

## 12. Model oszacowania łącznych kosztów cyklu życia obiektu.

### 12.1. Wprowadzenie

Pierwotną potrzebą uwzględnienia kosztów życia obiektu były problemy ochrony środowiska, które przyczyniły się do rozpowszechnienia w XX wieku koncepcji zrównoważonego rozwoju. Zgodnie z jej ideą pojawiło się nowe spojrzenie na wykorzystanie odnawialnych i nieodnawialnych zasobów środowiska. Postulowano podejmowanie działań zmierzających do zapobiegania wszelkim zanieczyszczeniom środowiska w każdej działalności i na każdym etapie procesu, potrzebę zmniejszenia materiałochłonności i odpadowości na rzecz ochrony środowiska m.in. poprzez wykorzystanie odpowiednich materiałów (w tym biodegradowalnych), technologii (korzystanie z zasobów naturalnych jak wiatr, słońce, itp.), stosowanie recyklingu., itp. a także konieczność minimalizacji zużycia energii i innych podstawowych zasobów (m.in. wytyczne w dyrektywach i innych dokumentach odnośnie możliwości i sposobów zmniejszenia zapotrzebowania na energię). Zasady te stanowiły kanwę normy PN ISO 1400 *System Zarządzania Środowiskowego* (1996 r.) oraz *Eco-Management and Audit Scheme* przyjętego przez UE w 1993r.

Nurt zgodny z ogólnym kierunkiem polityki energetycznej Unii Europejskiej, popierający dążenie do jak największego obniżenia zużycia energii na cele związane z użytkowaniem budynków zainicjował potrzebę bliższego przyjrzenia się kosztom w całym cyklu życia obiektu i konieczności ich optymalizacji z perspektywy przyjętych rozwiązań projektowych na etapie planowania (tj. budynki energooszczędne i zero-energetyczne) [32-39]. Planując inwestycje potencjalny inwestor powinien konsekwentnie przeanalizować koszty realizacji, koszty niezbędnych uzgodnień wymaganych prawem, ale także koszty eksploatacyjne, w tym remonty, naprawy, modernizacje, koszty systemów zastosowanych w budynkach inteligentnych, koszty rozbiórki i ewentualnie zyski wynikające ze sprzedaży gruntu na koniec okresu użytkowania. Zgodnie z postulatami Dyrektyw UE przyjmuje się koszty globalne w okresie w wynoszącym 30 lat dla obiektów mieszkaniowych, zaś dla budynków komercyjnych –20 lat.

Na cykl życia budynku składają się trzy podstawowe okresy: inwestycja (planowanie, przygotowanie i realizacja), eksploatacja (utrzymanie i użytkowanie) oraz bardzo często pomijana w rachunkach efektywności inwestycji – rozbiórka (rozbiórka obiektu ze sprzedażą działki włącznie - wartość rezydualna). Aczkolwiek w zależności od opracowania normowego podział na poszczególne etapy/okresy może być bardziej lub mniej rozbudowany. Uwzględnienie wszystkich grup kosztów w ramach poszczególnych okresów procesu inwestycyjnego jest możliwe dzięki przeprowadzeniu analizy LCCA, czyli analizy kosztów w całym cyklu życia inwestycji (ang. Life Cycle Cost Analysis). Celem analizy tej jest określenie

---

<sup>19</sup> Agnieszka Dziadosz, dr inż., Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska

ekonomicznej efektywności inwestycji oraz weryfikacja hipotezy o znacznym wpływie przyjętych na etapie planowania przedsięwzięcia rozwiązań projektowych na koszty w pełnym cyklu życia obiektu, a także sprawdzenie wrażliwości rachunku opłacalności na zmienność stopy dyskonta<sup>20</sup>.

Począwszy od fazy planowania i przygotowania przedsięwzięcia inwestor podejmuje liczne decyzje dotyczące m.in. sposobu oszacowania kosztu realizacji i kosztów eksploatacji, doboru uczestników procesu inwestycyjnego (w tym także kreowanie relacji partnerskich), normowania i harmonogramowania, weryfikacji i monitoringu kosztów, kontroli zaawansowania przedsięwzięcia, identyfikacji ograniczeń czasowych i zasobowych, a także wyboru najkorzystniejszego zakresu działań remontowych lub przebudowy budynków mieszkalnych na podstawie wielokryterialnej oceny wartości użytkowej z punktu widzenia kosztu ich realizacji. Pomocą w podejmowaniu decyzji służą liczne metody i techniki badawcze, które odnoszą się do różnych faz cyklu przygotowania, realizacji i eksploatacji przedsięwzięć budowlanych.

Kompleksowe podejście w zakresie szacowania kosztu w procesie inwestycyjnym zawarte jest w metodologii LCCA, która analizuje koszty z uwagi na przyjęte rozwiązania projektowe na każdym etapie wspomnianego procesu. Rozdział ten przedstawia podstawy teoretyczne metody LCCA oraz przykład jej praktycznego wykorzystania.

## **12.2. Cel i zakres oszacowania kosztów w cyklu życia**

Obecnie, rachunek kosztów w cyklu życia jest przedmiotem zwiększonego zainteresowania, co zauważalne jest także w przytoczonej literaturze przedmiotu, normach, wytycznych, uregulowaniach prawnych, dyrektywach UE, itp. [1-39]. Znajomość przebiegu cyklu życia, a co za tym idzie – podstawowych faz, funkcji i mechanizmów w nim zachodzących, stanowi podstawę do prawidłowej identyfikacji stanu obiektu budowlanego w każdym momencie jego powstawania i późniejszego istnienia. Stosunkowo często popełnianym błędem jest niedocenie lub bagatelizowanie znaczenia pierwszych faz cyklu życia, tj. definiowania, planowania i projektowania. Konsekwencją nieprzemysłanego wyboru rozwiązań w fazie planowania może być znaczny wzrost nakładów ponoszonych w późniejszych etapach cyklu życia obiektu. Dlatego też w trakcie planowania tak istotne jest przeprowadzenie precyzyjnej wielokryterialnej analizy inwestycji oraz wybór optymalnych rozwiązań materiałowych, które pozwolą na minimalizację późniejszych kosztów eksploatacyjnych.

