



## **Analiza wpływu rodzaju powierzchni przeszklonych oraz urządzeń przeciwsłonecznych na bilans energetyczny budynku**

*Alicja Siuta-Olcha, Tomasz Cholewa,  
Maciej Syroka, Rafał Anasiewicz  
Politechnika Lubelska*

### **1. Wstęp**

Postanowienia Dyrektywy 2010/31/UE oraz aktualne wymagania związane z ochroną cieplną budynków, ujęte w Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, mają na celu zmniejszenie energochłonności obiektów budowlanych. Zużycie energii w sektorze budownictwa jest wysokie, wynosi około 40%, dlatego też niezbędne są wszelkie działania zmierzające do oszczędności energii (Cholewa & Pawłowski 2009, Pawłowski 2008, Pawłowski 2009, Jarzyna i in. 2014, Dumala & Skwarczyński 2011, Naskręt & Szkarowski 2009). Niezwykle ważnym staje się ograniczenie strat ciepła na drodze przenikania przez poszczególne przegrody budowlane. Szacuje się, że w budynku jednorodzinym o niedostatecznej izolacji cieplnej, udział strat ciepła przez okna w stratach całkowitych wynosi od 15% do 23%, przez ściany zewnętrzne od 25% do 40%, przez dach od 18% do 22%, przez strop nad piwnicą nieogrzewaną od 7% do 10% (Rutkowska i in. 2013).

Zmniejszenie zużycia energii w budynkach na cele ogrzewania można uzyskać, stosując przegrody przeszklone o odpowiednio niskim współczynniku przenikania ciepła, którego wartość maksymalna dla budynków pasywnych wynosi  $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Konstrukcja okien w budynkach niskoenergetycznych powinna ponadto zapewniać: bierne wykorzystanie energii promieniowania słonecznego do ogrzewania pomieszczeń,

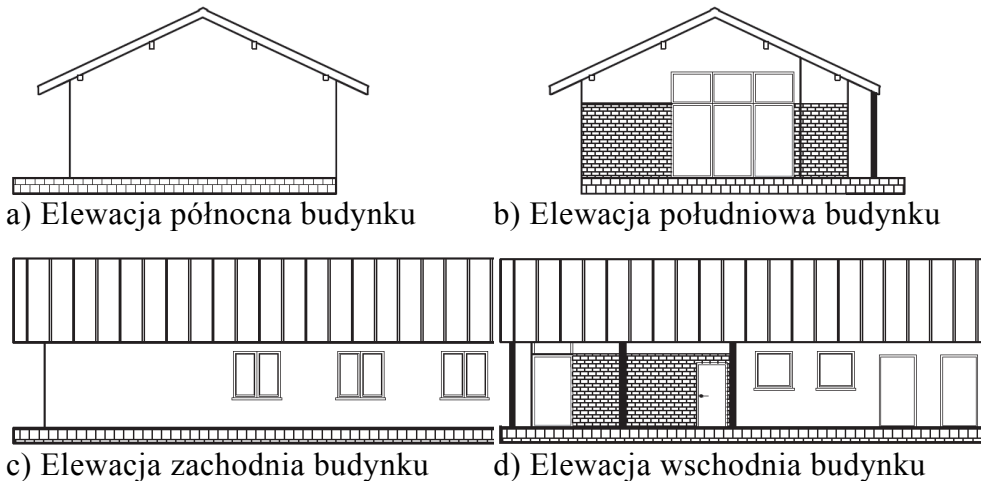
utrzymanie odpowiednio wysokiej temperatury powierzchni wewnętrznej okna, w celu zapewnienia komfortu cieplnego oraz zapobiegnięcia kondensacji pary wodnej (Idczak & Firląg 2004).

Symulacje komputerowe, wykonane dla budynku jednorodzinnego o powierzchni przeszklonej równej 10% powierzchni podłogi, wykazały, że zastosowanie szyb z powłoką niskoemisyjną spowodowało obniżenie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku od 12% do 14%, w zależności od zastosowanego materiału (Rosencrantz i in. 2005).

