

# Dobór typu oszklenia ze względu na ograniczenie zużycia energii w pomieszczeniach mieszkalnych

Magdalena Grudzińska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Budownictwa Ogólnego, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: m.grudzinska@pollub.pl

**Streszczenie:** W artykule przeanalizowano zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia w przykładowym pomieszczeniu mieszkalnym, związane z zastosowaniem oszkleń o różnych właściwościach spektralnych. Obliczenia przeprowadzono metodą symulacyjną, zmieniając orientację oszklenia względem stron świata oraz przyjmując konstrukcję przegród o większej lub mniejszej zdolności akumulacji ciepła. Wyniki pozwoliły na dobór najbardziej korzystnego rozwiązania z punktu widzenia całorocznego zapotrzebowania na energię.

**Słowa kluczowe:** oszklenia spektralnie selektywne, zapotrzebowanie na energię.

## 1. Wprowadzenie

Izolacyjność cieplna i zdolność transmisji energii słonecznej to czynniki decydujące o wymianie energii między pomieszczeniem a środowiskiem zewnętrznym, zachodzącej przez przegrody przezroczyste. Możliwości wyboru rodzaju oszklenia są obecnie bardzo szerokie – poza szybami zwykłymi, dostępnych jest wiele zestawów szyb powlekanych i barwionych w masie, o zmodyfikowanych właściwościach spektralnych. Modyfikacje te mają na celu zwiększenie zdolności odbijania promieniowania z zakresu dalekiej podczerwieni (promieniowanie ciepłne), pozwalające na zmniejszenie strat ciepła, lub ograniczenie zdolności przepuszczania promieniowania z zakresu bliskiej i średniej podczerwieni, regulujące zyski słoneczne [1].

Dobór oszklenia powinien uwzględniać warunki panujące w pomieszczeniu w ciągu całego roku. Wg [2] w skali rocznej można wyróżnić następujące charakterystyczne okresy:

- sezon grzewczy, trwający około 7 miesięcy, kiedy pomieszczenia ogrzewane są na ogół w sposób ciągły, a najbardziej istotnym czynnikiem wpływającym na potrzeby grzewcze jest izolacyjność termiczna przegród zewnętrznych
- okresy przejściowe, poprzedzające i kończące sezon grzewczy, kiedy pomieszczenia ogrzewane są z przerwami w celu zachowania komfortu cieplnego i wykluczenia możliwości kondensacji wilgoci
- okres ciepły, kiedy pomieszczeń nie ogrzewa się, a ze względu na warunki klimatyczne może okazać się konieczne chłodzenie lub intensywna wentylacja, usuwająca nadmiar ciepła.

W okresie grzewczym i w chłodnych klimatach preferowane są oszklenia o wysokiej transmisyjności promieniowania krótkofalowego i zwiększonej odbijalności cieplnego promieniowania długofalowego, zapewniające zyski słoneczne i ograniczające straty ciepła. W okresach o dominującej potrzebie chłodzenia pomieszczeń korzystne będzie zwiększenie odbicia promieniowania tuż poza pasmem widzialnym, ograniczające przegrzewanie [3]. Czynniki te mogą mieć zróżnicowane znaczenie w zależności od dostępności promieniowania słonecznego na elewacji i pojemności cieplnej obudowy obiektu.

Celem obliczeń jest ustalenie, jakie konfiguracje szyb mogą przyczynić się do obniżenia całorocznego zapotrzebowania na energię, w zależności od orientacji oszklenia względem stron świata i konstrukcji budynku.

## 2. Modelowanie wymiany ciepła w pomieszczeniu

### 2.1. Opis programu symulacyjnego

Zapotrzebowanie na energię w pomieszczeniu mieszkalnym wyznaczono przy pomocy symulacyjnego programu komputerowego BSim, pozwalającego na dynamiczną analizę uwzględniającą procesy akumulacji ciepła w przegrodach budowlanych [4].