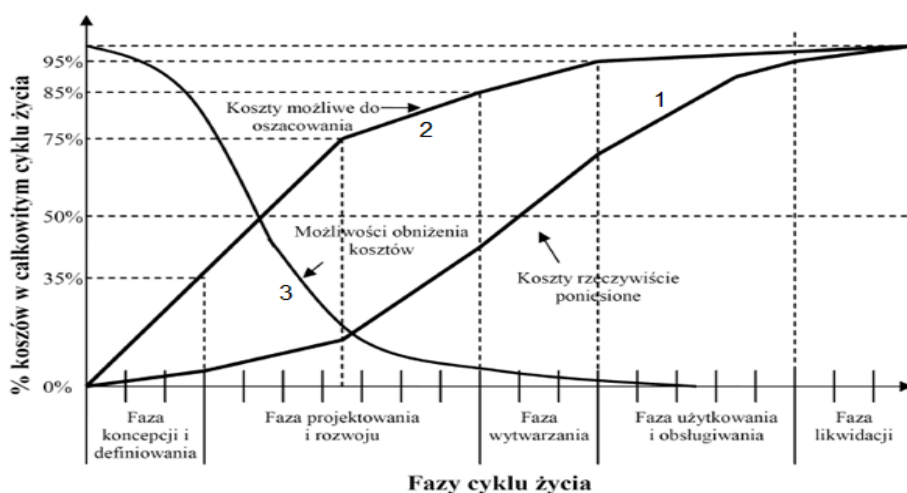
W każdej fazie procesu ważnym elementem jest oszacowanie kosztów. Zestawienia te różnią się stopniem szczegółowości, celem wykonania, a także dostępnością danych potrzebnych do przeprowadzenia kalkulacji. W fazie przedin-

---

<sup>20</sup> Stopę dyskonta, służącą do określania wartości obecnej, można określić na wiele sposobów, m.in. w oparciu o stopę bazową, publikowaną przez Komisję Europejską. Stanowi ona podstawę do obliczenia stopy referencyjnej, którą w zależności od zastosowania, ustala się poprzez dodanie do opublikowanej stopy bazowej odpowiedniej marży określonej w Komunikacie Komisji Europejskiej [34].

westycyjnej szacunek kosztów ma istotne znaczenie dla inwestora – określenie planowanych wydatków jest niezbędne dla przeprowadzenia oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia. Zainteresowanie inwestora związane jest również z wielkością przyszłych nakładów. Faza realizacyjna wymaga ustalenia kosztów na podstawie dokumentacji projektowej (kalkulacja kosztorysowa) oraz ich weryfikacji i kontroli na podstawie rzeczywiście ponoszonych wydatków (monitoring kosztów). Określenie wydatków w tej fazie ma istotne znaczenie dla wykonawcy. Natomiast analiza kosztów w fazie eksploatacji, dotyczy robót remontowych, modernizacyjnych, kosztów zużycia energii z uwagi na przyjęty system ogrzewania, wentylacji i ciepłej wody, robót adaptacyjnych, rewitalizacyjnych, wykorzystanych systemów BMS (systemy w budynkach inteligentnych), itp., zaś ostatnia faza odnosi się do rozbiórki i likwidacji [17]. Indywidualny charakter obiektów, sposób ich eksploatacji i utrzymania, zdarzenia losowe, oraz sytuacja na rynku (np. ceny usług i materiałów budowlanych, inflacja) mają wpływ na trudności w szacowaniu kosztów robót remontowych i modernizacyjnych oraz kosztów robót rozbiórkowych (utylicacja, recykling).

Obserwacje wykazały, że znaczna część kosztów cyklu życia jest konsekwencją decyzji podejmowanych we wcześniejszych fazach kształtowania produktu, czyli na etapie sporządzania koncepcji i projektowania obiektu. Decyzje podejmowane w tym czasie mogą wpływać na 70 - 85% kosztów produktu. Szacunkowy wykres ponoszonych kosztów w cyklu życia przedstawia rysunek 12.1.



Rys. 12.1. Koszty poniesione i możliwe do oszczędzania w poszczególnych fazach cyklu życia produkt [6].

### 12.3. Uregulowania prawne i kierunki rozwoju analizy cyklu życia obiektu

W ostatnich latach nastąpił zwrot w kierunku pełnej analizy cyklu życia (LCCA). Zauważalne jest to w przytoczonych, obowiązujących uregulowania prawnych poświęconych odrębnym aspektom prowadzenia inwestycji budowlanych

w Polsce [29-36]. Warto przyjrzeć się tej metodologii, gdyż rekomendowana jest w wielu unijnych dokumentach i strategiach promujących zrównoważony rozwój oraz służących do polepszenia ekonomicznej efektywności środowiskowej procesów i wyrobów. Przy tym należy przywołać m.in. dyrektywę 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiającą ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią.

