ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2006
Seria: BUDOWNICTWO z. 109 Nr kol. 1735

Dominik WOJEWÓDKA*
Politechnika Śląska, Gliwice

WYKORZYSTANIE TEMPERATURY SŁONECZNEJ W BILANSIE ENERGETYCZNYM BUDYNKU

Streszczenie. W referacie podjęto próbę oceny wpływu natężenia promieniowania słonecznego na pionowe przegrody budowlane w bilansie energetycznym budynku. Do obliczeń wykorzystano dane klimatyczne zarejestrowane na stanowisku badawczym Katedry Procesów Budowlanych Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

THE UTILIZATION OF THE SOL-AIR TEMPERATURE IN THE ENERGY BALANCE OF THE BUILDING

Summary. In the paper a trial evaluation of the influence of solar irradiance on vertical building structures in the energy balance of the building was taken up. Climatic data obtained on research stand of Department of Building Processes of Silesian University of Technology were used in calculations.

1. Wprowadzenie

Obecnie na utrzymanie budynków mieszkalnych przypada blisko 35–40% energii wykorzystywanej w Polsce, z czego około 70% przypada na ogrzewanie i wentylację [1]. Przepisy minionych lat obowiązujące w budownictwie nie stawiały wysokich wymagań, jeśli chodzi o ilości zużywanej energii, co związane było z powszechną opinią o jej dostępności i niskich kosztach uzyskania. Obecnie postępujące negatywne zmiany wielkości kosztów energii i dążenie do ograniczenia wykorzystania nieodnawialnych surowców energetycznych, zmuszają tak ustawodawców, jak i użytkowników do działań zmniejszających ilości zużywanej energii, szczególnie na cele ogrzewania [1].

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jan Ślusarek, prof. w Politechnice Śląskiej

Podstawowym elementem decydującym o poziomie potrzeb grzewczych jest standard energetyczny budynków, który charakteryzowany jest przez wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń *E*, wyznaczany na podstawie bilansu energetycznego strat i zysków ciepła w budynku [6]. Bilans energetyczny budynku stanowi jedną z możliwości dokonania oceny jakości cieplnej budynków. Bazuje on na obliczeniu wspomnianego wskaźnika *E*, który łączy parametry materiałowo-konstrukcyjne budynku z warunkami eksploatacji pod wpływem oddziaływania klimatu zewnętrznego [2]. Znajduje przez to coraz szersze zastosowanie w ocenie cieplnej obiektów i zgodnie z zapisem rozporządzenia [12] jest obligatoryjnym miernikiem charakterystyki energetycznej budynku mieszkalnego czy zamieszkania zbiorowego.

Obniżenie wartości wskaźnika *E*, a więc i kosztów ogrzewania wiąże się ze zmniejszeniem strat ciepła w ogrzewanych budynkach, w szczególności strat przez przenikanie przez przegrody i na podgrzanie powietrza wentylacyjnego, co przeważa w budynkach wielorodzinnych [6]. Istotnym zadaniem projektanta jest właściwa ocena wszelkich czynników, wpływających na poziom strat i zysków ciepła w bilansie energetycznym budynku. Jednym z ważniejszych zagadnień w metodyce obliczeń jest prawidłowe rozpoznanie parametrów klimatu oddziałującego na budynek. Analizowanym w pracy parametrem klimatu jest promieniowanie słoneczne. W referacie podjęto próbę oceny wpływu promieniowania słonecznego na pionowe przegrody budowlane w bilansie energetycznym budynku. Wpływ promieniowania słonecznego ujęty został za pomocą temperatury słonecznej.

2. Charakterystyka przyjętej metodologii badawczej

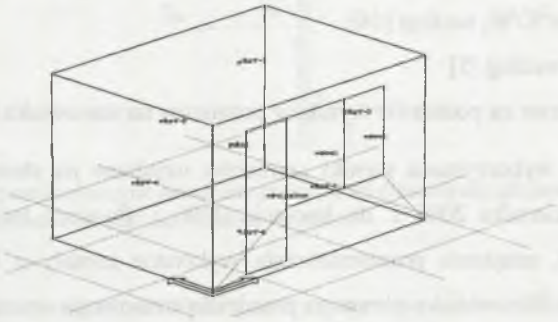
Badania własne autora obejmowały obliczenie temperatury słonecznej, na podstawie dostępnych parametrów klimatu zewnętrznego dla miasta Gliwice. Uzyskane wartości zostaną wykorzystane do wyznaczenia na przyjętym modelu obliczeniowym wielkości strat ciepła przez pionową przegrodę zewnętrzną w wybranym przedziale czasowym. Wyniki zostaną porównane z wartościami strat obliczonymi metodą dokładną według normy [13].