Procesy ciągłe w czasie modelowane są w programie poprzez podział na kroki czasowe o skończonej długości, wynoszącej najczęściej od kilku do kilkunastu minut. Elementy konstrukcji budynku dzielone są na skończone objętości kontrolne, reprezentowane przez punkty węzłowe o określonych właściwościach fizycznych, takich jak np. gęstość, przewodność czy pojemność cieplna. Zamknięte strefy powietrza również definiowane są jako węzły. Dla każdej ze stref powietrza formułowany jest bilans uwzględniający strumień ciepła przepływającego przez obudowę, transmisję promieniowania słonecznego przez elementy przezroczyste, strumienie ciepła wytwarzanego przez systemy instalacyjne oraz przenoszonego przez wentylację, infiltrację lub międzystrefowe mieszanie powietrza. Cały budynek może składać się z jednej lub wielu stref o zróżnicowanych warunkach wewnętrznych [4].

Warunki zewnętrzne reprezentowane są przez typowe lata meteorologiczne lub dane pogodowe określone indywidualnie przez użytkownika.

### 2.2. Podstawowe założenia

Model obliczeniowy stanowi pojedyncze pomieszczenie mieszkalne z jedną ścianą zewnętrzną zawierającą okno. Wymiary wewnętrzne pomieszczenia wynoszą 3,5 m x 2,5 m, a wysokość w świetle – 2,70 m. Wymiary okna przyjęto 1,5 m x 1,5 m, powierzchnia okna stanowi około 25% powierzchni podłogi.

W pierwszym wariantcie założono masywną konstrukcję przegród: murowane ściany ocieplone od zewnątrz metodą BSO i żelbetowe stropy międzykondygnacyjne. Drugi wariant to przegrody o lekkiej, drewnianej konstrukcji szkieletowej, ocieplone wełną mineralną ułożoną między elementami szkieletu nośnego i wykończone od strony wewnętrznej płytami gipsowo-kartonowymi. W obu sytuacjach współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej jest jednakowy i wynosi 0,24 W/m<sup>2</sup>K. Pojemność cieplna pomieszczenia obliczona wg [5] i odniesiona do m<sup>2</sup> powierzchni podłogi w wariantcie I wynosi 726,0 kJ/m<sup>2</sup>K, a w wariantcie II jest prawie trzykrotnie mniejsza i wynosi 255,2 kJ/m<sup>2</sup>K.

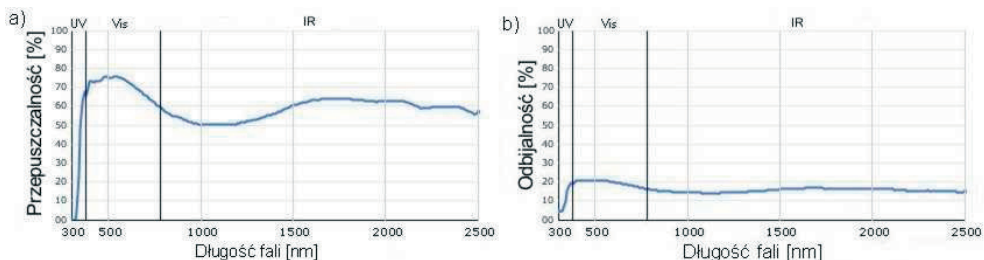
Wymianę powietrza w pomieszczeniu przyjęto jako 0,5 l/h. Wewnętrzne zyski ciepła pochodzące z procesów bytowych i pracy urządzeń gospodarstwa domowego uwzględniono na poziomie 3 W/m<sup>2</sup>. Przy ocenie pomieszczeń brano pod uwagę całoroczny cykl zapotrzebowania na ciepło i chłód, zakładając ciągły tryb klimatyzacji pomieszczeń.

Strefy mieszkalne ogrzewane są do temperatury +20°C. W okresie letnim chłodzenie pomieszczenia jest uruchamiane jeżeli temperatura przekroczy 26°C. Warunki zewnętrzne zmieniają się zgodnie z danymi dla typowego roku meteorologicznego w Warszawie. Zróżnicowane nasłonecznienie uwzględniono zmieniając położenie przegrody zewnętrznej z oknem co 45° względem stron świata.

