

## Wyznaczenie klasy energetycznej budynku w oparciu o wartości rzeczywiste współczynnika przenikania ciepła przez przegrody

Tomasz Szul<sup>a</sup>\*

<sup>a</sup>Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

### Article info

Data przyjęcia: 09.06.2022

Data akceptacji: 22.08.2022

### Keywords

charakterystyka energetyczna budynku

zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej

teoretyczna i rzeczywista wartość współczynnika przenikania ciepła przez przegrody U

Dla przykładowego budynku mieszkalnego jednorodzinnego eksploatowanego od 12 lat wyznaczono charakterystykę energetyczną do oszacowania której zastosowano cztery metody, takie jak: oparta na faktycznie zużytej energii; oparta na standardowym sposobie użytkowania, wykorzystująca wskaźniki przenikania ciepła obliczone zgodnie z normą PN-EN 6946:2017; oparta na standardowym sposobie użytkowania, wykorzystująca rzeczywiste wartości współczynnika przenikania ciepła U oraz oparta na faktycznie zużytej ilości energii, przeliczona na warunki sezonu standardowego (która stanowiła poziom odniesienia dla porównywanych wariantów). Uzyskane wyniki zostały porównane ze sobą celem wskazania, którą z metod wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku otrzymuje się wyniki najbardziej zbliżone do wartości rzeczywistych.

*For an example single-family residential building that has been in operation for 12 years, an energy performance was determined for the estimation of which four methods were used, such as: based on actual energy consumed; based on standard use, using heat transfer coefficients calculated in accordance with PN-EN 6946:2017; based on standard use, using actual heat transfer coefficient U values; and based on actual energy consumed, converted to standard season conditions (which was the reference level for the compared variants). The obtained results were compared with each other in order to indicate which of the methods for determining the energy class of the building gives results which are the closest to the real values.*

Artykuł udostępniony na licencji CC BY 4.0:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>

## 1. Wprowadzenie

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/UE [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. Polska jako pełnoprawny członek Unii Europejskiej została zobligowana do wprowadzenia postanowień Dyrektywy 2010/31/UE [4] w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. W roku 2014 wprowadzono

\* Autor do korespondencji: t.szul@urk.edu.pl

Ustawę o charakterystyce energetycznej budynków [5]. Na mocy tejże ustawy Minister Infrastruktury i Rozwoju 2 lipca 2014 r. wydał rozporządzenie w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej [6], w której wprowadzono dwa sposoby wyznaczania charakterystyki energetycznej, tj.: opartą na standardowym sposobie użytkowania oraz na danych klimatycznych przyjętych z bazy danych klimatycznych najbliższej stacji meteorologicznej, i drugą opartą na faktycznej ilości zużytej energii. Ocenę wielkości zapotrzebowania na energię na cele ogrzewania, wentylacji w oparciu o standardowy sposób użytkowania oblicza się kolejno dla energii użytkowej, końcowej w oparciu o metodę bilansową miesięczną wg normy PN-EN ISO 13790:2009 [7]. W przypadku metody eksploatacyjnej, roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku, dla systemu ogrzewczego oraz systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej wyznacza się na podstawie dokumentów potwierdzających rzeczywiste zużycie ciepła sieciowego lub gazu ziemnego na potrzeby ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej. Wartość  $Q_w + H_k$ , wyrażona w jednostkach kWh/rok jest średnią zużycia ciepła sieciowego lub gazu ziemnego z ostatnich 3 lat, poprzedzających wydanie świadectwa charakterystyki energetycznej. Roczne zużycie energii końcowej oblicza się jako iloczyn zapotrzebowania na energię końcową dostarczaną do budynku dla systemu ogrzewczego i średniej sezonowej sprawności całkowitej systemu ogrzewczego. Metodologia nie zakłada przeliczenia (skorygowania) tych obliczeń, przeliczając te wartości na sezon standardowy tak aby w sposób obiektywny móc wskazać jakość energetyczną budynku. W przypadku budynków istniejących należało by również sprawdzić rzeczywiste wartości współczynników przenikania ciepła przez przegrody, ze względu na to, że mogą się różnić od wartości teoretycznych m.in. na skutek eksploatacji budynku, gdzie może dochodzić do zawilgocenia przegród.

