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła) zewnętrznych przegród pionowych w budynkach mieszkalnych wybranych gospodarstw ekologicznych na Podkarpaciu.

**Słowa kluczowe:** przenikanie ciepła, termomodernizacja

### **WSTĘP**

Każda działalność człowieka, w tym również działalność budowlana, ma znaczący wpływ na otaczające go środowisko. Ponieważ nie jest możliwe tworzenie przestrzeni zapewniającej człowiekowi optymalne warunki bytowe, bez korzystania z zasobów przyrody, narodziła się więc potrzeba racjonalnego gospodarowania nimi.

Powstała nowa dyscyplina nauki, określana terminem „budownictwo ekologiczne”, która postawiła sobie za cel zmniejszenie obciążenia środowiska (pod względem energetycznym i surowcowym) w całym procesie budowlanym, jak również poprawę jakości, a przede wszystkim „zdrowotności” materiałów budowlanych, a tym samym budynków mieszkalnych. Badania nad materiałami budowlanymi przyczyniły się do powstania wielu produktów, których fizyczno-chemiczne właściwości umożliwiają stworzenie wewnątrz budynku optymalnego dla człowieka mikroklimatu, przy jednoczesnym zapewnieniu obiektowi wysokiej energooszczędności. Rozwój techniki pozwala na stosowanie coraz bardziej ekonomicznych i ekologicznych („zdrowych”) materiałów, jak również całych systemów budowlanych, dzięki którym możliwe jest kształtowanie budynków wykorzystujących znacznie mniej energii. Zrodziło się zatem pytanie, jak tego rodzaju budownictwo wpisuje się w modne ostatnio gospodarstwo ekologiczne, a co za tym idzie –

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Norbert Dąbkowski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Katedra Budownictwa i Geodezji, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: [norbert\\_dabkowski@sggw.pl](mailto:norbert_dabkowski@sggw.pl)

jakie mamy budynki mieszkalne w gospodarstwach ekologicznych? Próbą odpowiedzi na tak postawione pytanie były badania przeprowadzone w gospodarstwach ekologicznych na Podkarpaciu.

## OBSZAR BADAWCZY

Badania zostały przeprowadzone w wybranych sześciu gospodarstwach ekologicznych w województwie podkarpackim w miejscowościach: Pruchnik, Tuligłowy, Ciesza-cin Wielki, Kańczuga (2 gospodarstwa) i Kozienice. Badania prowadzono w budynkach mieszkalnych i poddano weryfikacji (pod względem cieplnym) tylko ściany zewnętrzne. W celu zbadania przegród pionowych przeprowadzono rozmowy z właścicielami budynków oraz zapoznano się z projektami obiektów (tam, gdzie były one dostępne). We wszystkich budynkach ściany były warstwowe (rys. 1–6), połowa budynków została poddana termomodernizacji.

## METODA OBLICZANIA WSPÓŁCZYNNIKA PRZENIKANIA CIEPŁA

W budynkach po termomodernizacji należy korygować współczynnik przenikania ciepła, w związku z tym obliczenia przeprowadzono według dwóch schematów na podstawie PN-EN ISO 6946:2008:

Schemat I – budynki bez termomodernizacji:

- wyznaczenie oporu cieplnego ( $R$ ) komponentów przegrody pionowej

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

gdzie współczynnik  $\lambda$  przyjęto dla warunków średniowilgotnych,

- całkowity opór cieplny przegrody wielowarstwowej

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

- współczynnik przenikania ciepła

$$U = \frac{1}{R_T}$$

- wyznaczenie skorygowanego współczynnika przenikania ciepła

$$U_C = U + \Delta U$$

gdzie  $\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f$ ; w tym schemacie  $\Delta U_g = \Delta U_f = 0$  ze względu na brak izolacji termicznej w zewnętrznej przegrodzie budynku, czyli  $U_C = U$ ,

- wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła ( $U_k$ ) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych (metoda uproszczona)

$$U_k = U_C + \Delta U$$

gdzie  $U_C$  – skorygowana wartość współczynnika przenikania ciepła,  $\Delta U$  – dodatek do współczynnika  $U_C$ , wyrażający wpływ mostków cieplnych,

- porównanie  $U_k$  z  $U_{\max}$  dla tego rodzaju ścian

$$U_{\max} = 0,300 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

Schemat II – budynki po termomodernizacji:

- wyznaczenie oporu cieplnego ( $R$ ) komponentów przegrody pionowej

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

gdzie współczynnik  $\lambda$  przyjęto dla warunków średniowilgotnych,

- całkowity opór cieplny przegrody wielowarstwowej

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

- współczynnik przenikania ciepła

$$U = \frac{1}{R_T}$$

- wyznaczenie skorygowanego współczynnika przenikania ciepła

$$U_C = U + \Delta U$$

gdzie  $\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f$ , w którym:  $\Delta U_g$  – poprawka z uwagi na nieszczelności,

$$\Delta U_g = \Delta U'' \cdot \left( \frac{R_1}{R_T} \right), R_1 - \text{opór cieplny warstwy zawierającej nieszczelności; w tym}$$

przypadku dla izolacji, która ułożona jest w sposób uniemożliwiający cyrkulację powietrza po cieplejszej stronie izolacji (płyty styropianowe łączone na pióro i wpust – brak nieszczelności przechodzących przez całą warstwę izolacji),  $\Delta U'' = 0$ , wobec czego  $\Delta U_g = 0$ ;  $\Delta U_f$  – poprawka z uwagi na łączniki mechaniczne,  $\Delta U_f = \alpha \cdot \lambda_f \cdot n_f \cdot A_f$ ,  $\alpha$  – współczynnik zależny od rodzaju łącznika (w przypadku kotew między warstwami muru  $\alpha = 6$ );  $\lambda_f$  – współczynnik przewodzenia ciepła łącznika (dla kotew polipropylenowych)  $\lambda_f = 0,20 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ ;  $n_f$  – liczba łączników na metr kwadratowy;  $A_f$  – pole przekroju poprzecznego jednego łącznika, ponieważ współczynnik przewodzenia dla kotwy jest mniejszy od  $1 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ , dlatego też poprawkę z uwagi na łączniki mechaniczne należy pominąć,  $\Delta U_f = 0$ ; wobec powyższych poprawek  $U_C = U$ ,

- wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła ( $U_k$ ) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych (metoda uproszczona)

$$U_k = U_C + \Delta U$$

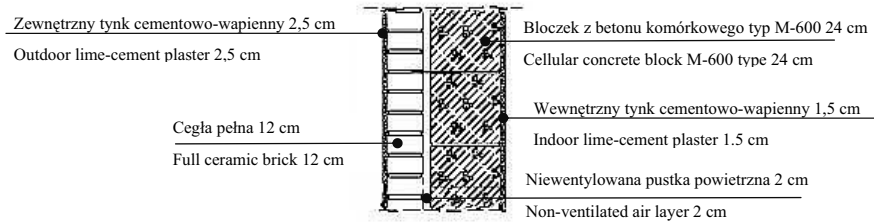
gdzie  $U_C$  – skorygowana wartość współczynnika przenikania ciepła,  $\Delta U$  – dodatek do współczynnika  $U_C$ , wyrażający wpływ mostków cieplnych,

- porównanie  $U_k$  z  $U_{\max}$  dla tego rodzaju ścian

$$U_{\max} = 0,250 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

## WYNIKI

### Budynek 1



Rys. 1. Przekrój przez przegrodę pionową w budynku 1  
Fig. 1. Cross section vertical partition in the building 1

Całkowity opór cieplny przegrody wielowarstwowej:

$$R_T = 0,040 + \frac{0,025}{0,820} + \frac{0,120}{0,770} + 0,18 + \frac{0,240}{0,300} + 0 \frac{0,015}{0,820} + 0,130 = 1,354 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Współczynnik przenikania ciepła:

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,738 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

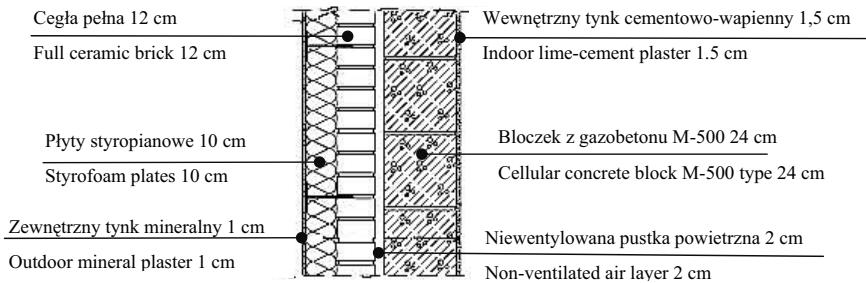
Skorygowany współczynnik przenikania ciepła:

$$U_C = U = 0,738 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

Współczynnik przenikania ciepła ( $U_k$ ) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych:

$$U_k = 0,738 + 0,15 = 0,888 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

### Budynek 2



Rys. 2. Przekrój przez przegrodę pionową w budynku 2  
Fig. 2. Cross section vertical partition in the building 2

Całkowity opór cieplny przegrody wielowarstwowej:

$$R_T = 0,040 + \frac{0,015}{0,820} + \frac{0,100}{0,040} + \frac{0,120}{0,770} + 0,18 + \frac{0,240}{0,250} + \frac{0,015}{0,820} + 0,130 = 4,002 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Współczynnik przenikania ciepła:

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,250 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

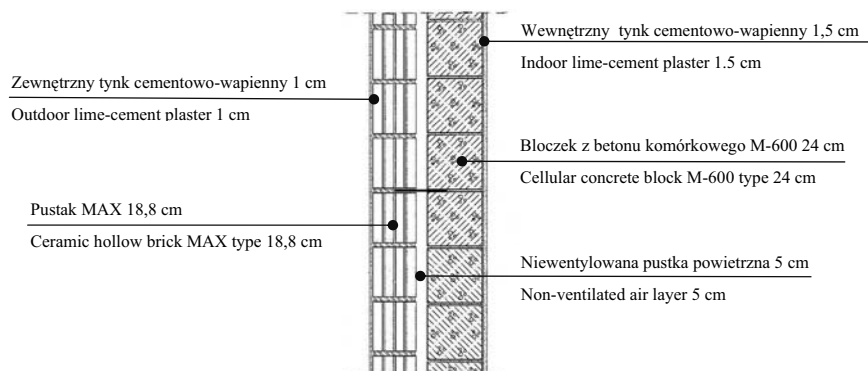
Skorygowany współczynnik przenikania ciepła:

$$U_C = U = 0,250 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

Współczynnik przenikania ciepła ( $U_k$ ) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych:

$$U_k = 0,250 + 0,05 = 0,300 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

### Budynek 3



Rys. 3. Przekrój przez przegrodę pionową w budynku 3

Fig. 3. Cross section vertical partition in the building 3

Całkowity opór cieplny przegrody wielowarstwowej:

$$R_T = 0,040 + \frac{0,010}{0,820} + \frac{0,188}{0,440} + 0,180 + \frac{0,240}{0,300} + \frac{0,015}{0,820} + 0,130 = 1,607 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Współczynnik przenikania ciepła:

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,622 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

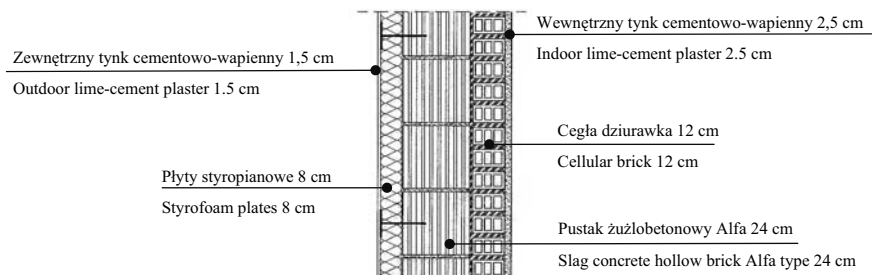
Skorygowany współczynnik przenikania ciepła:

$$U_C = U = 0,622 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

Współczynnik przenikania ciepła ( $U_k$ ) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych:

$$U_k = 0,622 + 0,15 = 0,772 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

#### Budynek 4



Rys. 4. Przekrój przez przegrodę pionową w budynku 4

Fig. 4. Cross section vertical partition in the building 4

Całkowity opór cieplny przegrody wielowarstwowej:

$$R_T = 0,040 + \frac{0,015}{0,820} + \frac{0,080}{0,040} + \frac{0,240}{0,630} + \frac{0,120}{0,620} + \frac{0,025}{0,820} + 0,130 = 2,793 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Współczynnik przenikania ciepła:

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,358 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

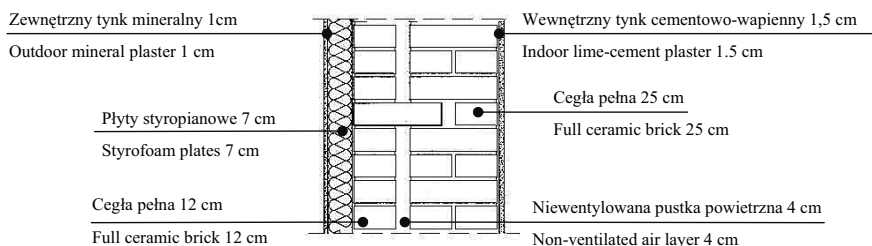
Skorygowany współczynnik przenikania ciepła:

$$U_C = U = 0,358 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

Współczynnik przenikania ciepła ( $U_k$ ) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych:

$$U_k = 0,358 + 0,05 = 0,408 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

#### Budynek 5



Rys. 5. Przekrój przez przegrodę pionową w budynku 5

Fig. 5. Cross section vertical partition in the building 5

Całkowity opór cieplny przegrody wielowarstwowej:

$$R_T = 0,040 + \frac{0,010}{0,820} + \frac{0,070}{0,040} + \frac{0,120}{0,770} + 0,180 + \frac{0,250}{0,770} + \frac{0,015}{0,820} + 0,130 = 2,611 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Współczynnik przenikania ciepła:

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,383 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

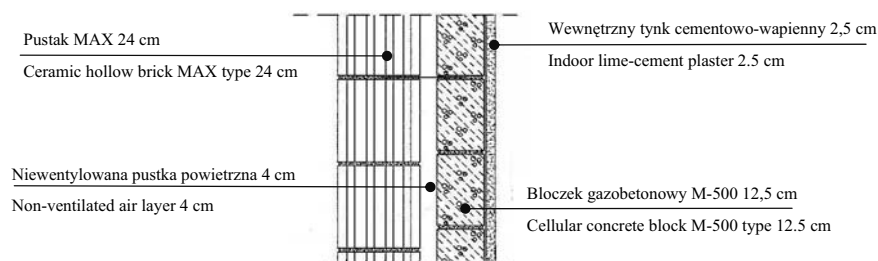
Skorygowany współczynnik przenikania ciepła:

$$U_C = U = 0,383 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

Współczynnik przenikania ciepła ( $U_k$ ) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych:

$$U_k = 0,383 + 0,05 = 0,433 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

### Budynek 6



Rys. 6. Przekrój przez przegrodę pionową w budynku 6  
 Fig. 6. Cross section vertical partition in the building 6

Całkowity opór cieplny przegrody wielowarstwowej:

$$R_T = 0,040 + \frac{0,240}{0,440} + 0,180 + \frac{0,125}{0,250} + \frac{0,025}{0,820} + 0,130 = 1,425 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Współczynnik przenikania ciepła:

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,702 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

Skorygowany współczynnik przenikania ciepła:

$$U_C = U = 0,702 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

Współczynnik przenikania ciepła ( $U_k$ ) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych:

$$U_k = 0,702 + 0,15 = 0,852 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

## PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych badań i obliczeń należy stwierdzić, że zbadane budynki mieszkalne znacznie przekraczają normy cieplne (tab. 1). Żeby zapewnić mieszkańcom optymalne warunki termiczne, budynki te potrzebują dużych nakładów energetycznych (zwłaszcza w sezonie grzewczym). Wiąże się to jednoznacznie z bardzo dużymi kosztami eksploatacyjnymi, jak również, co jest nie mniej istotne, z emitowaniem do atmosfery ogromnej ilości szkodliwych substancji chemicznych oraz dwutlenku węgla, powodujących znaczne zanieczyszczenie środowiska. Są to zatem budynki energochłonne. Dotyczy to nawet budynków, które zostały w ostatnich latach poddane termomodernizacji (budynki 2, 4, 5). Należy zatem zadbać o prawidłowe przeprowadzanie procesów termomodernizacyjnych oraz zmodyfikować już istniejące termomodernizacje, zwiększając grubość izolacji cieplnej lub stosując inne rozwiązania.

Tabela 1. Zestawienie wielkości współczynnika przenikania ciepła ( $U_k$ ) obliczonego dla zewnętrznych przegród budynków mieszkalnych w badanych gospodarstwach ekologicznych w województwie podkarpackim

Table 1. List of the values of the coefficient of heat conduction ( $U_k$ ) calculated for the external partitions of the dwelling-houses in the examined ecological farms in the Podkarpace voivodship

Nr budynku No of building	Obliczony współczynnik przenikania ciepła $U_k$ [ $W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$ ] The calculated coefficient of heat conduction	Graniczna normowa wartość współczynnika przenikania ciepła $U_{max}$ [ $W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$ ] The limit standard value of the coefficient of heat conduction
1	0,888	0,300
2	0,300	0,250
3	0,772	0,300
4	0,408	0,250
5	0,433	0,250
6	0,852	0,300

## PIŚMIENNICTWO

- Budownictwo ogólne, 2005. Tom 1. Materiały i wyroby budowlane. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- Budownictwo ogólne, 2005. Tom 2. Fizyka budowli. Wydawnictwo Arkady. Warszawa.
- PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczeń.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU nr 75, poz. 690 wraz z załącznikiem).



**THERMAL ANALYSIS OF EXTERNAL VERTICAL PARTITIONS IN DWELLING-HOUSES OF SOME CHOSEN ECOLOGICAL FARMS IN THE PODKARPACIE VOIVODSHIP**

**Abstract.** The paper presents the results of the researches as well as the calculations concerning the thermal analysis (determination of a heat resistance and the coefficient of heat conduction) of the external vertical partitions in the dwelling-houses of some chosen ecological farms in the Podkarpacie voivodship.

**Key words:** heat penetration, thermomodernization

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 2.03.2010