## 3. Charakterystyka przyjętych zestawów szyb

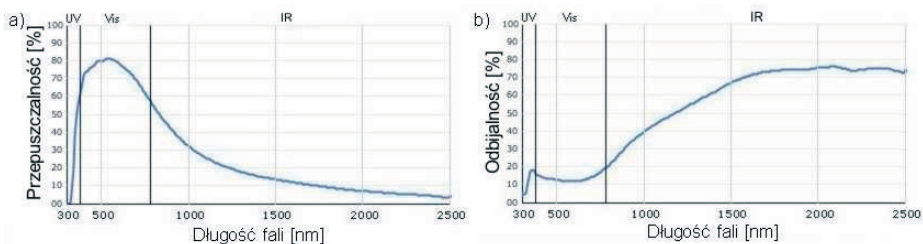
W pracy rozpatrzono pięć rodzajów zestawów szyb, różniących się właściwościami spektralnymi, opisywanymi przez współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego  $g$ , współczynnik przepuszczalności bezpośredniej  $\tau_e$ , współczynnik odbicia bezpośredniego  $\rho_e$  i współczynnik przepuszczalności światła  $\tau_{vis}$ . Wszystkie zestawy dobrano tak, aby miały stały współczynnik przenikania ciepła wynoszący 1,6 W/m<sup>2</sup>K.

Zestaw „1” to zestaw trzyszybowy złożony z szyb zwykłych niepowlekanych z wypełnieniem z kryptonu, przyjętym w celu uzyskania odpowiedniej izolacyjności termicznej. Zestaw ten charakteryzuje się względnie równomierną transmisyjnością i odbijalnością promieniowania widzialnego oraz bliskiej i średniej podczerwieni (rysunek 1).

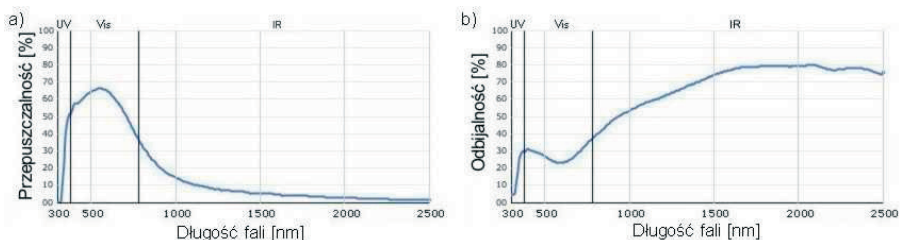


Rys. 1. Charakterystyki widmowe oszkleń typu 1: a) przepuszczalność, b) odbijalność, wg [6]

Pozostałe zestawy to zestawy dwuszybowe z wypełnieniem komory międzyszybowej powietrzem. W zestawach „2a” i „2b” przyjęto szyby zwykłe, z powłokami spektralnie selektywnymi umieszczonymi na szybie wewnętrznej. Powłoki charakteryzują się dość wysoką transmisywnością promieniowania widzialnego oraz wysoką odbijalnością promieniowania z zakresu średniej i dalekiej podczerwieni. Dzięki temu uzyskują właściwości niskoemisyjne, a także zmniejszają zyski słoneczne.

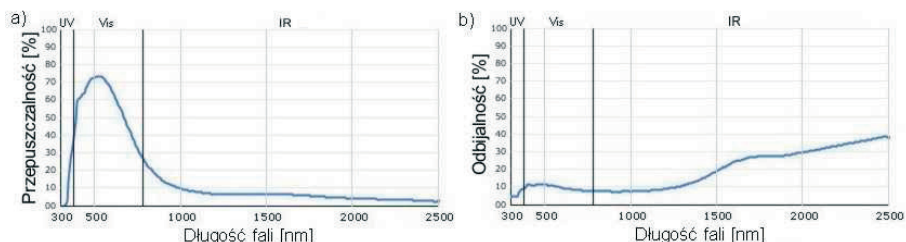


Rys. 2. Charakterystyki widmowe oszkleń typu 2a: a) przepuszczalność, b) odbijalność, wg [6]