Myślenie w kategoriach cyklu życia oznacza ukierunkowanie na zmniejszenie całkowitego oddziaływania na środowisko mogącego wystąpić w każdej fazie cyklu życia produktu, w tym obiekcie budowlanego (COM 302 2003). W przytoczonych opracowaniach prym wiedzie zintegrowane podejście produktowe. Postuluje by klienci którzy użytkują daną technologię/produkt posiadali wiedzę o kosztach i korzyściach w okresie ich całego cyklu życiowego. Na tej podstawie można stwierdzić, iż: technologie/produkty przyjazne środowisku albo proekologiczne to takie, których stosowanie jest mniej szkodliwe dla środowiska i chroni je, dzięki mniejszej emisji zanieczyszczeń, bardziej racjonalnym zużyciu zasobów, zapewnieniu recyklingu produktów i odpadów lub bardziej racjonalnym unieszkodliwianiu wytwarzanych odpadów niż stosowane technologie.

Problematyka LCCA powinna uwzględniać następujące, spójne ze sobą elementy, mianowicie normy, dyrektywy, opracowania zwarte w postaci podręczników, itp. i ich propozycje zmian. Do najbardziej newralgicznych elementów należą:

- zmiany warunków technicznych (...), które obowiązują już od 1 stycznia 2014 roku (Dz.U 2013, poz. 926) oraz Prawa budowlanego,
- zmiany w PZP, które idą w kierunku najniższego kosztu a nie najniższej ceny, w ramach kosztów rozpatrywane są również koszty utrzymania inwestycji [37-39],
- dyrektywy Unii Europejskiej odnośnie oceny/porównywania budynków pod względem zużycia energii w cyklu życia [39].

Kwestia ochrony środowiska i cyklu życia pojawiła się w kilku opracowaniach krajowych, tj.:

- Ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz. U. Nr 62, poz. 627),
- II Polityka Ekologiczna Państwa – postuluje wprowadzenie ustawowego obowiązku wykonywania cyklu życia produktu dla grup produktów o wysokiej materiałochłonności i odpadowości oraz produktów zawierających substancje niebezpieczne dla środowiska,
- Polityka Ekologiczna Państwa na lata 2003-2006 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2007-2010 – wprowadzenie obowiązku oceny cyklu życia dla wybranych produktów (wprowadzanych do obrotu towarowego),
- strategia zmian wzorców produkcji i konsumpcji na sprzyjające realizacji zasad zrównoważonego rozwoju w celu wspierania inwestycji w ochronę środowiska proponuje m.in. włączenie analizy cyklu życia (LCA) i Deklaracji Środowiskowych Produktu (EPD) do analizy wpływu na środowisko produktów i usług,
- zielone zamówienia publiczne [37] - odwołują się do „Strategia Europa 2020” jako jednego z priorytetów dla Unii Europejskiej, oznaczają politykę, w ramach,

której podmioty publiczne włączają kryteria lub wymagania ekologiczne do procesu zakupów i poszukują rozwiązań minimalizujących negatywny wpływ produktów/usług na środowisko oraz uwzględniających cały cykl życia produktów, a poprzez to wpływają na rozwój i upowszechnienie technologii środowiskowych,

- Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka – zmniejszenie szkodliwego oddziaływania na środowisko m.in. na podstawie ograniczenia energo-, materiał- i wodochłonności produktów i usług, zastosowanie oceny cyklu życia na wszystkich etapach projektowania procesów technologicznych.

Jedno z pierwszych opracowań, które odnosiło się do kryterium kosztowego w zakresie zamówień publicznych, pojawiło się w 2011 r. Opracowanie to dotyczyło kryteriów oceny ofert w postępowaniach o udzielenie zamówienia publicznego [38]. Podkreślano w nim, że dla zamówień publicznych LCC będzie narzędziem użytecznym w zakresie racjonalizacji dokonywania przez zamawiających wydatków na zamówienia w perspektywie całego okresu użytkowania nabywanego produktu, z uwzględnieniem kosztów, takich jak cena zakupu, koszty użytkowania, konserwacji i koszty utylizacji. Kolejne opracowanie zostało wydane przez UZP w roku 2012 poświęcone zielonym zamówieniom publicznym. Podręcznik ten obejmuje zagadnienia efektywności energetycznej w budownictwie, omówienie metodologii kosztów cyklu życia (LCCA), zużycia energii oraz zewnętrznych kosztów środowiskowych w zamówieniach publicznych w związku z transpozycją dyrektywy 2009/33/WE [34].

W dniu 28 marca 2014 r. opublikowane zostały w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej trzy nowe dyrektywy: Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/24/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie zamówień publicznych, Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/25/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie udzielania zamówień przez podmioty działające w sektorach gospodarki wodnej, energetyki, transportu i usług pocztowych, uchylająca dyrektywę 2004/17/WE oraz Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/23/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie udzielania koncesji. Nowe regulacje wpisują się w realizację celów „Strategii Europa 2020” na rzecz zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu. W dyrektywach tych odnajdziemy zmiany dotyczą kryteriów ceny ofert. Dyrektywy modyfikują podejście w tym zakresie, promując zastosowanie pozacenowych kryteriów, a także kładąc nacisk na możliwość uwzględniania kosztów cyklu życia produktu. Omawiają metodykę rachunku kosztów cyklu życia, tj. obliczania wartości ekonomicznej poszczególnych etapów życia produktu stanowiącego przedmiot zamówienia aczkolwiek wprowadzając fakultatywność przy określaniu zakresu i rodzaju kosztów [39]. Nowe dyrektywy powinny zostać zaimplementowane do prawa krajowego najpóźniej do dnia 18 kwietnia 2016 r., Szczegółowe informacje w sprawie zmian przy udzielaniu zamówienia zgodnie z zamówieniami publicznymi w Unii Europejskiej po modernizacji odnajdziemy na stronach Urzędu Zamówień Publicznych. Propozycja zastąpienia kryterium najniższej ceny poprzez kryterium najniższego kosztu, w szczególności w kontekście wykorzystania rachunku kosztów cyklu życia (LCCA) uzyskało uznanie Rządu RP (Projekt Stanowiska RP przygotowany w związku z art. 7 ustawy z dnia 8 października 2010 r. o współpracy Rady Ministrów z Sejmem i Senatem w sprawach

związanych z członkostwem Rzeczypospolitej Polskiej w Unii Europejskiej (Dz. U. Nr 213, poz. 1395).

