

# Budownictwo zrównoważone z przykładem analizy kosztów w ujęciu LCC

Dr inż. Maria Celińska-Mysław, dr inż. Tomasz Wiatr, Politechnika Poznańska

## 1. Wprowadzenie

Strategia zrównoważonego rozwoju wprowadzana w różnych dziedzinach życia wymaga także zmiany podejścia do planowania przedsięwzięć budowlanych, w tym projektowania obiektów budowlanych. Faza projektowania powinna uwzględniać cały cykl życia obiektu budowlanego jako produktu. Cykl życia należy rozumieć jako czas upływający od jego wytworzenia po zaprojektowaniu przez użytkownika z utrzymaniem – aż do likwidacji obiektu z rozbiórką. Jedną z metod aktualnie wprowadzonych, umożliwiającą połączenie aspektów technicznych i ekonomicznych w cyklu życia obiektu, jest Life Cycle Costing (LCC).

W artykule przedstawiono metodykę wyznaczenia kosztów w cyklu życia na przykładzie budynku mieszkalnego. Ponadto dokonano przeglądu polskich norm wraz z aktualnym prawodawstwem istotnym dla prezentowanego zagadnienia. W przykładzie skupiono się na kosztach prac inwestycyjnych i remontowych oraz na skutkach wynikających z przyjętego zakresu remontów. Szczególną uwagę zwrócono na usytuowanie czasowe prac remontowych w oparciu o przewidywany przebieg zużycia elementów budynku uwzględniające ich trwałość.

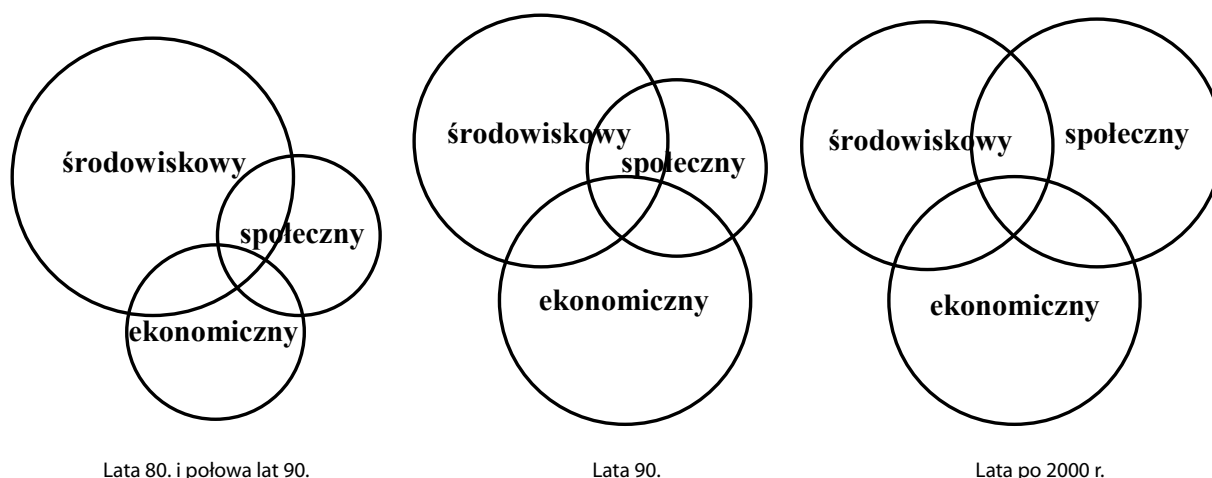
Koszty wyznaczono metodą kalkulacji szczegółowej z użyciem programu kosztorysowego, natomiast analizę LCC przeprowadzono na podstawie harmonogramów sieciowych przy wykorzystaniu programu wspomagającego planowanie i analizę przedsięwzięć. Wymagało to wykorzystania analizy dyskontowej uwzględniającej wpływ czasu na uzyskiwane wartości [6].

W artykule dokonano analizy sześciu przypadków dla różnych rozwiązań materiałowych i niezbędnych prac remontowych.

## 2. Zrównoważony rozwój w budownictwie

Głównym celem budownictwa jest projektowanie i wznoszenie obiektów budowlanych, które powinny spełniać wiele wymagań, w tym w szczególności tzw. wymagania podstawowe [20] w zakresie bezpieczeństwa konstrukcji, bezpieczeństwa pożarowego, bezpieczeństwa użytkowania, odpowiednich warunków higienicznych i zdrowotnych, ochrony środowiska oraz ochrony przed hałasem, drganiami, oszczędności energii i izolacyjności cieplnej oraz wprowadzone w ostatnim czasie wymagania zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych. Wskazane wymagania są wyrazem dostosowania prawa krajowego do dyrektyw unijnych jako przejawu przyjętej strategii rozwoju zrównoważonego, które opisywano także w kontekście normalizacji [22].

Strategia ta zakłada takie gospodarowanie zasobami w obecnych uwarunkowaniach, które zabezpieczy potrzeby przyszłych pokoleń. **Rozwój zrównoważony oparty jest na trzech filarach: ekonomicznym, społecznym, środowiskowym.** Formułowane początkowo cele dotyczyły właściwego gospodarowania ograniczonymi zasobami, zwłaszcza energetycznymi. Nakierowane one były na poszukiwanie rozwiązań umniejszających wpływ materiałów i wyrobów oraz obiektów budowlanych na środowisko naturalne. Przejście od wiodącej roli aspektów identyfikowanych jako środowiskowe, przez



Lata 80. i połowa lat 90.