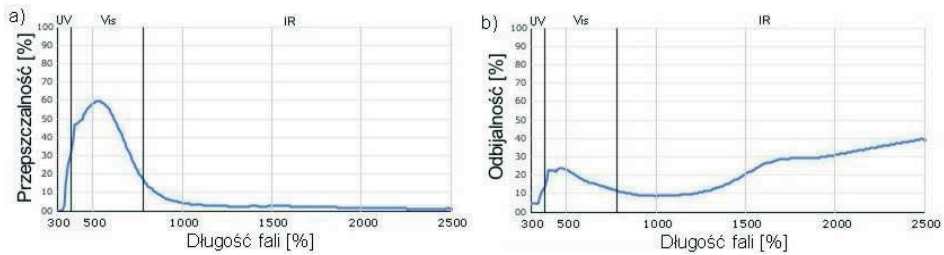


Rys. 3. Charakterystyki widmowe oszkleń typu 2b: a) przepuszczalność, b) odbijalność, wg [6]

Zestawy „3a” i „3b” od strony zewnętrznej mają szybę barwioną masie o barwie zielonej. Szyby wewnętrzne wykonane są ze szkła zwykłego z powłokami o takich samych cechach jak w zestawach oznaczonych jako „2a” i „2b”. Wprowadzenie szyby barwionej w masie skutkuje zmniejszeniem transmisywności i odbijalności, szczególnie w zakresie bliskiej podczerwieni.



Rys. 4. Charakterystyki widmowe oszkleń typu 3a: a) przepuszczalność, b) odbijalność, wg [6]



Rys. 5. Charakterystyki widmowe oszklenia typu 3b: a) przepuszczalność, b) odbijalność, wg [6]

Panchromatyczne właściwości zestawów szyb obliczone zgodnie z [7] przedstawia tabela 1.

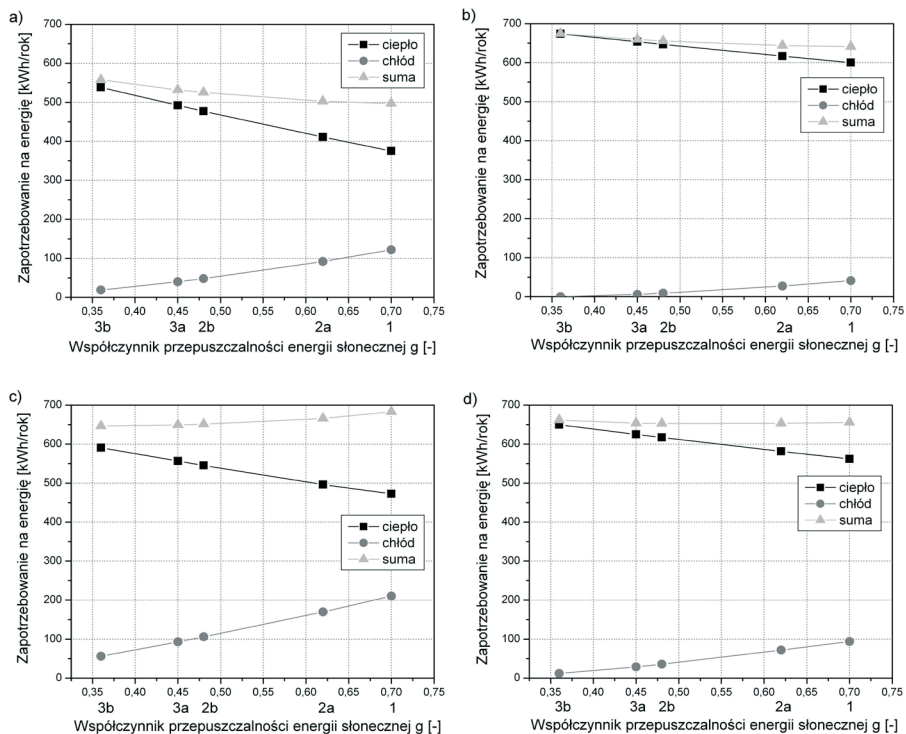
Tabela 1. Zestawienie parametrów charakteryzujących zestawy szyb.