Właściwie zaprojektowana fasada budynku z oknami energooszczędnymi oraz z urządzeniami przeciwsłonecznymi może pozwolić na redukcję strat ciepła przez przenikanie oraz na zoptymalizowanie wielkości zysków ciepła od nasłonecznienia.

## 2. Charakterystyka budynku przyjętego do rozważań

Do rozważań przyjęto budynek mieszkalny jednorodzinny, parteryowy, niepodpiwniczony, wykonany w standardzie niskoenergetycznym, przedstawiony na rysunku 1 a-d.



**Rys. 1 a-d.** Elewacje rozważanego budynku

**Fig. 1 a-d.** Façade of the analyzed building

Powierzchnia zabudowy wynosi  $124,99 \text{ m}^2$ , powierzchnia użytkowa  $93,57 \text{ m}^2$ , a kubatura brutto budynku wynosi  $445,10 \text{ m}^3$ . Do obli-

czeń przyjęto, że budynek jest zlokalizowany na terenie III strefy klimatycznej, na działce o wymiarach 23,85 m x 17,45 m.

Jednostkowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę przyjęto na poziomie  $25 \text{ dm}^3/(\text{d}\cdot\text{M})$ . Budynek jest wyposażony w energooszczędne oświetlenie oraz energooszczędne urządzenia gospodarstwa domowego. Wentylacja w budynku jest realizowana przez mechaniczny system nawiewno-wywiewny z wysoko sprawnym odzyskiem ciepła z powietrza usuwanego oraz z zastosowaniem gruntowego wymiennika ciepła. Głównym źródłem ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej jest kocioł na biomasę. Moc pompy obiegowej w instalacji centralnego ogrzewania wynosi 0,019 kW, a moc pompy cyrkulacyjnej w instalacji ciepłej wody wynosi 0,009 kW. Występujące w budynku przegrody przezroczyste zajmują łączną powierzchnię  $31,98 \text{ m}^2$ . Zgodnie z wytycznymi dla budownictwa niskoenergetycznego, największa powierzchnia okien znajduje się w południowej fasadzie budynku i wynosi  $13,07 \text{ m}^2$ . Łączna powierzchnia okien skierowanych na wschód wynosi  $12,16 \text{ m}^2$ , a powierzchnia wszystkich okien ukierunkowanych na zachód jest na poziomie  $6,75 \text{ m}^2$ . Budynek nie posiada okien od strony północnej. W tabeli 1 przedstawiono wymiary zewnętrzne oraz powierzchnię okien występujących w analizowanym budynku.

**Tabela 1.** Wymiary zewnętrzne oraz powierzchnia okien znajdujących się w analizowanym budynku

**Table 1.** External dimensions and the surface of windows in the analyzed building

Oznaczenie okna	Orientacja	Ilość okien	Szerokość	Wysokość	Powierzchnia pojedynczego okna
[–]	[–]	[szt.]	[mm]	[mm]	[m <sup>2</sup> ]
O1	E	2	1200	900	1,08
O2	W	3	1500	1500	2,25
O3	E	2	1200	2350	2,82
O4	E, S	4	1300	1000	1,30
O5	E, S	4	1300	2350	3,06

Do przeprowadzenia analizy oddziaływania rodzaju zastosowanych przegród przeszklonych na bilans energetyczny badanego budynku

niskoenergetycznego, wybrano konstrukcje okienne charakteryzujące się podwyższonymi parametrami termoizolacyjnymi. Wykorzystano profile okienne PVC firmy Aluplast, energooszczędne zestawy szyb zespolonych z wypełnieniem komór szybowych gazem szlachetnym oraz ramki dystansowe wykonane z tworzyw sztucznych i aluminium. Zastosowane oszklenie posiada wysoki współczynnik przepuszczalności energii słonecznej całkowitej, wynoszący 61%. Do rozważań wpływu strat ciepła przez przegrody przeszklone przyjęto następujące konstrukcje okien:

