

## OCENA JAKOŚCI TERMICZNEJ PRZEGRÓD BUDOWLANYCH W BUDYNKU PASYWNYM POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ

Małgorzata BASIŃSKA, Halina KOCZYK

*Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Środowiska  
Piotrowo 3a, 60-965 Poznań,  
e-mail: malgorzata.basinska@put.poznan.pl  
halina.koczyk@put.poznan.pl*

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono analizę zachowania termicznego różnych rozwiązań materiałowych przegród budowlanych budynku pasywnego Politechniki Poznańskiej.

W budynku zastosowano trzy rozwiązania przegród konstrukcji drewnianej różniące się izolacjami termicznymi.

W jedną z przegród wbudowano nowoczesną izolację próżniową. W badaniach porównano przebiegi dobowe temperatury i gęstości strumieni ciepła dla przegród z izolacją opartą o system izolacyjnych płyt drewnopochodnych, płyt próżniowych i tradycyjną opartą na styropianie.

**Słowa kluczowe:** fizyka budowli, budynek pasywny, współczynnik przenikania ciepła.

### 1. WPROWADZENIE

Do oceny izolacyjności cieplnej przegród obudowy budynku można wykorzystywać algorytmy obliczeń opisane w polskich normach albo wyznaczyć współczynnik przenikania ciepła na podstawie pomiarów gęstości strumienia ciepła. Podczas pomiarów należy brać pod uwagę nieustalone warunki wymiany ciepła wynikające ze zmiennych w czasie parametrów klimatu zewnętrznego (temperatura, natężenie promieniowania słonecznego, prędkość wiatru) oraz niestabilność temperatury wewnętrznej w poszczególnych pomieszczeniach wynikająca z zastosowanego w budynku układu regulacji.

### 2. OPIS BUDYNKU DOŚWIADCZALNEGO

Badania doświadczalne prowadzono w eksperymentalnym budynku pasywnym Politechniki Poznańskiej, który po przeprowadzonej w 2007 roku modernizacji od połowy 2008 roku funkcjonuje jako doświadczalny budynek pasywny DoPas. Prowadzone w nim prace badawcze między innymi dotyczą

zachowania termicznego budynku w warunkach eksploatacyjnych.

W budynku zastosowano nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne pionowych przegród budowlanych:

- **ściana A:** szkielet drewniany wypełniony 10 cm grubości warstwą z wełny mineralnej, płyta OSB, profile STEICO z 20 cm izolacją STEICOflex, płyty do izolacji zewnętrznej do tynkowania STEICOprotect, tynk.
- **ściana B:** szkielet drewniany wypełniony 10 cm grubości warstwą z wełny mineralnej, płyta OSB, 20 cm styropian o współczynniku przewodzenia ciepła na poziomie  $\lambda=0,031$  W/m/K, tynk.
- **ściana C:** szkielet drewniany wypełniony 10 cm grubości warstwą z wełny mineralnej, płyta OSB, 20 mm izolacja próżniowa (o 10-krotnie niższej wartości współczynnika przewodzenia ciepła –  $\lambda=0,004$  W/m/K niż dla styropianu), 20 mm styrodur, tynk.

Na rysunku (Rys.1) przedstawiono zdjęcie budynku doświadczalnego – DoPas.



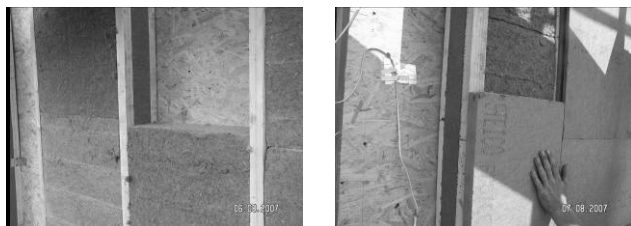
Rys. 1. Zdjęcie budynku doświadczalnego DoPas.  
Fig. 1. Picture of experimental building DoPas.