Pewne aspekty związane cyklem życia pojawiły się w proponowanych zmianach w prawie budowlanym po wejściu nowelizacji z dnia 20.02.2015 r. odnośnie konserwacji oraz drobnych napraw uwzględnianych w LCCA a koniecznością uzyskania pozwolenia. W zależności od ilości wykonywanych robót niezbędnych do odtworzenia wymaganego stanu technicznego i estetyki niezbędny może być remont konserwacyjny bądź bieżący przygotowany, a często również w przypadku posiadania wymaganych umiejętności wykonywany samodzielnie przez użytkowników obiektu. W odniesieniu do tego rodzaju prac nie jest wymagane pozwolenie na budowę ani zgłoszenie. W przypadku zaistnienia większych usterek np. rys i pęknięć ścian przekraczających wartości normowe, wizualnie łatwych do wymagany jest remont główny (kapitałny). W związku ze zmianą Prawa budowlanego przy tego rodzaju pracach wystarczy jedynie zgłoszenie [10].

Z perspektywy przytoczonych opracowań regulujących niektóre obszary procesu inwestycyjnego, LCCA możemy śmiało traktować jako koncepcję wspomagającą ocenę przedsięwzięcia inwestycyjnego polegającą na określeniu całkowitego kosztu: nabycia, eksploatacji, konserwacji, przebudowy i dyspozycji. Interesujące wskazówki na wdrożenie metodologii optymalizacji kosztów odnajdziemy także w pracy [33]. W poradniku zostały uwypuklone konsekwencje wyboru różnych wartości dla kluczowych czynników (np. stóp dyskontowych, wariantów symulacji / pakietów, koszty, ceny energii., a także problem przyjęcia właściwej perspektywy kalkulacji kosztów. Przytoczono badania dotyczące optymalizacji kosztów w trzech państwach: Australii, Niemczech oraz w Polsce. Badania te wykazały, że dla Polski istnieje bardzo duża różnica między obecnymi wymaganiami i osiągniętymi wynikami.

Dążenie do optymalizacji kosztów i zmniejszenia zużycia energii, w tym także szkodliwego oddziaływania na środowisko, ograniczenia energo-, materiałochłonności i odpadowości produktów sprzyja rozpowszechnianiu koncepcji budynków o niemal zerowym zużyciu energii. Państwa członkowskie UE zostały zobowiązane do przedstawienia definicji i praktycznych mierników koncepcji budynków tzw. zero-energetycznych i planów działania Komisji Europejskiej przed 2013 r. Wsparcie w tym zakresie, a przede wszystkim w obszarze poprawy izolacji termicznej i urządzeń do ogrzewania, chłodzenia, wentylacji i ciepłej wody dla 3 podstawowych typów budynków realizowanych w Polsce zostało przedstawione w pracy [34]. Podstawowym celem symulacji było określenie konsekwencji gospodarczych i finansowych dla każdego wariantu w celu określenia najbardziej odpowiednich i niedrogich rozwiązań w określonych warunkach panujących w danym kraju.

Koncepcja LCCA pojawiła się także przy propozycji rozszerzenia koncepcji BIM, tj. Building Information Modeling jako BLM, czyli o Building Lifecycle Modeling przy modelowaniu 7D. BIM to proces modelowania informacji o budynku celem zwiększenia produktywności w projektowaniu i budownictwie. Obejmuje geometrię budynku, relacje przestrzenne, informacje geograficzne oraz ilości i właściwości komponentów budowlanych. Przedstawiane jest jako BIM 7D, który skupia uwagę także na Facility Management (3D plus elementy O&M). Elementy te dotyczą eksploatacji i utrzymaniu obiektu w całym cyklu jego życia w odniesieniu do 3D

– projektowanie i koordynacja prac projektowych, 4D - harmonogramowanie, 5D – kalkulacja kosztów oraz 6D – koordynacja podwykonawców i dostawców.

#### 12.4. Metodyka LCCA

Zgodnie z ISO 15686 Life Cycle Cost Analysis (LCCA) jest to technika, która zapewnia porównanie kosztów dotyczących określonego okresu, przy czym pod uwagę brane są wszystkie istotne czynniki ekonomiczne związane z kosztami początkowymi inwestycji budowlanej i późniejszą jej eksploatacją. Rachunki prowadzone w ramach analizy LCC wykorzystują metody dyskontowe uwzględniające wartość pieniądza w czasie opierając się na metodzie NPV. Zadaniem analizy LCC jest wykazanie, że wszelkie oszczędności operacyjne (tj. oszczędności użytkowe, wynikające z przyjętych rozwiązań na etapie projektowania inwestycji) są wystarczające, aby uzasadnić wybór zaakceptowanych i wdrożonych, niejednokrotnie droższych rozwiązań. O ile koszty nabycia w ramach LCC są łatwe do identyfikacji i obliczenia, o tyle określenie kosztów posiadania (tj. eksploatacji), stanowiących często główny składnik analizy, jest bardziej skomplikowane. Generalnie główny problem tkwi w określeniu częstości i zakresu kosztów remontów oraz napraw bieżących obiektu. Zależy to w głównej mierze od trwałości zastosowanych materiałów budowlanych. Zazwyczaj wielkości remontów przyjmuje się jako stałe w całym cyklu życia. Jednakże warto pamiętać że ten składnik kosztów powinien mieć większy udział w analizie LCC po ok. 25-30 latach istnienia budynku. Do kolejnych nieścisłości we wspomnianej analizie należy zaliczyć niepewność co do zakresu danych wejściowych, ułomności metod dyskontowych uwzględniających wartość pieniądza w czasie, pewność co do wielkości przyjętych kosztów remontu, itp. Pomimo drobnych niuansów związanych z przyjęciem określonych założeń analiza LCC umożliwia, już we wczesnym stadium planowania i projektowania, dokonanie wyboru najbardziej korzystnego scenariusza powstania obiektu budowlanego, uwzględniając przy tym zarówno aspekty technologiczne, ekonomiczne, jak i społeczne.

