

Alicja SIUTA-OLCHA¹, Tomasz CHOLEWA¹ i Łukasz GUZ¹

ANALIZA PORÓWNAWCZA POTRZEB ENERGETYCZNYCH JEDNORODZINNYCH BUDYNKÓW MIESZKALNYCH O RÓŻNYM STANDARDZIE WYKONANIA

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY DEMAND FOR SINGLE-FAMILY BUILDINGS WITH DIFFERENT STANDARD OF REALIZATION

Abstrakt: Ograniczenie zużycia energii oraz wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych w sektorze budynków mieszkalnych jest działaniem priorytetowym w krajach członkowskich Unii Europejskiej. Działania te pozwalają na efektywne i zrównoważone wykorzystanie potencjału paliw kopalnych oraz na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych, powstających w procesie energetycznego spalania paliwa. Stale rosnące ceny nośników energii również wymuszają konieczność poprawy charakterystyki energetycznej danego budynku, w szczególności budynku nowo wznoszonego. Celem pracy jest porównanie potrzeb energetycznych budynku mieszkalnego jednorodzinnego o określonej kubaturze i powierzchni ogrzewalnej, który (a) spełnia aktualne wymagania ochrony cieplnej, (b) jest budynkiem niskoenergetycznym, (c) spełnia standardy budynku pasywnego. Energochłonność budynku nie tylko zależy od izolacyjności cieplnej przegród budowlanych, ale również od sprawności systemów technicznych budynku. Dlatego też w obliczeniach wprowadzono kilka wariantów systemów grzewczych, w tym wspomaganych energią ze źródeł odnawialnych. Do obliczeń wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną oraz zapotrzebowania na energię końcową budynków wykorzystano pakiet do projektowania budynków pasywnych (PHPP). Dla rozważanych przypadków oszacowano całkowite koszty dostarczonej energii do budynku, to jest koszt ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz koszt energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: budynek niskoenergetyczny, budynek pasywny, charakterystyka energetyczna budynku

Zużycie energii w sektorze budownictwa europejskiego stanowi około 45% całkowitych potrzeb energetycznych Unii Europejskiej, a 50% zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza atmosferycznego pochodzi z tego sektora [1]. Według [2], sektor budownictwa zużywa 35,3% zapotrzebowania na energię końcową. W celu poprawy efektywności wykorzystania energii na ogrzewanie i klimatyzację budynków oraz w celu redukcji emisji gazów cieplarnianych została przyjęta przez Parlament Europejski i Radę Unii Europejskiej Dyrektywa 2002/91/EC [3] w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Od dnia 19 maja 2010 roku została ona zastąpiona przez Dyrektywę 2010/31/UE [4] w celu wzmocnienia przepisów w niej ujętych. Mniejsze zużycie energii oraz wykorzystanie w szerszym zakresie źródeł energii odnawialnej ma prowadzić do zwiększenia bezpieczeństwa dostaw energii oraz do wspierania rozwoju technicznego w poszczególnych krajach. Działania określone w dyrektywie powinny przyczynić się do poprawy charakterystyki energetycznej budynków. Aktualne wymagania ochrony cieplnej dla budynków mieszkalnych nowo projektowanych zostały określone w warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [5]. Budynki niskoenergetyczne budowane są według specjalnie określonych kryteriów projektowych, mających na celu zmniejszenie zapotrzebowania na energię, którą należy dostarczyć do budynku [6]. Udział energii do ogrzewania pomieszczeń w całkowitym obciążeniu