Wykorzystane do obliczeń dane klimatyczne, tj. temperatura powietrza zewnętrznego, i natężenie promieniowania słonecznego, pochodzą z pomiarów prowadzonych w latach 2005 oraz 2006 na stanowisku badawczym w Katedrze Procesów Budowlanych.

Aparatura pomiarowa wchodząca w skład stanowiska badawczego to solarymetr, oporowe czujniki temperatury typu Pt 100, cyfrowy system pomiarowy w standardzie IEC 625, stacja pogody Kombi WS 2305, komputer stacjonarny [9].

2.1. Opis przyjętego modelu obliczeniowego

Sporządzono model typowego dla systemu budownictwa mieszkaniowego i ogólnego W-70 [7] pomieszczenia mieszkalnego z balkonem. Wykonany przy użyciu programu do symulacji cieplnej budynków ESP-r model, przedstawiono na rys. 1 [10].



Rys. 1. Model wykorzystany w obliczeniach
Fig. 1. Model used in calculations

Ogólna charakterystyka modelu:

- wymiary w osiach: szerokość – 480 cm, wysokość – 280 cm, głębokość – 360 cm,
- ściany: balkonowa – gazobeton (24 cm), pozostałe – prefabrykat żelbetowy (15 cm),
- strop: płyta żelbetowa (22 cm),
- dane materiałowe: pozycja [5] i [14] literatury,

Założono, iż ściana balkonowa jest jedyną przegrodą zewnętrzną. Straty ciepła do otoczenia obliczane będą tylko dla badanej pionowej przegrody zewnętrznej – ściany balkonowej. Przyjęta do obliczeń powierzchnia przegrody bez części przezroczystej (okna, drzwi balkonowe): 7,98 m^2.

2.2. Metodyka wyznaczenia temperatury słonecznej

Hipotetyczna wartość temperatury powietrza zewnętrznego, przy której moc cieplna, przejmowana przez nienasłonecznioną powierzchnię przegrody zewnętrznej, jest równa mocy cieplnej, jaką przejmuje nasłoneczniona przegroda przy danej temperaturze powietrza zewnętrznego, zdefiniowana jest jako temperatura słoneczna [3,4]. W źródłach literaturowych

można znaleźć różne sposoby matematycznego wyrażenia temperatury słonecznej. W referacie wykorzystano wzór [5]:

$$t_{eo} = t_{ao} + R_{so} a I_G \tag{1}$$

gdzie:

t_{eo} – temperatura słoneczna, t_{ao} – temperatura powietrza zewnętrznego, R_{so} – opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody, a – absorpcyjność promieniowania słonecznego, I_G – natężenie promieniowania słonecznego.

Do obliczeń przyjęto następujące wartości:

t_{ao} = według wyników pomiarów na stanowisku badawczym

R_{so} = 0,04 m^2K/W, według [14]

a = 0,65, według [5]

I_G = obliczone na podstawie wyników pomiarów na stanowisku badawczym.

W obliczeniach wykorzystano wyniki pomiarów uzyskane na stanowisku badawczym w okresie od października 2005 r. do kwietnia 2006 r. Pomiary temperatury powietrza zewnętrznego, jak i natężenia promieniowania wykonane zostały z krokiem czasowym równym 1 godzinie. Dla całego wybranego przedziału czasowego wyznaczono temperaturę słoneczną zgodnie z częstotliwością pomiarów parametrów klimatu. Następnie dla każdego dnia w miesiącu obliczono średnią arytmetyczną temperatury słonecznej, którą wykorzystano do obliczeń dobowych strat ciepła. Uzyskane wartości strat ciepła porównane zostaną z metodą dokładną według normy [13].

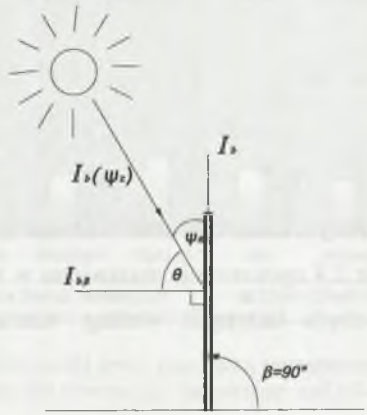
Z uwagi na fakt, że na stanowisku badawczym zarejestrowano natężenie promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę poziomą, konieczne było przeliczenie jego wartości na badaną w pracy płaszczyznę pionową. Wymagane jest w tym celu przemnożenie natężenia bezpośredniego I_b na płaszczyznę poziomą przez współczynnik geometryczny R_b, wyrażony za pomocą wzoru [8]:

$$R_b = \frac{I_{b\beta}}{I_b} = \frac{I_b(\psi_z)\cos\theta}{I_b(\psi_z)\cos\psi_z} \tag{2}$$

gdzie:

I_b – natężenie bezpośrednie promieniowania na płaszczyznę poziomą, $I_{b\beta}$ – natężenie promieniowania bezpośredniego padającego pod kątem θ na płaszczyznę nachyloną do poziomu pod kątem β, $I_b(\psi_z)$ – natężenia promieniowania bezpośredniego na płaszczyźnie prostopadłej do kierunku, z którego ono przychodzi, θ – kąt określający wysokość słońca nad horyzontem (w przypadku płaszczyzny pionowej), ψ_z – kąt padania natężenia bezpośredniego I_b na płaszczyznę poziomą.