Podstawowe cele analizy LCCA to: ułatwienie wyboru pomiędzy konkurencyjnymi alternatywami, bardziej efektywna ocena wariantów inwestowania oraz pomoc w efektywnym zarządzaniu projektami. Do osiągnięcia wspomnianych celów analizy LCC niezbędne jest zidentyfikowanie kilku podstawowych elementów, mianowicie [28]:

- nakładów początkowych
- kosztów operacyjnych i kosztów utrzymania
- przyjęcie właściwej stopy dyskonta
- kosztów rozbiórki, ewentualnie recyklingu
- niepewności wyników (w tym analiza wrażliwości).

W literaturze odnajdziemy kilka definicji związanych z cyklem życia, aczkolwiek odnoszących do różnych zakresów tego zagadnienia, tj.:

- Life Cycle Management - LCM, zarządzanie cyklem życia - jest koncepcją zarządzania uwzględniającą ideę cyklu życia, która może być stosowana do tworzenia i wdrażania strategii zrównoważonego rozwoju. Zarządzanie cyklem życia dotyczy minimalizowania zagrożeń środowiskowych. usługi.

- Life Cycle Assessment - LCA, ocena cyklu życia, jest to proces zbierania i oceny wejść, wyjść oraz potencjalnych wpływów na środowisko systemu wyrobu w okresie jego cyklu życia [35,36].
  - Life Cycle Cost – LCC [32], koszty cyklu życia gdzie wyróżniamy całkowite koszty zakupu produktu/usługi oraz koszty produktu/usługi występujące podczas całego życia.
  - Social Life Cycle Assessment – SLCA, technika oszacowania, której celem są społeczne i socio-ekonomiczne aspekty produktów i ich potencjalnych pozytywnych i negatywnych wpływów w ciągu ich cyklu życia.
- Podstawową formułę kalkulacji the Life Cycle Cost możemy zapisać w postaci:

$$LCC = \text{Koszt nabycia} + \text{Koszt posiadania} + \text{Koszt likwidacji} - \text{Wartość rezydualna},$$

gdzie:

*LCC* - Life Cycle Cost

*Koszt nabycia* – koszty związane z realizacją obiektu (robocizna, materiały, sprzęt), nakłady początkowe

*Koszt posiadania* - koszty eksploatacyjne, w tym naprawy, remonty, utrzymanie obiektu

*Koszt likwidacji* - koszty rozbiórki i utylizacji na koniec okresu użytkowania

*Wartość rezydualna* (pozostałościowa) - oczekiwana wartość po sprzedaży majątku na końcu życia (m.in. sprzedaż gruntu).

Wyznaczania kosztów cyklu życia dokonuje się w oparciu o metodę analizy efektywności inwestycji wykorzystującą zdyskontowane przepływy pieniężne – NPV (Net Present Value). Według literatury z zakresu finansów przedsiębiorstw [2,24,25] metoda ta mierzy nadwyżkę sumy zdyskontowanych wydatków i wyrażona jest wzorem:

$$NPV = -I_0 + \frac{CF_1}{1+r} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} \quad (12.1)$$

gdzie:

$CF_t$  – oczekiwany przepływ środków pieniężnych w okresie  $t$  (traktowane jako wpływy ze sprzedaży)

$I_0$  – początkowe wydatki inwestycyjne

$r$  - stopa dyskontowa w okresie  $t$  (wymagana stopa zwrotu lub koszt kapitału dla konkretnego przedsięwzięcia)

$n$  – okres eksploatacji inwestycji

Wzór ten można przedstawić w bardziej ogólnej postaci rozszerzając zakres sumowania od okresu zerowego do  $n$ -tego oraz przyjmując  $I_0 = CF_0$ .

Zgodnie z [37] wzór na NPV prezentuje się następująco:

$$NPV = \sum_{n=0}^T \frac{C_n}{(1+i)^n}, \quad (12.2)$$

gdzie:

$C_n$  – nominalna wartość przepływu pieniądza w  $n$ -tym roku [traktowane jako przepływy pieniężne to korzyści minus koszty]



$n$  – lata eksploatacji  
 $i$  – stopa dyskonta  
 $T$  – długość rozpatrywanego okresu, w latach

Analizę LCC można czasami uprościć do określenia kosztów nabycia ( $K_n$ ) i kosztów użytkowania, jako kosztu energii elektrycznej pobranej z sieci w okresie eksploatacji [37]. Ponieważ koszty nabycia  $K_n$  ponoszone są w roku bazowym ( $n = 0$ ), wzór można zapisać następująco:

$$LCC = K_{no} + \sum_{n=0}^T \frac{K_n}{(1+i)^n}, \quad (12.3)$$

gdzie:

$K$  – ponoszone koszty  
 $i$  – stopa dyskonta  
 $n$  – lata eksploatacji  
 $T$  – długość rozpatrywanego okresu, w latach

$$RV = \frac{CF_n * (1+q)}{(r-q)}, \quad (12.4)$$

gdzie:

$r$  - stopa dyskontowa przyjęta do wyceny  
 $q$  - szacowana, możliwa do osiągnięcia stała stopa zwrotu wartości przepływów pieniężnych po okresie ich szczegółowej prognozy  
 $CF_n$  – oczekiwany przepływ środków pieniężnych ustalone na lata następne po ostatnim roku prognozy

Wartość rezydualna nieruchomości  $RV$  jest to wartość nieruchomości, jaką będzie ona posiadać po okresie prognozy (okres prognozy założony w projekcie). Wartość tę należy zdyskontować, czyli sprowadzić do wartości aktualnej na dzień wyceny nieruchomości za pomocą współczynnika dyskontującego.