### Ściana z izolacją opartą o system izolacyjnych płyt drewnopochodnych

Ściana A wykonana została z elementów z płyt drewnopochodnych, w skład których wchodziły następujące elementy:

- dwuteownik z wypełnieniem (izolacja środnika), będący alternatywą dla tradycyjnych belek, do izolacji zastosowano płyty pilśniowe porowate, które zakładane są pomiędzy pasami z obu stron środnika,
- elastyczna mata do izolacji cieplnej wykonana z włókna drzewnego (włókno drzewne, włókno poliolefinowe, fosforan amonowy) o współczynniku przewodzenia ciepła na poziomie  $\lambda = 0,039 \text{ W/m/K}$ ,
- hydrofobizowana i otwarta dyfuzyjnie płyta do izolacji fasady z możliwością bezpośredniego tynkowania.

Na poniższym rysunku przedstawiono zdjęcia z montażu płyt na ścianie budynku doświadczalnego DoPas.



Rys. 2. Wykonanie izolacji ściany przy pomocy izolacji z płyt drewnopochodnych – ściana A.

Fig. 2. Execution of isolation wall using wood fibre insulating materials – wall A.

### Ściana tradycyjna izolowana styropianem

Do izolacji ściany B wykorzystano styropian o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,031 \text{ W/m/K}$ . Płyty o grubości 20 cm montowane były do płyt OSB z wykorzystaniem wyłącznie łączników mechanicznych w ilości dwóch sztuk na płytę. W celu ograniczenia punktowych mostków cieplnych otwory powstałe po wkrętach do drewna o długości 15 cm zabezpieczono „korkiem” styropianowym.



Rys. 3. Punktowy montaż płyt styropianowych – ściana B.

Fig. 3. Pinpoint assemble method of expanded polystyrene – wall B.

### Ściana z izolacją próżniową

Zastosowana na ścianie C płyta izolacji próżniowej to szczelnie zapakowany w wielowarstwową folię nieprzepuszczalną dla powietrza i pary wodnej porowaty materiał na bazie krzemionki lub włókien szklanych, z mikroporami o rozmiarach 0,0001 mm. Ciśnienie wewnątrz „opakowania” wynosi 1 do 3 mbar (próżnia 99,9 do 99,7%).



Rys. 4. Płyty izolacji próżniowej (VIP).

Fig. 4. Vacuum insulation panels (VIP).

Płyty wykonywane są na zamówienie z możliwością wytworzenia nie tylko kształtów prostokątnych, ale również trójkątów czy trapezów. Płyty montowane były na płytę OSB przy zastosowaniu kleju wykonanego w nanotechnologii. Dla połączenia krawędzi bocznych płyt zastosowano taśmę uszczelniającą, której głównym zadaniem było wyrównanie bocznego styku płyt ograniczając w ten sposób możliwość wystąpienia mostków cieplnych. Na pasach łączenia płyt dodatkowo zastosowano taśmy izolacyjne. Dla zabezpieczenia dość delikatnego materiału izolacyjnego jakim jest izolacja próżniowa zastosowano, zgodnie ze wskazówkami producenta płyt, dwu centymetrową warstwę izolacji ze styropianu ekstrudowanego pełniącemu funkcję oprócz dodatkowej izolacji cieplnej również zabezpieczenia przed mechanicznym uszkodzeniem izolacji.



Rys. 5. Wykonanie izolacji ściany przy pomocy izolacji próżniowej – ściana C.

Fig. 5. Execution of isolation wall using vacuum insulation panels – wall C.

## Technika instalacyjna

W budynku do utrzymywania wymaganych temperatur wewnętrznych zastosowano centralę wentylacyjną Swegon GOLD wraz z układem regulacyjno – pomiarowo – wykonawczym firm Siemens oraz Trox. Sterowanie jest zdecentralizowane, czyli każda strefa (pokój) jest osobnym obiektem regulacji. Aby zapewnić odpowiednie parametry nawiewanego powietrza powietrze nawiewane do pomieszczeń, w zależności od potrzeb, jest podgrzewane w lokalnej nagrzewnicy. Kanaly wentylacji nawiewnej prowadzone są pod stropem na parterze budynku (obszar ciepły). Kanaly Spiro zaizolowano warstwą materiału termoizolacyjnego Armaflex. Świadomie zrezygnowano z sufitu podwieszanego dla uwidocznienia przebiegu instalacji.



