

Maria Celińska-Mysław, dr inż.
Wyższa Szkoła Bankowa w Poznaniu
Tomasz Wiatr, dr inż.
Politechnika Poznańska

<https://doi.org/10.26366/PTE.ZG.2017.76>

Planowanie budowlanych przedsięwzięć inwestycyjnych w ujęciu zrównoważonym

Streszczenie

Budownictwo, jako istotny dział gospodarki, wymaga wdrożenia strategii zrównoważonego rozwoju opartego na trzech filarach: ekonomicznym, społecznym, środowiskowym. Konieczna jest obecnie zmiana podejścia do planowania przedsięwzięć budowlanych, w tym szczególnie projektowania obiektów budowlanych z uwzględnieniem uwarunkowań cyklu ich życia. W artykule przedstawiono metodykę szacowania kosztów w cyklu życia (LCC) na przykładzie budynku mieszkalnego, dokonując analizy rozwiązań wariantowych. Szczególną uwagę zwrócono na przydział składników kosztów do poszczególnych faz cyklu życia, wypuklając problematykę trwałości elementów obiektu budowlanego i konsekwencji z tego wynikających. W celu przeprowadzenia analizy LCC z wykorzystaniem dyskontowania posłużono się programem Primavera Pertmaster wspomagającym planowanie przedsięwzięć. Podjęcie tak sformułowanego problemu jest szczególnie ważne ze względu na konieczność dostosowania standardów dokumentacji projektowo-kosztorysowej w budownictwie do potrzeb analizy w ujęciu LCC. Na mocy nowego ustawodawstwa prawa zamówień publicznych w Polsce podejście LCC stało się obowiązujące, jednakże o formie implementacji zadecydują dopiero szczegółowe rozporządzenia wykonawcze.

Słowa kluczowe: budownictwo zrównoważone, koszty w cyklu życia, trwałość budynku

Planning of construction investment projects in sustainable approach

Abstract

Construction, as an important branch of national economy, requires the implementation of sustainable development strategy based on three pillars: economic, social and environmental. It is necessary to change the current approach to the planning of construction projects, including in particular the design of buildings which taking into account the conditions of their life cycle. This article presents a methodology of lifecycle costing (LCC) through the example of a residential building as analysis of alternative solutions. Particular attention was directed to the allocation of the cost elements for different phases of the life cycle, highlighting the issue of the durability of the building elements and the consequences resulting of this fact. Primavera Pertmaster, a project planning tool, was used to the LCC with using of discounting. Attempts to resolve such problems are especially significant because of the necessity of adapting the design and estimation standards in construction industry to the needs of the LCC analysis. Under new legislation on public procurement law in Poland, an LCC approach has been made mandatory, but implementing regulations will decide on the form of its detail solution.

Keywords: sustainable construction, lifecycle costs, building durability

JEL CODE: L74, M11, O22

Wstęp

W świetle strategii zrównoważonego rozwoju konieczna jest obecnie zmiana podejścia do planowania przedsięwzięć budowlanych, w tym projektowania obiektów budowlanych oraz związanego z nim kosztorysowania budowlanego. W artykule przedstawiono metodykę szaco-

wania kosztów w cyklu życia, a więc Life Cycle Costing (LCC) na przykładzie budynku mieszkalnego i dokonano przeglądu polskich norm istotnych dla przedstawianego zagadnienia.

W prezentowanym przykładzie skupiono się na kosztach prac inwestycyjnych i na kosztach prac remontowych oraz na implikacjach wynikających z przyjętego zakresu remontów i ich usytuowania w cyklu życia obiektu budowlanego w oparciu o ich przewidywane częstotliwości.

Koszty wyznaczono metodą kalkulacji szczegółowej z użyciem programu ogólnego przeznaczenia wspomagającego kosztorysowanie budowlane, natomiast analizę LCC przeprowadzono w oparciu o harmonogramy sieciowe i dyskontowanie przy wykorzystaniu specjalistycznego programu wspomagającego planowanie i analizę przedsięwzięć.