## 2. Cel i zakres pracy

Celem pracy jest wyznaczenie charakterystyki energetycznej budynku mieszkalnego jednorodzinnego w oparciu o metodę eksploatacyjną oraz obliczeniową opartą na standardowym sposobie użytkowania. Zakres pracy obejmuje zebranie i opracowanie danych dotyczących rzeczywistego zużycia energii (gazu ziemnego) na ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej z okresu trzech lat, obliczenie pól powierzchni przegród, przez które występują straty ciepła,

objętości ogrzewanej i wentylowanej a także wyznaczenie rzeczywistych współczynników przenikania ciepła przez przegrody i porównanie ich z wartościami obliczonymi na podstawie normy PN-EN 6946:2017 [8]. Dane te posłużą do obliczenia charakterystyk energetycznych budynku w oparciu o dwie metody przedstawione w ustawie o charakterystyce energetycznej. Z uwagi na to, że ustawa pomija zapis o konieczności sprowadzenia wyników rzeczywistego zużycia energii do warunków sezonu standardowego, dodatkowo zostaną wykonane takie obliczenia, a następnie zostanie przeprowadzona analiza porównawcza.

## 3. Obiekt badań

Obliczenia wykonano dla budynku mieszkalnego jednorodzinnego wybudowanego w roku 2010, zlokalizowanego na obszarach wiejskich gminy Bochnia w województwie małopolskim (rys. 1).



Rys. 1. Obiekt badań (źródło: zdjęcie autora)

Budynek jest wyposażony w system centralnego ogrzewania pracujący w układzie zamkniętym (przewody izolowane) z grzejnikami ogniowymi aluminiowymi (wyposażonymi w zawory termostatyczne o działaniu proporcjonalnym  $P = 2K$ ), zasilany kotłem gazowym kondensacyjnym o mocy w zakresie 3-13 kW, współpracującym z regulatorem pogodowym. Ciepła woda użytkowa (c.w.u.) przygotowywana jest dla czterech odbiorców za pośrednictwem kotła gazowego kondensacyjnego pracującego w systemie zasobnikowym. Woda jest rozprowadzana do zaworów czerpalnych za pośrednictwem obiegu cyrkulacyjnego (przewody izolowane). W analizowanym budynku gaz jest zużywany wyłącznie do ogrzewania i przygotowania c.w.u. Podstawowe dane dotyczące analizowanego obiektu zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Podstawowe dane budynku (źródło: obliczenia własne)

Powierzchnia ogrzewana budynku $A_f$ [m <sup>2</sup> ]	Kubatura ogrzewanej części budynku $V_e$ [m <sup>3</sup> ]	Współczynnik przenikania ciepła $U$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]					Powierzchnia wszystkich zewnętrznych przegród budynku $A$ [m <sup>2</sup> ]	Współczynnik $A/V_e$ [-]
		ściany zewnętrzne	podłoga na gruncie	strop pod poddaszem	dach ocieplony	okna/drzwi zewnętrzne		
136,26	341,3	0,25	0,24	0,21	0,22	1,0	307,17	0,9

Zestawione w tabeli 1 wartości współczynników przenikania ciepła  $U$  przez przegrody zostały obliczone zgodnie z normą PN-EN 6946:2017, natomiast wartości współczynnika przenikania ciepła dla stolarki otworowej (okien oraz drzwi zewnętrznych) przyjęto na podstawie deklaracji producentów.

W analizowanym budynku były prowadzone comiesięczne odczyty stanu gazu z licznika gazowego (odczyty są potwierdzone fakturami za gaz). Pozwoliło to na dokładne określenie zużycia energii końcowej na ogrzewanie i przygotowanie c.w.u. W tabeli 2 zestawiono roczne zużycie gazu z okresu trzech lat poprzedzających wykonanie świadectwa.