Rys. 6. Fragment instalacji znajdującej się w osłonie termicznej budynku.

Fig. 6. Fragment of an installation located in the building thermal cover.

### 3. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Przeprowadzone pomiary obejmowały pomiary temperatury i gęstości strumienia ciepła dla przegród z izolacją opartą o system izolacyjnych płyt drewnopochodnych – ściana **A**, z nowoczesną izolacją próżniową – ściana **C** i tradycyjną opartą na styropianie – ściana **B**.

#### Metoda pomiarowa

Do pomiaru gęstości strumienia ciepła wykorzystano trzy czujniki gęstości firmy AHLBORN, dwa o wymiarach 120 na 120 na 1,5 mm grubości w postaci płytki silikonowej oraz jeden o średnicy 30 mm. Dodatkowo mierzono temperaturę wewnętrzną oraz zewnętrzną w odległości około 5 cm od każdej przegród stosując czujniki Pt-100. Pomiary wykonywano z odstępem 60-cio sekundowym archiwizując dane przy wykorzystaniu systemu zbierania danych AL-MEMO.



Rys. 7. Zdjęcie punktu pomiarowego.

Fig. 7. Pictures of measurement point.

#### Okres pomiarowy

Do analizy wybrano cztery dni pomiarowe od 18 do 21 lutego 2011 roku. Dobę w analizowanych dniach podzielono na cztery okresy: oznaczając w danej dobie okres od północy do wschodu Słońca liczbą **1**, od wschodu Słońca do południa – **2**, od południa do zachodu Słońca – **3**, od zachodu Słońca do północy – **4**.

#### Wyniki badań – temperatura zewnętrzna i wewnętrzna

Zastosowany w budynku układ regulacji ma zapewnić utrzymanie stałej wartości temperatury wewnętrznej w poszczególnych pomieszczeniach. W analizowanym okresie temperatura wewnętrzna w pokoju z izolacją z płyt drewnopochodnych (Pom 1) była na poziomie –  $\theta_{\text{int}}=20,5^{\circ}\text{C}$  z odchyleniem od średniej  $\sigma=0,3^{\circ}\text{C}$ . Dla pomieszczenia, w którym znajdowały się punkty pomiarowe dla ściany **B** i ściany **C** czujniki temperatury znajdujące się w odległości około 5 cm od przegrody mierzyły temperatury wewnętrzne różniące się nawet o 3 K. W wykonywanych pomiarach okazał się istotny wybór punktu pomiarowego na danej ścianie. Dla ściany **B** pomiary wykonywane były około 70 cm nad posadzką, natomiast punkt pomiarowy dla ściany z izolacją próżniową znajdował się 50 cm pod stropem pomieszczenia. Mierzona w punktach pomiarowych temperatura w pomieszczeniu (Pom 4) kształtowała się na poziomie dla ściany **B** –  $\theta_{\text{int}}=20,0^{\circ}\text{C}$  z odchyleniem od średniej  $\sigma=0,6^{\circ}\text{C}$  oraz dla ściany **C** –  $\theta_{\text{int}}=23,3^{\circ}\text{C}$  z odchyleniem od średniej  $\sigma=1,8^{\circ}\text{C}$ .

Zmiana mierzonej temperatury powietrza zewnętrznego wahała się w przedziale od  $\theta_{\text{max}}=-1,9^{\circ}\text{C}$  do  $\theta_{\text{min}}=-14,8^{\circ}\text{C}$  dla okresu pomiarowego od zachodu Słońca w dniu 18.02.2011 roku do wschodu Słońca dnia 21.02.2011 roku przy średniej z całego analizowanego okresu  $\theta_{\text{sr}}=-5,7^{\circ}\text{C}$  z odchyleniem standardowym od średniej  $\sigma=2,97^{\circ}\text{C}$ .

W tabeli porównano średnie wartości temperatur w czterech okresach dnia, z analizą miary ich rozproszenia od wartości przeciętnej  $\sigma$ .