Kąt θ określający w przypadku płaszczyzny pionowej wysokość słońca nad horyzontem wyznaczono przy użyciu programu komputerowego Solar Toll [11]. Graficzną interpretację przedstawiono na rysunku rys. 2. [8].



Rys. 2. Bezpośrednie promieniowanie słoneczne padające na płaszczyznę pionową
Fig. 2. Direct solar irradiance on vertical building structure

2.3. Metodyka wyznaczenia strat ciepła przez przegrodę pionową nieprzezroczystą

Obliczenia prowadzono według metodyki bilansowej zawartej w normie [13], wykorzystując metodę dokładną obliczenia składników strat ciepła. Straty ciepła przez przegrody pionowe dla przyjętego według modelu pomieszczenia w wybranym miesiącu wyznacza się ze wzoru [13]:

$$Q_k(m) = 86400 U_k A_k [(T_{ij} - T_e(m))] Ld(m) \tag{3}$$

gdzie:

86 400 – liczba sekund w dobie, U_k – współczynnik przenikania ciepła przegrody z uwzględnieniem mostków termicznych, A_k – pole powierzchni przegrody w osiach konstrukcyjnych, T_{ij} – obliczeniowa temp. powietrza wewn., T_e – średnia temp. powietrza zewn., Ld (m) – liczba dni w miesiącu m-tym, m – numer miesiąca.

Obliczenia przeprowadzono dla każdego dnia w miesiącu dla wyznaczonej średniej dobowej temperatury powietrza zewnętrznego. Wzór uproszczono więc do postaci:

$$Q_k(m) = 86400 U_k A_k (T_{ij} - T_e) \tag{4}$$

Współczynnik przenikania ciepła obliczony na podstawie normy [14] jest równy $U_k = 0{,}97$ W/m^{2}K z uwzględnieniem mostka liniowego balkonowego. Temperaturę powietrza wewnątrz pomieszczenia przyjęto stałą i równą T_{ij} = 20°C. Temperaturę powietrza zewnętrznego

przyjęto na podstawie pomiarów uzyskanych na stanowisku badawczym. Straty ciepła z wykorzystaniem temperatury słonecznej uzyskano wstawiając do wzoru (4) T_{eo} zamiast T_e:

$$Q_k(m) = 86400 U_k A_k (T_{ij} - T_{eo}) \tag{5}$$

3. Wyniki badań

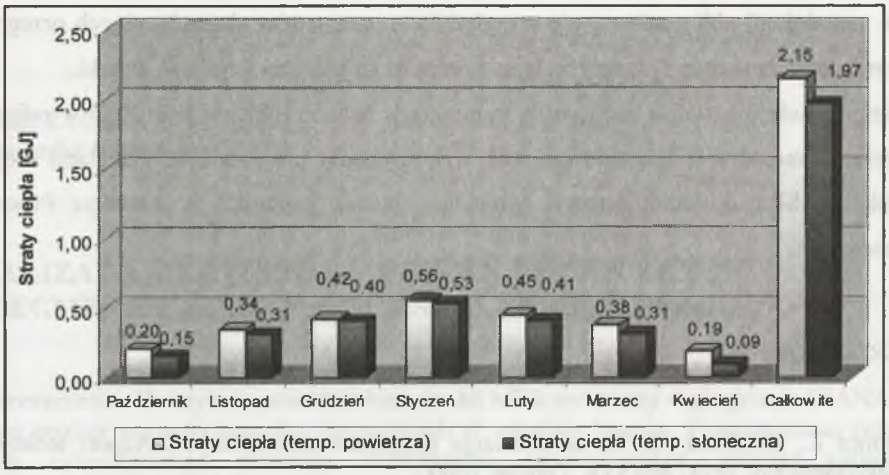
Średnie wartości temperatury słonecznej oraz wartości strat ciepła obliczone według metodyki zawartej w punkcie 2.3 opracowania zestawiono w tabeli 1. Przedstawiono także procentową różnicę strat ciepła liczonych według wzoru (4) oraz wzoru (5) dla poszczególnych miesięcy.

