

prof. dr hab. inż. Edyta Plebankiewicz^{1*)}
 ORCID: 0000-0003-0892-5027
 mgr inż. Karolina Zajac²⁾

Wpływ metody kalkulacji na wartość kosztów cyklu życia budynku

Influence of the calculation method on the value of building life cycle costs

DOI: 10.15199/33.2022.10.14

Streszczenie. W artykule zestawiono i porównano koszty cyklu życia obiektu w technologii tradycyjnej i energooszczędnej. Analizę kosztów cyklu życia przeprowadzono czterema metodami. W przypadku dwóch metod – metody prostej bazującej głównie na kosztach zużytej energii oraz metody LCNPV, wariant energooszczędny okazał się mniej korzystny od tradycyjnego. Największą przewagę budynku energooszczędnego nad tradycyjnym widać w przypadku metody zaproponowanej w rozporządzeniu.

Słowa kluczowe: koszty cyklu życia; dom jednorodzinny; energooszczędność; zbiory rozmyte.

Abstract. The article summarizes and compares the life cycle cost in traditional and energy-saving technology. The life cycle cost analysis was carried out for the two options using four methods. In the case of two methods - the simple method based mainly on energy costs and the LCNPV method, the energy-saving variant turned out to be less favorable than the traditional one. The greatest advantage of an energy-saving building over a traditional one can be seen using the method proposed in the regulation.

Keywords: life cycle costs; single-family house; energy efficiency; fuzzy sets.

Koszt cyklu życia LCC (ang. *Life Cycle Costs*) jest metodą stosowaną do oceny przewidywanej wydajności ekonomicznej budynku. Koszty cyklu życia, to suma wszystkich kosztów związanych z obiektem, obejmujących koszty nabycia, użytkowania, utrzymania oraz rozbioru, które mogą zostać pomniejszone o wartość resztkową (wartość rezydualną), o ile taka istnieje. Jednocześnie wartość oszacowanych kosztów powinna obejmować koszty środowiskowe (m.in. zużycie energii, media itp.).

Stosowanie rachunku kosztów cyklu życia jest nadal ograniczone i napotyka problemy praktyczne [1, 2]. Brak wiarygodnych danych wejściowych dotyczących kosztów cyklu życia oraz brak informacji o rzeczywistych kosztach i wydajności użytkowanych budynków, a także niepewność związana z przyjętymi założeniami, to kluczowe bariery w powszechnym stosowaniu rachunku kosztów cyklu życia w budownictwie. Dodatkowo kalkulacje kosztów cyklu życia mogą być przeprowadzane różnymi metodami. Można je podzielić na dwie zasadnicze grupy: metody proste i złożone. **Metoda prosta** jest stosowana do przeprowadzania nieskomplikowanych analiz. Podejście to nie uwzględnia dyskontowania, a także zmiany ceny energii. Natomiast **metoda złożona** uwzględnia analizę zdyskontowanych przepływów pieniężnych, a w konsekwencji poniesienie ryzyka finansowego. Podejście to umożliwia więc łączenie różnych elementów kosztów obiektu, m.in. utrzymania, energii, przeglądów, naprawy [3].

Celem artykułu jest porównanie kosztu cyklu życia obiektu w technologii tradycyjnej i z wykorzystaniem energooszczędnych wyrobów budowlanych (dalej nazywanej technologią energooszczędną) na przykładzie jednorodzinne

ku mieszkalnego. Skupiono się przede wszystkim na wyliczeniu kosztów trzydziestoletniego okresu eksploatacji obiektu. Analizę kosztów cyklu życia przeprowadzono w przypadku dwóch wariantów czterema metodami: metodą z uwzględnieniem kosztów energii; metodą na podstawie rozporządzenia [4]; metodą LCNPV oraz metodą z wykorzystaniem zbiorów rozmytych.