Zastosowane oznaczenia oznaczają:

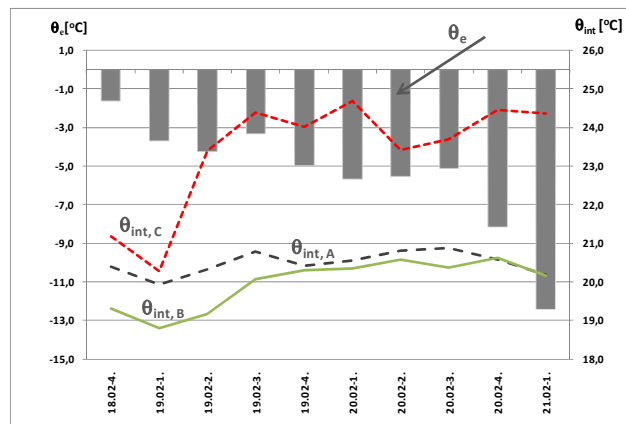
18.02\_4 – dzień wykonywanego badania (np. 18.02.2011) oraz analizowany okres w danej dobie (np. 4 – od zachodu Słońca do północy).

Tabela 1. Średnie wartości temperatury zewnętrznej i wewnętrznej.

Table 1. Mean values of external and internal air temperature.

	ściana A		ściana B		ściana C			
	$\theta_{int}$	$\sigma$	$\theta_{int}$	$\sigma$	$\theta_{int}$	$\sigma$	$\theta_e$	$\sigma$
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
18.02_4	20,4	0,1	19,3	0,1	21,1	1,0	-2,6	0,3
19.02_1	19,9	0,1	18,8	0,2	20,3	0,5	-3,7	0,5
19.02_2	20,3	0,2	19,2	0,3	23,4	0,5	-4,2	0,4
19.02_3	20,8	0,1	20,1	0,2	24,4	0,2	-3,3	0,4
19.02_4	20,4	0,2	20,3	0,2	24,0	1,3	-5,0	0,6
20.02_1	20,6	0,2	20,4	0,2	24,7	0,6	-5,7	0,2
20.02_2	20,8	0,1	20,6	0,2	23,4	1,6	-5,5	0,5
20.02_3	20,9	0,1	20,4	0,1	23,7	1,3	-5,1	0,4
20.02_4	20,6	0,1	20,6	0,2	24,5	1,3	-8,2	1,9
21.02_1	20,2	0,1	20,2	0,1	24,4	0,6	-12,5	1,0

Na wykresie (Rys.8) przedstawiono zmienność temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego w analizowanych okresach dni pomiarowych.



Rys. 8. Zmienność temperatur wewnętrznych w pomieszczeniach budynku doświadczalnego oraz powietrza zewnętrznego.

Fig. 8. Variation of external and internal air temperature in measurement period.

### Wyniki badań – gęstość strumienia ciepła

W poszczególnych punktach pomiarowych, wykonując pomiary w tym samym czasie, pomierzono gęstość strumienia ciepła przenikającego przez analizowane przegrody budowlane. Średnia w okresie pomiarowym, na który składało się 3691 pomiarów wykonywanych z odstępem 60-cio sekundowym, dla przegrody z izolacją próżniową (ściana C) wynosiła  $q=4,96 \text{ W/m}^2$  z odchyleniem standardowym  $\sigma=2,39 \text{ W/m}^2$ , dla izolacji opartej o system płyt drewnopochodnych (ściana A) –  $q=3,16 \text{ W/m}^2$ ,  $\sigma=0,68 \text{ W/m}^2$ , dla

izolacji tradycyjnej (ściana B) –  $q=2,97 \text{ W/m}^2$ ,  $\sigma=1,00 \text{ W/m}^2$ .

W tabeli przedstawiono średnie wartości pomierzonej gęstości strumienia ciepła w analizowanych okresach.

Tabela 2. Średnie wartości gęstości strumienia ciepła dla ścian mierzone w analizowanych okresach.

Table 2. Mean values of the heat flux density for walls measured in the periods.