- Dla wariantu U1:  $U_{ok} = 1,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , wykorzystano profile okienne: IDEAL 5000® – energeto® 5000 dla okien O1, a dla pozostałych profile IDEAL 4000® – energeto® 4000. Zastosowano ramkę dystansową SWISS SPACER w oknach: O1, O2, O3. Dla okien O4 przewidziano ramkę dystansową SWISS SPACER V, a w oknie O5 ramkę TIS,
- Dla wariantu U2:  $U_{ok} = 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , wykorzystano profile okienne: IDEAL 8000® – energeto® 8000 foam inside dla okien O1, O4 i O5, a dla pozostałych okien profile IDEAL 4000®. Zastosowano ramkę dystansową SWISS SPACER w oknach: O1, O4 i O5. W pozostałych oknach przewidziano ramkę dystansową wykonaną z aluminium,
- Dla wariantu U3:  $U_{ok} = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  wykorzystano profile okienne: IDEAL 5000® – energeto® 5000 dla okien O1, a dla pozostałych okien profile IDEAL 4000® – energeto® 4000. Zastosowano ramkę dystansową SWISS SPACER w oknach O1, TIS w oknach O2, O3 i O5, a w oknach O4 ramkę aluminiową,
- Dla wariantu U4:  $U_{ok} = 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , wykorzystano profile okienne: IDEAL 5000® – energeto® 5000 dla okien O1, a dla pozostałych okien profile IDEAL 7000®. Zastosowano ramkę dystansową SWISS SPACER V w oknach O1, O2, O3, O4, SWISS SPACER w oknach O5,
- Dla wariantu U5:  $U_{ok} = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , wykorzystano profile okienne: IDEAL 5000® – energeto® 5000 foam inside dla każdego okna. Zastosowano ramkę dystansową SWISS SPACER V w oknach O1, O4, ramkę TIS w oknach O2, O3 i O5.

### 3. Metodyka obliczeń

Szczegółowe bilanse energetyczne budynku przyjętego do rozważań oraz wskaźniki rocznego zapotrzebowania energii użytkowej i energii pierwotnej wyznaczono z wykorzystaniem programu komputerowego

„Pakiet do projektowania budynków pasywnych – PHPP 2006” (numer licencji: 1352).

#### 4. Wyniki analizy

Na podstawie sporządzonych bilansów cieplnych budynku jednorodzinnego dla alternatywnych wariantów stolarki okiennej uzyskano wskaźniki rocznego zapotrzebowania energii (**tabela 2**).

**Tabela 2.** Zestawienie wskaźników energetycznych budynku dla rozważanych wariantów

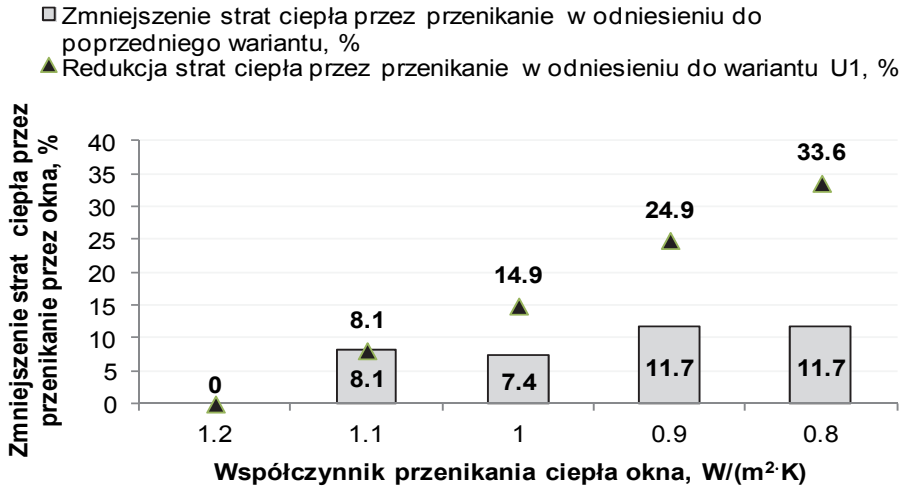
**Table 2.** List of building energy factors for analyzed cases