Dokonano analizy sześciu przypadków o zróżnicowanych rozwiązaniach materiałowych poszczególnych elementów budynku i niezbędnych prac remontowych w oparciu o założone trwałości w dwóch granicznych scenariuszach użytkowania obiektu. Istotnym przedmiotem badań było ustalenie wpływu horyzontu czasowego na wyniki analizy LCC.

Zrównoważony rozwój budownictwa

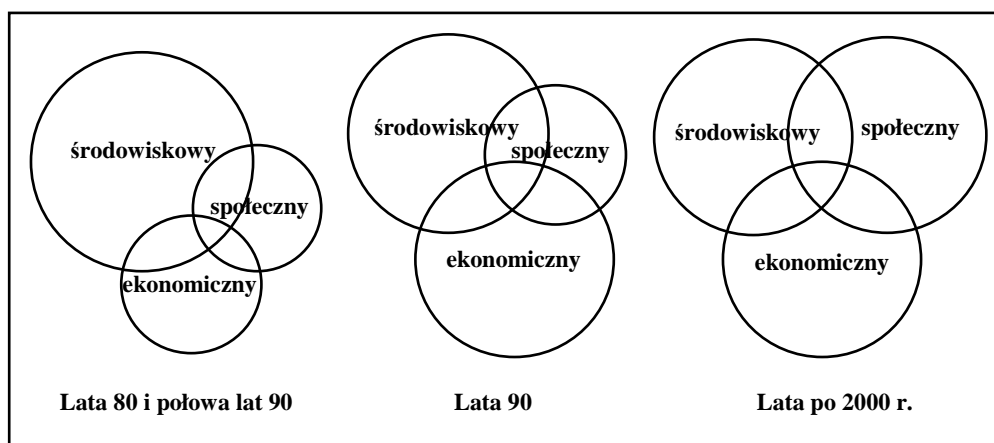
Głównym celem budownictwa jest projektowanie i wznoszenie obiektów budowlanych, które powinny spełniać wiele wymagań, w tym w szczególności, tzw. wymagania podstawowe (*Ustawa 1994*) w zakresie bezpieczeństwa konstrukcji, bezpieczeństwa pożarowego, bezpieczeństwa użytkowania, odpowiednich warunków higienicznych i zdrowotnych, ochrony środowiska oraz ochrony przed hałasem, drganiami, oszczędności energii i izolacyjności cieplnej oraz wprowadzone w ostatnim czasie wymaganie 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 (*Wall 2011*).

Strategia ta zakłada takie gospodarowanie zasobami w obecnych uwarunkowaniach, które zabezpieczy potrzeby przyszłych pokoleń. Zbudowana jest ona na trzech filarach: ekonomicznym, społecznym, środowiskowym. Formułowane początkowo cele dotyczyły właściwego gospodarowania ograniczonymi zasobami, zwłaszcza energetycznymi i nakierowane były na poszukiwanie rozwiązań umniejszających wpływ produkcji materiałów i wyrobów budowlanych oraz obiektów budowlanych na środowisko naturalne. Przejście od wiodącej roli aspektów identyfikowanych, jako środowiskowe przez uwzględnienie na przestrzeni czasu w większym stopniu aspektów ekonomicznych doprowadziło w ostatnim czasie do uwypuklenia również aspektów społecznych. Zmianę podejścia w ujęciu zrównoważonym zilustrowano 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, których zastosowanie mogłoby nadmiernie oddziaływać na środowisko. Główny nacisk położony jest na uwarunkowania energetyczne, racjonalne korzystanie z zasobów naturalnych (szerzej ekologii), rozwiązania materiałowe, stosowanie właściwych technologii budowlanych, proces projektowania uwzględniający fazę eksploatacji, rozbiórki i składowanie odpadów. Interesującym poznawczo jest podejście do projektowania uwzględniające od razu jego przyszłe wyburzenie, a więc koncepcja znana, jako „Design for Deconstruction” (DfD) rozwijana w kilku ośrodkach prowadząc do ciekawych rozwiązań szczegółowych.

Podkreślić należy, że zarówno przemysł materiałów budowlanych, jak i eksploatacja budynku generują znaczne zużycie energii (w skali światowej ponad 40% (*Czarnecki i inni 2012*)) i powodują też emisję do atmosfery szkodliwych związków (w skali światowej 35% (*Czarnecki i inni 2012*)). O wadze przywiązywanej do wymagań środowiskowych świadczą wprowadzane obecnie deklaracje środowiskowe wyrobów (*Norma 2014*) i ocena środowiskowa budynków (*Norma 2012*), kluczowym jest jednak ich należyte wdrożenie.