Lata 90.

Lata po 2000 r.

Rys. 1. Koncepcja zrównoważonego rozwoju w ujęciu czasowym – wg [9] za [8]

**Tabela 1.** Składniki kosztów w odniesieniu do faz cyklu życia obiektu budowlanego (opracowanie własne)

Fazy cyklu życia dla obiektu budowlanego				
Projektowanie budowlane – $C_p$	Roboty budowlane – $C_b$	Utrzymanie i konserwacja – $C_u$	Użytkowanie (koszty operacyjne) – $C_o$	Likwidacja i rozbiórki – $C_r$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Prace projektowe (studium i analiz wykonalności, dokumentacja wstępna, podstawowa i wykonawcza)</li> <li>Opracowania kosztowe</li> <li>Oplaty, pozwolenia</li> <li>Badania geotechniczne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>prace tymczasowe – przygotowanie terenu</li> <li>prace związane z infrastrukturą</li> <li>wznoszenie obiektów</li> <li>prace związane z wyposażeniem obiektów</li> <li>mała architektura</li> <li>kierowanie budową</li> <li>podatki</li> <li>wywóz odpadów</li> <li>koszty nieprzewidziane</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>adaptacje, konserwacje, remonty bieżące, naprawy, wymiany</li> <li>projektowanie tych prac i ich wykonanie</li> <li>utrzymanie terenów zielonych</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>media, w tym paliwa, energia, woda</li> <li>odprowadzenie ścieków</li> <li>czyszczenie i konserwacja obiektu</li> <li>usługi kontroli czystości i drożności przewodów</li> <li>podatki i składki ubezpieczeniowe</li> <li>zwalczanie szkodników</li> <li>opłata za sprzątnięcie</li> <li>opłata za zarządzanie</li> <li>pozostałe koszty operacyjne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>inspekcje, kontrole na potrzeby rozbiórki</li> <li>rozbiórka, demontaż, likwidacja</li> <li>opłaty</li> <li>przygotowanie do recyklingu i recykling</li> </ul>

późniejsze uwzględnienie w większym stopniu aspektów ekonomicznych, doprowadziło do uwypuklenia aspektów społecznych. Zmianę podejścia w ujęciu zrównoważonym na przestrzeni lat przedstawiono na rysunku 1, zwłaszcza w kontekście trendów światowych.

Aktualnie wdrażanie strategii zrównoważonego rozwoju w odniesieniu do aspektów środowiskowych obejmuje rozwiązania odniesione do całego cyklu życia obiektów budowlanych. Główny nacisk położony jest na uwarunkowania energetyczne, racjonalne korzystanie z zasobów naturalnych, rozwiązania materiałowe, stosowanie właściwych technologii budowlanych i proces projektowania. Interesującym poznawczo jest podejście do projektowania uwzględniające nie tylko fazę użytkowania, ale również przyszłe wyburzenie wraz z rekultywacją terenu, a więc Design for Deconstruction (DfD).

Podkreślić należy, że zarówno produkcja materiałów budowlanych, jak i eksploatacja budynku generują znaczne zużycie energii (w skali światowej ponad 40% [5]) i powodują też emisję do atmosfery szkodliwych związków (w skali światowej 35% [5]). O wadze przywiązywanej do wymagań środowiskowych świadczą wprowadzane obecnie deklaracje środowiskowe wyrobów wg PN-EN 15804+A1: 2014-04 [15] i ocena środowiskowa budynków wg PN-EN 15978: 2012 [14]. Jednakże kluczowym zadaniem jest obecnie ich należyte wdrożenie i upowszechnienie.

Należy uwypuklić fakt, że **dobrze zaprojektowany i wykonany obiekt budowlany stanowi rozwiązanie techniczne, które powinno być akceptowane z punktu widzenia społecznego w całym cyklu jego życia.** Wśród cech charakteryzujących ten aspekt obok wcześniej wymienionych wymagań podstawowych wyróżnić należy m.in.: mikroklimat, dostępność dla osób niepełnosprawnych, efektywne wykorzystanie powierzchni, przyjazność budynków zarówno dla jego użytkowników, jak i otoczenia, komfort akustyczny oraz komfort wizualny. Propozycję sposobu dokonania oceny właściwości socjalnych i społecznych zawarto w normie PN-EN 16309+A1: 2014-12 [16] i opisano między innymi w artykule [18].

Aspekt ekonomiczny w budownictwie wyrazić można, korzystając z różnych mierników. Dotychczas w analizach skupiano się na wyznaczeniu kosztu wytworzenia, a więc kosztu

budowy, włączając w to projektowanie, natomiast podejście zrównoważone wymaga uwzględnienia kosztów ponoszonych w całym cyklu życia. Ponadto w aspekcie tym można ocenić efektywność ekonomiczną inwestycji i wartość obiektu budowlanego. Propozycje mierników ocen dla tego aspektu zamieszczono w normie PN-EN 16627: 2015-10 [17] dotyczącej oceny właściwości ekonomicznych i wiążącej je z pozostałymi cechami obiektu.