$RV$  - wartość rezydualna nieruchomości obliczana jest zwykle techniką kapitalizacji prostej, gdyż można założyć, że po okresie prognozy, strumienie pieniężne oraz stopy dyskontowe będą stałe. Założenie to wynika z tego, że po okresie prognozy nie jesteśmy w stanie przewidzieć zmian strumieni pieniężnych.

Tok postępowania przy określaniu LCCA jest następujący:

1. oszacowanie wolnych przepływów
2. ocena ryzyka przepływów pieniężnych
3. określenie stopy dyskontowej (np.: na podstawie poziomu ryzyka przepływów, średniego kosztu kapitału, WACC - Weighted Averaged Cost of Capital, itp.)
4. oszacowanie wartości zaktualizowanej każdego z przepływów środków pieniężnych
5. suma zdyskontowanych przepływów, ewentualnie określenie ekwiwalentu rocznego.

Jeżeli NPV przyjmuje wartości dodatnie, inwestycja jest dochodowa i należy ją realizować. Przy ocenie rywalizujących przedsięwzięć inwestycyjnych, NPV jest najskuteczniejszym sposobem określenia, która opcja jest optymalna w obliczu przyjętych kryteriów. Ważną kwestią jest właściwa identyfikacja istotnych przepły-

wów środków pieniężnych i określenie stopy dyskonta. Decyzje o preeliminowaniu wydatków inwestycyjnych muszą być oparte na przepływach środków pieniężnych a nie na dochodzie księgowym. Natomiast okres życia celem wyliczenia kosztów globalnych zgodnie dyrektywami UE przyjmuje się: dla mieszkaniówki – 30 lat, dla budynków komercyjnych – 20 lat.

Oceniając efektywność przedsięwzięć inwestycyjnych przy wykorzystaniu rachunku LCC musimy pamiętać o zachowaniu czasowej porównywalności poszczególnych składników. Głównym zadaniem rachunku jest porównanie bieżących nakładów inwestycyjnych z przyszłymi dochodami, uwzględniając zmienność wartości pieniądza w czasie. Zakładana w rachunku stopa dyskontowa pełni rolę „równoważnika”, sprowadzając nakłady i efekty do porównywalności czasowej. Jest ona jednym z najistotniejszych elementów rachunku efektywności. Poruszając zagadnienie wartości pieniądza w czasie należy przytoczyć 2 podstawowe terminy: wartości przyszła  $FV$  i wartości obecna  $PV$  wykorzystywana w rachunku LCC.

Wartość przyszła:

$$FV = PV * \left(1 + \frac{r}{m}\right)^{m*n} \quad (12.5)$$

Wartość aktualna:

$$PV = \frac{FV}{(1 + r_{ef})^n} \quad (12.6)$$

gdzie:

$r$  – nominalne oprocentowanie roczne, wyrażone dziesiętnie,

$m$  – liczba okresów kapitalizacji w roku,

$n$  – liczba lat,

$r_{ef}$  – oprocentowanie efektywne:

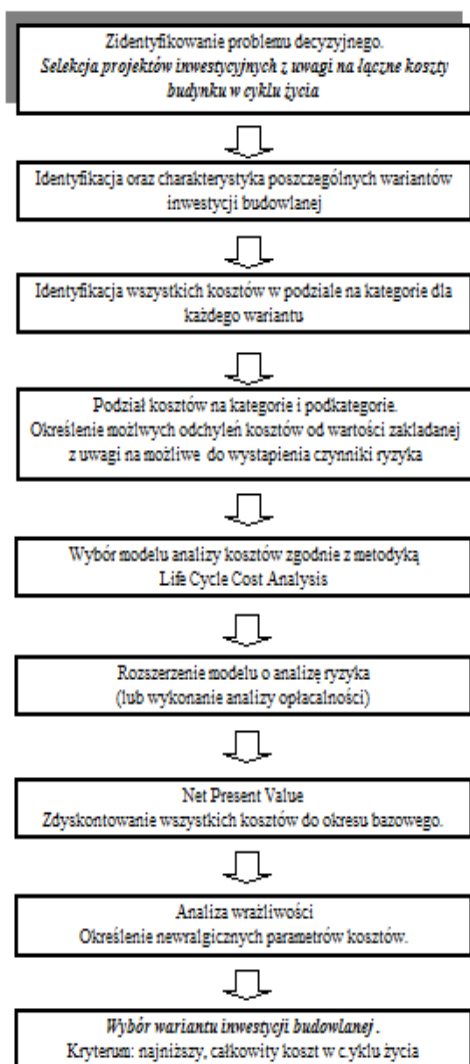
$$r_{ef} = \left(1 + \frac{r}{m}\right)^m - 1 \quad (12.7)$$

Dyskontowanie jest to ustalenie bieżącej wartości zarówno wydatków i wpływów obecnych jak i przyszłych. W teorii zazwyczaj przyjmuje się stopę procentową równą stopie dyskonta, a jednak istnieje pomiędzy nimi pewna relacja. Przyjmowana stopa dyskonta odzwierciedla realny zysk jaki możemy osiągnąć z zainwestowanego kapitału oraz powinna uwzględniać stopę inflacji i czynnik ryzyka [28, 31].

$$d = \frac{r}{1 + r} \quad \text{gdzie: } d - \text{stopa dyskonta, } r - \text{stopa procentowa} \quad (12.8)$$

## 12.5. Procedura LCCA

Celem analizy LCC jest wybór najbardziej efektywnego wariantu ze zbioru alternatyw przy wykorzystaniu odpowiedniego modelu kosztów. W tym wypadku warto osiągnąć najniższy długoterminowego koszt wynikający z realizacji i użytkowania inwestycji.