Rysunek 1. Koncepcja zrównoważonego rozwoju w ujęciu czasowym



Źródło: Marghescu 2005; za Ibrahim 2015.

Należy uwypuklić fakt, że dobrze zaprojektowany i wykonany obiekt budowlany stanowi rozwiązanie, które powinno być akceptowane z punktu widzenia społecznego w całym cyklu jego życia. Wśród podstawowych cech charakteryzujących ten aspekt 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 (*Norma 2014*).

Sam aspekt ekonomiczny w budownictwie wyraża się przez koszt obiektu budowlanego. Dotychczas w ocenach skupiano się na koszcie wytworzenia, a więc koszcie 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. Pełne propozycje mierników ocen dla tego aspektu zamieszczono w normie EN 16627 (*Norma 2015*) dotyczącej oceny właściwości ekonomicznych i wiążącej je z pozostałymi cechami obiektu.

Fazy cyklu życia obiektu budowlanego

Cykl życia w odniesieniu do obiektu budowlanego, określane niekiedy, jako cykl istnienia obejmuje kolejne, powiązane ze sobą fazy, których początek stanowi programowanie inwestycji i planowanie zakresu. Kolejne fazy cyklu to: projektowanie (dokumentacja wstępna, podstawowa i wykonawcza), budowa z oddaniem do użytkowania, utrzymanie i eksploatacja oraz końcowa likwidacja obiektu.

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

Zgodnie z art. 3 ustawy prawo budowlane (*Ustawa 1994*) pojęcie obiekt budowlany obejmuje zarówno budynki, jak i budowle oraz obiekty małej architektury. 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, a szerzej cała technologia budowy, przesądzają o wysokości kosztów generowanych w fazie użytkowania. Wybór rozwiązań projektowych, w tym szczególnie rodzaju materiałów budowlanych, powinien uwzględniać nie tylko ich negatywny wpływ na środowisko, jak i trwałość rozwiązań, ale również możliwości recyklingu. Stąd szczególnego znaczenia w fazie projektowania nabierają rozwiązania wariantowe, których efektywność ekonomiczną można ocenić przy zastosowaniu metodyki LCC, będącej kluczowym elementem przedstawionej poniżej analizy.

Koszty w cyklu życia obiektu budowlanego

W ujęciu definicyjnym LCC polega na wyznaczeniu kosztów związanych z cyklem życia produktu ponoszonych bezpośrednio przez jednego lub wielu uczestników tego cyklu. W literaturze światowej metodyka budowy modeli LCC jest bardzo zróżnicowana, powiązana z różnymi gałęziami przemysłu i odnosi się do wszystkich faz cyklu życia, lub tylko do wybranych i to przy dużym poziomie ogólności lub przeciwnie przy dużej szczegółowości.

Ogólne wytyczne dla wyznaczania kosztów w cyklu życia obiektu budowlanego wskazane są w normie (*Norma 2008*). 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 ustalenia kosztów w cyklu życia obiektów budowlanych w obszarze zamówień publicznych w Polsce wskazuje ostatnia nowelizacja prawa zamówień publicznych (*Ustawa 2004*).

Sama analiza kosztów w cyklu życia obiektu budowlanego może być dokonywana w podejściu deterministycznym lub niedeterministycznym uwzględniającym ryzyko a nawet niepewność. W problematyce dotyczącej kosztów w miernikach oceny efektywności ekonomicznej podejście niedeterministyczne jest bardziej skomplikowane ze względu na wiele czynników, których wartości trudno prognozować, jak również analizować metodami probabilistycznymi. Do tych czynników zaliczyć można zmienne ceny czynników produkcji, a w ich konsekwencji wartości przyszłych kosztów napraw i remontów.

Procedurę przeprowadzania analizy kosztów w cyklu życia obiektu budowlanego można przedstawić w sześciu krokach (*Efektywność 2015*), 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, przypisanych do faz cyklu życia przedstawiono w tabeli 1.