Parametr	U1	U2	U3	U4	U5
Wskaźnik mocy cieplnej na cele ogrzewania [ $W/m^2$ ]	44,3	42,9	41,7	40,1	38,5
Wskaźnik zapotrzebowania energii do ogrzewania, [ $kW \cdot h/(m^2 \cdot rok)$ ]	58,8	56,9	53,4	51,6	48,0
Wskaźnik zapotrzebowania na całkowitą energię pierwotną, [ $kW \cdot h/(m^2 \cdot rok)$ ]	87,0	86,5	85,5	85,0	84,0
Zapotrzebowanie energii cieplnej na przygotowanie c.w.u., [ $kW \cdot h/rok$ ]	2731,2				

Zwiększenie izolacyjności cieplnej okien pozwoliło na obniżenie potrzeb cieplnych na cele ogrzewania odpowiednio o: 3,2% (U1/U2), 2,8% (U2/U3), 3,8% (U3/U4), 4% (U4/U5). Z tego tytułu uzyskano zmniejszenie rocznego wskaźnika zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania odpowiednio o: 3,2% (U1/U2), 6,2% (U2/U3), 3,4% (U3/U4), 7% (U4/U5). Zapotrzebowanie energii pierwotnej w budynku na wszystkie cele, biorąc pod uwagę warianty brzegowe U1 i U5, uległo ograniczeniu o 2,9%.

W celu określenia wpływu powierzchni przeszklonej na bilans energetyczny budynku, wyznaczono miesięczne straty ciepła na drodze przenikania przez stolarkę okienną. Na podstawie sumy łącznych rocznych strat ciepła dla każdej orientacji względem stron świata określono procent zmniejszenia strat ciepła przez przegrody przeszklone wskutek polepszenia izolacyjności okien, w odniesieniu do następujących bezpośrednio po sobie analizowanych przegród przeszklonych oraz w stosunku

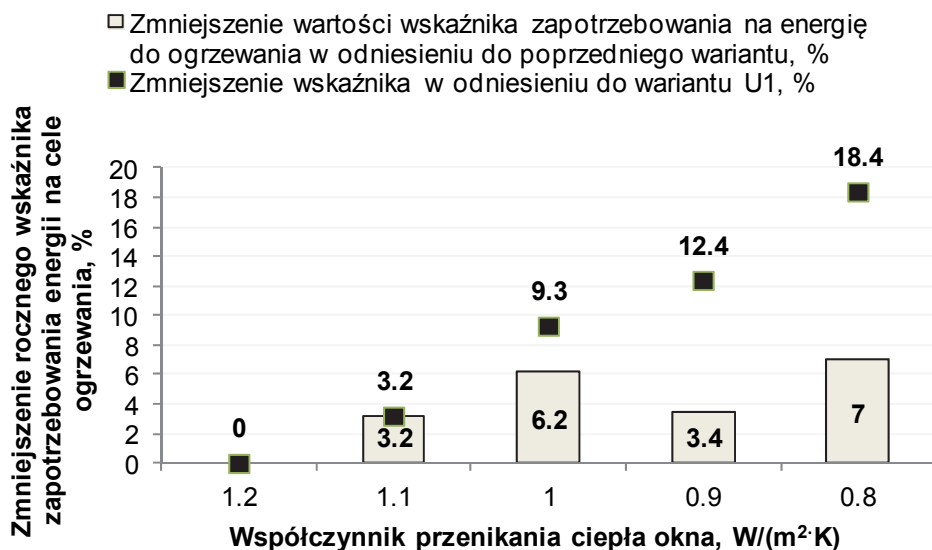
do okien o współczynniku przenikania ciepła równym  $1,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Zostało to przedstawione na rysunku 2.



**Rys. 2.** Procentowe zmiany wielkości strat ciepła przez przenikanie przez przegrody przezroczyste o różnych współczynnikach przenikania ciepła  
**Fig. 2.** Changes of transmission heat losses by windows with different U-Values in percentages

Wzrost poziomu izolacyjności okna wyraźnie wpływa na spadek generowanych strat ciepła przez przenikanie. Różnice pomiędzy kolejnymi przypadkami badanych okien posiadają zbliżone wartości, a ich zakres wynosi 7,4%-1,7%. Stosując okna typu U5, które charakteryzują się najlepszą izolacyjnością cieplną, można zredukować straty ciepła nieco ponad jedną trzecią w stosunku do okien U1.