Rys. 12.2. Propozycja procedury LCCA przy selekcji inwestycji budowlanych

Przygotowując model LCC, niezwykle istotne jest zidentyfikowanie kosztów, które w największym stopniu przyczyniają się do kształtowania wielkości łącznych wydatków ponoszonych w całym cyklu życia obiektu. Niemniej jednak nie należy lekceważyć wydatków, które z pozoru w niewielkim stopniu mogą wpływać na końcowy wynik LCCA [32]. Autorzy [1,29] zwracają uwagę na podejście wielokryterialne pozwalające uwzględnić w rachunku kosztów zarówno kryteria ilościowe, jak i jakościowe wpływające na LCC przy wyborze ostatecznego wariantu. Nie bez znaczenia jest etap wyboru metody analizy kosztów w procedurze LCC. Przegląd metodologii LCC i narzędzi z uwzględnieniem specyficznych modeli kosztów, z jednoczesnym podaniem ich możliwości i ograniczeń przedstawiono w pracy [5]. Większość istniejących metod/modeli wyznaczania LCC bazuje na determi-

Koszty eksploatacyjne, w tym remonty, rozpatrywane w długim przedziale czasu są trudniejsze do przewidzenia z uwagi na zmiany cen czynników produkcji, zmiany wielkości opłat, zmiany wysokości podatków i inflacji oraz wpływ czynników losowych. Dlatego coraz częściej coraz częściej w literaturze przedmiotu proponuje się rozszerzenie analizy LCC o analizę ryzyka i wykorzystanie modelu stochastycznego. Niepewność i ryzyko błędnego określenia kosztów eksploatacyjnych, w tym także wielkości i częstości napraw głównych i częściowych wiąże się z pewną niedogodnością w ich oszacowaniu, gdyż należy wyznaczać je na podstawie doświadczenia.

Kolejnym zagadnieniem wymagającym wnikliwej analizy jest kwestia określenia stopnia zużycia a właściwie jego wpływ na koszty. Losowy charakter zdarzeń wpływających na cały cykl życia skłania do podjęcia próby uwzględnienia ryzyka w modelach i analizach. Ryzyko, uwzględniane w modelach traktowane jest jako czynnik negatywny, powodujący wzrost kosztów. Stanowi punkt wyjścia do oszacowania przedziałów kosztów możliwych do poniesienia w cyklu życia.

stycznym modelu opartym na zdyskontowanych przepływach pieniężnych - NPV (wartość bieżąca netto). Jednakże ryzyko może mieć wpływ na wartość ostateczną kosztów cyklu życia.

## 12.6. Rodzaje kosztów w LCCA

Każda inwestycja budowlana jest inna, niemniej jednak pewne elementy kosztów pozostają niezmiennie. W miarę precyzowania kolejnych założeń planowanego przedsięwzięcia, możliwa jest coraz dokładniejsza kalkulacja kosztów. Najłatwiejsze do oszacowania są koszty nabycia, których wysokość można przewidzieć jeszcze przed podjęciem decyzji o rozpoczęciu inwestycji. Zdecydowanie trudniejsze do wyznaczenia na tym etapie są tzw. koszty posiadania, czyli wszelkie nakłady, które inwestor musi ponieść w czasie eksploatacji. Koszty, które ponosimy w okresie eksploatacji możemy podzielić na dwie zasadnicze grupy: koszty stałe związane z bieżącym utrzymaniem budynku, jak i koszty, które ponosimy w pewnych przedziałach czasowych, związane z remontem, naprawami, modernizacją budynku.

Czynniki obniżające koszty w cyklu życia	Czynniki generujące dodatkowe koszty w cyklu życia
<ul style="list-style-type: none"> <li>• zastosowaniem lepszych materiałów izolacyjnych i różnych rozwiązań energooszczędnych ⇒ niższe opłaty stałe,</li> <li>• zastosowaniem trwalszych materiałów konstrukcyjnych i wykończeniowych ⇒ niższe koszty remontów,</li> <li>• wykonywaniem mniejszej ilości robót remontowych ze względu na obecność trwalszych materiałów ⇒ niższe koszty utylizacji.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• koszty zarządzania przedsięwzięciem,</li> <li>• koszty badania rynku,</li> <li>• koszty specyfikacji wymagań</li> <li>• koszty analizy wpływu na środowisko</li> <li>• koszty analizy ryzyka</li> <li>• koszty zarządzania jakością</li> <li>• opracowania logistyki</li> <li>• koszty recyklingu i bezpiecznej likwidacji.</li> </ul>

Podstawowe grupy kosztów, które powinny być rozważane w całym cyklu życia budynku to [14,21]:

- 1) koszty na etapie planowania i realizacji przedsięwzięcia (tj. nakłady początkowe):
  - koszty zakupy gruntu, koszty wykonania dokumentacji projektowej, koszty robót budowlanych, koszty instalacji, itp.
- 2) koszty na etapie eksploatacji obiektu:
  - koszty związane z użytkowaniem obiektu – opłaty za wodę, prąd, czynsz, wywóz śmieci, itp.,
  - koszty związane ze zużyciem technicznym budynku czyli remonty i naprawy,
  - koszty operacyjne - podatki, ochrona obiektu, ubezpieczenie budynku, itp.
- 3) koszty związane z rozbiórką obiektu oraz ze sprzedażą gruntu (faza wycofania) - płacone zazwyczaj na koniec eksploatacji (koszt jednorazowy, wartość rezydualna).

