

Magdalena GRUDZIŃSKA¹

DOBÓR OSZKLENIA W PASYWNYCH SYSTEMACH SZKLARNIOWYCH NA PRZYKŁADZIE OSZKŁONEGO BALKONU

Artykuł przedstawia wpływ rodzaju oszkleń zastosowanych do obudowy zewnętrznego balkonu na bilans energetyczny przykładowego mieszkania w budynku wielorodzinnym. Analizy obejmują całoroczny cykl użytkowania obiektu, a wyniki pozwalają na ocenę skuteczności proponowanych rozwiązań w sezonie grzewczym i okresie letnim. Badania przeprowadzono przy pomocy dynamicznych symulacji w programie komputerowym opartym na metodzie objętości kontrolnych, wykorzystując dane klimatyczne zawarte w Typowym Roku Meteorologicznym dla Warszawy. Zapotrzebowanie na energię wyznaczono dla różnych zestawów oszkleń balkonu i porównano z bazową wersją mieszkania z balkonem otwartym. W przedstawionym przykładzie system szklarniowy pozwolił zmniejszyć zapotrzebowanie na ciepło średnio o 31%, a najlepszym rozwiązaniem okazało się oszklelenie o największym stosunku przepuszczalności promieniowania słonecznego do współczynnika przenikania ciepła. Pasywne pozyskiwanie energii słonecznej może powodować przegrzewanie pomieszczeń w ciągu lata. Mimo wzrostu zapotrzebowania na energię chłodniczą, całkowite potrzeby energetyczne w mieszkaniu były mniejsze niż przed wprowadzeniem systemu szklarniowego średnio o 7%. Dzięki naturalnemu wietrzeniu i stosowaniu zasłon można było ograniczyć temperaturę wewnętrzną do akceptowalnego poziomu bez konieczności aktywnego chłodzenia. Przedstawione wyniki świadczą o pozytywnym potencjale przedstawionych rozwiązań, ale wskazują też na konieczność świadomego projektowania systemów pasywnych z uwzględnieniem całorocznego cyklu użytkowania budynków.

Słowa kluczowe: zapotrzebowanie na energię, efektywność systemów pasywnych, promieniowanie słoneczne, dynamiczne symulacje komputerowe

1. Wprowadzenie

Systemy szklarniowe należą do pasywnych systemów wykorzystania odnawialnej energii promieniowania słonecznego. Badania nad możliwością wykorzystania oszklonych przestrzeni w celu zmniejszenia zapotrzebowania na energię rozpoczęto w latach 80. i 90. ubiegłego wieku, na fali zainteresowania archi-

¹ Magdalena Grudzińska, Politechnika Lubelska, Katedra Budownictwa Ogólnego, ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin; tel. 815384448; m.grudzinska@pollub.pl

tekturą słoneczną i możliwościami zmniejszenia energochłonności budynków [1, 2]. Prace badawcze koncentrowały się głównie na opracowaniu modeli matematycznych wymiany ciepła oraz analizie czynników wpływających na efektywność energetyczną systemu.

Skuteczność pozyskiwania energii w systemach szklarniowych zależy przede wszystkim od zdolności pochłaniania promieniowania słonecznego przez ich obudowę, geometrii szklarni i powierzchni oszklenia. Według danych zaczerpniętych z literatury, systemy szklarniowe pozwalają ograniczyć zapotrzebowanie na ciepło w przyległym pomieszczeniu w zakresie od 10% do 50% [3 – 6]. Duże zróżnicowanie wyników jest skutkiem różnorodnych założeń badawczych dotyczących lokalizacji, kształtu czy właściwości izolacyjnych i optycznych obudowy obiektów.

Systemy szklarniowe zyskują coraz większą popularność również w Polsce, przede wszystkim ze względu na prostotę wykonania, niski koszt i atrakcyjność architektoniczną. Projektowanie przestrzeni słonecznych rzadko jest jednak poprzedzone szczegółową analizą energetyczną potencjalnych korzyści i problemów, jakie może powodować to rozwiązanie. Brakuje również zaleceń dotyczących doboru elementów składowych systemu na wstępnym etapie projektowania, pozwalających w sposób uproszczony porównać różnorodne komponenty dostępne na rynku.

Niniejszy artykuł przedstawia wpływ rodzaju oszkleń zastosowanych do obudowy zewnętrznego balkonu na bilans energetyczny przykładowego mieszkania w budynku wielorodzinnym. Analizy obejmują całoroczny cykl użytkowania obiektu, a wyniki pozwalają na ocenę efektywności proponowanych rozwiązań w sezonie grzewczym i okresie letnim.

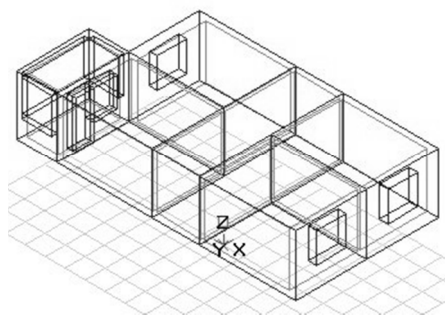
2. Metodyka analiz

Ocenę efektywności energetycznej mieszkania z oszklonym balkonem przeprowadzono przy pomocy dynamicznych symulacji w programie komputerowym BSim opartym na metodzie objętości kontrolnych [7]. Jako dane klimatyczne wykorzystano dane reprezentujące Typowy Rok Meteorologiczny dla Warszawy, opracowany na potrzeby certyfikacji energetycznej budynków [8].

Przykładowe mieszkanie ma powierzchnię około 74 m² i zlokalizowane jest w środkowej części budynku. Jedno z pomieszczeń sąsiaduje z balkonem o powierzchni około 5,4 m², skierowanym na południe. W ścianie pomiędzy pokojem a balkonem umieszczono okno o wymiarach 1,20 x 1,50 m i drzwi balkonowe 0,9 x 2,35 m (rys. 1). Powierzchnię okien w ścianach zewnętrznych (1,50 x 1,50 m) dobrano ze względu na wymagania dotyczące minimalnego oświetlenia pomieszczeń światłem dziennym.

Współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych wynosi 0,24 W/m²K, a współczynnik przenikania ciepła okien – 1,20 W/m²K. Wartości te spełniają wymagania obowiązujące w Polsce dla budynków nowoprojektowanych powsta-

jących w latach 2013 – 2016. W mieszkaniu założono bytowe zyski wewnętrzne na poziomie $7,1 \text{ W/m}^2$ oraz wymianę powietrza wynoszącą $0,5 \text{ 1/h}$, co wg krajowych danych można przyjąć jako typowe warunki w tradycyjnych budynkach mieszkalnych [9].



Rys. 1. Schemat mieszkania w programie symulacyjnym BSim

Fig. 1. The outline of the apartment in BSim simulation program

Balkon ma obudowę pełną do wysokości $1,0 \text{ m}$ o współczynniku przenikania ciepła $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$, powyżej jest on oszklony na trzech ścianach zestawami szybowymi o dość wysokiej izolacyjności termicznej. Badania własne wykazały, że taka konfiguracja obudowy jest korzystna ze względu na ograniczenie przegrzewania pomieszczenia sąsiedniego w ciągu lata [10]. W analizach przyjęto oszklenia dwuszybowe, ze szkła zwykłego lub z naniesionymi powłokami spektralnie selektywnymi, dzięki czemu uzyskano zestawy szyb o zróżnicowanych cechach cieplnych i optycznych (tabela 1). Zwiększeniu izolacyjności termicznej zestawów szyb towarzyszy spadek przepuszczalności promieniowania słonecznego, będący efektem zastosowania powłok ograniczających transmisyjność w określonym zakresie widmowym. Proporcje obu parametrów nie są jednakowe – największy stosunek przepuszczalności do izolacyjności charakteryzuje zestaw nr 2.

Tabela 1. Właściwości zestawów oszkleń, na podstawie [11]

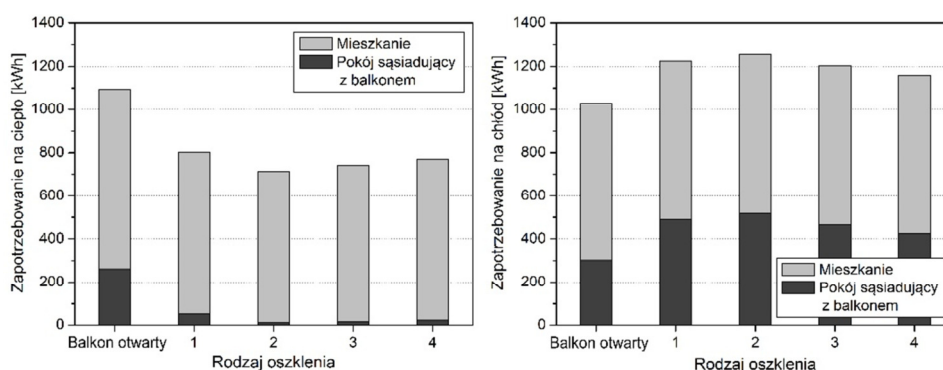
Table 1. Glazing properties, based on [11]

| Nr zestawu | Liczba szyb | Powłoka spektralnie selektywna na szybie wewnętrznej | Współczynnik przenikania ciepła oszklenia U_g [$\text{W/m}^2\text{K}$] | Całkowita przepuszczalność energii słonecznej g [-] | g/U_g [$\text{m}^2\text{K/W}$] |
|------------|-------------|--|--|---|------------------------------------|
| 1 | 2 | – | 2,7 | 0,80 | 0,30 |
| 2 | 2 | + | 1,4 | 0,74 | 0,53 |
| 3 | 2 | + | 1,3 | 0,63 | 0,48 |
| 4 | 2 | + | 1,2 | 0,53 | 0,44 |

Zabudowany balkon jest strefą nieogrzewaną, a pomieszczenia mieszkalne podczas sezonu grzewczego są ogrzewane do temperatury $+20^{\circ}\text{C}$. W okresie letnim do oceny funkcjonowania systemu przyjęto zapotrzebowanie na energię chłodniczą konieczną do utrzymania w pomieszczeniach mieszkalnych temperatury nie wyższej niż $+26^{\circ}\text{C}$. Mimo że mieszkania w Polsce rzadko są klimatyzowane, taki sposób oceny jest stosowany w różnych pracach badawczych [12, 13] i pozwala na przejrzyste porównanie efektywności systemów pasywnych. Aby sprawdzić warunki panujące w mieszkaniu w ciągu lata bliższe rzeczywistości sposobowi użytkowania, przyjęto że nadmiar ciepła może być usuwany alternatywnie poprzez wietrzenie pomieszczeń. W obu wersjach założono, że okna mieszkania i balkonu mogą być zasłaniane zasłonami o przepuszczalności promieniowania wynoszącej 50%, jeżeli temperatura wewnętrzna przekroczy 24°C lub natężenie promieniowania słonecznego transmitowanego przez oszklenie będzie większe niż 150 W/m^2 .

3. Wyniki symulacji

Zapotrzebowanie na energię w mieszkaniu wyznaczono dla kolejnych zestawów oszkleń balkonu przedstawionych w tabeli 1, a wyniki porównano z bazową wersją mieszkania z balkonem otwartym (rys. 2).



Rys. 2. Zapotrzebowanie na energię w mieszkaniu

Fig. 2. Energy demand in the apartment

3.1. Zapotrzebowanie na ciepło

Zabudowa balkonu pozwoliła zmniejszyć zapotrzebowanie na ciepło w całym mieszkaniu od 27% do 35% (rys. 2). Zmiana zapotrzebowania na energię jest związana zarówno z izolacyjnością termiczną jak i transmisyjnością zestawu szyb. Najmniejsze zapotrzebowanie na ciepło uzyskano dla zestawu oszkleń nr 2, o największej proporcji przepuszczalności promieniowania słonecznego do współczynnika przenikania ciepła oszklelenia.

W pomieszczeniu sąsiadującym z balkonem zyski energetyczne są znacznie większe, i sięgają od 80% do 96%. Tak wysoka efektywność systemu szklarniowego wynika z przyjętych założeń badawczych – przede wszystkim z faktu, że przegroda między pokojem a balkonem jest jedyną przegrodą zewnętrzną przez którą występują straty ciepła. Przyczyniają się do niej również wysoka izolacyjność termiczna przegród balkonu i samego budynku.

3.2. Zapotrzebowanie na chłód

Niekorzystnym efektem pasywnego pozyskiwania energii słonecznej jest wzrost temperatury w pomieszczeniach w okresie letnim, kiedy podaż promieniowania rośnie. Przekłada się to na wzrost zapotrzebowania na chłód, wynoszący od 13% do 22% w porównaniu z mieszkaniem z balkonem otwartym. Największy wzrost potrzeb chłodniczych zaobserwowano w pomieszczeniu przyległym do balkonu, gdzie wyniósł on od 40% do 72% (rys. 2). Tym razem większy stosunek g/U_g jest czynnikiem niekorzystnym, powodującym wzrost temperatury wewnętrznej przy jednoczesnym ograniczeniu możliwości odprowadzenia ciepła przez obudowę. Należy też zauważyć, że w pokoju sąsiadującym z balkonem zapotrzebowanie na chłód przewyższa zapotrzebowanie na ciepło, co nie zdarza się w pozostałych pomieszczeniach ani w mieszkaniu z balkonem otwartym.

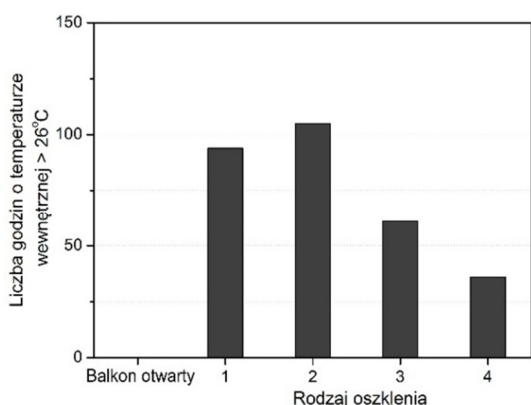
Mimo niekorzystnego wzrostu zapotrzebowania na energię chłodniczą, całkowite potrzeby energetyczne w mieszkaniu były mniejsze niż przed wprowadzeniem systemu szklarniowego (od 4% do 9%), co wynika z większego znaczenia redukcji zapotrzebowania na energię w sezonie grzewczym.

3.3. Możliwość pasywnego chłodzenia

Aktywne chłodzenie mechaniczne powoduje wzrost kosztów eksploatacji budynku, a także ma niekorzystny wpływ na środowisko naturalne przyczyniając się do zwiększenia emisji CO₂. Z tych względów sprawdzono możliwość obniżenia temperatury wewnętrznej innymi sposobami, określanymi w literaturze jako „pasywne” ze względu na to, że nie wiążą się ze zużyciem energii elektrycznej. Zalicza się do nich między innymi wietrzenie pomieszczeń oraz ograniczenie zysków słonecznych poprzez różnego rodzaju zasłony zewnętrzne lub wewnętrzne.

Wietrzenie rozpoczyna się jeżeli temperatura wewnętrzna przekracza 24°C (otwarte może być 50% powierzchni okien i 100% powierzchni drzwi balkonowych). Założenia dotyczące zasłaniania okien, jako wspólne dla obu wersji obliczeń, opisano w punkcie 2. Jako miarę przegrzewania przyjęto ilość godzin o temperaturze wyższej niż 26°C, która jest zalecana jako temperatura graniczna w budynkach bez wentylacji mechanicznej i chłodzenia [14]. Rozkład wyników i występowanie wartości maksymalnych jest podobne do zapotrzebowania na chłód, a średnia liczba godzin o temperaturze przewyższającej 26°C w pokoju sąsiadującym z balkonem wynosi 74 (rys. 3). Stanowi to około 5% godzin

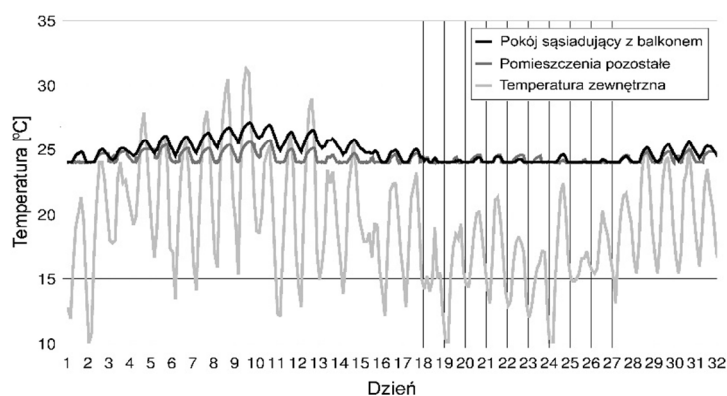
w lipcu i sierpniu. Najbardziej niekorzystne warunki występują w lipcu, i w tym miesiącu udział godzin o zbyt wysokiej temperaturze wynosi średnio 9%. Przepisy polskie nie podają dopuszczalnej długości okresu przegrzewania, jednak taki wynik należy uznać za wysoki (np. zalecenia brytyjskiej Chartered Institution of Building Services Engineers, CIBSE, mówią o 1% użytkowanych godzin jako poziomie akceptowalnym w budynkach nieklimatyzowanych [15]).



Rys. 3 Liczba godzin o temperaturze wewnętrznej powyżej 26°C, pokój sąsiadujący z balkonem

Fig. 3. Number of hours with internal temperature above 26°C, room adjacent to the balcony

Na korzyść analizowanego systemu przemawia fakt, że maksymalna temperatura operatywna w pokoju sąsiadującym z balkonem nie przekracza 28°C. Ta temperatura jest podawana w literaturze jako graniczna w pokojach dziennych, ze względu na większe możliwości adaptacyjne użytkowników niż np. w sypialniach [15]. Należy też podkreślić że w pozostałych pomieszczeniach przegrzewanie nie występuje, a temperatura operatywna nie przekracza 25°C (rys. 4).



Rys. 4. Temperatura operatywna w mieszkaniu, oszklenie 2, lipiec

Fig. 4. Operative temperature in the apartment, glazing 2, July

4. Podsumowanie

Zastosowane oszklenie znacząco wpływa na funkcjonowanie prezentowanego systemu szklarniowego i efektywność pozyskiwania energii słonecznej. Przy doborze oszklenia nie wystarczy kierować się jedynie izolacyjnością termiczną zestawu szyb, konieczne jest również uwzględnienie przepuszczalności promieniowania słonecznego. Jeżeli system szklarniowy ma zapewnić jak największe oszczędności energii w sezonie grzewczym, zalecanym rozwiązaniem będzie wybór oszklenia o największym stosunku g/U_g .

Pasywne pozyskiwanie energii słonecznej na ogół wiąże się ze zwiększonym ryzykiem przegrzewania pomieszczeń. W analizowanym przypadku, dzięki naturalnemu wietrzeniu i stosowaniu zasłon można było ograniczyć temperaturę wewnętrzną do akceptowalnego poziomu bez konieczności aktywnego chłodzenia. Należy jednak mieć na uwadze, że dane klimatyczne ujęte w Typowym Roku Meteorologicznym nie uwzględniają wzrostu temperatury zewnętrznej i nasłonecznienia, odczuwalnych w ciągu kilkunastu ostatnich lat [16]. Problem ten wymaga dalszych analiz, a przedstawione wyniki podkreślają konieczność projektowania systemów pasywnych z uwzględnieniem całorocznego cyklu użytkowania budynków.

Literatura

- [1] Balcomb J. D., Jones R. W., McFarland R. D., Wray W. O.: *Passive Solar Heating Analysis. A Design Manual*, ASHRAE, Atlanta 1984.
- [2] Jones R. W., McFarland R. D.: *The Sunspace Primer. A Guide for Passive Solar Heating*, Van Nostrand Reinhold Company, New York 1984.
- [3] Bataineh K.M., Fayed N.: Analysis of thermal performance of building attached sunspace. *Energy and Buildings*, vol. 43, 2011, pp. 1863-1868.
- [4] Hilliaho K., Eerik Mäkitalo E., Lahdensivu J.: Energy saving potential of glazed space: sensitivity analysis, *Energy and Buildings*, vol. 99, 2015, pp. 87-97.
- [5] Asdrubali F., Cotana F., Messineo A.: On the evaluation of solar greenhouse efficiency in building simulation during the heating period, *Energies*, vol. 5, 2012, pp. 1864-1880.
- [6] Dawdo Cz., Sarosiek W., Rudczyk-Malijewska E.: *Badania nad zmniejszeniem energochłonności eksploatacyjnej budynku poprzez zabudowę i termorenowację loggii*, Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Białystok 1991.
- [7] Wittchen K. B., Johnsen K., Grau K.: *BSim user's guide*, Danish Building Research Institute, Hørsholm 2004.
- [8] Narowski P.: Dane klimatyczne do obliczeń energetycznych w budownictwie, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, vol. 11, 2006, pp. 22-27.
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 czerwca 2014 roku w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego, Dz. U. z 2014, poz. 888.

- [10] Grudzińska M.: Oszklone balkony jako systemy szklarniowe – wpływ powierzchni oszklwienia na zyski energetyczne, *Izolacje*, nr 9, 2014, pp. 50-55.
- [11] Calumen II v. 1.3.1., Saint Gobain Glass.
- [12] Kisilewicz T.: Wpływ izolacyjnych, dynamicznych i spektralnych właściwości przegród na bilans cieplny budynków energooszczędnych, Monografia nr 364, Seria Inżynieria Lądowa, Wydawnictwo PK, Kraków 2008.
- [13] Persson M. L., Roos A., Wall M.: Influence of window size on the energy balance of low energy houses, *Energy and Buildings*, vol. 38, 2006, pp: 181-188.
- [14] PN EN 15251:2012: Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę.
- [15] CIBSE Guide A: Environmental design, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London 2015.
- [16] Grudzińska M., Jakusik E.: The efficiency of a typical meteorological year and actual climatic data in the analysis of energy demand in buildings, *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 36, 2015, pp. 658-669. DOI: 10.1177/0143624415573454.

CHOICE OF GLAZING IN PASSIVE GREENHOUSE SYSTEMS SUCH AS GLAZED BALCONIES

Summary

The paper examines the influence of glazing type used in enclosed balconies on the energy balance of a typical apartment in a multi-family building. Analyses include the whole-year functioning of the building, allowing to compare the effectivity of suggested solutions both during the heating and cooling season. Dynamic simulations were performed with the use of a computer program based on a control volume method for the climatic data included in the Typical Meteorological Year for Warsaw. Energy demand was calculated for different glazing types, and compared with the base case of an apartment with an open balcony. Taking into account heating demand, glazing with the highest proportion of total solar energy transmittance and thermal transmittance coefficient turned out to be the most beneficial. In the presented case, the glazed balcony helped to diminish heating demand on average by 31%. The adverse effect of a passive solar system may be overheating of rooms. Despite the increase of cooling demand, total energy needs in the apartment diminished by approximately 7%. Thanks to natural airing and solar shading, it was possible to lower internal temperature to the acceptable level without active cooling. The presented results show potential benefits connected with solar spaces, but also prove the necessity of thorough design of passive systems, taking into account the whole-year functioning.

Keywords: energy demand, efficiency of passive systems, solar radiation, dynamic computer simulations

DOI:10.7862/rb.2016.191

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 30.11.2016 r.