Na podstawie wyznaczonych wartości wskaźnika zapotrzebowania energii do ogrzewania w  $[\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ , stwierdzono, że wraz ze wzrostem izolacyjności cieplnej okien następuje mniejsze zużycie energii na ten cel, co pokazano na rysunku 3.



**Rys. 3.** Procentowe zmiany rocznego wskaźnika zapotrzebowania energii na cele ogrzewania [ $kW \cdot h/(m^2 \cdot a)$ ] wskutek zwiększania izolacyjności cieplnej okien

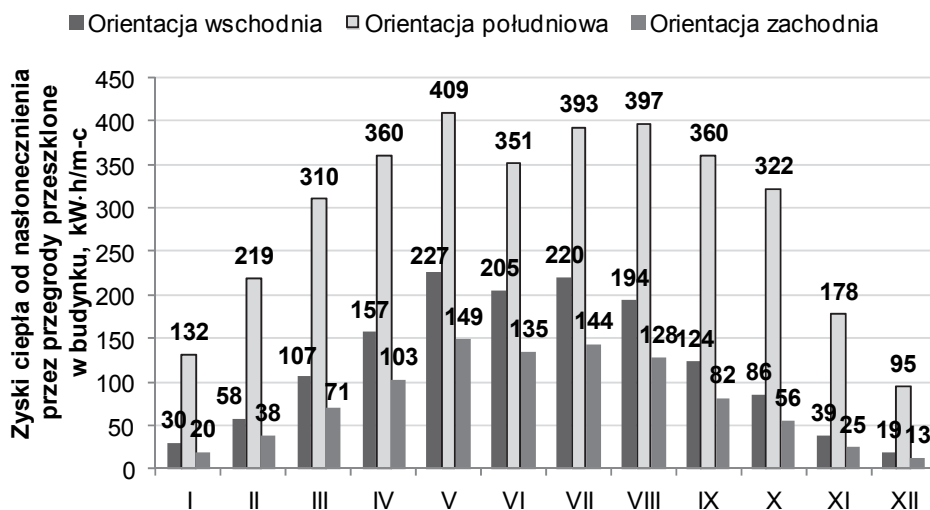
**Fig. 3.** Changes of the annual heat demand factor [ $kW \cdot h/(m^2 \cdot year)$ ] in percentages due to increase of the windows heat insulating power

Im mniejsza jest wartość współczynnika przenikania ciepła przezgród przezroczystych, tym mniejsze jest zapotrzebowanie energii cieplnej na cele ogrzewania. Różnice, we wskaźnikach rocznego jednostkowego zapotrzebowania energii, pomiędzy kolejnymi wariantami rozważanych okien, uzyskano z zakresu 3,2%-7,0%.

Biorąc pod uwagę roczne zyski ciepła od nasłonecznienia oraz przyjęte założenia konstrukcyjne budynku, największym udziałem zysków ciepła charakteryzuje się przeszklenie elewacji południowej, który wynosi 59,2%, następnie fasada wschodnia z udziałem 24,6% oraz fasada zachodnia z udziałem rocznych zysków od Słońca na poziomie 16,2%. Na rysunku 4 pokazano, uśrednione dla wszystkich wariantów, miesięczne zyski ciepła od nasłonecznienia przez przegrody przezroczyste.

W rozważanym przypadku, w sezonie ogrzewczym zmiana typu okien o coraz to mniejszym współczynniku przenikania ciepła, to jest z: U1 na U2, U2 na U3, U3 na U4, U4 na U5 będzie skutkować zwiększeniem udziałów zysków słonecznych odpowiednio o: 0,4%, 0,4%, 0,7% i 0,5%, przy wzroście udziałów zysków wewnętrznych o: 0,2%, 0,2%,

0,2% i 0,3% (rys. 5). Przyczyniło się to do obniżenia procentowego udziału zapotrzebowania na ciepło odpowiednio o: 0,6%, 0,6%, 0,9%, 0,8%. Pomędzy skrajnymi wariantami rozważanych okien, obniżenie współczynnika  $U_{ok}$  spowodowało zredukowanie procentowego udziału zapotrzebowania energii do ogrzewania o 2,9%, przy zwiększonym udziale zysków ciepła od nasłonecznienia wynoszącym 2,0% i zysków wewnętrznych o 0,9%.