Pierwszy, a więc przybliżony szacunek kosztów, należy przeprowadzić bez uwzględnienia wpływu czasu na poziom kosztów, tj. inflacji oraz dyskontowania. Takie podejście umożliwia ustalenie wagi poszczególnych składników kosztów pozwalając na uwypuklenie kluczowych kosztów w analizowanym modelu. Dopiero w następnej kolejności należy dokonać szczegółowego oszacowania wartości poszczególnych składników kosztów i przystąpić do analizy modelu z uwzględnieniem wpływu czasu na uzyskane wartości.

Tabela 1. Składniki kosztów w odniesieniu do faz cyklu życia obiektu budowlanego

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

Źródło: opracowanie własne.

Trwałość, jako istotny czynnik zrównoważenia

Długość horyzontu czasowego przyjęta w modelu LCC generuje różne scenariusze dotyczące fazy eksploatacji obiektu budowlanego w tym zakresy koniecznych prac remontowych, wymiany elementów obiektów, a przede wszystkim ich usytuowanie w czasie. W fazie użytkowania cechą trwałości obiektów budowlanych oraz ich elementów uznać należy 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 (Ajdukiewicz 2011).

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

- 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 fizyko-chemicznymi w fazie jego eksploatacji i warunkowany jest oddziaływaniem wcześniej wskazanych czynników.

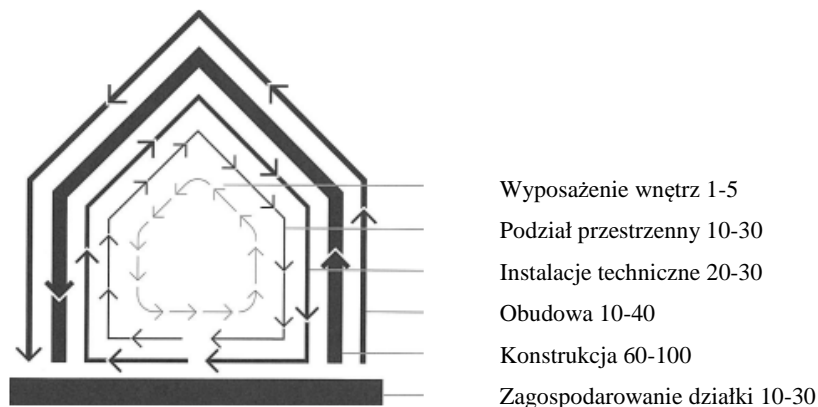
We współczesnym, zintegrowanym ujęciu problem trwałości wyrażony jest tzw. okresem użytkowania. W tym kontekście istnieją dwa pojęcia, a więc planowanie na okres użytkowania w rozumieniu norm międzynarodowych (*Norma 2005*) i projektowanie na okres użytkowania w rozumieniu norm europejskich klasy Eurokod, w tym (*Norma 2004*) dotyczących

różnego rodzaju konstrukcji budowlanych. W przypadku budynków, a więc obiektów kategorii 4 wg (*Norma* 2004), 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 (Ajdukiewicz 2011).

W problematyce LCC zachodzi potrzeba prognozowania okresu użytkowania, jako parametru odzwierciedlającego trwałość obiektu budowlanego i poszczególnych jego elementów. Przy dużej liczbie czynników ją determinujących, oddziaływujących w różnych fazach życia obiektu stanowi ona jeden z ważnych problemów projektowych. Zagadnienie to jest ważne również w kontekście planowania częstości prac remontowych i ich zakresu w fazie użytkowania obiektu budowlanego. Na zakres tych prac można aktywnie wpływać przed odpowiednie projektowanie, 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, wskazując na zróżnicowane czasy trwałości, będący podstawą wielu publikacji, m.in. J. Bochen (2014) i A. Pieniążek i inni (2015).

Rysunek 2. Trwałość elementów budynku w latach w uproszczonym ujęciu syntetycznym



Źródło: Brand 1994.