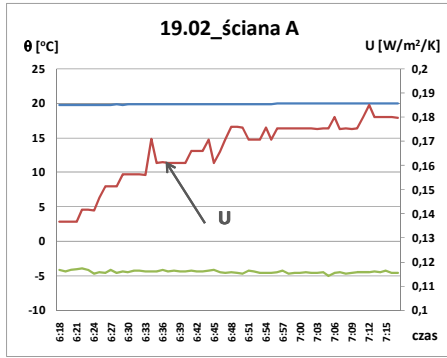
	ściana A		ściana B		ściana C	
	q	$\sigma$	q	$\sigma$	q	$\sigma$
	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
18.02_4	2,8	0,4	1,8	0,5	3,2	2,1
19.02_1	2,1	0,3	1,4	0,3	2,4	1,3
19.02_2	4,0	0,3	3,5	0,5	7,2	0,6
19.02_3	3,8	0,5	4,1	0,2	6,7	0,6
19.02_4	2,6	0,5	3,3	0,8	4,7	2,4
20.02_1	3,7	0,2	3,5	0,5	6,5	0,9
20.02_2	3,8	0,4	3,1	0,8	3,2	2,5
20.02_3	3,6	0,3	3,2	0,7	5,8	2,3
20.02_4	3,0	0,2	3,3	0,8	4,9	2,6
21.02_1	2,9	0,3	3,1	0,6	5,9	1,3

Zmiana gęstości strumienia ciepła wynikała ze zmiany różnicy temperatur między ośrodkami, które ograniczała badana przegroda. Otrzymane wyniki po przeprowadzonej analizie jakościowej wskazują, że znaczący wpływ miała lokalizacja punktu pomiarowego i zakłócenia wynikające ze sposobu sterowania instalacji wentylacji nawiewnej w pomieszczeniu.

### Wyniki badań – wynikowy współczynnik przenikania ciepła

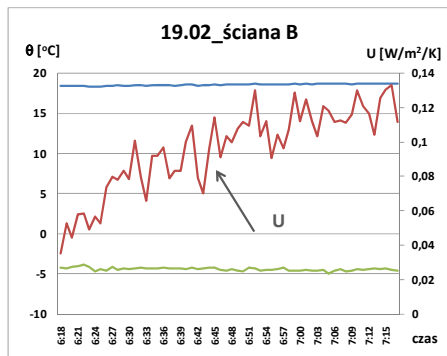
W okresie pomiarowym wystąpiły zmiany temperatury wewnętrznej w pomieszczeniu, w których dokonywano pomiarów. Ze względu na zmienność temperatur po obu stronach przegrody interesującą nas zmienność gęstości strumienia ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody zastąpiono zmiennością współczynnika przenikania ciepła przegrody.

W celu teoretycznego wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych wykorzystano algorytm obliczeń zgodny z wymaganiami normy [2], który zweryfikowano pomiarami gęstości strumienia ciepła. Na wykresach przedstawiono zmienność wynikowego współczynnika przenikania ciepła dla analizowanych przegród w zależności od pory dnia. Przedstawiono wynikową zmienność współczynnika przenikania ciepła dla okresu pół godziny przed i po wschodzie Słońca w dniu 19.02.2011 roku dla trzech analizowanych przegród.



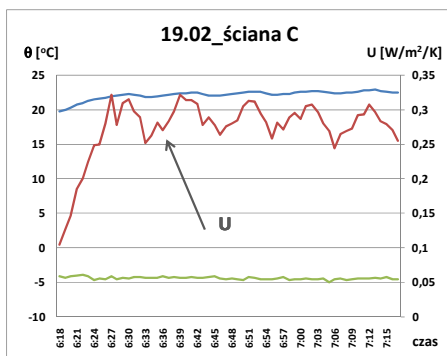
Rys. 9. Zmienność współczynnika przenikania ciepła dla ściany z izolacją z płyt drewnopochodnych pół godziny przed i po wschodzie Słońca.

Fig. 9. The variability of the resultant heat transfer coefficient for wood fibre insulation wall half hour before and after Sunrise.



Rys. 10. Zmienność współczynnika przenikania ciepła dla ściany z izolacją tradycyjną pół godziny przed i po wschodzie Słońca.

Fig. 10. The variability of the resultant heat transfer coefficient for traditional insulation wall half hour before and after Sunrise.



Rys. 11. Zmienność współczynnika przenikania ciepła dla ściany z izolacją z płyt próżniowych pół godziny przed i po wschodzie Słońca.

Fig. 11. The variability of the resultant heat transfer coefficient for vacuum insulation wall half hour before and after Sunrise.