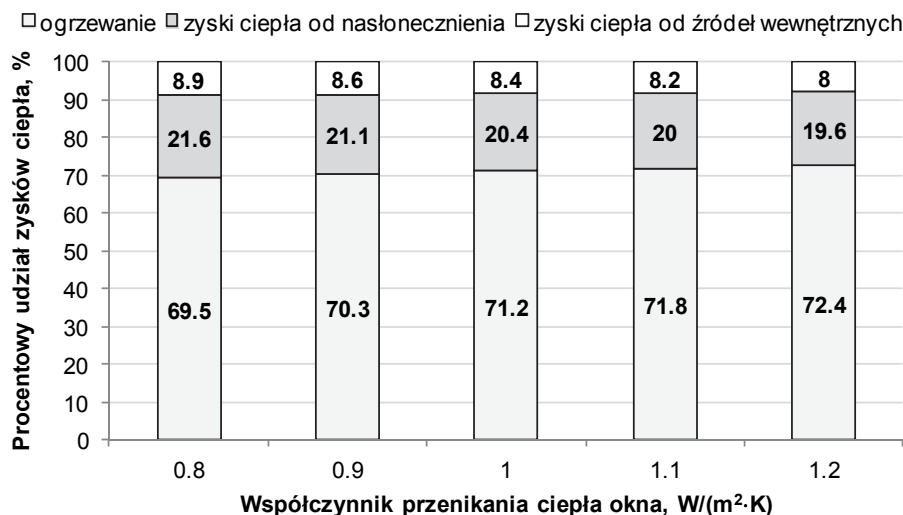


**Rys. 4.** Średnie miesięczne wartości zysków ciepła od nasłonecznienia przez przegrody przezroczyste w rozważanym budynku

**Fig. 4.** Average monthly solar heat gains by windows in the analyzed building

Wpływ urządzeń przeciwsłonecznych na bilans energetyczny rozważanego budynku przedstawiono na rysunku 6. Dla każdego wariantu współczynnika przenikania ciepła  $U_{ok}$  zestawiono ze sobą miesięczny bilans energetyczny budynku, którego okna nie posiadają dodatkowych urządzeń przeciwsłonecznych oraz gdy okna wyposażone są w refleksy i rolety zewnętrzne. Założono, że rolety używane są w sezonie ogrzewczym od godziny 18:00 do 6:00 rano, przy zapewnieniu wysokiej szczelności. Refleksy są stosowane podczas dnia, od maja do września. Dla uzyskania najlepszej efektywności urządzeń przeciwsłonecznych założono, że analizowane urządzenia znajdują się po stronie zewnętrznej.