Lp.	Charakterystyka	$g$	$\tau_c$	$\rho_e$	$\tau_{vis}$
1	trzyszybowy (szyby zwykłe)	0,70	0,63	0,18	0,74
2a	dwuszybowy z powłoką selektywną	0,62	0,55	0,27	0,80
2b	dwuszybowy z powłoką selektywną	0,48	0,40	0,40	0,65
3a	dwuszybowy z powłoką selektywną i szybą barwioną w masie	0,45	0,38	0,11	0,70
3b	dwuszybowy z powłoką selektywną i szybą barwioną w masie	0,36	0,29	0,16	0,57

## 4. Wyniki symulacji

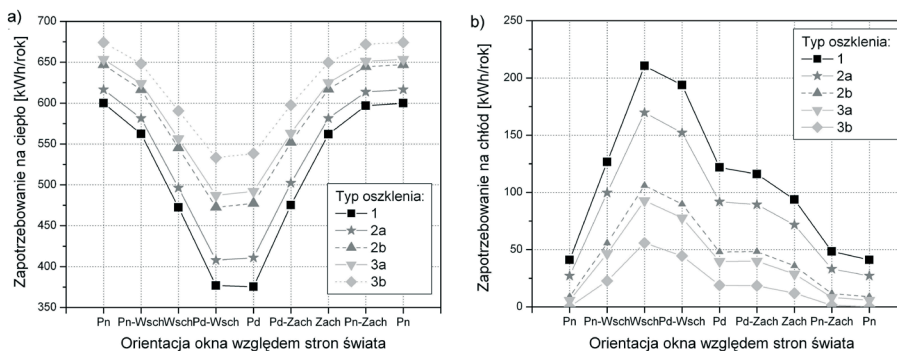
### 4.1. Pomieszczenie o konstrukcji ciężkiej

Zależność między zapotrzebowaniem na energię do ogrzewania i chłodzenia w pomieszczeniu a współczynnikiem całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla wybranych kierunków prezentuje rysunek 6. Zapotrzebowanie na chłód przedstawiono w postaci wartości bezwzględnych, aby umożliwić bardziej przejrzyste porównanie wyników. Zależność między współczynnikiem  $g$  a zapotrzebowaniem na ciepło i chłód w badanym zakresie wielkości ma charakter zbliżony do liniowego. Dla każdej z orientacji zwiększenie współczynnika przepuszczalności promieniowania (przy stałej izolacyjności termicznej) skutkuje zmniejszeniem zapotrzebowania na ciepło i zwiększeniem zapotrzebowania na chłód, a ekstrema osiągnęte są na końcach analizowanych przedziałów. Krzywe wykazują większe nachylenie w przypadku elewacji bardziej nasłonecznionych niż dla elewacji o mniejszym natężeniu promieniowania słonecznego.



Rys. 6. Zapotrzebowanie na energię w pomieszczeniu o orientacji: a) południowej, b) północnej, c) wschodniej, d) zachodniej

Zależność między zapotrzebowaniem na ciepło i chłód a kierunkiem oszkleń okien dokładniej pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Zapotrzebowanie na: a) ciepło, b) chłód w pomieszczeniu o konstrukcji masywnej

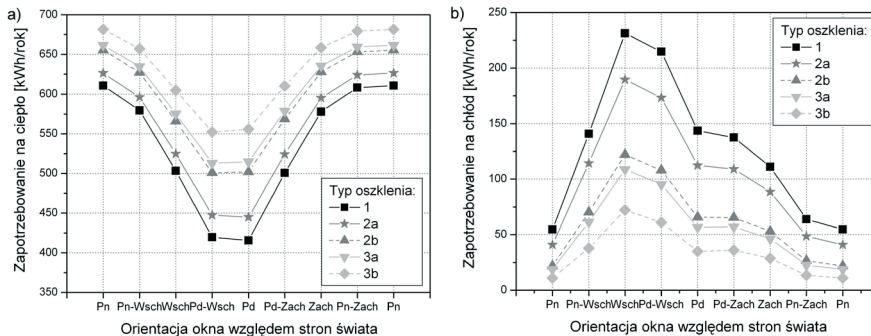
Najmniejsze zapotrzebowanie na ciepło występuje kiedy przegroda zewnętrzna zwrócona jest na południe i południowy wschód. Kierunek południowy jest bardziej korzystny dla oszkleń o większej przepuszczalności promieniowania, natomiast w przypadku oszkleń o mniejszej przepuszczalności orientacja południowo-wschodnia daje najmniejsze zapotrzebowanie na ciepło, z tym że różnice nie przekraczają 1%.