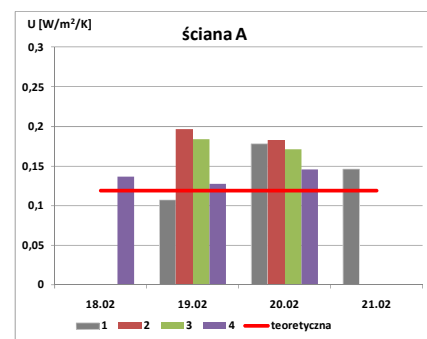
Analizując wykonane pomiary widoczna jest zwiększona wartość wynikowego współczynnika przenikania ciepła. Powyższe wynika z oddziaływania na punkt pomiarowy temperatury powietrza zewnętrznego oraz innych czynników zakłócających.

Analizując wykresy przedstawiające zmienność wynikowego współczynnika przenikania ciepła pół godziny przed i po wschodzie Słońca widać wpływ pracy instalacji nawiewnej w poszczególnych pomieszczeniach. W budynku pasywnym zastosowano strefową regulację ilości dostarczanego powietrza wentylacyjnego VAV (Variable Air Volume), na takim poziomie, aby w pomieszczeniu utrzymać wymaganą wewnętrzną temperaturę eksploatacyjną. Powietrze dostarczane jest pod stropem pomieszczenia podwyższając temperaturę w górnej strefie pomieszczenia. Widocznie jest to szczególnie na rysunku (Rys.11), który przedstawia średnie wartości dla ściany z izolacją próżniową – ściana C.

Średnie wartości współczynnika przenikania ciepła dla danej pory dnia przedstawiono w poniższej tabeli, natomiast porównanie z wartościami teoretycznymi na rysunkach (Rys.12) do (Rys.14).

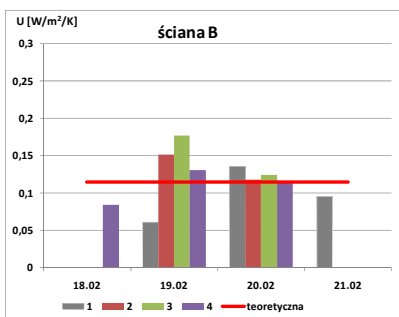
Tabela 3. Średnie wartości współczynnika przenikania ciepła U [W/m²/K] dla ścian mierzone w analizowanych okresach.  
Table 3. Mean values of the heat transfer coefficient U [W/m²/K] for walls measured in the periods.

	ściana A		ściana B		ściana C	
	U	σ	U	σ	U	σ
	W/m²/K		W/m²/K		W/m²/K	
18.02_4	0,14	0,02	0,08	0,02	0,13	0,08
19.02_1	0,11	0,01	0,06	0,01	0,10	0,05
19.02_2	0,20	0,01	0,15	0,02	0,26	0,02
19.02_3	0,18	0,02	0,18	0,01	0,24	0,02
19.02_4	0,13	0,02	0,13	0,03	0,16	0,08
20.02_1	0,18	0,01	0,14	0,02	0,21	0,03
20.02_2	0,18	0,02	0,12	0,03	0,11	0,08
20.02_3	0,17	0,01	0,12	0,03	0,20	0,08
20.02_4	0,15	0,01	0,11	0,03	0,15	0,08
21.02_1	0,15	0,02	0,10	0,02	0,16	0,03



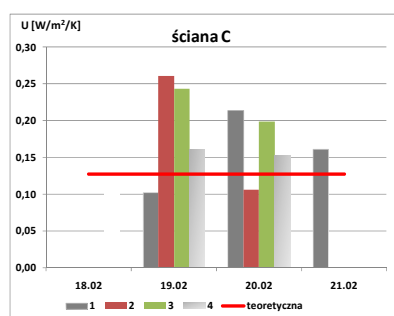
Rys. 12. Porównanie średniej wartości współczynnika przenikania ciepła dla danego okresu pomiarowego z wartością teoretyczną dla ściany A.

Fig. 12. Comparison of mean thermal transmittance values for a given day time with the calculated theoretical values for wall A.