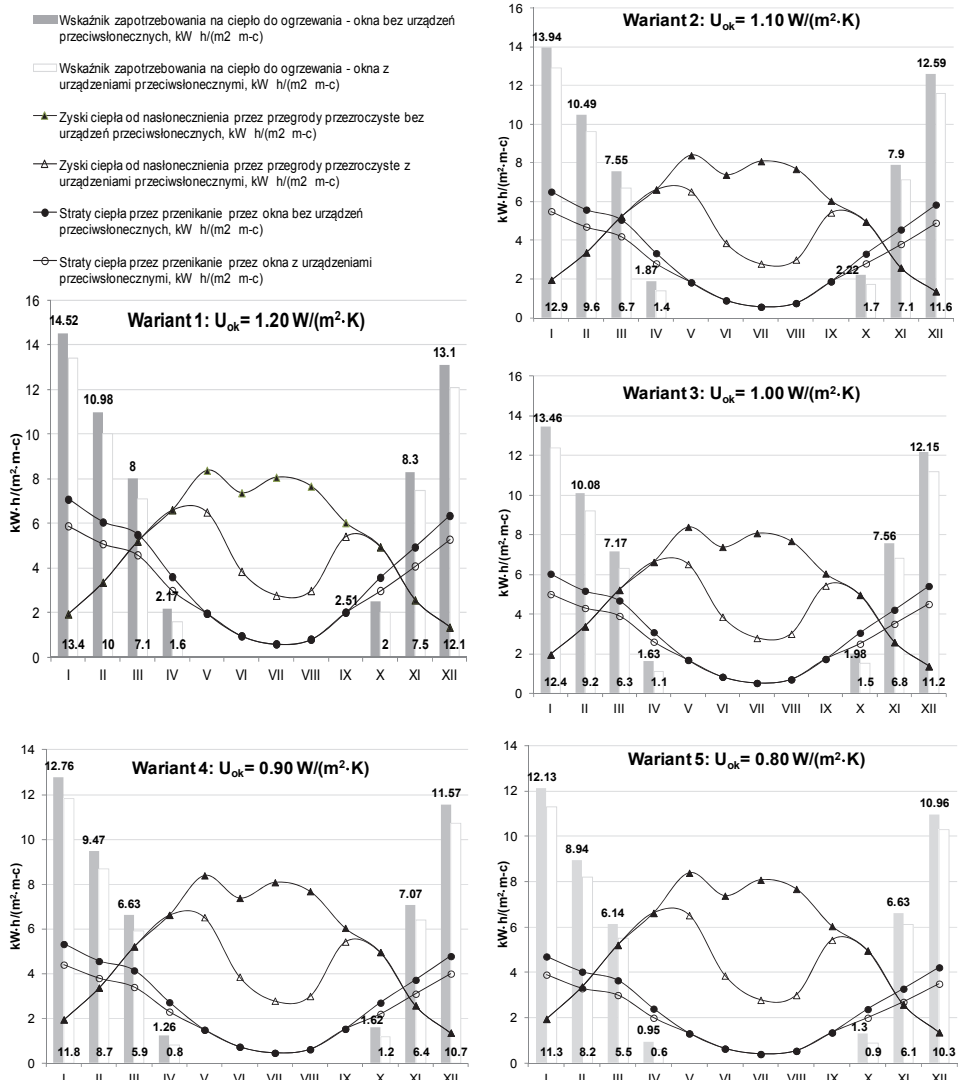
**Rys. 5.** Procentowy udział zysków ciepła od nasłonecznienia przez przegrody przezroczyste o różnym współczynniku przenikania ciepła w bilansie energetycznym budynku w sezonie ogrzewczym

**Fig. 5.** The percentage fraction of solar heat gains by windows with different U-Values in the building energy balance during the heating season

Na podstawie rysunku 6 można zauważyć, że zastosowanie urządzeń przeciwsłonecznych ma wyraźny wpływ na bilans energetyczny budynku, obniżając ilość zbędnych zysków ciepłych od energii słonecznej i ograniczając część strat ciepła przez przenikanie przez przegrody przezroczyste.

Dla wariantu okien U1 wyposażonych w urządzenia przeciwsłoneczne wskaźnik miesięcznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku dla poszczególnych miesięcy w okresach: styczeń-marzec, październik-grudzień zmniejszył się odpowiednio o: 7,7%, 8,9%, 11,3%, 26,3%, 20,3%, 9,6% i 7,6% w stosunku do wariantu okien nieposiadających urządzeń przeciwsłonecznych.

Obniżenie wartości miesięcznego wskaźnika zapotrzebowania na ciepło dla kolejnych rozpatrywanych wariantów konstrukcji okien będzie wynosić: U2 – 7,5%, 8,5%, 11,3%, 25,1%, 23,4%, 10,1%, 7,9%; U3 – 7,9%, 8,7%, 12,1%, 32,5%, 24,2%, 10,1%, 7,8%; U4 – 7,5%, 8,1%, 11,0%, 36,5%, 25,9%, 9,5%, 7,5%; U5 – 6,8%, 8,3%, 10,4%, 36,8%, 30,8%, 8,0%, 6,0%.