Tab. 2. Zużycie gazu na ogrzewanie i przygotowanie c.w.u. (źródło: obliczenia własne)

wyszczególnienie	$C_{H+W}$ [m <sup>3</sup> ]			
	rok 2019	rok 2020	rok 2021	średnia z trzech lat
styczeń	137	229	172	179,4
luty	157	199	161	172,4
marzec	107	138	101	115,4
kwiecień	55	85	81	73,7
maj	40	57	51	49,4
czerwiec	22	35	27	28
lipiec	22	37	27	28,7
sierpień	28	46	30	34,7
wrzesień	30	38	34	34
październik	69	78	69	72
listopad	131	163	86	126,7
grudzień	165	173	161	166,4
suma	963	1278	1000	1080,8

Roczne zużycie energii końcowej na ogrzewanie i przygotowanie c.w.u. w poszczególnych latach waha się od ok. 960-1280 m<sup>3</sup>, przy wartości średniej 1080 m<sup>3</sup>.

Kolejnym etapem obliczeń było wyznaczenie rocznego zapotrzebowania na energię końcową oraz pierwotną w budynku. Obliczenia porównawcze zostały wykonane zgodnie z metodologią [6]. W metodzie opartej na faktycznie zużytej energii, ciepło spalania gazu dostarczanego do budynku (służące do obliczenia zużycia energii końcowej) przyjęto na podstawie informacji dla Obszaru Rozliczeniowego Ciepła Spalania (ORCS) w Polskiej Spółce Gazownictwa Sp. z o.o., dla stacji OK9 w gminie Bochnia dla analizowanych lat wynosi ono średnio 11,116 [kWh/m<sup>3</sup>]. Pomimo iż metodologia nie zakłada przeliczenia (skorygowania) rzeczywistego zużycia energii na potrzeby ogrzewania

i wentylacji na warunki sezonu standardowego, w pracy wykonano takie obliczenia korzystając z zależności:

$$Q_{K,H} = \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{Sd(t_b)_i}{Sd(t_b)_0} \cdot Q_{K,H_i}}{3} \quad (1)$$

gdzie:

$Q_{K,H}$  – zapotrzebowanie na energię końcową w sezonie standardowym, [kWh];

$Sd(t_b)_0$  – liczba stopniodni w standardowym sezonie grzewczym, [°Cd];

$Sd(t_b)_i$  – liczba stopniodni dla  $i$ -tego roku, [°Cd];

$Q_{K,H_i}$  – zużycie energii końcowej w okresie pomiarowym dla  $i$ -tego roku, [kWh].

Dane klimatyczne w oparciu o które prowadzone były obliczenia przyjęto z bazy danych klimatycznych dla stacji Kraków-Balice dla roku standardowego oraz

dla lat 2019, 2020, 2021. Posłużyły one do wyznaczenia stopniodni sezonu grzewczego  $Sd(15^{\circ}\text{C})$  dla roku standardowego oraz dla  $i$ -tego roku, które obliczono ze wzoru Hitchin'a [9]:

$$Sd(t_b) = \sum_{i=1}^9 Sd(t_b)_m = \frac{t_b - t_{sr}}{1 - \exp[-k \cdot (t_b - t_{sr})]} \cdot L_m \quad (2)$$

gdzie:

$Sd(t_b)_m$  – liczba stopniodni dla danego miesiąca sezonu grzewczego, [ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ], (zgodnie z metodologią [6] sezon grzewczy trwa 9 miesięcy tj. od stycznia do maja i od września do grudnia);

$t_b$  – założona temperatura bazowa, [ $15^{\circ}\text{C}$ ];

$t_{sr}$  – średnia miesięczna temperatura, [ $^{\circ}\text{C}$ ];

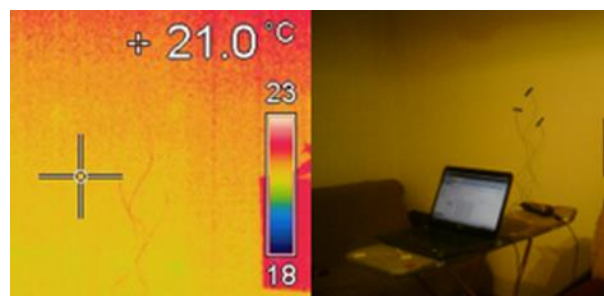
$k$  – stała, dla Krakowa = 0,821;

$L_m$  – liczba dni w miesiącu [d].