### 3. Fazy cyklu życia obiektu budowlanego

**Cykl życia w odniesieniu do obiektu budowlanego, określany niekiedy jako cykl istnienia obejmuje kolejne, powiązane ze sobą fazy,** a więc programowanie i projektowanie (dokumentacja wstępna, podstawowa i wykonawcza), budowę z oddaniem do użytkowania, utrzymanie i eksploatację oraz końcową likwidację obiektu.

Zakres działań podejmowanych w poszczególnych fazach cyklu życia obiektów budowlanych, ze względu na ich złożony i specyficzny charakter, może być zróżnicowany, przy czym najbardziej rozbudowany jest on w odniesieniu do budynków. Kolejne fazy w cyklu życia obiektu budowlanego przedstawiono w tabeli 1, identyfikując zakresy działań im przypisane. Fazę projektowania obiektów budowlanych należy uznać za fundamentalną. Rozwiązania w niej przyjęte, w tym materiały i wyroby budowlane, prefabrykaty oraz systemy instalacyjne i techniczne wyposażenie przesądzą o wysokości kosztów generowanych w fazie użytkowania. Wybór rozwiązań projektowych, w tym zwłaszcza materiałów budowlanych, powinien uwzględniać nie tylko ich wpływ na środowisko, ale również trwałość rozwiązań i możliwości recyklingu.

W fazie eksploatacji w obiektach budowlanych prowadzone są też prace konserwacyjne o charakterze zapobiegawczym i prace remontowe polegające na wymianie elementów ze względu na zużycie. Faza likwidacji powinna uwzględniać rozbiórkę lub demontaż obiektu włącznie z zaplanowaniem ekologicznej utylizacji powstałych odpadów lub ich ponownego użycia. Analogiczne wskazania dotyczą też odpadów uzyskanych w wyniku przeprowadzania remontów, co stanowi w obu przypadkach warunek podejścia zrównoważonego.

#### 4. Koszty w cyklu życia obiektu budowlanego

Metoda LCC polega na wyznaczeniu przewidywanych kosztów w cyklu życia obiektu ponoszonych przez jednego lub wielu uczestników cyklu inwestycyjnego. Na potrzeby wyznaczenia kosztów metoda wymaga zbudowania modelu w podejściu deterministycznym lub niedeterministycznym, a więc uwzględniającym ryzyko. W literaturze światowej modele LCC będąc zróżnicowanymi, odnoszą się do całego cyklu lub do wybranych faz, przy dużym poziomie ogólności lub przeciwnie przy dużej szczegółowości.

Ocenę w ujęciu cyklu życia można prowadzić z różnych punktów widzenia i w różnych celach, co jest podstawą wyróżnienia rozmaitych technik na czele z Life Cycle Analysis (LCA). Głównym celem LCA jest identyfikacja i określenie wpływu wyrobów na środowisko podczas cyklu życia [23]. Z kolei sama analiza LCC może przybierać różne postaci, a więc konwencjonalną, środowiskową i społeczną [23], jednakże faktyczne różnice wynikają jedynie z różnej liczby czynników branych pod uwagę.

Wytyczne wyznaczania kosztów w cyklu życia obiektu budowlanego wskazane są w normie ISO 15686-5: 2008 [13]. Norma ta nie została przetłumaczona na język polski, w przeciwieństwie do innych krajów Unii Europejskiej, w których wprowadzona została ona z dostosowaniami do obowiązujących wytycznych krajowych i przepisami. Na konieczność ustalania kosztów w cyklu życia obiektów budowlanych w obszarze zamówień publicznych w Polsce wskazuje nowelizacja prawa zamówień publicznych [21] i prawa budowlanego [20]. Procedurę analizy LCC można przedstawić w sześciu krokach [7], którymi są:

- ustalenie zakresu analizy, w tym np. przyjęcie rozwiązań wariantowych,
- identyfikacja składników kosztów,
- oszacowanie wartości kosztów,
- obliczenie kluczowych wskaźników finansowych,
- przeprowadzenie analizy ryzyka i niepewności,
- wybór rozwiązania.

W przypadku analiz LCC dla obiektów budowlanych szczególnego znaczenia w fazie początkowej nabiera przyjęcie długości horyzontu czasowego. Może on odzwierciedlać czas użytkowania obiektu lub może być czasem prognozy kosztów przyjętym w danym modelu. Kolejnym bardzo ważnym krokiem jest identyfikacja poszczególnych składników kosztów przyjętych w analizowanym modelu LCC.

Zestawienie podstawowych działań generujących koszty  $C$ , przypisanych do faz cyklu życia przedstawiono w tabeli 1, co obrazuje też poniższy wzór, którego składniki są sumą kosztów ponoszonych w poszczególnych przedziałach czasu składających się na cykl życia:

$$C = C_p + C_b + C_u + C_o + C_r$$

Pierwszy, a więc przybliżony szacunek kosztów, należy przeprowadzić bez uwzględnienia wpływu czasu i inflacji na poziom kosztów, a więc dyskontowania. Takie podejście umożliwia rozpoznanie udziału poszczególnych składników kosztów.