**Rys. 6.** Porównanie bilansów energetycznych budynku bez / z urządzeniami przeciwsłonecznymi dla rozważanych wariantów

**Fig. 6.** Comparison of building energy balances without / with solar shading devices for analyzed cases

## 5. Wnioski

Na podstawie sporządzonych bilansów energetycznych budynku mieszkalnego jednorodzinnego oraz wykonanej analizy porównawczej, wykazano, że zastosowanie okien o współczynniku przenikania ciepła równym  $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  umożliwi ograniczenie strat ciepła na drodze przenikania o 34% oraz redukcję potrzeb cieplnych budynku na cele ogrzewania o około 18%, w stosunku do okien charakteryzujących się współczynnikiem przenikania ciepła na poziomie  $1,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Zastosowanie zewnętrznych urządzeń przeciwsłonecznych dla wszystkich rozważanych wariantów skutkowało zmniejszeniem wskaźnika zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania. Refleksy pozwoliły na ograniczenie zysków ciepła od nasłonecznienia w okresie od maja do września średnio o 41,3%.

*Praca finansowana z działalności statutowej S-130/M/WIŚ/2015*

## Literatura

- Cholewa, T., & Pawłowski, A. (2009). Zrównoważone użytkowanie energii w sektorze komunalnym. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection)*, 11, 1165-1177.
- Dumała, S., & Skwarczyński, M. (2011). Rozwiązania konstrukcyjno-instalacyjne budynku a zapotrzebowanie na energię ciepłą. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection)*, 13, 1795-1808.
- Dyrektywa 2010/31/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynku.
- Idczak, M., & Firląg, Sz. (2010). Okna w budynkach pasywnych. *Profiokno*, 30-33.
- Jarzyna, W., Pawłowski, A., Viktorovich, N. (2014). Technical development of wind energy and compliance with the requirements for sustainable development. *Problemy Ekorozwoju/Problems of Sustainable Development*, 9(1), 167-177.
- Pawłowski, A. (2008). The role of social sciences and philosophy in shaping of the sustainable development concept. *Problemy Ekorozwoju/Problems of Sustainable Development*, 3(1), 7-11.
- Pawłowski, A. (2009). Sustainable energy as a sine qua non condition for the achievement of sustainable development. *Problemy Ekorozwoju/Problems of Sustainable Development*, 4(2), 9-12.
- Rosencrantz, T., Bülow-Hübe, H., B., Roos, A. A. (2005). Increased solar energy and daylight utilization using anti-reflective coatings in energy-efficient windows. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 89, 249-260.

- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dziennik Ustaw z dnia 13 sierpnia 2013 roku poz. 926.
- Rutkowska, G., Klepak, O., Podawca, K. (2013). Problemy strat ciepła w istniejących budynkach jednorodzinnych w kontekście błędów wykonawczych. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection)*, 15, 2625-2639.
- Naskręt, L., & Szkarowski, A. (2009). Udoskonalone sposoby akumulacji i rozdziału ciepła w instalacjach grzewczych. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection)*, 11, 555-570.

## **Analysis of the Influence of a Glazed Surface Type and Solar Shading Devices on the Building Energy Balance**

### **Abstract**

A detailed analysis of the influence of a glazed surface type with a diversified thermal transmittance on the energy balance of a detached house boasting the volume of 445.10 m<sup>3</sup>, was carried out on the basis of the Passive House Planning Program (PHPP).

Average monthly transmission heat losses and solar gains by windows with five different U-Values were determined. A part of heat losses by windows in the total building energy balance was compared.

It was pointed out, that the use of windows with thermal transmittance equals 0.80 W/(m<sup>2</sup>·K) enables to reduce transmission heat losses by 34% and to decrease the energy need for heating by circa 18% in comparison with the windows with thermal transmittance equals 1.20 W/(m<sup>2</sup>·K). The annual primary energy demand in this building was reduced by 2.9%.

For all analyzed cases, the use of external solar shading devices contributes to reduction of the transmission heat losses and the energy demand ratio for the heating system. The solar control devices allowed to decrease of solar heat gains at the average by 41.3% during the months from May to September.

The application of energy-saving windows with external solar shading devices influenced the increase of the building energy efficiency.

### **Słowa kluczowe:**

oszczędność energii, współczynnik przenikania ciepła, urządzenie przeciwsłoneczne

### **Keywords:**

energy saving, thermal transmittance, solar shading device