Obliczona liczba stopniodni w standardowym sezonie grzewczym  $Sd(t_b)_0$  wynosi 3615,9 [ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ], natomiast w latach 2019, 2020, 2021 wynosiła kolejno  $Sd(t_b)_i$ : 2789,1; 2766,9; 2422,6 [ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ].

Uwzględniając fakt, że budynek jest eksploatowany od 12 lat postanowiono wykonać pomiary rzeczywistego współczynnika przenikania ciepła przez przegrody. Do pomiarów użyto miernika Testo 635-2, który wyposażony jest w trzy sondy pomiarowe wyznaczające wartości temperatur: temperatura zewnętrzna, temperatura badanej przegrody po stronie wewnętrznej oraz temperatura wewnętrzna; na tej podstawie obliczany jest współczynnik przenikania ciepła przez przegrody [10]. Miejsca wykonywania pomiaru

(pola pomiarowe) były wskazywane po wcześniejszym badaniu termowizyjnym. Aby wyeliminować wpływ promieniowania słonecznego badania zostały wykonywane w okresie nocnym. Czas badania pojedynczego pola testowego trwał około 10-12 godzin (rys 2.)



Rys. 2. Pomiar wartości rzeczywistego współczynnika przenikania ciepła przez przegrody U (źródło: zdjęcie autora)

Badania zostały wykonane dla wszystkich ścian zewnętrznych, stropu nad poddaszem oraz dla dachu ocieplonego. Teoretyczne wartości badanych współczynników obliczono jako odwrotność całkowitych oporów przejmowania ciepła zgodnie z normą PN-EN 6946:2017 (tab. 1). Uzyskane wyniki będące wartością średnią dla poszczególnych odczytów zestawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Wartości rzeczywistego współczynnika przenikania ciepła U dla badanych przegród (źródło: obliczenia własne)

Wyszczególnienie	Wartość rzeczywista współczynnika przenikania ciepła przez przegrody U [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]	Różnica między wartością zmierzoną a obliczoną według normy PN-EN 6946:2017 [%]
Ściany zewnętrzne	0,294	17
Strop pod poddaszem	0,227	8
Dach ocieplony	0,231	5

Wartości współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych wahają się w granicach od 0,236 do 0,342 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]. Średnia dla ścian na parterze wynosi 0,281 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ], dla ścian na poddaszu 0,313 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ], natomiast ogólna średnia ważona dla ścian zewnętrznych wynosi 0,294 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ], wartość współczynnika przenikania ciepła U obliczona według normy PN-EN 6946:2017 wynosi 0,25 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]. Różnica pomiędzy rzeczywistym a teoretycznym współczynnikiem różni się zatem o 17%. W przypadku stropu pod poddaszem oraz dachu ocieplonego różnice między wartościami odczytanymi a obliczonymi zawierają się w zakresie 5 do 8 %.

#### 4. Obliczenia charakterystyki energetycznej budynku

Charakterystykę energetyczną budynku wyznaczono w oparciu o dwie metody takie jak metoda oparta na rzeczywistym zużyciu energii oraz metoda oparta na standardowym sposobie użytkowania (metoda obliczeniowa).

Aby porównać ze sobą poszczególne metody w obliczeniach przyjęto następujące sposoby wyznaczenia charakterystyki energetycznej budynku. Są nimi:  
A – metoda oparta na faktycznie zużytej energii;  
B – metoda oparta na standardowym sposobie użytkowania wykorzystująca wskaźniki przenikania ciepła obliczone zgodnie z normą PN-EN 6946:2017;

C – metoda oparta na standardowym sposobie użytkowania wykorzystująca rzeczywiste wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$ ;

D – metoda oparta na faktycznie zużytej ilości energii, przeliczona na warunki sezonu standardowego.