Dopiero w następnej kolejności należy dokonać szczegółowego oszacowania wartości poszczególnych składników kosztów i przystąpić do analizy modelu z uwzględnieniem wpływu czasu na uzyskane wartości.

Koszty ponoszone w poszczególnych fazach cyklu należy sprowadzić do roku bazowego, posługując się współczynnikami dyskontowymi. Szczególnie istotna jest wysokość stopy dyskontowej  $i$ , która określana jest w stosunku rocznym lub miesięcznym w zależności od przyjętych przedziałów analizy  $n$  i ich liczby  $N$ . Ogólna postać wzoru uwzględniająca współczynnik dyskontowy jest następująca:

$$LCC = \sum_{n=1}^N c_p \frac{I}{(1+i)^n} + \sum_{n=1}^N c_b \frac{I}{(1+i)^n} + \sum_{n=1}^N c_u \frac{I}{(1+i)^n} + \sum_{n=1}^N c_o \frac{I}{(1+i)^n} + \sum_{n=1}^N c_r \frac{I}{(1+i)^n}$$

gdzie  $c$  to części kosztu całkowitego  $C$  przypisane poszczególnym przedziałom czasu.

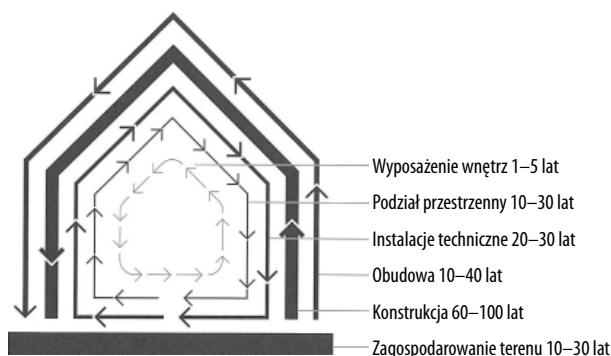
#### 5. Trwałość jako czynnik zrównoważenia

Długość horyzontu czasowego jako część całego cyklu przyjęta w modelu LCC generuje różne scenariusze analizy dotyczące fazy eksploatacji obiektu budowlanego i różne zakresy podejmowanych działań brane pod uwagę. **W fazie użytkowania cechą trwałości obiektów budowlanych oraz ich elementów należy uznać za podstawową cechą eksploatacyjną** obok wyszczególnionych wcześniej wymagań podstawowych. Normatywnie wyraża ona zdolność do wypełnienia zamierzonej, dla obiektów budowlanych oraz ich elementów, funkcji i wyrażana jest liczbowo jako czas [1].

Trwałość w odniesieniu do obiektów budowlanych i ich elementów determinowana jest wieloma czynnikami, wśród których do najważniejszych należy zaliczyć:

- lokalizację budynku w tym jego usytuowanie względem stron świata,
- uwarunkowania gruntowo-wodne,
- przyjęte rozwiązania projektowe,
- rodzaj zastosowanych materiałów, ich skład i właściwości,
- warunki środowiskowe,
- jakość wykonania i poziom kontroli,
- sposób użytkowania.

Obiekt budowlany, a w szczególności budynek, składa się z wielu elementów konstrukcyjnych, a więc warstwowych przegród nośnych i nienośnych wykonanych z różnych materiałów. W związku z tym okresy trwałości poszczególnych elementów i ich warstw oraz komponentów są bardzo różne, zwykle o dłuższych horyzontach czasowych dla głównych elementów nośnych i krótszych, a ponadto bardzo odmiennych w przypadku różnego rodzaju wykończeń konstrukcji oraz systemów instalacyjnych i ich elementów. Proces zużycia technicznego całego budynku i jego elementów składowych jest związany z zachodzącymi w budynku procesami fizykochemicznymi w fazie jego eksploatacji i warunkowany jest oddziaływaniem wcześniej wskazanych czynników.



**Rys. 2.** Trwałość elementów budynku w ujęciu uproszczonym [3]

We współczesnym, zintegrowanym ujęciu problem trwałości wyrażony jest tzw. okresem użytkowania. **W tym kontekście istnieją dwa pokrewne pojęcia, a więc planowanie na okres użytkowania w rozumieniu norm międzynarodowych PN-ISO 15686: 2005 [12] i projektowanie na okres użytkowania w rozumieniu norm europejskich klasy Eurokod, w tym PN-EN 1990: 2004 [11]** dotyczących różnego rodzaju konstrukcji budowlanych. W przypadku budynków, a więc obiektów kategorii 4 wg [11], projektowany okres użytkowania przyjmowany przez projektanta na poziomie 50 lat, jest przedziałem czasu, w którym konstrukcja lub jej część – użytkowana zgodnie z zamierzonym przeznaczeniem i przewidywanym utrzymaniem – nie wymaga dokonywania dużych napraw [1]. W problematyce LCC zachodzi potrzeba prognozowania okresu użytkowania jako parametru odzwierciedlającego trwałość obiektu budowlanego i poszczególnych jego elementów. Przy dużej liczbie czynników ją determinujących, oddziałujących w różnych fazach cyklu życia obiektu stanowi ona jeden z problemów projektowych. Zagadnienie to jest ważne również w kontekście planowania częstości prac remontowych i ich zakresu w fazie użytkowania. Na zakres tych prac można aktywnie wpływać przed odpowiednim projektowaniem, w tym zoptymalizowany dobór rozwiązań dla poszczególnych przegród, ich warstw oraz komponentów. W ogólnym przypadku trwałość poszczególnych elementów jest różna, co w sposób schematyczny przedstawia rysunek 2. Problem zróżnicowanych trwałości elementów obiektu jest podejmowany w wielu publikacjach, m.in. [2] i [19].