Tabela 1

Obliczone wartości temperatury słonecznej i strat ciepła według (1), (4), (5)

Miesiąc	Średnia temp. powietrza [°C]	Średnie natęż. promieniow. [W/m^2]	Średnia temp. słoneczna [°C]	Straty normalnie [GJ]	Straty wg temp słon. [GJ]	Różnica [%]
Październik	10,2	93,57	12,6	0,20	0,15	24,7
Listopad	3,5	59,77	5,0	0,34	0,31	9,4
Grudzień	-0,4	34,12	0,5	0,42	0,40	4,4
Styczeń	-6,9	45,13	-5,7	0,56	0,53	4,4
Luty	-1,8	75,49	0,1	0,45	0,41	9,0
Marzec	1,7	125,01	4,9	0,38	0,31	17,7
Kwiecień	11,0	171,72	15,5	0,19	0,09	49,7
Całkowite			SUMA	2,15	1,97	8,5

Na rys. 3 zestawiono dla każdego miesiąca straty ciepła obliczone według wzoru (4) oraz według wzoru (5).



Rys. 3. Straty ciepła przez przenikanie dla temp. powietrza zewnętrznego i temp. słonecznej
Fig. 3. Heat losses by transmission for external air temperature and sol-air temperature

Wzrost natężenia promieniowania słonecznego wpływa na podwyższenie wartości temperatury słonecznej. Jest to szczególnie wyraźnie widoczne w miesiącach październiku, marcu i kwietniu. Zaobserwowano także, że wykorzystanie w obliczeniach temperatury słonecznej powoduje zmniejszenie strat ciepła przez przenikanie przez przegrodę pionową. Różnica obliczonych wartości wzrasta proporcjonalnie do poziomu natężenia promieniowania słonecznego w danym miesiącu.

4. Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników można zauważyć, że wykorzystanie temperatury słonecznej w bilansie energetycznym budynków powoduje zmniejszenie strat ciepła przez przenikanie przez pionowe przegrody budowlane w stosunku do wartości liczonych według normy [12]. Wielkość tych strat zależy głównie od natężenia promieniowania słonecznego. Ponadto, istotne są zastosowane rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe przegrody, które warunkują wartość przyjętego współczynnika absorpcyjności promieniowania słonecznego a i obliczonego współczynnika przenikania ciepła U. Dla modelu przyjętego do analizy całkowite zmniejszenie strat ciepła w okresie od października 2005 do kwietnia 2006 r. wyniosło 8,5%, co w przypadku obiektów o dużej powierzchni przegród pionowych może istotnie zmniejszyć obliczane sezonowe straty ciepła przez przenikanie.

W metodologii obliczeniowej nie uwzględniono parametrów akumulacyjnych przegrody, które mogłyby zmniejszyć przepływ ciepła i przez to wpłynąć na uzyskane wyniki.

Przeprowadzona analiza zachęca do kontynuacji badań problemu podjętego w referacie, poszerzenia metodyki obliczeniowej oraz wykorzystania programu do symulacji cieplnej budynków ESP-r do komputerowej symulacji zjawisk badanych w Katedrze Procesów Budowlanych.

LITERATURA

1. Bonca Z., Lewiński A.: Termorenowacja budynków mieszkalnych. Aspekt techniczny i ekonomiczny, IPPU MASTA, Gdańsk 2000.
2. Laskowski L.: Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006.
3. Jones W.P.: Klimatyzacja. Arkady, Warszawa 1981.
4. Malicki M.: Wentylacja i klimatyzacja. PWN, Warszawa 1974.
5. Markus T.A., Morris E.N.: Buildings, Climate and Energy. Pitman Publishing Limited, London 1980.
6. Praca zbiorowa: Budownictwo ogólne. Tom 2 – fizyka budowli, Arkady, Warszawa 2005.
7. Pliszek E.: Praca zbiorowa, Systemy budownictwa mieszkaniowego i ogólnego W-70, Szczeciński, SBO, SBM-75. Arkady, Warszawa 1972.
8. Smolec W.: Fototermiczna konwersja energii słonecznej. PWN, Warszawa 2000.
9. Belok J., Ślusarek J.: Dynamic Analysis and Modelling Techniques for Energy in Buildings. Conference „Dynamic Analysis Methods Applied to Energy Performance Assessment of Buildings''. Ispra 13÷14 November, 2003.
10. The ESP-r System for Building Energy Simulation.User Guide Version 9 Series, University of Strathclyde, ESRU Manual U97/1, UK 1997.
11. The Solar Tool ver. 200, 1994-2006 Dr. Andrew J. Marsh & Square One research.
12. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. wraz z późniejszymi zmianami, w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU nr 75 poz. 690 z 2002 r.).
13. PN-B-02025: 1999 – Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej.
14. PN-EN ISO 6946: 1999 – Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Halina Koczyk