Charakterystyka energetyczna wyznaczona metodą opartą na rzeczywistym zużyciu energii po przeliczeniu na warunki sezonu standardowego będzie stanowiła poziom odniesienia dla porównywanych wariantów obliczeń.

W przypadku pierwszego sposobu do obliczeń przyjęto zużycie gazu na ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej z trzech sezonów grzewczych to jest z lat 2018, 2019 oraz 2020. W metodzie opartej na rzeczywistym zużyciu energii, aby móc wyznaczyć zużycie energii końcowej i pierwotnej na ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej, konieczne było rozdzielenie tych dwóch strumieni. W miesiącach letnich tj. czerwiec, lipiec, sierpień, gaz ziemny był zużywany wyłącznie na przygotowanie c.w.u. W obliczeniach przyjęto, że w miesiącach sezonu grzewczego energia końcowa służąca do przygotowania c.w.u. będzie stanowiła wartość średnią z trzech miesięcy okresu letniego. Dzięki wyodrębnieniu zużycia energii końcowej na ogrzewanie budynku można było dokonać przeliczenia tego zużycia na warunki sezonu standardowego zgodnie z zależnością (1).

W przypadku obliczeń charakterystyki energetycznej według standardowego sposobu użytkowania (metoda obliczeniowa) w pierwszym wariantcie (B) do obliczeń strat ciepła na przenikanie przyjęto wartości teoretyczne współczynników przenikania ciepła  $U$  obliczone zgodnie z normą PN-EN 6946:2017 (tab. 1) w drugim przypadku (wariant C) do obliczeń przyjęto rzeczywiste współczynniki przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych, dachu ocieplonego oraz stropu pod poddaszem wyznaczone za pomocą urządzenia Testo 635-2. Z uwagi, że nie wyznaczano rzeczywistych wartości współczynników przenikania ciepła dla podłogi na gruncie w obliczeniach przyjęto wartości teoretyczne wyznaczone zgodnie z normą PN-EN 6946:2017, w przypadku okien i drzwi zewnętrznych wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  przyjęto w oparciu o deklaracje producentów. Przeprowadzone obliczenia pozwoliły określić sezonowe zapotrzebowanie na energię końcową na cele ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Wyniki obliczeń rocznego zapotrzebowania na energię końcową w rozbiciu na procesy zestawiono w tabeli 4 natomiast wartości jednostkowego wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową EK do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej przedstawiono w tabeli 5.

Tab. 4. Wielkość rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej (źródło: obliczenia własne)

Metoda obliczeń (wariant)	Roczne zapotrzebowanie na energię końcową [kWh]		
	ogrzewanie	ciepła woda użytkowa	suma
	$Q_{K,H}$	$Q_{K,W}$	$Q_{K,H}+Q_{K,W}$
A	7952,4	4061,6	12014
B	9183	3094	12277
C	11287	3094	14381
D	10851,4	4061,6	14913

Analizując wartości zapotrzebowania na energię końcową zestawione w tabeli 4 można zauważyć różnice wynikające z przyjętej metody obliczeń. W przypadku ogrzewania zapotrzebowanie na energię końcową w zależności od przyjętej metody zawiera się w przedziale 7,9 do 11,2 MWh/rok. Najmniejsze zużycie energii na ogrzewanie budynku uzyskano wykorzystując metodę opartą na rzeczywistym zużyciu energii – tzw. metodę zużyciową. Zużycie energii w tym przypadku zostało wyliczone na podstawie odczytów zużycia gazu z trzech sezonów grzewczych, poprzedzających wykonanie świadectwa. Pomimo że wynik obliczeń (metoda A) jest zgodny z metodologią to nie może być uznawany za obiektywny, ponieważ