## 6. Przykład analizy kosztów budynku mieszkalnego

Celem podjętej analizy jest ustalenie kosztów w cyklu życia budynku dla przyjętego modelu. Na potrzeby obliczeń założono model LCC obejmujący fazę projektowania wraz z zakupem działki budowlanej, wykonania obiektu i jego użytkowania, pomijając fazę jego likwidacji. W fazie eksploatacji uwzględniono koszty prac remontowych, natomiast pominięto koszty operacyjne ponoszone z tytułu podatków, opłat, kosztów mediów i bieżącego utrzymania budynku. Kalkulację składników kosztów przeprowadzono dla jednorodzinnego, wolno stojącego budynku mieszkalnego parterowego

z poddaszem użytkowym o łącznej powierzchni użytkowej około 150 m<sup>2</sup>. Obiekt budowlany zaprojektowany w technologii tradycyjnej charakteryzuje się przegrodami zewnętrznymi spełniającymi wymagania w zakresie ochrony cieplnej wg stanu prawnego na 1 stycznia 2014 r.

Na podstawie sporządzonych przedmiarów robót i przyjętych rzeczowych i cenowych podstaw kalkulacji oszacowano koszty wykonania obiektu, jak również koszty prac remontowych [4]. Kalkulację kosztów robót budowlanych inwestycyjnych i remontowych sporządzono przy zastosowaniu metody kalkulacji szczegółowej z wykorzystaniem programu komputerowego Norma Pro.

Do dalszych analiz przyjęto trzy horyzonty czasowe, a więc 30, 50 i 85 lat, a ponadto dwa skrajne scenariusze użytkowania budynku, a co za tym idzie przebiegu jego zużycia:

- scenariusz I o najmniejszej trwałości, to znaczy najszybszym zużyciu wynikającym z braku dbałości właściciela budynku o jego stan techniczny,
- scenariusz II o największej trwałości wynikającej z zapewnienia stosownych napraw i konserwacji w wymaganym dla tych działań czasie.

Przyjęcie największego horyzontu czasowego analizy, a więc 85 lat, podyktowane było ograniczeniami aplikacyjnymi oprogramowania i było też zbieżne z maksymalnym okresem trwałości branej w praktyce pod uwagę dla budynków. Okres 50 lat odzwierciedla przypadek najczęściej rozpatrywany w literaturze światowej przy analizie LCC dla budynków, a ponadto przyjmowany obecnie w projektowaniu takich obiektów. Założony w analizie najkrótszy okres 30 lat podjęto celem zweryfikowania wpływu na wyniki końcowe długości horyzontu czasowego i częstości prac remontowych. W obu scenariuszach użytkowania obiektu przyjęto różne trwałości poszczególnych elementów, a w konsekwencji częstości prac.

Na podstawie tych danych opracowano sześć harmonogramów czasowo-kosztowych z wykorzystaniem programu Primavera Pertmaster [24], jakkolwiek w praktyce nie opracowuje się planu takich działań w tak szerokim ujęciu. **Analiza metodą harmonogramów obejmuje tradycyjnie planowanie faz przygotowania i realizacji przedsięwzięcia bez faz późniejszych, chyba że dotyczy to analizy tzw. pełnych cykli inwestycyjnych.** Na potrzeby analizy LCC zamodelowano procesy remontów, czasy ich trwania oraz powiązania logiczne i wynikające z obliczeń terminy.

Obliczenia kosztów LCC przeprowadzono najpierw bez uwzględnienia wpływu czasu na ich wartości, a następnie przy uwzględnieniu tego wpływu wraz z dyskontowaniem. Założono stałą stopę dyskontową na poziomie 4% w stosunku rocznym. Wyniki analiz dla poszczególnych scenariuszy przedstawiono w sposób syntetyczny w tabeli 2 (od A do S). W kolumnie drugiej tabeli zestawiono elementy obiektu lub rodzaj wykonywanych prac.

W przypadku prac remontowych podano przyjęte trwałości w latach i wielkości te umieszczono w nawiasach. Ustalenie proponowanych trwałości dla poszczególnych elementów budynku przeprowadzono na podstawie analizy dostępnych danych, w tym [10] oraz posiadanej wiedzy technicznej. W kolumnie trzeciej zestawiono planowane koszty, które dla prac

**Tabela 2. Wyniki analizy LCC (opracowanie własne)**

LCC = 835 770 zł (1 417 776 zł)		
Kod zad.	Element obiektu lub rodzaj robót	Koszt netto
	Przygotowanie inwestycji	205900
A	Zakup gruntu i ogrodzenia terenu	180000
B	Projektowanie budowlane	25900
	Roboty ziemne i przygotowawcze	16402
C	Roboty ziemne i zagospodarowanie	16402
	Roboty stanu surowego	305472
D	Konstrukcje nośne budynku	252845
E	Roboty remontowe dachu [50]	52627
	Roboty instalacyjne	260219
F	Wykonanie instalacji i przyłączy	64719
G	Remonty instalacji sanitarnych [25]	93600
H	Remonty instalacji elektrycznych [25]	44400
I	Wymiana wyposażenia instalacyjnego [15]	57500
	Roboty stanu wykończeniowego	629783
J	Wykończenie budynku	194567
K	Tynki i okładziny ścian [40]	30916
L	Panele podłogowe [20]	44400
M	Płytki ceramiczne [15]	66095
N	Stolarka wewnętrzna [50]	30400
O	Malowanie i tapetowanie [5]	65808
P	Ocieplenia i elewacje [25]	107775
R	Rynny, rury i obróbki blacharskie [15]	61240
S	Stolarka zewnętrzna [35]	28582

LCC = 821 434 zł (1 181 177 zł)		
Kod zad.	Element obiektu lub rodzaj robót	Koszt netto
	Przygotowanie inwestycji	205900
A	Zakup gruntu i ogrodzenia terenu	180000
B	Projektowanie budowlane	25900
	Roboty ziemne i przygotowawcze	16402
C	Roboty ziemne i zagospodarowanie	16402
	Roboty stanu surowego	305472
D	Konstrukcje nośne budynku	252845
E	Roboty remontowe dachu [50]	52627
	Roboty instalacyjne	191219
F	Wykonanie instalacji i przyłączy	64719
G	Remonty instalacji sanitarnych [25]	62400
H	Remonty instalacji elektrycznych [25]	29600
I	Wymiana wyposażenia instalacyjnego [15]	34500
	Roboty stanu wykończeniowego	462184
J	Wykończenie budynku	194567
K	Tynki i okładziny ścian [40]	15458
L	Panele podłogowe [20]	22200
M	Płytki ceramiczne [15]	39657
N	Stolarka wewnętrzna [50]	30400
O	Malowanie i tapetowanie [5]	37017
P	Ocieplenia i elewacje [25]	71850
R	Rynny, rury i obróbki blacharskie [15]	36744
S	Stolarka zewnętrzna [35]	14291

LCC = 778 190 zł (926 890 zł)		
Kod zad.	Element obiektu lub rodzaj robót	Koszt netto
	Przygotowanie inwestycji	205900
A	Zakup gruntu i ogrodzenia terenu	180000
B	Projektowanie budowlane	25900
	Roboty ziemne i przygotowawcze	16402
C	Roboty ziemne i zagospodarowanie	16402
	Roboty stanu surowego	252845
D	Konstrukcje nośne budynku	252845
E	Roboty remontowe dachu [50]	0
	Roboty instalacyjne	133719
F	Wykonanie instalacji i przyłączy	64719
G	Remonty instalacji sanitarnych [25]	31200
H	Remonty instalacji elektrycznych [25]	14800
I	Wymiana wyposażenia instalacyjnego [15]	23000
	Roboty stanu wykończeniowego	318024
J	Wykończenie budynku	194567
K	Tynki i okładziny ścian [40]	0
L	Panele podłogowe [20]	11100
M	Płytki ceramiczne [15]	13219
N	Stolarka wewnętrzna [50]	30400
O	Malowanie i tapetowanie [5]	20565
P	Ocieplenia i elewacje [25]	35925
R	Rynny, rury i obróbki blacharskie [15]	12248
S	Stolarka zewnętrzna [35]	0

LCC = 782 365 zł (1 218 583 zł)		
Kod zad.	Element obiektu lub rodzaj robót	Koszt netto
	Przygotowanie inwestycji	205900
A	Zakup gruntu i ogrodzenia terenu	180000
B	Projektowanie budowlane	25900
	Roboty ziemne i przygotowawcze	16402
C	Roboty ziemne i zagospodarowanie	16402
	Roboty stanu surowego	305472
D	Konstrukcje nośne budynku	252845
E	Roboty remontowe dachu [50]	52627
	Roboty instalacyjne	179719
F	Wykonanie instalacji i przyłączy	64719
G	Remonty instalacji sanitarnych [40]	62400
H	Remonty instalacji elektrycznych [30]	29600
I	Wymiana wyposażenia instalacyjnego [30]	23000
	Roboty stanu wykończeniowego	511090
J	Wykończenie budynku	194567
K	Tynki i okładziny ścian [60]	15458
L	Panele podłogowe [25]	33300
M	Płytki ceramiczne [20]	52876
N	Stolarka wewnętrzna [60]	30400
O	Malowanie i tapetowanie [7]	49356
P	Ocieplenia i elewacje [40]	71850
R	Rynny, rury i obróbki blacharskie [20]	48992
S	Stolarka zewnętrzna [50]	14291

LCC = 766 628 zł (985 601 zł)		
Kod zad.	Element obiektu lub rodzaj robót	Koszt netto
	Przygotowanie inwestycji	205900
A	Zakup gruntu i ogrodzenia terenu	180000
B	Projektowanie budowlane	25900
	Roboty ziemne i przygotowawcze	16402
C	Roboty ziemne i zagospodarowanie	16402
	Roboty stanu surowego	305472
D	Konstrukcje nośne budynku	252845
E	Roboty remontowe dachu [50]	52627
	Roboty instalacyjne	122219
F	Wykonanie instalacji i przyłączy	64719
G	Remonty instalacji sanitarnych [40]	31200
H	Remonty instalacji elektrycznych [30]	14800
I	Wymiana wyposażenia instalacyjnego [30]	11500
	Roboty stanu wykończeniowego	335608
J	Wykończenie budynku	194567
K	Tynki i okładziny ścian [60]	0
L	Panele podłogowe [25]	11100
M	Płytki ceramiczne [20]	26438
N	Stolarka wewnętrzna [60]	0
O	Malowanie i tapetowanie [7]	28791
P	Ocieplenia i elewacje [40]	35925
R	Rynny, rury i obróbki blacharskie [20]	24496
S	Stolarka zewnętrzna [50]	14291

LCC = 737 324 zł (813 752 zł)		
Kod zad.	Element obiektu lub rodzaj robót	Koszt netto
	Przygotowanie inwestycji	205900
A	Zakup gruntu i ogrodzenia terenu	180000
B	Projektowanie budowlane	25900
	Roboty ziemne i przygotowawcze	16402
C	Roboty ziemne i zagospodarowanie	16402
	Roboty stanu surowego	252845
D	Konstrukcje nośne budynku	252845
E	Roboty remontowe dachu [50]	0
	Roboty instalacyjne	91019
F	Wykonanie instalacji i przyłączy	64719
G	Remonty instalacji sanitarnych [40]	0
H	Remonty instalacji elektrycznych [30]	14800
I	Wymiana wyposażenia instalacyjnego [30]	11500
	Roboty stanu wykończeniowego	247586
J	Wykończenie budynku	194567
K	Tynki i okładziny ścian [60]	0
L	Panele podłogowe [25]	11100
M	Płytki ceramiczne [20]	13219
N	Stolarka wewnętrzna [60]	0
O	Malowanie i tapetowanie [7]	16452
P	Ocieplenia i elewacje [40]	0
R	Rynny, rury i obróbki blacharskie [20]	12248
S	Stolarka zewnętrzna [50]	0

**Tabela 3.** Relacje kosztów w cyklu życia do kosztów wytworzenia (opracowanie własne)

Scenariusze użytkowania	Horyzont czasowy analizy		
	85 lat	50 lat	30 lat
I	18% (93%)	16% (61%)	10% (26%)
II	11% (66%)	8% (34%)	4% (11%)

remontowych obejmują koszty tych robót z uwzględnieniem ich krotności w planowanym cyklu życia.

Łączne koszty dla poszczególnych scenariuszy wykazują bardzo duże ich zróżnicowanie od 813 752 zł do 1 417 776 zł.

**Analiza kosztów bez uwzględnienia dyskontowania pokazuje, że koszty remontów w pełnym cyklu życia zbliżają się w analizowanym przypadku do kosztów jego wytworzenia.** Sytuację tę ilustruje analiza dla najdłuższego horyzontu czasowego, gdzie te koszty stanowiły 93% kosztów wytworzenia. Wraz ze zmianą horyzontu czasowego relacje te maleją w sposób znaczący, a więc przykładowo dla najkrótszego analizowanego horyzontu czasowego przy drugim scenariuszu wyniosły tylko 11%. Koszty LCC z uwzględnieniem dyskontowania wykazują odmienne relacje związane z rozkładem poszczególnych kwot w czasie. Dla najdłuższego horyzontu czasowego stanowiły one 18%, natomiast dla najkrótszego tylko 4%. Wartości w ujęciu procentowym dla wszystkich analizowanych scenariuszy obrazujące relacje kosztów w cyklu życia do kosztów wytworzenia zestawiono w tabeli 3 (wartości podane w nawiasach dotyczą kwot bez dyskontowania).

Zróżnicowanie tych relacji nie pozwala wyznaczyć średnich wielkości w oderwaniu od horyzontu czasowego ze względu na skokowy rozkład w czasie kosztów poszczególnych remontów. Kluczowe znaczenie ma decyzja o przyjęciu długości horyzontu. Zbyt krótki horyzont czasowy rzędu 30 lat nie jest miarodajny i nie powinien być brany pod uwagę w analizach LCC, gdyż nie uwzględnia w sposób należyty czynnika zużycia obiektu i jego elementów.

## 7. Podsumowanie

Wprowadzanie w budownictwie strategii zrównoważonego rozwoju wymaga generalnych zmian w obszarze planowania przedsięwzięć budowlanych, w tym projektowania obiektów, a w konsekwencji szacowania kosztów. **Pełne analizy LCC dla obiektów budowlanych wymagają identyfikacji składników kosztów w cyklu życia, ustalenia trwałości elementów budowlanych i ich komponentów, prognozowania zakresu prac remontowych i ich usytuowania w czasie, ustalania wysokości wydatków operacyjnych oraz ustalania kosztów prac likwidacyjnych i zakresu recyklingu materiałów. Przygotowanie danych do tego rodzaju analiz jest bardzo pracochłonne.**

Przeprowadzona analiza przyjętego modelu LCC dla jednorodzinne go budynku mieszkalnego pozwoliła na ustalenie kosztów dla założonych scenariuszy. Są one ściśle związane z przyjętymi w tym obiekcie rozwiązaniami technicznymi, a ponadto mogą być zróżnicowane w zakresie kosztów ponoszonych w fazie eksploatacji. **W trakcie projektowania budynku można dokonywać ukierunkowanych zmian rozwiązań,**

**mając na względzie świadome kształtowanie przebiegu jego zużycia.** Podejście zrównoważone skłania do wyboru rozwiązań charakteryzujących się większą trwałością, które zwykle wiążą się z większymi kosztami wytworzenia, choć nie musi to stanowić reguły.

Podjęcie problemu przez autorów wynikało z ostatnich zmian przepisów prawa budowlanego i prawa zamówień publicznych, które jednak dotyczą na razie jedynie ustaw bez stosownych rozporządzeń wykonawczych. Na mocy nowego ustawodawstwa prawa zamówień publicznych w Polsce podejście LCC stało się obowiązujące, jednakże o formie implementacji zadecydują dopiero zapewne szczegółowe rozporządzenia wykonawcze, choć same zapisy ustawowe wyznaczają już kierunek zmian i niniejszy artykuł za nimi podąża, mając na względzie zidentyfikowanie potencjalnych problemów wymagających badań.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Ajdukiewicz A., Aspekty trwałości i wpływu na środowisko w projektowaniu konstrukcji betonowych, *Przegląd Budowlany* 2/2011, str. 20–29
- [2] Bochen J., Prognozowanie trwałości tynków zewnętrznych na podstawie zmian właściwości fizycznych w procesie starzenia, *Isolacje* 4/2014, str. 30–33
- [3] Brand S., *How buildings learn. What Happens After They're Built*. Penguin Books, New York, 1994
- [4] Cicha A., Jędrzejak P., Analiza przedsięwzięcia budowlanego w aspekcie kosztów realizacji i eksploatacji, Praca dyplomowa (inżynierska) pod kierunkiem M. Celińskiej-Mysław, Instytut Konstrukcji Budowlanych Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2014
- [5] Czarnecki L., Kaproń M., Piasecki M., Wall S., Budownictwo zrównoważone budownictwem przyszłości, *Inżynieria i Budownictwo* 1/2012, str. 18–21
- [6] Dobija M., *Dyskonto*, WSiP, Warszawa, 1992
- [7] Efektywność energetyczna. Analiza kosztów cyklu życia – Podstawy. Forte 2015, <http://leonardo-energy.pl/article/analiza-kosztow-cyklu-zycia-podstawy> (dostęp dn. 30.04.17)
- [8] Ibrahim I., Towards Balanced Sustainable Design. International Conference on IT, Architecture and Mechanical Engineering, Dubai, 2015
- [9] Marghescu T., Greening the Lisbon Agenda? Greening of The Lisbon Agenda Conference. EPSD, Strasbourg, 2005 – materiały niepublikowane
- [10] Michalik K., Zużycie techniczne budynków i budowli, *Prawo i Budownictwo*, Chrzanów, 2014
- [11] Norma PN-EN 1990: 2004 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji
- [12] Norma PN-ISO 15686: 2005 Budynki i budowle – Planowanie okresu użytkowania
- [13] Norma ISO 15686-5: 2008 Buildings and constructed assets – Service – life planning – Part 5 Life– cycle costing
- [14] Norma PN-EN 15978: 2012 Zrównoważone obiekty budowlane. Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania
- [15] Norma PN-EN 15804+A1: 2014-04 Zrównoważoność obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobu – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych
- [16] Norma PN-EN 16309+A1: 2014-12 Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena socjalnych właściwości użytkowych budynków – Metodyka obliczania
- [17] Norma PN-EN 16627: 2015-10 Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena ekonomicznych właściwości użytkowych budynków – Metody obliczania
- [18] Piasecki M., Inicjatywy kształtujące wymagania środowiskowe dla wyrobów budowlanych, *Isolacje* 6/2015, str. 20–25
- [19] Pieniążek A., Szelaąg J., Żurawski J., *Isolacje termiczne dachów skośnych*, *Isolacje* 2/2015, str. 76–81
- [20] Ustawa prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r., Dz.U. z dnia 3 marca 2016 r., poz. 290
- [21] Ustawa prawo zamówień publicznych z dnia 29 stycznia 2004 r., Dz.U. z dnia 14 lipca 2016 r., poz. 1020
- [22] Wall S., Nowe kierunki normalizacji europejskiej związane z wdrożeniem zasad zrównoważonego rozwoju w budownictwie, *Materiały Budowlane* 3/2011, str. 84–87
- [23] Węglarz A., Pierzchalski, M., Koc, D., Koszty w cyklu życia budynku, *Materiały 22 Konferencji Naukowo-Technicznej*, Ciechocinek 5–7.10.2016, str. 43–64
- [24] Wiatr T., Modelowanie i analiza przedsięwzięć w systemie Pertmaster, Konferencja zarządzanie ryzykiem, TNOiK, Bydgoszcz, 2006, str. 421–426