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, tel. 81 538 44 24, email: A.Siuta-Olcha@pollub.pl, T.Cholewa@wis.pol.lublin.pl, L.Guz@wis.pol.lublin.pl

energetycznym budynku niskoenergetycznego powinien wynosić 30%. Dom pasywny charakteryzuje się ekstremalnie małym zapotrzebowaniem na energię do ogrzewania. Komfort cieplny w tym przypadku jest zapewniony przez wewnętrzne źródła ciepła, przez zyski ciepła od nasłonecznienia, przez zyski ciepła odzyskanego z wentylacji oraz w indywidualnych przypadkach przez dogrzewanie powietrza wentylacyjnego. W celu dotrzymania odpowiedniej jakości powietrza wewnętrznego w okresie lata czy zimy, nie ma potrzeby projektowania konwencjonalnego systemu ogrzewania czy chłodzenia. Wykorzystywane są w tym celu pasywne źródła ciepła [6-8]. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe kryteria i standardy budynków typowych, niskoenergetycznych i pasywnych w celu ich porównania.

Tabela 1

Kryteria i standardy budynków mieszkalnych - zestawienie parametrów [6, 8-10]

Table 1

Criteria and standards of residential buildings - statement of parameters [6, 8-10]

Wymagania	Budynek standardowy	Budynek niskoenergetyczny	Budynek pasywny
Maksymalny współczynnik przenikania ciepła przegrody budowlanej [$W/(m^2 \cdot K)$]: - ściana zewnętrzna, - dach / stropodach, - okno	0,30 0,25 1,80 / 1,70	0,18 0,20 1,70	0,15 0,10 0,80
Zapotrzebowanie na energię na cele ogrzewania [W/m^2]	≤ 100	25÷35	≤ 10
Roczne zapotrzebowanie na energię na cele ogrzewania [$kW \cdot h/(m^2 \cdot a)$]	≤ 100	30÷40	≤ 15
Szczelność budynku n_{50} [h^{-1}]	$\leq 3,0$...	0,2÷0,6

Całkowite zużycie energii końcowej w domu pasywnym nie powinno przekraczać $42 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, a zużycie energii pierwotnej do pokrycia wszystkich potrzeb energetycznych budynku nie powinno przekraczać $120 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. W celu optymalizacji zużycia energii w budynku powinny być określone wymagania związane: (a) z ogólną charakterystyką energetyczną systemów technicznych (to jest instalacji centralnego ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej, klimatyzacji, wentylacji), (b) z odpowiednią ich instalacją i właściwym zwymiarowaniem, (c) z regulacją i kontrolą tych systemów [4].

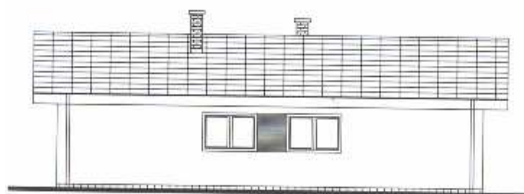
Przedmiot analizy

Przedmiotem analizy jest budynek mieszkalny jednorodzinny parterowy, niepodpiwniczony, przedstawiony na rysunkach 1a-d. Kubatura brutto budynku to 456 m^3 , powierzchnia netto równa jest 100 m^2 , a powierzchnia użytkowa stanowi $83,9 \text{ m}^2$. Powierzchnia wszystkich przegród przeszklonych w budynku wynosi $21,6 \text{ m}^2$. Do rozważań przyjęto następującą konstrukcję ścian wewnętrznych:

- dla wariantu B1 jest to mur trójwarstwowy szczelinowy z bloczków wapienno-piaskowych SILKA E24 z izolacją cieplną grubości $0,18 \text{ m}$,
- dla wariantu B2 jest to mur dwuwarstwowy z bloczków betonu komórkowego Ytong Energo odmiany PP 2/0,35 o grubości $0,48 \text{ m}$ z izolacją cieplną grubości $0,14 \text{ m}$.

Wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych dla obydwu wariantów zestawiono w tabeli 2. Szczelność budynku B1, dla różnicy ciśnienia między jego wnętrzem a środowiskiem zewnętrznym równej 50 Pa, określono na poziomie $0,6 \text{ h}^{-1}$, a dla budynku B2 założono $0,4 \text{ h}^{-1}$.

W budynku mieszkają 4 osoby. Dla wariantu B1 przyjęto jednostkowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową na poziomie $45 \text{ dm}^3/(\text{d}\cdot\text{M})$, a dla wariantu B2 na poziomie $25 \text{ dm}^3/(\text{d}\cdot\text{M})$.



Rys. 1a. Elewacja południowa budynku [7]

Fig. 1a. Facade of the building (south) [7]



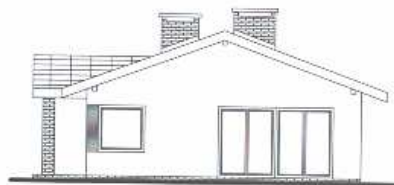
Rys. 1b. Elewacja wschodnia budynku [7]

Fig. 1b. Facade of the building (east) [7]



Rys. 1c. Elewacja północna budynku [7]

Fig. 1c. Facade of the building (north) [7]



Rys. 1d. Elewacja zachodnia budynku [7]

Fig. 1d. Facade of the building (west) [7]

Zestawienie współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych budynku [2]

Tabela 2

Table 2

U-values of the analyzed building components [2]

Typ budynku	U [W/(m ² ·K)]			
	Ściana zewnętrzna	Strop	Podłoga na gruncie	Okno
B1	0,18	0,20	0,26	1,66
B2	0,11	0,11	0,19	0,73

Budynek posiada mechaniczny system wentylacji nawiewno-wywiewnej z wysoko sprawnym odzyskiem ciepła z powietrza usuwanego bez gruntowego wymiennika ciepła. Efektywna sprawność rekuperatora wynosi 82%. Pobór energii przez rekuperator wynosi $0,36 \text{ W}\cdot\text{h}/\text{m}^3$. Wymagany strumień powietrza wywiewanego określono na poziomie $120 \text{ m}^3/\text{h}$. Budynek wyposażony jest w energooszczędne urządzenia gospodarstwa domowego (zmywarka, pralka, chłodziarko-zamrażarka) i energooszczędne oświetlenie. Budynek będzie wyposażony w instalację słoneczną ciepłej wody użytkowej. Wymagana powierzchnia próżniowych kolektorów słonecznych to 3 m^2 . Średnioroczny udział energii promieniowania słonecznego w pokryciu potrzeb ciepłych do przygotowania ciepłej wody wynosi 40% (wariant B1) oraz 57% (wariant B2).

Określenie potrzeb energetycznych budynku oraz kosztów zużywanej energii

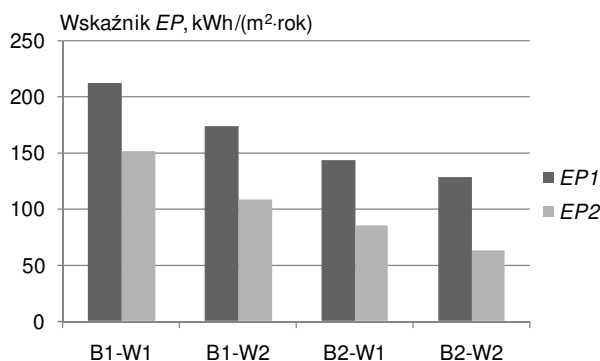
Do oceny jakości energetycznej budynku oraz określenia całkowitych kosztów zużycia energii wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie do projektowania budynków pasywnych (PHPP). Zastosowanie programu PHPP pozwala między innymi na obliczenie: rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynku, mocy cieplnej systemu grzewczego, zapotrzebowania na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), zapotrzebowania na energię elektryczną budynku, zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną. Wyniki obliczeń potrzeb cieplnych budynku na cele ogrzewania i przygotowania ciepłej wody zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3
Zestawienie potrzeb cieplnych budynku na cele ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej

Table 3
Energy demand of the buildings on heating and domestic hot water preparation

Parametr	B1	B2
Zapotrzebowanie na energię cieplną na cele ogrzewania [kW·h/a]	8233	4227
Wskaźnik mocy cieplnej dla ogrzewania [W/m ²]	46,9	27,1
Zapotrzebowanie na energię cieplną na przygotowanie c.w.u. (bez uwzględnienia instalacji kolektorów słonecznych) [kW·h/a]	4143	2452
Zapotrzebowanie na energię cieplną na przygotowanie c.w.u. (po uwzględnieniu instalacji kolektorów słonecznych) [kW·h/a]	3941	1045

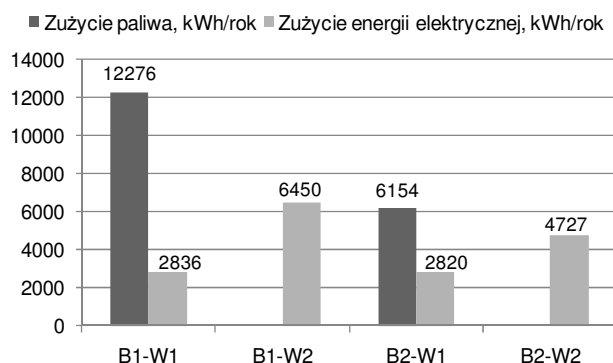
Jako źródło ciepła rozważono: (a) dwufunkcyjny kocioł gazowy kondensacyjny, a do przygotowania posiłków kuchenkę gazową czteropalnikową (przypadek W1), (b) kompaktowe urządzenie grzewczo-wentylacyjne z pompą ciepła, a do przygotowania posiłków kuchnię elektryczną (przypadek W2). Rysunek 2 pozwala na porównanie wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną całkowitą EP1 oraz wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną, obejmującego ogrzewanie, c.w.u. oraz energię elektryczną do napędu urządzeń pomocniczych EP2.



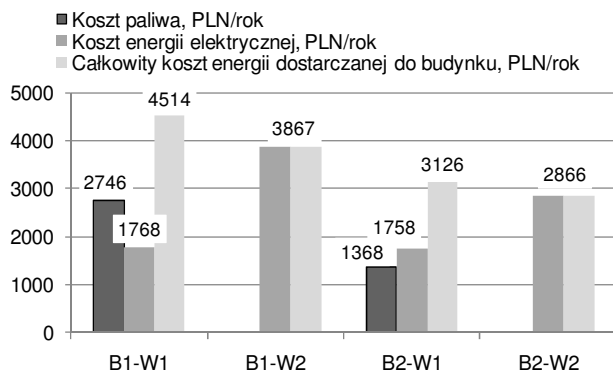
Rys. 2. Wartości wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną
Fig. 2. Annual EP-values for the analyzed buildings

Na rysunku 3 zestawiono dla rozważanych wariantów roczne zapotrzebowanie gazu ziemnego wysokometanowego oraz zapotrzebowanie na energię elektryczną końcową. Do

wyznaczenia kosztów zużytej energii w budynku przyjęto odpowiednie ceny za paliwo oraz stawki opłat, sieciowej i abonamentowej, na podstawie obowiązujących taryf zarówno dla paliwa gazowego, jak i dla energii elektrycznej. Na rysunku 4 podano oszacowane koszty energii elektrycznej oraz zużywanego gazu na cele przygotowania posiłków, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz ogrzewania.