warunki zewnętrzne opisane za pomocą liczby stopniodni sezonu grzewczego, które zawierały się w zakresie 2422-2789 °Cd w sposób znaczący odbiegały od warunków sezonu standardowego, dla którego liczba stopniodni wynosi 3615,9 °Cd. Skorygowanie zużycia energii końcowej na ogrzewanie na warunki sezonu standardowego (metoda D) pozwoliło określić rzeczywisty poziom zużycia energii na ogrzewanie, który wynosi ok. 10,8 MWh/rok. Tym samym różnica między wartością skorygowaną do warunków sezonu standardowego a obliczoną na podstawie odczytów zużycia energii z gazomierza wynosi 2,9 MWh/rok. W rezultacie wyznaczenia charakterystyki energetycznej w oparciu o metody obliczeniowe – oparte na

standardowym sposobie użytkowania otrzymano wyniki zapotrzebowania na ogrzewanie budynku w przedziale ok. 9,2 do 11,3 MWh/rok. Powstała różnica wynika z faktu, że w metodzie B do obliczeń przyjęto wartości teoretyczne współczynników przenikania ciepła przez przegrody  $U$ , natomiast w metodzie C rzeczywiste wartości współczynników przenikania ciepła dla ścian, stropu pod poddaszem oraz dla dachu ocieplonego, które były wyższe w porównaniu z wartościami obliczonymi według normy PN-EN 6946:2017. Porównując ze sobą wartości zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania budynku wyznaczone w oparciu o metodę C z metodą D (którą

przyjęto jako poziom odniesienia) można stwierdzić, że wyniki nieznacznie różnią się między sobą - różnica między wartością obliczoną a wartością rzeczywistą wynosi zaledwie 4%. W przypadku zapotrzebowania na energię do ogrzewania ciepłej wody użytkowej różnica między wartościami rzeczywistymi (met. A i D) a wartościami obliczonymi (met. B i C) wynosi 24%. Wynika ona z tego, że w przypadku metody obliczeniowej zapotrzebowanie na energię do ogrzewania c.w.u. obliczane jest metodą wskaźnikową w odniesieniu do jednostki powierzchni ogrzewanej a nie do liczby osób korzystających z c.w.u.

Tab. 5. Wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej (źródło: obliczenia własne)

Metoda obliczeń (wariant)	Wskaźnik jednostkowego zapotrzebowania na energię końcową EK do ogrzewania i przygotowania c.w.u. [kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)]
A	88,17
B	90,10
C	105,54
D	109,44

Wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej dla porównywanych metod zawierał się w przedziale od ok. 88 do 109 kWh/(m<sup>2</sup>·rok). Wskaźnik zużycia energii końcowej EK wyznaczony według metody

D przyjęto jako poziom odniesienia, w porównaniu z którym wyznaczono wartości względnego błędu oszacowania  $\delta$  % dla poszczególnych metod (A/D, B/D, C/D). Wyniki zestawiono w tabeli 6.

Tab. 6. Wartości względnego błędu oszacowania porównywanych metod wyznaczania zużycia energii końcowej (źródło: obliczenia własne)

Porównywana metoda obliczeń	$\delta$ [%]	
	Ogrzewanie	Ogrzewanie i przygotowanie c.w.u.
	$Q_{K,H}$	$Q_{K,H}+Q_{K,W}$
A/D	26,7	19,4
B/D	15,4	17,7
C/D	4,1	3,6

Analiza porównawcza pozwoliła porównać ze sobą metody szacowania zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania i przygotowania c.w.u. Uzyskane wartości względnego błędu oszacowania porównywanych metod zawierają się w zakresie 3,6 do 19,4 %. W przypadku analizowanego budynku najmniejszy błąd oszacowania (3,6%) uzyskano dla metody C (opartej na standardowym sposobie użytkowania wykorzystująca rzeczywiste wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$ ). Wyliczenia charakterystyki energetycznej wykonanej

metodą obliczeniową bazującą na teoretycznych wartościach współczynników przenikania ciepła przez przegrody różnią się od wartości rzeczywistych o około 18%. Mając na uwadze powyższe wyniki uzasadnionym jest, aby osoba sporządzająca świadectwo charakterystyki energetycznej budynku informowała w oparciu o jaką metodę wykonała obliczenia a w przypadku, gdy wybrała metodę opartą na faktycznym zużyciu energii otrzymane wyniki zostały przeliczone na warunki sezonu standardowego.

## 5. Wnioski

Na podstawie wykonanych obliczeń, w ramach których zastosowano cztery metody wyznaczenia charakterystyki energetycznej, takie jak: oparta na faktycznie zużytej energii; oparta na standardowym sposobie użytkowania wykorzystująca wskaźniki przenikania ciepła obliczone zgodnie z normą PN-EN 6946:2017; oparta na standardowym sposobie użytkowania wykorzystująca rzeczywiste wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  oraz oparta na faktycznie zużytej ilości energii, przeliczona na warunki sezonu standardowego (która stanowiła poziom odniesienia dla porównywanych wariantów), można sformułować poniższe wnioski.

- Rzeczywisty współczynnik przenikania ciepła  $U$  dla ścian zewnętrznych zawiera się w granicach od 0,236 do 0,342 W/(m<sup>2</sup>·K), przy przeciętnej wartości 0,294 W/(m<sup>2</sup>·K). Różnica pomiędzy rzeczywistym a teoretycznym współczynnikiem różni się zatem o 17%. W przypadku stropu pod poddaszem oraz dachu ocieplonego różnice między wartościami odczytanymi a obliczonymi zawierają się w zakresie 5 do 8 %.
- Zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania budynku w zależności od przyjętej metody obliczeń zawiera się w przedziale 7,9 do 11,2 MWh/rok.

Najbardziej zbliżoną wartość do poziomu odniesienia można było uzyskać stosując metodę opartą na standardowym sposobie użytkowania wykorzystującą rzeczywiste wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  – w tym przypadku różnica między wartością obliczoną a wartością rzeczywistą wynosi zaledwie 4%. W przypadku zapotrzebowania na energię do ogrzewania ciepłej wody użytkowej różnica między wartościami rzeczywistymi a wartościami obliczonymi wynosi 24%.

- Wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej dla porównywanych metod zawierał się w przedziale od ok. 88 do 109 kWh/(m<sup>2</sup>·rok).
- Wartości względnego błędu oszacowania porównywanych metod zawierają się w zakresie 3,6 do 19,4%. W przypadku analizowanego budynku najmniejszy błąd oszacowania (3,6%) uzyskano dla metody opartej na standardowym sposobie użytkowania wykorzystująca rzeczywiste wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$ . Wyliczenia charakterystyki energetycznej wykonanej metodą obliczeniową bazującą na teoretycznych wartościach współczynników przenikania ciepła przez przegrody różnią się od wartości rzeczywistych o około 18%.

## Bibliografia

- [1] International Energy Agency; United Nations Environment Programme. 2018 Global Status Report: Towards a Zero-Emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. 2018. Available online: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27140> (dostęp 21 maja 2022).
- [2] BPIE. Europe's Buildings under the Microscope. A Country-by-Country Review of the Energy Performance of Buildings. 2011. Available online: <https://www.bpie.eu/publication/europes-buildings-under-the-microscope> (dostęp 21 maja 2022).
- [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] Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków (Dz.U. 2014 poz. 1200).
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376).
- [7] PN-EN ISO 13790:2009 Energetyczne właściwości użytkowe budynków - Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- [8] PN-EN 6946:2017 Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła - metoda obliczania.
- [9] Degree-days: theory and application TM41:2006. The Chartered Institution of Building Services Engineers 222 Balham High Road, London SW129BS.
- [10] Szul T. 2018. Ocena efektywności energetycznej budynków. Wybrane zagadnienia z przykładami. Wydawnictwo naukowe INTELLECT. Waleńców.