Zapotrzebowanie na chłód wykazuje bardziej złożony przebieg. Spośród orientacji o większym nasłonecznieniu najmniejsze zapotrzebowanie na chłód występuje dla kierunku południowego i południowo-zachodniego. Najmniej korzystne okazały się kierunki

południowo-wschodni i wschodni, ze względu na specyfikę rozkładu promieniowania słonecznego na płaszczyznach pionowych. Według danych zawartych w typowym roku meteorologicznym, w okresie letnim natężenie promieniowania dla tych kierunków przekracza natężenie promieniowania padającego na płaszczyznę skierowaną na południe.

## 4.2. Pomieszczenie o konstrukcji lekkiej

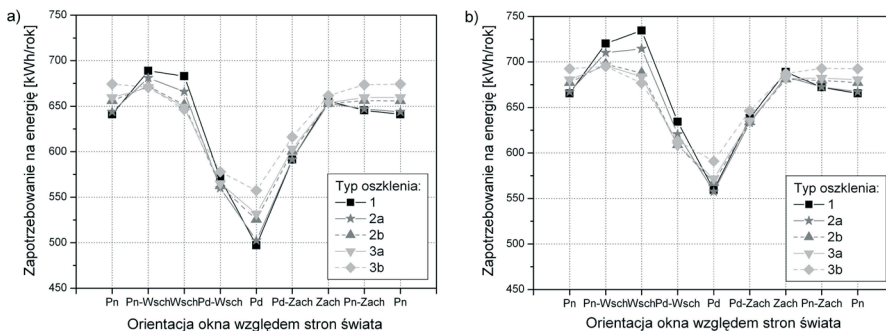
Charakter jakościowy wyników otrzymanych dla pomieszczenia o konstrukcji lekkiej jest podobny jak w przypadku pomieszczenia o konstrukcji ciężkiej (rysunek 8).



Rys. 8. Zapotrzebowanie na a) ciepło, b) chłód w pomieszczeniu o konstrukcji lekkiej

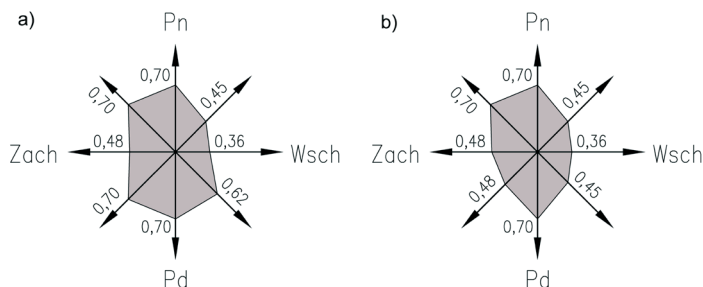
## 4.3. Porównanie wyników

Porównanie ilościowe wykazuje większe zapotrzebowanie na energię w pomieszczeniu o konstrukcji lekkiej (dotyczy to zarówno zapotrzebowania na ciepło jak i chłód). Największy wzrost potrzeb energetycznych odnotowano dla orientacji południowo-wschodniej i południowej – średnio o 9%, najmniejsze różnice widoczne są dla orientacji o mniejszym nasłonecznieniu i wynoszą około 3,5% dla kierunku północnego, północno-wschodniego i północno-zachodniego.



Rys. 9. Sumaryczne zapotrzebowanie na energię w pomieszczeniu o konstrukcji a) masywnej, b) lekkiej

Minimum sumarycznego zapotrzebowania na energię osiągane jest dla różnych współczynników przepuszczalności promieniowania, co prezentuje rysunek 10. W przypadku większości orientacji najlepszym rozwiązaniem są oszklenia o wysokim współczynniku  $g$ . Dla orientacji bardziej nasłonecznionych w okresie letnim (kierunki północno-wschodni, wschodni i południowo-wschodni), mniejsze zapotrzebowanie na energię całkowitą można uzyskać stosując oszklenia o mniejszej przepuszczalności promieniowania, dzięki ograniczeniu zapotrzebowania na chłód. Tendencja ta jest bardziej widoczna w pomieszczeniu o konstrukcji lekkiej, ze względu na mniejszą zdolność akumulacji ciepła przez obudowę.



Rys. 10. Współczynniki przepuszczalności promieniowania słonecznego pozwalające uzyskać najmniejsze sumaryczne zapotrzebowanie na energię w pomieszczeniu o konstrukcji a) masywnej, b) lekkiej

## 5. Podsumowanie

W celu zminimalizowania zapotrzebowania na energię dobór oszkleń uwzględniający jedynie ich izolacyjność termiczną (stosowany najczęściej w praktyce) może okazać się niewystarczający. Ważnym czynnikiem kształtującym potrzeby energetyczne są właściwości związane z transmisją i odbiciem promieniowania słonecznego.

Analizowane w pracy oszkleń charakteryzowały się dość zróżnicowanymi cechami spektralnymi i uśrednionymi w odpowiednich przedziałach widmowych panchromatycznymi współczynnikami przepuszczalności i odbijalności promieniowania. Spośród tych parametrów współczynnik całkowitej przepuszczalności promieniowania słonecznego  $g$  okazał się najlepszym miernikiem wpływu rodzaju oszkleń na zapotrzebowanie na energię w pomieszczeniu.

Ze względu na dominujący tryb ogrzewania w polskich warunkach klimatycznych preferowanym rozwiązaniem są oszkleń o wysokiej wartości współczynnika  $g$ . Na elewacjach silnie nasłonecznionych w okresie letnim korzystny może okazać się jednak dobór oszkleń o pośredniej wartości  $g$ , optymalizujący zapotrzebowanie na ciepło i na chłód.

Przeprowadzone analizy należałoby rozszerzyć odnosząc je do zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną, z uwzględnieniem sprawności systemów grzewczych i kosztów pozyskiwania energii do celów ogrzewania i chłodzenia.

### Podziękowania

Wyniki prac były finansowane w ramach środków statutowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr S/14/2013.

### Literatura

- 1 Nowak Ł., Nowak H. Możliwości wykorzystania szyb spektralnie selektywnych w pasywnych systemach słonecznych w budynkach. Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. (ed. T. Bobko), Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2005, s. 250-256.
- 2 Laskowski L. Jakość ochrony cieplnej pomieszczeń mieszkalnych w porze letniej. Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce t. 1, Łódź 2005, s. 239–248.
- 3 McCluney R. Fenestration Solar Gain Analysis. Florida Solar Energy Center/University of Central Florida, 1996.
- 4 BSim Users Guide v. 6.10.7.7. Danish Building Research Institute, 1999–2010.
- 5 PN-EN ISO 13790. Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- 6 Calumen II v. 1.2.3. Saint Gobain Glass.
- 7 EN 410. Szkło w budownictwie. Określenie świetlnych i słonecznych właściwości oszkleń.

## Effect of glazing type on the energy demand in a living space

Magdalena Grudzińska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Department of General Construction of Buildings, Faculty of Civil Engineering and Architecture,  
Lublin University of Technology, e-mail: m.grudzinska@pollub.pl*

**Abstract:** The paper presents analyses of heating and cooling demand in a typical living space, depending on the use of various spectrally selective glazing. The calculations were performed with the use of dynamic simulation program, changing the window orientation towards cardinal directions and assuming building compartments with different thermal storage capacity. The results enabled choosing the best glazing combination, which gives the minimal energy demand during the whole year.

**Keywords:** spectrally selective glazing, energy demand.

### Acknowledgments

This work was financially supported by Ministry of Science and Higher Education within the statutory research number S/14/2013.