Analiza kosztów w cyklu życia budynku mieszkalnego

Celem analizy podjętej w niniejszym artykule jest ustalenie kosztów w cyklu życia obiektu budowlanego dla przyjętego modelu. Założono na potrzeby obliczeń model LCC obejmujący fazę projektowania wraz z zakupem działki budowlanej, wykonania obiektu i jego użytkowania pomijając fazę likwidacji. W fazie eksploatacji uwzględniono koszty prac remontowych, natomiast pominięto koszty operacyjne ponoszone z tytułu podatków, opłat, mediów i bieżącego utrzymania budynku.

Kalkulację kosztów przeprowadzono dla jednorodzinnego, wolnostojącego budynku mieszkalnego parterowego z poddaszem użytkowym o łącznej powierzchni użytkowej około 150 m². Obiekt budowlany zaprojektowany w technologii tradycyjnej charakteryzuje się przegrodami zewnętrznymi spełniającymi wymagania w zakresie ochrony cieplnej wg stanu prawnego na dzień 1 stycznia 2014 roku.

Duże zróżnicowanie materiałowe poszczególnych elementów budynku wpływa na znaczne zróżnicowanie zakresu prac remontowych planowanych w okresie eksploatacji obiektu, jakie zostały w analizie uwzględnione.

Na podstawie sporządzonych przedmiarów robót i przyjętych rzeczowych i cenowych podstaw kalkulacji oszacowano koszty wykonania obiektu, jak również koszty prac remonto-

wych (Cicha, Jędrzejak 2014). Kalkulację kosztów robót budowlanych inwestycyjnych i remontowych sporządzono przy zastosowaniu metody szczegółowej z wykorzystaniem programu komputerowego Norma Pro wspomagającego kosztorysowanie budowlane.

Do dalszych analiz przyjęto trzy horyzonty czasowe, a więc 30, 50 i 85 lat a ponadto dwa skrajne scenariusze użytkowania, a co za tym idzie przebiegu 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 jednorodzinnych o konstrukcji tradycyjnej. Okres 50 lat odzwierciedla przypadek najczęściej przyjmowany w literaturze światowej przy ustalaniu kosztów cyklu życia budynków, a ponadto obecnie przyjmowany 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 P3, jednak w praktyce nie opracowuje się planu takich działań w tak szerokim ujęciu. Analiza z zużyciem metody harmonogramów obejmuje tradycyjnie planowanie faz przygotowania i realizacji przedsięwzięcia bez faz późniejszych. Dla potrzeb analizy LCC zamodelowano procesy remontów, czasy ich trwania oraz powiązania logiczne i wynikające z ich analizy terminy z dynamiczną analizą kosztów.

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%. Wyniki analiz dla poszczególnych scenariuszy przedstawiono w sposób syntetyczny w tabeli 2 (od a do f). 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. Ustalanie proponowanych trwałości dla poszczególnych elementów budynku przeprowadzono na podstawie analizy dostępnych danych, w tym (Michalik 2014) oraz posiadanej wiedzy technicznej. W kolumnie trzeciej zestawiono planowane koszty, które dla prac remontowych obejmują koszty tych robót z uwzględnieniem ich krotności w planowanym cyklu życia.

Łączne koszty dla poszczególnych scenariuszy wykazują bardzo duże ich zróżnicowanie od wartości 1 417 776 zł do wartości 813 752 zł. Porównanie tych 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 w ujęciu procentowym stanowiły 193% kosztów wytworzenia.

Wraz ze zmianą horyzontu czasowego relacje te maleją w sposób znaczący, a więc przykładowo dla najkrótszego analizowanego przypadku przy drugim scenariuszu wyniosły tylko 111%. Koszty LCC z uwzględnieniem dyskontowania wykazują odmienne relacje związane z rozkładem poszczególnych kwot w czasie. Dla najdłuższego horyzontu czasowego stanowiły one 118%, natomiast dla najkrótszego tylko 104%.

Tabela 2. Wyniki analizy LCC

a) czas analizy 85 lat, minimalne trwałości

Kod zad.	Element obiektu lub rodzaj robót	Koszt netto
0	Przygotowanie inwestycji	205 900
A	Zakup gruntu i ogrodzenia terenu	180 000
B	Projektowanie budowlane	25 900
1	Roboty ziemne i przygotowawcze	16 402
C	Roboty ziemne i zagospodarowanie	16 402
2	Roboty stanu surowego	305 472
D	Konstrukcje nośne budynku	252 845
E	Roboty remontowe dachu [50]	52 627
3	Roboty instalacyjne	260 219
F	Wykonanie instalacji i przyłączy	64 719
G	Remonty instalacji sanitarnych [25]	93 600
H	Remonty instalacji elektrycznych [25]	44 400
I	Wymiana wyposażenia instalacyjnego [15]	57 500
4	Roboty stanu wykończeniowego	629 783
J	Wykończenie budynku	194 567
K	Tynki i okładziny ścian [40]	30 916
L	Panele podłogowe [20]	44 400
M	Płytki ceramiczne [15]	66 095
N	Stolarka wewnętrzna [50]	30 400
O	Malowanie i tapetowanie [5]	65 808
P	Ocieplenia i elewacje [25]	107 775
R	Rywny, rury i obróbki blacharskie [15]	61 240
S	Stolarka zewnętrzna [35]	28 582

LCC = 835 770 zł (1 417 776 zł)

b) czas analizy 85 lat, maksymalne trwałości

Kod zad.	Element obiektu lub rodzaj robót	Koszt netto
0	Przygotowanie inwestycji	205 900
A	Zakup gruntu i ogrodzenia terenu	180 000
B	Projektowanie budowlane	25 900
1	Roboty ziemne i przygotowawcze	16 402
C	Roboty ziemne i zagospodarowanie	16 402
2	Roboty stanu surowego	305 472
D	Konstrukcje nośne budynku	252 845
E	Roboty remontowe dachu [50]	52 627
3	Roboty instalacyjne	179 719
F	Wykonanie instalacji i przyłączy	64 719
G	Remonty instalacji sanitarnych [40]	62 400
H	Remonty instalacji elektrycznych [30]	29 600
I	Wymiana wyposażenia instalacyjnego [30]	23 000
4	Roboty stanu wykończeniowego	511 090
J	Wykończenie budynku	194 567
K	Tynki i okładziny ścian [60]	15 458
L	Panele podłogowe [25]	33 300
M	Płytki ceramiczne [20]	52 876
N	Stolarka wewnętrzna [60]	30 400
O	Malowanie i tapetowanie [7]	49 356
P	Ocieplenia i elewacje [40]	71 850
R	Rywny, rury i obróbki blacharskie [20]	48 992
S	Stolarka zewnętrzna [50]	14 291

LCC = 782 365 zł (1 218 583 zł)

c) czas analizy 50 lat, minimalne trwałości

Kod zad.	Element obiektu lub rodzaj robót	Koszt netto
0	Przygotowanie inwestycji	205 900
A	Zakup gruntu i ogrodzenia terenu	180 000
B	Projektowanie budowlane	25 900
1	Roboty ziemne i przygotowawcze	16 402
C	Roboty ziemne i zagospodarowanie	16 402
2	Roboty stanu surowego	305 472
D	Konstrukcje nośne budynku	252 845
E	Roboty remontowe dachu [50]	52 627
3	Roboty instalacyjne	191 219
F	Wykonanie instalacji i przyłączy	64 719
G	Remonty instalacji sanitarnych [25]	62 400
H	Remonty instalacji elektrycznych [25]	29 600
I	Wymiana wyposażenia instalacyjnego [15]	34 500
4	Roboty stanu wykończeniowego	462 184
J	Wykończenie budynku	194 567
K	Tynki i okładziny ścian [40]	15 458
L	Panele podłogowe [20]	22 200
M	Płytki ceramiczne [15]	39 657
N	Stolarka wewnętrzna [50]	30 400
O	Malowanie i tapetowanie [5]	37 017
P	Ocieplenia i elewacje [25]	71 850
R	Rywny, rury i obróbki blacharskie [15]	36 744
S	Stolarka zewnętrzna [35]	14 291

LCC = 821 434 zł (1 181 177 zł)

d) czas analizy 50 lat, maksymalne trwałości

Kod zad.	Element obiektu lub rodzaj robót	Koszt netto
0	Przygotowanie inwestycji	205 900
A	Zakup gruntu i ogrodzenia terenu	180 000
B	Projektowanie budowlane	25 900
1	Roboty ziemne i przygotowawcze	16 402
C	Roboty ziemne i zagospodarowanie	16 402
2	Roboty stanu surowego	305 472
D	Konstrukcje nośne budynku	252 845
E	Roboty remontowe dachu [50]	52 627
3	Roboty instalacyjne	122 219
F	Wykonanie instalacji i przyłączy	64 719
G	Remonty instalacji sanitarnych [40]	31 200
H	Remonty instalacji elektrycznych [30]	14 800
I	Wymiana wyposażenia instalacyjnego [30]	11 500
4	Roboty stanu wykończeniowego	335 608
J	Wykończenie budynku	194 567
K	Tynki i okładziny ścian [60]	0
L	Panele podłogowe [25]	11 100
M	Płytki ceramiczne [20]	26 438
N	Stolarka wewnętrzna [60]	0
O	Malowanie i tapetowanie [7]	28 791
P	Ocieplenia i elewacje [40]	35 925
R	Rywny, rury i obróbki blacharskie [20]	24 496
S	Stolarka zewnętrzna [50]	14 291

LCC = 766 628 zł (985 601 zł)

e) czas analizy 30 lat, minimalne trwałości

Kod zad.	Element obiektu lub rodzaj robót	Koszt netto
0	Przygotowanie inwestycji	205 900
A	Zakup gruntu i ogrodzenia terenu	180 000
B	Projektowanie budowlane	25 900
1	Roboty ziemne i przygotowawcze	16 402
C	Roboty ziemne i zagospodarowanie	16 402
2	Roboty stanu surowego	252 845
D	Konstrukcje nośne budynku	252 845
E	Roboty remontowe dachu [50]	0
3	Roboty instalacyjne	133 719
F	Wykonanie instalacji i przyłączy	64 719
G	Remonty instalacji sanitarnych [25]	31 200
H	Remonty instalacji elektrycznych [25]	14 800
I	Wymiana wyposażenia instalacyjnego [15]	23 000
4	Roboty stanu wykończeniowego	318 024
J	Wykończenie budynku	194 567
K	Tynki i okładziny ścian [40]	0
L	Panele podłogowe [20]	11 100
M	Płytki ceramiczne [15]	13 219
N	Stolarka wewnętrzna [50]	30 400
O	Malowanie i tapetowanie [5]	20 565
P	Ocieplenia i elewacje [25]	35 925
R	Rywny, rury i obróbki blacharskie [15]	12 248
S	Stolarka zewnętrzna [35]	0

LCC = 778 190 zł (926 890 zł)

f) czas analizy 30 lat, maksymalne trwałości

Kod zad.	Element obiektu lub rodzaj robót	Koszt netto
0	Przygotowanie inwestycji	205 900
A	Zakup gruntu i ogrodzenia terenu	180 000
B	Projektowanie budowlane	25 900
1	Roboty ziemne i przygotowawcze	16 402
C	Roboty ziemne i zagospodarowanie	16 402
2	Roboty stanu surowego	252 845
D	Konstrukcje nośne budynku	252 845
E	Roboty remontowe dachu [50]	0
3	Roboty instalacyjne	91 019
F	Wykonanie instalacji i przyłączy	64 719
G	Remonty instalacji sanitarnych [40]	0
H	Remonty instalacji elektrycznych [30]	14 800
I	Wymiana wyposażenia instalacyjnego [30]	11 500
4	Roboty stanu wykończeniowego	247 586
J	Wykończenie budynku	194 567
K	Tynki i okładziny ścian [60]	0
L	Panele podłogowe [25]	11 100
M	Płytki ceramiczne [20]	13 219
N	Stolarka wewnętrzna [60]	0
O	Malowanie i tapetowanie [7]	16 452
P	Ocieplenia i elewacje [40]	0
R	Rywny, rury i obróbki blacharskie [20]	12 248
S	Stolarka zewnętrzna [50]	0

LCC = 737 324 zł (813 752 zł)

Źródło: opracowanie własne.

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).

Tabela 3. Relacje kosztów w cyklu życia do kosztów wytworzenia

Scenariusze użytkowania	Horyzont czasowy analizy		
	85 lat	50 lat	30 lat
I	118% (193%)	116% (161%)	110% (126%)
II	111% (166%)	108% (134%)	104% (111%)

Źródło: opracowanie własne.

Zróźnicowanie 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 należycie czynnika zużycia obiektu i jego elementów.

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 jednorodzinnego budynku mieszkalnego pozwoliła na ustalenie kosztów dla założonych scenariuszy. Są one ściśle związane z przyjętymi w tym obiekcie rozwiązaniami technicznymi, które dla każdego obiektu są odmienne, a ponadto mogą być zróźnicowane w zakresie kosztów ponoszonych w fazie eksploatacji. W trakcie projektowania budynku można dokonywać ukierunkowanych zmian rozwiązań mając na względzie świadome kształtowanie przebiegu zużycia. Podejście zrównoważone skłania do wyboru rozwiązań charakteryzujących się większą trwałością, które zwykle wiążą się z większymi kosztami wytworzenia.

Podjęcie problemu przez autorów wynikało z ostatnich zmian przepisów prawa budowlanego i prawa zamówień publicznych, które jednak dotyczą póki co jedynie ustawy 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

- Ajdukiewicz A. (2011), *Aspekty trwałości i wpływu na środowisko w projektowaniu konstrukcji betonowych*. „Przegląd Budowlany”, nr 2.
- Bochen J. (2014), *Prognozowanie trwałości tynków zewnętrznych na podstawie zmian właściwości fizycznych w procesie starzenia*, „Izolacje”, nr 4.
- Brand S. (1994), *How buildings learn. What Happens After They're Built*, Penguin Books, New York.
- Cicha A., Jędrzejak P. (2014), *Analiza przedsięwzięcia budowlanego w aspekcie kosztów realizacji i eksploatacji*, praca dyplomowa (inżynierska) pod kierunkiem M. Celińskiej-Mysław, Instytut Konstrukcji Budowlanych Politechniki Poznańskiej, Poznań.

Czarnecki L., Kaproń M., Piasecki M., Wall S. (2012), *Budownictwo zrównoważone budownictwem przyszłości*, „Inżynieria i Budownictwo”, nr 1.

Efektywność energetyczna. Analiza kosztów cyklu życia – Podstawy (2015), Forte, <http://leonardo-energy.pl/article/analiza-kosztow-cyklu-zycia-podstawy> (data dostępu 30.04.2017).

Ibrahim I. (2015), *Towards Balanced Sustainable Design*, *International Conference on IT, Architecture and Mechanical Engineering*, Dubai.

Marghescu, T. (2005), *Greening the Lisbon Agenda? Greening of The Lisbon Agenda Conference*, EPSD, Strasbourg – materiały niepublikowane.

Michalik K. (2014), *Zużycie techniczne budynków i budowli*, Prawo i Budownictwo, Chrzanów.

Norma (2004), *PN-EN 1990: 2004 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji*.

Norma (2005), *PN-ISO 15686: 2005 Budynki i budowle – Planowanie okresu użytkowania*.

Norma (2008), *ISO 15686-5: 2008 Buildings and constructed assets – Service – life planning – Part 5 Life – cycle costing*.

Norma (2012), *PN-EN 15978: 2012 Zrównoważone obiekty budowlane. Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania*.

Norma (2014), *PN-EN 15804+A1: 2014-04 Zrównoważoność obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobu – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych*.

Norma (2014), *PN-EN 16309+A1: 2014-12 Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena społecznych właściwości użytkowych budynków – Metodyka obliczania*.

Norma (2015), *PN-EN 16627: 2015-10 Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena ekonomicznych właściwości użytkowych budynków – Metody obliczania*.

Pieniążek A., Szelaż J., Żurawski J. (2015), *Izolacje termiczne dachów skośnych*, „Izolacje”, nr 2.

Ustawa prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. (1994), Dz.U. z dnia 3 marca 2016 r., poz. 290.

Ustawa prawo zamówień publicznych z dnia 29 stycznia 2004 r. (2004), Dz.U. z dnia 14 lipca 2016 r., poz. 1020.

Wall S. (2011), *Nowe kierunki normalizacji europejskiej związane z wdrożeniem zasad zrównoważonego rozwoju w budownictwie*, „Materiały Budowlane” nr 3.