Rys. 3. Zestawienie rocznych potrzeb paliwa oraz energii elektrycznej
 Fig. 3. Annual needs of fuel and electrical energy



Rys. 4. Zestawienie rocznych kosztów paliwa gazowego oraz energii elektrycznej
 Fig. 4. Annual costs of gas and electrical energy

Podsumowanie

Obliczeniowy całkowity roczny koszt energii (ciepłej i elektrycznej) dostarczonej do analizowanego budynku mieszkalnego jednorodzinnego mieści się w granicach od około 4514 do 2866 zł w zależności od rozważanej izolacyjności cieplnej budynku oraz przyjętych rozwiązań systemów technicznych. Gdyby budynek spełniał graniczne wymagania ochrony cieplnej określone w rozporządzeniu [5], wówczas obliczeniowe zapotrzebowanie na energię na cele ogrzewania wzrosłoby do 64,1 W/m². Przyjmując kocioł gazowy konwencjonalny o sprawności 90% jako źródło ciepła w instalacji centralnego ogrzewania tego budynku (budynek standardowy), koszt paliwa zużywanego

tylko na ten cel kształtowałby się na poziomie około 3178 zł/rok. Zużycie gazu ziemnego wysokometanowego o wartości opałowej 36 000 kJ/m³ jest w tym przypadku większe o ponad 22% w stosunku do wariantu B1-W1, a w porównaniu z wariantem B2-W1 większe ponad 2,44 razy. Obniżenie potrzeb energetycznych budynku poprzez podwyższenie wymagań izolacyjności cieplnej jego obudowy, wprowadzenie wysoko sprawnych nowoczesnych urządzeń grzewczych oraz energooszczędnych urządzeń elektrycznych przekłada się na wymierne korzyści ekologiczne i ekonomiczne.

Literatura

- [1] Ballarini I. i Corrado V.: *Application of energy rating methods to the existing building stock. Analysis of some residential buildings in Turin*. Energy and Buildings, 2009, **41**(7), 790-800.
- [2] Chan H.Y., Riffat S.B. i Zhu J.: *Review of passive solar heating and cooling technologies*. Renewable and Sustain. Energy Rev., 2010, **14**(2), 781-789.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/91/UE z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (zmiana). DzU Nr 201, poz. 1238.
- [6] Audenaert A., De Cleyn S.H. i Vankerckhove B.: *Economic analysis of passive houses and low-energy houses compared with standard houses*. Energy Policy, 2008, **36**(1), 47-55.
- [7] Piotrowski R. i Wnuk R.: *Katalog projektów domów pasywnych i energooszczędnych*. Przewodnik Budowlany, Warszawa 2006.
- [8] Wnuk R.: *Instalacje w domu pasywnym i energooszczędnym*. Przewodnik Budowlany, Warszawa 2007.
- [9] Mahdavi A. i Doppelbauer E.: *A performance comparison of passive and low-energy buildings*. Energy and Buildings, 2010, **42**(8), 1314-1319.
- [10] Wojdyga K.: *An investigation into the heat consumption in a low-energy building*. Renewable Energy, 2009, **34**(12), 2935-2939.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY DEMAND FOR SINGLE-FAMILY BUILDINGS WITH DIFFERENT STANDARD OF REALIZATION

Faculty of Environmental Engineering, Lublin University of Technology

Abstract: The limitation of energy consumption and the renewable energy utilization in residential sector is a preference activity in the member countries of the European Union. These activities let on the effective and balanced utilization of the fossil fuels potential and on the diminution of gaseous and dust emission, which are associated with the process of the fuel combustion. Constantly growing prices of energy carriers force also the necessity of improvement of the building energy-characteristics, particularly in the new buildings. An aim of this work is the comparison of energy needs of the one-family building (with determined cubature and heating area), which (a) fulfils current requirements of the thermal protection, (b) is a low-energy building, (c) fulfils standards of the passive building. Energy consumption of the building depends not only on the thermal insulation of building partitions, but also on the efficiency of building technical systems. That is why in calculations, there are introduced several variants of heating systems, also this supported by renewable energy sources. To calculations of the primary power requirement indicator and final power requirements of buildings the software (PHPP) to the designing of passive buildings, was used. For considered cases total costs of the delivered energy to the building, particularly the heating, hot water preparation and the electrical energy costs, were estimated.

Keywords: low-energy building, passive building, building energy-characteristics