Rys. 13. Porównanie średniej wartości współczynnika przenikania ciepła dla danego okresu pomiarowego z wartością teoretyczną dla ściany B.

Fig. 13. Comparison of mean thermal transmittance values for a given day time with the calculated theoretical values for wall B.



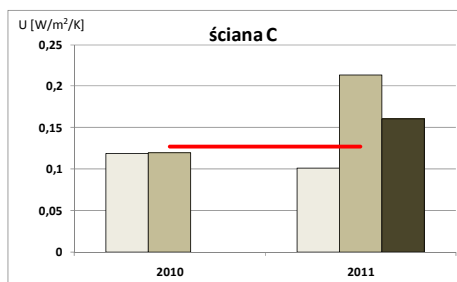
Rys. 14. Porównanie średniej wartości współczynnika przenikania ciepła dla danego okresu pomiarowego z wartością teoretyczną dla ściany C.

Fig. 14. Comparison of mean thermal transmittance values for a given day time with the calculated theoretical values for wall C.

### Wyniki badań – wynikowy współczynnik przenikania ciepła – analiza porównawcza

Wyniki współczynnika przenikania ciepła otrzymane z pomiarów wykonanych w lutym 2011 roku porównano z pomiarami wykonywanymi rok wcześniej [1]. Ponieważ niepokojące są wyniki uzyskane dla ściany z izolacją próżniową na rysunku (Rys.15) przedstawiono porównanie zmienności wynikowego współczynnika przenikania ciepła dla ściany C przykładowo dla 1-go okresu pomiarowego w dniu (czyli od północy do wschodu Słońca).

Podczas pomiarów wykonywanych w 2010 roku w budynku utrzymywanie wymaganej temperatury w pomieszczeniach realizowane było poprzez nawiew powietrza o centralnie przygotowanych parametrach. Podczas wcześniejszych pomiarów nie zauważono podwyższenia temperatury oraz zwiększenia pomierzonej gęstości strumienia ciepła w punkcie pomiarowym, co może potwierdzać zakłócenie, w tegorocznych pomiarach, wywołane oddziaływaniem powietrza nawiewanego. Nie można jednak wykluczyć starzenia izolacji cieplnej.



Rys. 15. Porównanie średniej wartości współczynnika przenikania ciepła w danym roku dla ściany C.

Fig. 15. Comparison of mean thermal transmittance values for a given year for wall C.

## 4. PODSUMOWANIE

Dla dwóch analizowanych przegród (ściana A oraz ściana B) wynikowy współczynnik przenikania ciepła był porównywalny. W przypadku ściany C z izolacją próżniową różnica między wartością współczynnika przenikania ciepła wynikową a teoretyczną wynosi  $\Delta U=0,05 \text{ W/m}^2/\text{K}$  co stanowi o 36% większą wartość od wyników teoretycznych. Wadą izolacji próżniowej jest nieodporność izolacji na mechaniczne uszkodzenia, oraz brak danych dotyczących trwałości utrzymania próżni w czasie eksploatacji. Po przeprowadzonej analizie jakościowej nie można wykluczyć starzenia izolacji, ale wydaje się, że czynnikiem decydującym na rozbieżność wyników pomiarowych z obliczeniami teoretycznymi jest oddziaływanie na czujniki powietrza nawiewanego do pomieszczenia.

### ESTIMATION OF THERMAL INSULATION WALLS BARRIERS IN PASSIVE HOUSE IN REAL OPERATIONS CONDITIONS

**Summary:** The paper presents the initial analysis of thermal behaviour of different material solutions of wall barriers in a Poznan University of Technology passive house. Three different types of wooden frame wall barriers, showing different thermal insulation properties, have been applied in the building. One of these wall barriers has been built into a modern vacuum insulation system. The research compared daily temperature ranges and density of the heat flux of the barriers with regard to the vacuum insulation barrier, to the natural wood fibre insulation panels and to the traditional styrofoam one.

### Literatura

- [1] Basińska M., Koczyk H. *Analysis of thermal behaviour vacuum insulation system in real operational conditions of passive houses*. 10th international conference Modern Building Materials, Structures and Techniques. Wilno 19-21 maja 2010
- [2] PN-EN ISO 6946– *Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania*