

dr inż. Magdalena Grudzińska¹⁾

Efektywność energetyczna lokali mieszkalnych z oszklonymi balkonami w polskich warunkach klimatycznych

Energy performance of glazed balconies in different climatic conditions

DOI: 10.15199/33.2015.08.14

Streszczenie. Artykuł dotyczy możliwości wykorzystania pasywnych systemów szklarniowych, takich jak oszklone balkony, w przykładowym budynku mieszkalnym w pięciu miejscowościach na terenie Polski, różniących się temperaturą powietrza zewnętrznego i nasłonecznieniem. Za pomocą dynamicznych symulacji komputerowych wyznaczono zapotrzebowanie na ciepło i chłód w mieszkaniu z oszklonym balkonem oraz porównano z charakterystyką energetyczną mieszkania bez balkonu. Obliczenia pokazały zróżnicowanie skuteczności systemów szklarniowych wynikające z warunków klimatycznych oraz pozwoliły na wyodrębnienie obszarów najbardziej nadających się do pasywnego wykorzystania energii promieniowania słonecznego.

Słowa kluczowe: systemy szklarniowe, pasywne wykorzystanie energii słonecznej, zapotrzebowanie na energię w mieszkaniach.

Abstract. The paper discusses the possibilities of using passive greenhouse systems, such as glazed balconies, in an example residential building. The analyses were carried out for five localities in Poland, different in terms of external air temperature and insolation. With the aid of dynamic computer simulations demand for heating and cooling in a flat with a glazed balcony was determined, and the outcomes were compared with the energy performance of a flat without a balcony. The calculations showed diversification in the effectiveness of greenhouse systems resulting from climatic conditions, and allowed areas which are the most suitable for the passive use of solar radiation to be identified.

Keywords: solar spaces, passive use of solar energy, energy demand in dwellings.

Systemy pasywne, do których zalicza się m.in. systemy szklarniowe, pozwalają na konwersję energii promieniowania słonecznego na energię cieplną dzięki odpowiedniej konstrukcji budynku i jego przegród. Źródła literaturowe podają dość szeroki zakres oszczędności energetycznych osiąganych dzięki przestrzeniom słonecznym [1, 2]. Z badań doświadczalnych prowadzonych w Polsce w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX wieku wynika, że zużycie energii w pomieszczeniu mieszkalnym sąsiadującym z zabudowaną loggią można zmniejszyć od ok. 20% do ok. 50%, w zależności od zastosowanych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych obudowy. Za stosowaniem systemów szklarniowych przemawia także prostota wykonania, niski koszt i duża atrakcyjność architektoniczna [3].

Warunki klimatyczne Polski

Polska leży w strefie klimatu umiarkowanego, o charakterze przejściowym pomiędzy klimatem morskim na zachodzie

a klimatem kontynentalnym na wschodzie. Najwyższa temperatura powietrza występuje w lipcu, a najniższa w styczniu. W latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku wyodrębniono w Polsce pięć stref klimatycznych (rysunek 1), charakteryzujących się zróżnicowaną temperaturą obliczeniową powietrza zewnętrznego [4].

Średnia wartość napromieniowania całkowitego w ciągu roku, mierzona na płaszczyźnie poziomej, wynosi ok. 1000 kWh/m², przy czym różnice regionalne nie przekraczają 10%. Za najbardziej korzystne pod względem dostępności promieniowania słonecznego uznano regiony nadmorski i podlasko-lubelski. Regiony warszawski i śląski są najmniej korzystne, przede wszystkim ze względu na duże zanieczyszczenie atmosfery [5].



Rys. 1. Strefy klimatyczne Polski i temperatury obliczeniowe w zimie wg [4]

Fig. 1. Climatic zones of Poland and design external temperatures in winter according to [4]

czyźnie poziomej, wynosi ok. 1000 kWh/m², przy czym różnice regionalne nie przekraczają 10%. Za najbardziej korzystne pod względem dostępności promieniowania słonecznego uznano regiony nadmorski i podlasko-lubelski. Regiony warszawski i śląski są najmniej korzystne, przede wszystkim ze względu na duże zanieczyszczenie atmosfery [5].

Dane klimatyczne przyjęte na potrzeby obliczeń

W związku z wprowadzeniem w Polsce obowiązku certyfikacji energetycznej budynków, w 2004 r. na podstawie danych źródłowych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB z lat 1971 – 2000, opracowano Typowy Rok Meteorologiczny (TRM) dla 61 miejscowości zgodnie z procedurami zawartymi w [6].

Dane te dostępne są na stronie internetowej Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju pod adresem: <http://www.mir.gov.pl>. Typowe Lata Meteorologiczne wykorzystywane są obecnie do wyznaczania zapotrzebowania na ciepło i chłód budynków istniejących i nowo projektowanych.

¹⁾ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury; e-mail: m.grudzinska@pollub.pl

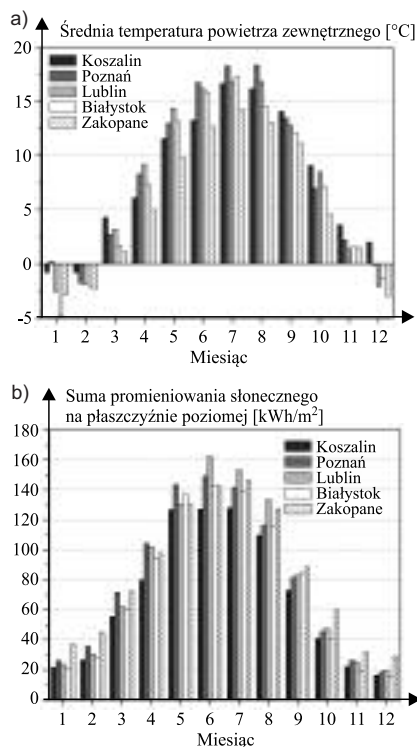
W artykule zaprezentowano 5 miejscowości należących do różnych stref klimatycznych: Koszalin; Poznań; Lublin; Białystok i Zakopane. TRM tych miejscowości opracowany został na podstawie trzydziestoletnich ciągów pomiarowych. W tabelach 1 i 2 oraz na rysunku 2 zestawiono podstawowe dane klimatyczne decydujące o zapotrzebowaniu na energię w okresie grzewczym i chłodniczym.

Koszalin położony jest na terenie I strefy klimatycznej. W sezonie grzewczym występuje najwyższa temperatura powietrza zewnętrznego, w połączeniu z najmniejszym natężeniem promieniowania słonecznego. Średnia temperatura w okresie letnim należy do najniższych spośród wybranych miejscowości, podobnie jak roczna amplituda.

Poznań leży w II strefie klimatycznej w środkowo-zachodniej Polsce. Klimat Poznania charakteryzuje się dość wysoką temperaturą w okresie grzewczym i najwyższą temperaturą latem oraz największą roczną amplitudą temperatury. W sezonie grzewczym występuje tu największa suma promieniowania słonecznego, a nasłonecznienie w okresie chłodniczym jest również dość wysokie.

Lublin leży w obszarze III strefy klimatycznej we wschodniej Polsce. Średnia temperatura w okresie grzewczym przyjmuje wartości pośrednie, w porównaniu z innymi strefami klimatycznymi, a w okresie letnim należy do najwyższych z analizowanych miejscowości. Region ten wyróżnia się najwyższym nasłonecznieniem w lecie, na skutek częstego napływu mas suchego powietrza z nad Ukrainy.

Białystok to miejscowość leżąca na obszarze IV strefy klimatycznej, w północno-



Rys. 2. Parametry klimatu zewnętrznego: a) średnia temperatura powietrza; b) suma promieniowania słonecznego na płaszczyźnie poziomej

Fig. 2. Climatic conditions in the analyzed localities: a) average air temperature; b) insolation on horizontal plane

-zachodniej Polsce. Charakteryzuje się niską temperaturą sezonu grzewczego i chłodniczego oraz małym nasłonecznieniem.

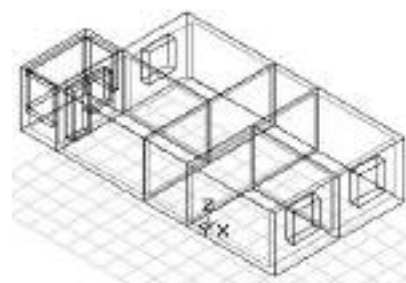
Zakopane położone jest na obszarze górskim, w południowej Polsce. W okresie letnim i zimowym występuje tu najniższa temperatura powietrza zewnętrznego. Warunki związane z działaniem pro-

mieniowania słonecznego są natomiast bardzo korzystne. Roczna suma promieniowania na powierzchnię poziomą oraz suma promieniowania w sezonie grzewczym są największe spośród prezentowanych miejscowości.

Założenia przyjęte w symulacjach

Obliczenia zapotrzebowania na energię w pomieszczeniach mieszkalnych i użyteczności publicznej przeprowadzono, korzystając z programu symulacyjnego BSim, opracowanego przez Uniwersytet w Aalborg w Danii. Program może być wykorzystywany zarówno w celach badawczych, jak i projektowych. W obliczeniach wykorzystywana jest metoda objętości kontrolnych, w której elementy konstrukcji budynku i zamknięte strefy powietrza reprezentowane są przez punkty węzłowe o określonych właściwościach fizycznych, takich jak np. gęstość, przewodność czy pojemność cieplna. Dla każdej ze stref powietrza formułowany jest bilans uwzględniający strumień ciepła przepływającego przez obudowę, transmisję promieniowania słonecznego przez elementy przezroczyste, strumień ciepła wytwarzanego przez systemy instalacyjne oraz przenoszonego przez wentylację, infiltrację lub międzystrefowe mieszanie powietrza. Procesy ciągłe w czasie modelowane są przez podział na kroki czasowe o skończonej długości, wynoszącej najczęściej od kilku do kilkunastu minut [7].

Analizie poddano mieszkanie o powierzchni ok. 74 m² i wysokości kondygnacji netto 2,70 m, zlokalizowane w środkowej części budynku (rysunek 3). Mieszkanie ma dwie przeciwległe ściany zewnętrzne, a pozostałe przegrody stykają się z pomieszczeniami ogrzewanymi tego samego rodzaju i traktowane są jako powierzchnie adiabatyczne. Balkon o powierzchni 5,4 m² skierowany jest na południe. Obudowa balkonu jest pełna do wy-



Rys. 3. Schemat mieszkania zamodelowanego w programie BSim

Fig. 3. The dwelling modelled in BSim program

Tabela 1. Średnia temperatura powietrza zewnętrznego [°C]

Table 1. Average temperatures of external air [°C]

Strefa klimatyczna	Miejscowość	Sezon grzewczy	Sezon chłodniczy	Średnia roczna	Temp. minimalna	Temp. maksymalna	Amplituda roczna
I	Koszalin	4,4	15,1	8,0	-16,5	27,7	44,2
II	Poznań	3,9	16,8	8,2	-15,6	35,2	50,8
III	Lublin	3,8	15,7	7,7	-17,7	30,3	48,0
IV	Białystok	2,8	15,0	6,9	-17,6	30,8	48,4
V	Zakopane	1,7	12,8	5,4	-16,6	27,2	43,8

Tabela 2. Suma nasłonecznienia na płaszczyźnie poziomej [kWh/m²]

Table 2. Sums of solar radiation on a horizontal surface [kWh/m²]

Strefa klimatyczna	Miejscowość	Sezon grzewczy	Sezon chłodniczy	Suma roczna	Miesięczne nasłonecznienie minimalne	Miesięczne nasłonecznienie maksymalne
I	Koszalin	389,72	437,63	827,34	16,29	127,87
II	Poznań	471,78	489,05	960,83	18,38	149,28
III	Lublin	442,26	532,51	974,77	19,79	162,36
IV	Białystok	415,30	481,83	897,14	16,04	142,76
V	Zakopane	502,94	503,73	1006,67	28,96	146,09

sokości 1,0 m i oszklona powyżej. Izolacyjność termiczna obudowy jest dosyć wysoka, co jest rozwiązaniem korzystnym ze względu na lepszy efekt buforowy w okresie grzewczym i mniejsze przegrzewanie przyległych pomieszczeń w lecie [8, 9]. Podstawowe parametry przegród zewnętrznych mieszkania i balkonu zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Charakterystyka termiczna przegród zewnętrznych

Table 3. Thermal parameters of building's casing

Rodzaj przegrody	Współczynnik przenikania ciepła [W/m ² K]	Całkowita przepuszczalność promieniowania słonecznego [-]
Mieszkanie – ściany zewnętrzne	0,25	–
Mieszkanie – okna	1,60	0,62
Balkon – obudowa pełna	0,30	–
Balkon – oszklenie	1,70	0,62

W mieszkaniu wyróżniono trzy strefy termiczne – balkon, sąsiadujące z nim pomieszczenie i pozostałe pomieszczenia mieszkalne, w przypadku których w różny sposób zdefiniowano warunki wewnętrzne. Balkon jest pomieszczeniem nieogrzewanym. W okresie letnim przewidziano możliwość wietrzenia balkonu przez otwarcie okien, jeżeli temperatura powietrza wewnętrznego przekroczy 26 °C. Strefa mieszkalna jest klimatyzowana. Pomieszczenia ogrzewane są do temperatury +20 °C, a chłodzenie jest uruchamiane, jeżeli temperatura przekroczy +26 °C. Praca instalacji ma charakter ciągły, a zapotrzebowanie na ciepło i chłód wyznaczono, nie uwzględniając sprawności systemów instalacyjnych.

Wyniki analizy

W mieszkaniu wyznaczono zapotrzebowanie na ciepło w sezonie grzewczym, zapotrzebowanie na chłód w okresie letnim oraz rzeczywistą długość sezonu grzewczego i chłodniczego w każdej z opisanych lokalizacji. Wyniki porównano z charakterystyką energetyczną takiego samego mieszkania bez oszklonego balkonu.

Zapotrzebowanie na ciepło. W mieszkaniach bez balkonów i mieszkaniach wyposażonych w oszklone balkony otrzymano podobny charakter wyników. Obiekty zlokalizowane w I i II strefie klimatycznej wykazały najmniejsze potrzeby grzewcze, przede wszystkim dzięki wysokiej temperaturze zewnętrznej. Największe zapotrzebo-

wanie na ciepło uzyskano w Białymstoku (większe o 22,7% w porównaniu z Koszalinem), na skutek niskiej temperatury powietrza zewnętrznego i małego natężenia promieniowania słonecznego. Zakopane, mimo najniższej średniej temperatury sezonu grzewczego, okazało się lokalizacją korzystną, dzięki najwyższemu nasłonecznieniu w okresie zimowym.

W każdej z miejscowości wprowadzenie pasywnego systemu szklarniowego spowodowało zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło i skrócenie sezonu grzewczego (tabela 4 i 5). Największe efekty zaobserwowano w Zakopanem, gdzie oszczędności energetyczne wyniosły prawie 21%, a sezon grzewczy ograniczono do 107 dni. Najmniejszą skuteczność pasywnego pozyskiwania energii słonecznej odnotowano w Białymstoku. Zapotrzebowanie na ciepło zmniejszyło się tam o 14,5%, a sezon grzewczy pozostał najdłuższy (rysunek 4). Poza specyficznymi warunkami górskimi, skuteczność pasywnego pozyskiwania

Tabela 4. Zapotrzebowanie na ciepło i efekty wprowadzenia systemu pasywnego

Table 4. Heating demand and the effects of implementing the passive solar space

Miejscowość	Mieszkanie bez balkonu [kWh/rok]	Mieszkanie z oszklonym balkonem [kWh/rok]	Zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło [%]
Koszalin	2562,05	2115,51	17,4
Poznań	2583,85	2126,47	17,7
Lublin	2831,68	2380,47	15,9
Białystok	3143,35	2688,44	14,5
Zakopane	2756,45	2179,24	20,9

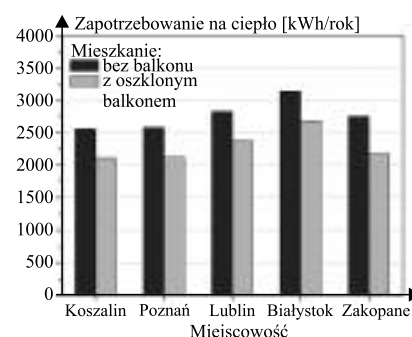
Tabela 5. Długość sezonu grzewczego

Table 5. Length of the heating season

Miejscowość	Mieszkanie bez balkonu [dni]	Mieszkanie z oszklonym balkonem [dni]	Skrócenie sezonu grzewczego [%]
Koszalin	211	132	37,4
Poznań	178	126	29,2
Lublin	184	137	25,5
Białystok	193	154	20,2
Zakopane	205	107	47,8

energii słonecznej okazała się tym większa, im wyższa była temperatura zewnętrzna w sezonie grzewczym.

Zapotrzebowanie na chłód. Największe zapotrzebowanie na chłód uzyskano w Lublinie i Poznaniu w wyniku najwyższej temperatury i wysokiego nasłonecznienia, natomiast najmniejsze w Zakopanem i Koszalinie, mimo różnych warun-



Rys. 4. Zapotrzebowanie na ciepło w analizowanych miejscowościach

Fig. 4. Heating demand in the analyzed localities

ków zewnętrznych. Zakopane jest miejscowością o najniższej temperaturze zewnętrznej i największym natężeniu promieniowania słonecznego, w Koszalinie natomiast średnia temperatura okresu chłodniczego jest wyższa, ale nasłonecznienie mniejsze.

W każdej miejscowości wprowadzenie systemów szklarniowych spowodowało znaczny wzrost potrzeb chłodniczych w cieplejszej części roku (tabela 6). Im mniejsze było początkowe zapotrzebowanie na energię w mieszkaniu bez balkonu, tym większy odnotowano efekt wprowadzenia systemu pasywnego. W przypadku Zakopanego, gdzie zapotrzebowanie na chłód w mieszkaniu bez balkonu było najmniejsze, wzrost zapotrzebowania na energię wyniósł ponad 200%. Najmniejszy przyrost zapotrzebowania na chłód uzyskano w Poznaniu (niecałe 60%), gdzie bazowe zapotrzebowanie

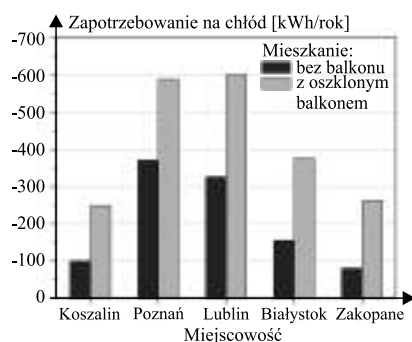
Tabela 6. Zapotrzebowanie na chłód i efekty wprowadzenia systemu pasywnego

Table 6. Cooling demand and the effects of implementing the passive solar space

Miejscowość	Mieszkanie bez balkonu [kWh/rok]	Mieszkanie z oszklonym balkonem [kWh/rok]	Wzrost zapotrzebowania na chłód [%]
Koszalin	-101,03	-249,61	147,1
Poznań	-370,74	-588,38	58,7
Lublin	-326,37	-600,32	83,9
Białystok	-155,86	-376,34	141,5
Zakopane	-81,21	-262,09	222,7

na energię chłodniczą w mieszkaniu bez balkonu było największe (rysunek 5).

Najdłuższy okres chłodniczy w mieszkaniu z oszklonym balkonem otrzymano w Lublinie (tabela 7), co wynika z największego natężenia promieniowania słonecznego latem oraz zwiększonego udziału promieniowania bezpośredniego. Najkrótszy okres chłodniczy charakteryzował Zako-



Rys. 5. Zapotrzebowanie na chłód w analizowanych miejscowościach

Fig. 5. Cooling demand in the analyzed localities

Tabela 7. Długość sezonu chłodniczego

Table 7. Length of the cooling season

Miejscowość	Mieszkanie bez balkonu [dni]	Mieszkanie z oszklonym balkonem [dni]	Wydłużenie sezonu chłodniczego [%]
Koszalin	24	90	275,0
Poznań	63	113	79,4
Lublin	61	131	114,8
Białystok	29	112	286,2
Zakopane	28	78	178,6

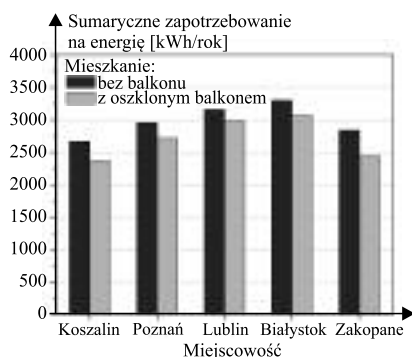
pane i Koszalin, przy czym w pierwszej miejscowości jest to związane z niską temperaturą powietrza zewnętrznego w lecie, a w drugiej – z mniejszą podażą promieniowania słonecznego.

Sumaryczne zapotrzebowanie na energię. Ze względu na to, że efekty wprowadzenia systemu szklarniowego są różne w okresie letnim i zimowym, porównano sumaryczne zapotrzebowanie na energię w danym obiekcie (tabela 8). Mimo przyrostu zapotrzebowania na chłód, całkowite zapotrzebowanie na energię uległo zmniejszeniu w przypadku każdej z lokalizacji. Potencjalne oszczędności są jednak mniejsze, jeżeli weźmiemy pod uwagę całoroczny cykl użytkowania budynku, i wynoszą od 5,6 do 14% (rysunek 6).

Tabela 8. Sumaryczne zapotrzebowanie na energię i efekty wprowadzenia systemu pasywnego.

Table 8. Total energy demand and the effects of implementing the passive solar space

Miejscowość	Mieszkanie bez balkonu [kWh/rok]	Mieszkanie z oszklonym balkonem [kWh/rok]	Zmniejszenie zapotrzebowania na energię [%]
Koszalin	2663,08	2365,12	11,2
Poznań	2954,59	2714,85	8,1
Lublin	3158,05	2980,79	5,6
Białystok	3299,21	3064,78	7,1
Zakopane	2837,66	2441,33	14,0



Rys. 6. Całkowite zapotrzebowanie na energię

Fig. 6. Total energy demand

Miejscowości, w których system szklarniowy pozwala osiągnąć najlepsze efekty energetyczne, to Koszalin i Zakopane. Oszczędności energii są największe zarówno w sezonie grzewczym, jak i w cyklu rocznym. Także bezwzględna wielkość zapotrzebowania na chłód pozostaje najmniejsza spośród rozpatrywanych lokalizacji. Korzystne uwarunkowania do wprowadzenia systemów szklarniowych wiążą się z odmiennymi warunkami klimatycznymi. W obszarze nadmorskim (Koszalin) wynikają one z wysokich temperatur sezonu grzewczego i najniższego nasłonecznienia w okresie letnim. W rejonie górskim (Zakopane) są przede wszystkim efektem wysokiego nasłonecznienia w zimie i niskich temperatur w lecie.

W Poznaniu i Lublinie osiągnięto duże oszczędności energii zużywanej na ogrzewanie, jednak całoroczna ocena funkcjonowania budynku jest gorsza, ze względu na wzrost zapotrzebowania na chłodzenie. Nie wyklucza to stosowania systemów pasywnych, ale zwraca uwagę na konieczność projektowania odpowiednich zabezpieczeń przed przegrzaniem. Wyniki analiz wskazują również, że w obszarze środkowej i środkowo-wschodniej Polski bardziej korzystne mogłyby okazać się systemy aktywne, takie jak kolektory słoneczne lub panele fotowoltaiczne.

Obszar północno-wschodniej Polski (Białystok) jest terenem, gdzie potencjalne korzyści związane z zastosowaniem oszklonych balkonów są najmniejsze. Niskie temperatury sezonu grzewczego w połączeniu z małym natężeniem promieniowania słonecznego nie stwarzają dobrych warunków do pasywnego lub aktywnego pozyskiwania energii słonecznej.

Podsumowanie

Skuteczność zaprojektowanych systemów pasywnych w dużej mierze zależy od warunków klimatycznych. W Polsce ocenia się, że systemy pasywne nie wyeliminują potrzeby tradycyjnego ogrzewania [2, 3, 5]. Mogą one jednak przyczynić się do zmniejszenia zużycia paliw nieodnawialnych i skrócenia sezonu grzewczego.

Pasywne systemy słoneczne są źródłem oszczędności energetycznych w sezonie grzewczym, ale mogą też zwiększać zużycie energii na chłodzenie pomieszczeń w okresie letnim. Na terenie Polski potencjalne oszczędności związane z zastosowaniem systemu szklarniowego wyniosły od ok. 15% do 21%, a po uwzględnieniu całkowitego zużycia energii – od przeszło 5% do 14,0%. Należy jednak wspomnieć, że przegrzewanie pomieszczeń w okresie letnim można zmniejszyć nie tylko stosując chłodzenie obiektu, ale także wykorzystując mniej kosztowne i energochłonne metody, takie jak zwiększenie intensywności wentylacji mechanicznej lub okresowe wietrzenie pomieszczeń.

Literatura

- [1] Dawdo Cz., Sarosiek W., Rudezyk-Malijewska E. „Badania nad zmniejszeniem energochłonności eksploatacyjnej budynku poprzez zabudowę i termorenowację loggii”, Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Białystok 1991.
- [2] Laskowski L. „Systemy biernego ogrzewania słonecznego. Zagadnienia funkcjonowania i efektywności energetycznej”, PAN, Studia z Zakresu Inżynierii Nr 34, Warszawa 1993.
- [3] Chwieduk D. „Energetyka słoneczna budynku”, Arkady, Warszawa 2011.
- [4] PN – 74/B – 02403. Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne.
- [5] „Konwersja termiczna energii słonecznej w warunkach krajowych”, redakcja Gogół W., Polska Akademia Nauk, Warszawa 1993.
- [6] EN ISO 15927-4:2007 „Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe budynków. Obliczanie i prezentacja danych klimatycznych. Część 4: Dane godzinowe do oceny rocznego zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia”.
- [7] Wittchen KB, Johnsen K, Grau K. „BSim user's guide”, Danish Building Research Institute, 2004.
- [8] Grudzińska M. „Oszklone balkony jako systemy szklarniowe – wpływ powierzchni oszklwienia na zyski energetyczne (cz. II)”, Izolacje, nr 9/2014, s. 50 – 55.
- [9] „Sustainable Solar Housing”, redakcja Hastings R. S., Wall M., Earthscan, London 2007.

Przyjęto do druku: 26.05.2015 r.