Metody obliczania kosztów cyklu życia

Analizie kosztów cyklu życia poddano dwa alternatywne warianty realizacji domu jednorodzinne o powierzchni użytkowej 169,10 m² i kubaturze netto 486,50 m³. Jest to budynek parterowy, niepodpiwniczony z dużym, dwustanowiskowym garażem, zlokalizowany w Krakowie (dzielnica Nowa Huta), zaprojektowany w 2019 r. Budynek przeznaczony jest dla rodziny czteroosobowej. Przyjęto dwa warianty realizacji budynku przedstawione w tabeli 1.

Metody proste. Wielkość kosztów cyklu życia, wykorzystując podejście proste [3], można wyznaczyć ze wzoru:

$$LCC = K_z + (T_e \cdot K_e) \quad (1)$$

gdzie:

LCC – wartość kosztów cyklu życia; K_z – początkowe koszty zakupu, tj. koszty analizy studialnej, zaprojektowania i wykonania np. obiektu budowlanego; T_e – długość eksploatacji [lata]; K_e – roczny koszt zużycia energii [zł/t].

Kolejną metodą prostą obliczenia kosztów cyklu życia obiektu jest metoda zawarta w Rozporządzeniu Ministra Rozwoju i Technologii z 23 listopada 2021 r. w sprawie metody kalkulacji kosztów cyklu życia budynków oraz sposobu przedstawiania informacji o tych kosztach, które weszło w życie 1 stycznia 2022 r. [4]. Zgodnie z rozporządzeniem koszty cyklu życia obiektu wyznaczane są ze wzoru:

$$C_g = C_n + C_{uz} + C_{ut} \quad (2)$$

¹⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

²⁾ absolwentka Politechniki Krakowskiej

^{*}) Adres do korespondencji: edyta.plebankiewicz@pk.edu.pl

gdzie:

C_g – koszty cyklu życia budynku w trzydziestoletnim okresie życia, zwanym „okresem obliczeniowym”; C_n – koszty nabycia (ustalane są na podstawie ceny oferty); C_{uz} – koszty użytkowania; C_{ut} – koszty utrzymania.

Wzór na wyznaczanie kosztów użytkowania:

$$C_{uz} = 30 \cdot \sum_{k=1}^n (E_n \cdot C_{jn}) \quad (3)$$

gdzie:

30 – okres obliczeniowy; n – każdy kolejny rodzaj energii końcowej lub nośnika energii oraz wody z uwzględnieniem odprowadzania ścieków; E_n – ilość n -tej energii końcowej lub n -tego nośnika energii oraz wody z uwzględnieniem odprowadzania ścieków; C_{jn} – cena jednostkowa n -tej energii końcowej lub n -tego nośnika energii oraz wody z uwzględnieniem odprowadzania ścieków.

Koszty utrzymania wyznaczane są ze wzoru:

$$C_{ut} = \sum_{k=1}^i (A_i - B_i) \quad (4)$$

gdzie:

i – każdy kolejny wyrób; A_i – koszt utrzymania i -tego wyrobu w okresie obliczeniowym; B_i – wartość gwarancji wykonawcy i -tego wyrobu.

Koszty utrzymania i -tego wyrobu wyznaczane są ze wzoru:

$$A_i = I \cdot K \cdot N \quad (5)$$

gdzie:

I – liczba jednostek wyrobu; K – koszt wymiany jednostki wyrobu; N – liczba cykli użytkowania wyrobu w okresie obliczeniowym.

Wzór na wyznaczanie wartości gwarancji wykonawcy i -tego wyrobu:

$$B_i = (A_i \cdot O_g) / 30 \quad (6)$$

gdzie:

O_g – okres gwarancji i -tego wyrobu wyrażony w latach.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że w Rozporządzeniu Ministra Rozwoju i Technologii [4] pominięto koszty rozbiórki (C_r).

Metody złożone. Najbardziej popularną metodą wyznaczania LCC jest **analiza efektywności inwestycji** (obiektu budowlanego) **na podstawie zdyskontowanych przepływów pieniężnych z uwzględnieniem kwestii środowiskowych**, tzw. LCNPV (ang. *Life Cycle Net Present Value*), czyli war-

Tabela 1. Warianty rozwiązań technologicznych budynku

Table 1. Variants of technological solutions of the building

Element budynku	Wariant I (technologia tradycyjna)	Wariant II (technologia energooszczędna)
Ściana zewnętrzna	Porotherm P+W o grubości 30 cm, $\lambda = 0,233$ [W/mk]	Porotherm D 30 T Dryfix o grubości 30 cm, $\lambda = 0,08$ [W/mk]
Termoizolacja ścian zewnętrznych	styropian SILVER fasada o grubości 15 cm, $\lambda = 0,040$ [W/mk]	styropian TERMONIUM PLUS fasada o grubości 10 cm, $\lambda = 0,031$ [W/mk]
Termoizolacja podłogi na gruncie	styropian SILVER dach – podłoga o grubości 10 cm, $\lambda = 0,037$ [W/mk]	styropian TERMONIUM PLUS dach – podłoga o grubości 20 cm, $\lambda = 0,031$ [W/mk]
Pokrycie dachu	dachówka ceramiczna, izolacja pod krokwiami, styropian SILVER dach – podłoga o grubości 25 cm, $\lambda = 0,037$ [W/mk]	dachówka ceramiczna, izolacja pomiędzy i pod krokwiami, styropian TERMONIUM PLUS dach – podłoga o grubości 30 cm, $\lambda = 0,031$ [W/mk]
Okna i drzwi	okna: PVC, dwuszybowe, drzwi wejściowe: PCW	okna PVC, trójszybowe, drzwi wejściowe: aluminiowe o podwyższonych parametrach izolacyjności termicznej
System grzewczy	ogrzewanie grzejnikowe oraz kocioł kondensacyjny	ogrzewanie podłogowe oraz powietrzna pompa ciepła
Źródło energii	gaz ziemny oraz energia elektryczna	panele fotowoltaiczne
Typ wentylacji	grawitacyjna	mechaniczna nawiewno-wywiewna z rekuperatorem

tość zaktualizowana netto w cyklu życia. Metoda ta pozwala ocenić efektywność przedsięwzięcia budowlanego na podstawie kosztów cyklu życia, a także umożliwia porównanie różnych rozwiązań tego przedsięwzięcia i wybór takich, które spełniają kryterium ekonomiczne i środowiskowe [5 – 7]. Wartość zaktualizowaną (bieżącą) netto w cyklu życia wyznacza się ze wzoru:

$$LCNPV = \sum_{i=0}^n CF_i / (1 + r)^i \quad (7)$$

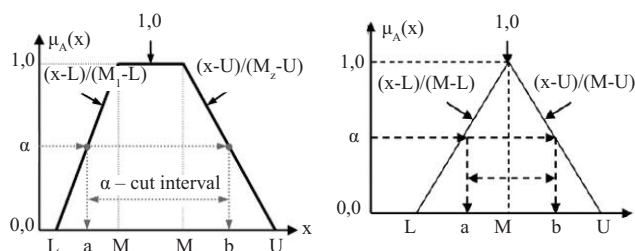
gdzie:

LCNPV – wartość zaktualizowana (bieżąca) netto w cyklu życia; CF – przepływ pieniężny w roku i -tym; n – liczba lat w cyklu życia; i – kolejny rok; r – stopa dyskontowa.

Metoda zbiorów rozmytych jest najczęściej wykorzystywana w momencie, gdy w analizie kosztów cyklu życia problem stanowi przygotowanie danych. Zasadniczą korzyścią wykorzystania tej metody jest ujęcie ryzyka związanego z danymi przyjmowanymi do określenia kosztów cyklu życia.

Schemat procedury postępowania [8, 9]:

1) dane do modelu formułuje się w postaci wielkości rozmytych, wykorzystując funkcje przynależności spełniające normalność i wypukłość. W tym celu najczęściej wykorzystuje się funkcje przynależności trapezoidalne i trójkątne (rysunek);



Rys. 1. Trapezoidalna i trójkątna funkcja przynależności z α przekrojem [8, 9]

Fig. 1. Trapezoidal and triangular membership function with α section [8, 9]

2) wartość α przekroju wybierana jest z przedziału $0 \leq \alpha \leq 1$;
3) określamy odpowiedni przedział stopy dyskontowej zgodnie z wybraną wartością α ;

4) w przypadku każdego wariantu przyjmowane są przedziały odpowiadające wybranej wartości α , które zawierają stopę dyskontową, cykl życia budynku oraz informacje o kosztach;

5) obliczamy przedziały współczynników dyskontowania, wykorzystując wzór (8) i (9) za pomocą metody wierzchołków. Współczynnik dyskonta nieregularnych przepływów pieniężnych wyznaczany jest ze wzoru:

$$PWF_{ij} = 1 / (1 + r)^{t_{ij}} \quad (8)$$

gdzie:

PWF_{ij} – współczynnik dyskonta nieregularnych przepływów pieniężnych; r – oprocentowanie roczne; t_{ij} – czas, w którym występują nieregularne przyszłe przepływy.

Współczynnik dyskonta w przypadku stałych przepływów pieniężnych wyznaczany jest ze wzoru:

$$PWF_i = 1 / (1 + r)^T \quad (9)$$

gdzie:

PWF_i – współczynnik dyskonta w przypadku stałych przepływów pieniężnych; T_i – cykl życia budynku dla alternatywy i ;

6) wyznaczamy współczynniki zwrotu kapitału ze wzoru:

$$CRF_i = r(1 + r)T_i / ((1 + r)^T \cdot i - 1) \quad (10)$$

gdzie:

CRF_i – współczynnik korekcyjny, który przekształca NPW_i w EAC_i ;

7) określamy wartość NPW_i ze wzoru (11):

$$NPW_i = IC_i + \sum_{j=1}^{NF_i} [FC_{ij} \cdot PWF_{ij}] - SV_i \cdot PWF_i \quad (11)$$

gdzie:

IC_i – koszty początkowe; NF_i – liczba nieregularnych przepływów pieniężnych; FC_{ij} – koszty przyszłe; SV – wartość odzysku;

8) określamy wartość EAC_i ze wzoru (12):

$$EAC_i = AC_i + NPW_i \cdot CRF_i \quad (12)$$

gdzie:

EAC_i – ekwiwalentna wartość raty rocznej; AC_i – roczne koszty operacyjne i utrzymania;

9) powtarzamy kroki od 4 do 8 we wszystkich rozważanych wariantach;

10) powtarzamy kroki od 2 do 9 dla przyjętych wartości α przekrojów;

11) obliczamy wartość R ze wzoru (13) w przypadku każdego wariantu, używając funkcji przynależności dla EAC .

$$R_A = (A_l + A_r) / 2 \quad (13)$$

gdzie:

A_l, A_r – obszary ograniczone lewą i prawą krzywą zbioru rozmytego A i osią pionową;

12) uszeregowanie wariantów przy użyciu rankingu zgodnie z wyznaczonymi wartościami R .

Omówienie wyników

Obliczanie kosztów etapów cyklu życia budynku. Porównanie obejmuje wybudowanie obiektu w technologii tradycyjnej (wariant I) oraz z elementami technologii energooszczędnej (wariant II). Rozwiązania te różnią się zastosowanymi materiałami oraz instalacjami. Elementami, które się różniły, były ściany zewnętrzne, pokrycie dachu, podłoga na gruncie oraz ich izolacje termiczne, a także okna i drzwi. Natomiast w przypadku instalacji różne były systemy grzewcze, źródła energii oraz typy wentylacji.

Biorąc pod uwagę uwarunkowania lokalizacyjne, do analizy przyjęto cenę działki pod zabudowę w wysokości 850 zł/m² [10]. W celu obliczenia kosztów dokumentacji projektowej wykorzystano ŚZWPP (Środowiskowe Zasady Wycen Prac Projektowych) z 2016 r. [11]. Przy wycenach dokonywanych w 2022 r. wysokość stawki za jednostkę nakładu pracy ustala się na 22,35 zł. Koszty dokumentacji różnią się w przypadku obu wariantów ze względu na zróżnicowane koszty dokumentacji dotyczącej instalacji. W tabeli 2 zestawiono koszty instalacji w budynku tradycyjnym.

W budynku energooszczędnym koszt systemu fotowoltaicznego na potrzeby projektu wyznaczono za pomocą dostępnego kalkulatora fotowoltaiki firmy Hewalex. Orientacyjny koszt instalacji powietrznej pompy ciepła wraz z montażem wyznaczono za pomocą kalkulatora dostępnego na stronie solsum.pl [12]. Korzystając z dostępnego kalkulatora internetowego firmy „PRO-VENT Systemy Wentylacyjne” do ana-

lizowanego obiektu dobrano rekuperator MISTRAL DUO 400 EC. Dedykowana do tego rozwiązania przez producenta jest wstępna elektryczna nagrzewnica kanałowa MISTRAL ENO [13]. W tabeli 3 zestawiono koszty instalacji w budynku energooszczędnym.

Tabela 3. Koszt instalacji w technologii energooszczędnej

Table 3. Installation cost for energy-saving technology

Zakres robót	Wartość [PLN]
System fotowoltaiczny	16 094,00
Powietrzna pompa ciepła	23 906,25
Wentylacja mechaniczna z rekuperatorem	18 540,00
Ogrzewanie podłogowe	29 000,00
Suma	87 540,25

Dzięki dobraniu odpowiedniej mocy instalacji fotowoltaicznej, panele słoneczne wytworzą wystarczającą ilość energii, aby zaspokoić potrzeby mieszkańców, a opłaty za prąd zostaną obniżone praktycznie do zera. Przyjęto, że instalacja pokrywa koszty prądu na poziomie 95%. W kosztach użytkownika uwzględniono m.in. koszty przeglądów. Zgodnie z artykułem 62 Prawa budowlanego właściciel lub zarządcy każdego obiektu budowlanego mają obowiązek przynajmniej raz w roku wykonania kontroli stanu technicznego instalacji wentylacyjnych, przewodów kominowych, a jeżeli istnieje, również instalacji gazowej. Z artykułu tego wynika również obowiązek okresowej kontroli stanu technicznego obiektu i przydatności jego do użytkowania, która powinna być przeprowadzana co najmniej raz na 5 lat. Przyjęto koszt przeglądu technicznego równy 500 zł. Dodatkowo uwzględniono koszty przeglądów instalacji. Obliczenia dla poszczególnych wariantów przedstawiono w tabelach 4 i 5, a w tabeli 6 koszty ponoszone w poszczególnych etapach cyklu życia. Inne koszty

Tabela 4. Roczny koszt przeglądów instalacji w wariantcie 1

Table 4. The annual cost of technical inspection of installation in variant 1

Rodzaj przeglądów	Koszt [PLN]
Przeglądy roczne instalacji gazowych	175,00
Przeglądy roczne kominarskie oraz wentylacji	150,00
SUMA	325,00

Tabela 5. Koszt przeglądów instalacji w wariantcie 2

Table 5. Cost of technical inspection of installation in variant 2

Rodzaj przeglądów	Koszt [PLN]
Przeglądy pompy ciepła (raz na rok)	550,00
Przeгляд techniczny instalacji fotowoltaicznej – pomiary w cenie (raz na 5 lat)	519,00
Przeгляд wentylacji nawiewno-wywiewnej (raz na rok)	400,00
Wymiana filtrów w rekuperatorze (raz na pół roku)	140,00

zaliczane do kosztów użytkowania, to m.in. koszty związane z opłatami za wywóz śmieci. Obliczenia przedstawiono w tabeli 7. W tabeli 8 zestawiono koszty zużycia zimnej wody i odprowadzenia ścieków. Następnie na podstawie danych wyznaczonych w tabeli 6 wyliczono koszty cyklu życia dla obu wariantów budynku. We wszystkich stosowanych metodach przyjęto trzydziestoletni okres użytkowania. Uzyskane wyniki przedstawia tabela 9.

Tabela 6. Koszty cyklu życia budynku w przypadku dwóch wariantów
 Table 6. Life cycle costs for the two variants

Koszty cyklu życia (LCC)		Wariant I	Wariant II
Koszty nabycia	koszt zakupu działki [PLN]	939 250,00	
	koszt dokumentacji projektowej [PLN]	64 727,84	78 137,84
	koszty ponoszone z tytułu opłat skarbowych [PLN]	832,00	
	koszt stanu surowego [PLN]	422 264,15	499 145,47
	koszt instalacji	25 200,00 zł	87 540,25 zł
Koszty użytkowania	składki na ubezpieczenie [PLN/rok]	856,00	
	podatek od nieruchomości [PLN/rok]	800,00	
	koszty przeglądów [PLN/rok]	825,00	1 835,00
	opłaty za wywóz śmieci [PLN/rok]	92,00	
	koszty zużycia zimnej wody i odprowadzenia ścieków [PLN/rok]	2 194,02	
	koszty ogrzewania c.o. i c.w.u. [PLN/rok]	6 014,90	–
	koszt zużycia energii elektrycznej [PLN/rok]	2 838,00	144,00
Koszty utrzymania	utrzymanie posesji [PLN/rok]	12 000,00	
	koszty remontów [PLN/rok]	2 400,00	
Koszty rozbiórki [PLN]		54 000,00	

Tabela 7. Opłaty za wywóz śmieci

Table 7. Garbage collection fees

Opłata za wywóz śmieci (Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania Kraków)	
Liczba osób w gospodarstwie	4
Stawka opłaty za gospodarowanie odpadami zbieranymi w sposób selektywny [PLN] na osobę	23
SUMA [PLN]	92

Tabela 8. Roczne koszty zużycia zimnej wody i odprowadzenia ścieków

Table 8. Annual costs of cold water consumption and sewage disposal

Koszt wody oraz odprowadzenia ścieków (Wodociąg Miasta Krakowa)	
Liczba osób w gospodarstwie	4
Cena za 1 m ³ dostarczonej wody brutto [PLN]	4,44
Średnie dzienne zużycie wody [m ³] na osobę	0,1
Koszt zużycia wody brutto [PLN/rok]	648,24
Cena za 1 m ³ odebranych ścieków brutto [PLN]	6,05
Średnia dzienna ilość ścieków [m ³] na osobę	0,175
Koszt odbioru ścieków brutto [PLN/rok]	1545,775
SUMA [PLN]	2 194,02

Tabela 9. Kalkulacja z wykorzystaniem metody prostej i złożonej

Table 9. Calculation with the use of simple and complex methods

Charakterystyka		Wariant I tradycyjny [PLN]	Wariant II energooszczędny [PLN]	Różnica [PLN]	% różnicy
Metoda prosta	z uwzględnieniem kosztów energii	598 163,99	669 975,56	-71 811,57	12,01
	na podstawie rozporządzenia	994 421,75	902 640,32	91 781,43	9,23
Metoda złożona	LCNPV	1 738 771,83	1 775 590,65	-36 818,82	2,12
	z wykorzystaniem zbiorów rozmytych	121 347,33	119 084,22	2 263,11	1,86

Wnioski

Analizując wyliczone wartości kosztów cyklu życia, nie można jednoznacznie stwierdzić, że obiekt wykonany w technologii energooszczędnej jest bardziej opłacalny. Wynika to m.in. z dużej różnicy w kosztach nabycia. Biorąc pod uwagę obiekt

wykonany z elementami technologii energooszczędnej koszty te są o 152 631,57 zł wyższe niż w wariantcie tradycyjnym (stanowią 9,5%). Zastosowane w wariantcie II rozwiązania wpływają na obniżenie kosztów użytkowania (rocznie o 56,5%), lecz przyjęty okres użytkowania obiektu jest zbyt krótki, aby w każdej z metod kalkulacji wynikała opłacalność tej inwestycji. Należy też zwrócić uwagę na fakt, że w analizach przyjęto takie same koszty utrzymania budynku, nie analizując np. trwałości zastosowanych rozwiązań. Rozpatrując dłuższy niż trzydziestoletni okres użytkowania, rozwiązania zastosowane w budynku energooszczędnym mogłyby okazać się trwalsze i wymagałyby one mniejszych nakładów na remonty i naprawy.

Przedstawione uwarunkowania powodują, że w przypadku dwóch metod – prostej bazującej głównie na kosztach zużytej energii oraz LCNPV, **wariant energooszczędny okazał się mniej korzystny od tradycyjnego. Jest to szczególnie widoczne w pierwszej z metod, gdzie różnica wynosi 12% na korzyść budynku tradycyjnego.** Wynika to przede wszystkim z krótkiego okresu użytkowania obiektu, a w przypadku metody LCNPV także stopy zwrotu. Największą przewagę budynku energooszczędnego nad tradycyjnym widać w przypadku metody zaproponowanej w rozporządzeniu.

Trudno jednoznacznie wskazać metodę, która w największym stopniu oddawałaby rzeczywiste koszty. Każda ma bowiem pewne ograniczenia i bazuje na różnych uogólnieniach. Najlepszą odpowiedź można uzyskać, znając konkretne uwarunkowania (np. rzeczywisty przewidywany okres użytkowania obiektu). Pomocne może być także przeprowadzenie analizy wrażliwości wykorzystywanego modelu.

Literatura

- [1] Bogusz A. Efektywne zamówienia publiczne – wzmocnienie potencjału administracji – Koszty cyklu życia, Urząd Zamówień Publicznych, Katowice, grudzień 2017.
- [2] Kacprzyk B. Koszty cyklu życia – zastosowania praktyczne (część II), <https://bzg.pl/>, luty 2017.
- [3] Plebankiewicz E. Planowanie i szacowanie kosztów cyklu życia budynków biurowych, Politechnika Krakowska, Kraków 2019 r.
- [4] Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z 23 listopada 2021 r. w sprawie metody kalkulacji kosztów cyklu życia budynków oraz sposobu przedstawiania informacji o tych kosztach, Dziennik Ustaw 2021 poz. 2276.
- [5] Dwaikat LN, Ali KN. Green buildings life cycle cost analysis and life cycle budget development: Practical applications, Journal of Building Engineering. 2018; Volume 18: 303 – 311.
- [6] Kristowski A, Grzyl B, Szczepański M, Jakubczyk-Gałczyńska A. Model obliczania kosztu cyklu życia obiektu na przykładzie budynku mieszkalnego jednorodzinne, Zarząd Główny Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa, Przegląd Budowlany. 2021; 137 – 141.
- [7] Celińska-Mysław M, Wiatr T. Budownictwo zrównoważone z przykładem analizy kosztów w ujęciu LCC, Przegląd Budowlany. 2018; 45 – 50.
- [8] Mulubrhan F, Akmar Mokhtar A, Muhammad M. Sensitivity Analysis of Fuzzy Activity-Based Life Cycle Costing, MATEC Web of Conferences. 2018; 225.
- [9] Plebankiewicz E, Zima K, Wiczorek D. Life Cycle Cost Modelling of Buildings with Consideration of the Risk, Archives of Civil Engineering. 2016; Vol. LXII Issue 2.
- [10] Ceny mieszkań, domów i działek. Oto najnowszy raport z rynku wtórnego, <https://forsa.pl/nieruchomosci/mieszkania/artykuly/8394512,ceny-mieszkan-domow-i-dzialek-2022-oto-najnowszy-raport-z-rynku-wtornego.html>, kwiecień 2022.
- [11] Środowiskowe Zasady Wycen Prac Projektowych, Izba Projektowania Budowlanego, 2016 Warszawa.
- [12] Dobór mocy pompy ciepła do ogrzewania, <https://czysteogrzewanie.pl/>, Czerwiec 2022.
- [13] Program internetowy firmy Pro-Vent – Dobór rekuperatora, <https://www.pro-vent.pl/program-doboru-rekuperatora/#>.

Przyjęto do druku: 22.09.2022 r.