W analizie warto zdefiniować jakie składniki łącznych kosztów cyklu życia generują dodatkowe koszty i sprecyzować alternatywne rozwiązania minimalizujące ich wpływ. Niekiedy w analizie uwzględnia się także roczne zyski (tj. dochód z wynajętej powierzchni). Wówczas dochód oraz wartość rezydualna (pozostałościowa) traktowane są jako negatywne wartości [14].

## 12.7. Ocena stanu technicznego budynku w LCCA

Obiekty budowlane składają się z wielu elementów, które charakteryzuje różny stopień zużycia technicznego. Długość okresu użytkowania związana jest również z mnogością czynników i zróżnicowaniem ich oddziaływań. Wszystko to powoduje utrudnienia w przewidywaniu trwałości i przebiegu życia. Analiza wymaga znajomości zachowania się w czasie elementów budynku, materiałów, urządzeń i wiedzy dotyczącej okresów ich użytkowania. Umożliwia to dokonanie wyborów optymalnych już na etapie projektowania. Konieczne jest, aby elementy nośne miały trwałość większą od założonej trwałości obiektu. Trwałość elementów wykończenia i wyposażenia jest zwykle mniejsza, bowiem wymagają one wymiany lub napraw w okresie eksploatacji [4]. Trwałość oznacza zdolność obiektu do zachowania założonych wymagań eksploatacyjnych w określonym czasie, przy czym wymagany jest brak nadmiernych kosztów utrzymania i obniżenia wartości użytkowej obiektu. Natomiast z trwałością związany jest termin zużycie. Pojęcie zużycia zaś związane jest z utratą szacowanej wartości nieruchomości spowodowane jej zużyciem technicznym (fizycznym), funkcjonalnym (użytkowym) i środowiskowym. Zużycie techniczne odnosi się do wieku obiektu budowlanego, trwałości zastosowanych materiałów, wad projektowych i jakości wykonania obiektu, sposobu użytkowania i warunków eksploatacji. Skutkuje to spadkiem wartości jego materialnej. Im mniejsza trwałość, tym szybsze zużycie, a co za tym idzie częstsze naprawy lub ewentualna wymiana, która powinna być uwzględniona w LCCA.

## 12.8. Przykład wykorzystania LCCA do porównywania wariantów rozwiązań

W oparciu o metodę analizy efektywności inwestycji na podstawie zdyskontowanych przepływów pieniężnych (NPV) wyznaczono wartość kosztów cyklu życia dla dwóch alternatywnych sposobów wykonania obiektu. Dla wariantu pierwszego (Budynek A) przyjęto materiały o różnej trwałości i niższych kosztach wykonania w stosunku do wariantu drugiego (Budynek B), aczkolwiek większej częstotliwości napraw. Założono 30-letni okres użytkowania i zmienna stopę dyskonta.

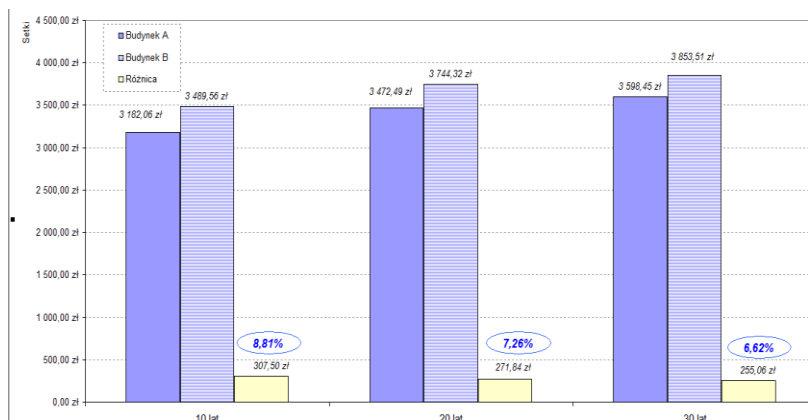
W celu porównania wariantów wykorzystano deterministycznym model określenia łącznych kosztów budynków (LCCA) poprzez określenie bieżącej wartości netto dla poszczególnych kategorii kosztów wykorzystując technikę dyskontowania. Naprawy częściowe dla wybranych elementów konstrukcyjnych i wykończeniowych przyjęto w wysokości 10-30% pierwotnego kosztu elementu (tab.12.1).

Badania uwypukliły wrażliwość metody LCCA, służącej do analizy kosztów w cyklu życia na zmienne parametry tj. stopę dyskonta, długość okresu analizy, odchylenie kosztów eksploatacyjnych od zakładanego poziomu (wpływ czynników ryzyka), itp. Przy dłuższym okresie użytkowania różnica w wysokości NPV pomiędzy budynkami A i B maleje i w dużej mierze zależy od przyjętej stopy dyskonta (rys. 12.3 i 12.4). Przykład obliczeniowy pokazuje, że wartość stopy dyskonta przekłada się na wartość obliczonych kosztów cyklu życia obiektu budowlanego. Im wyższa stopa tym zdyskontowana wartość kosztów jest niższa (rys. 12.5 i 12.6).

Tabela 12.1. Dane wyjściowe do analizy LCCA.

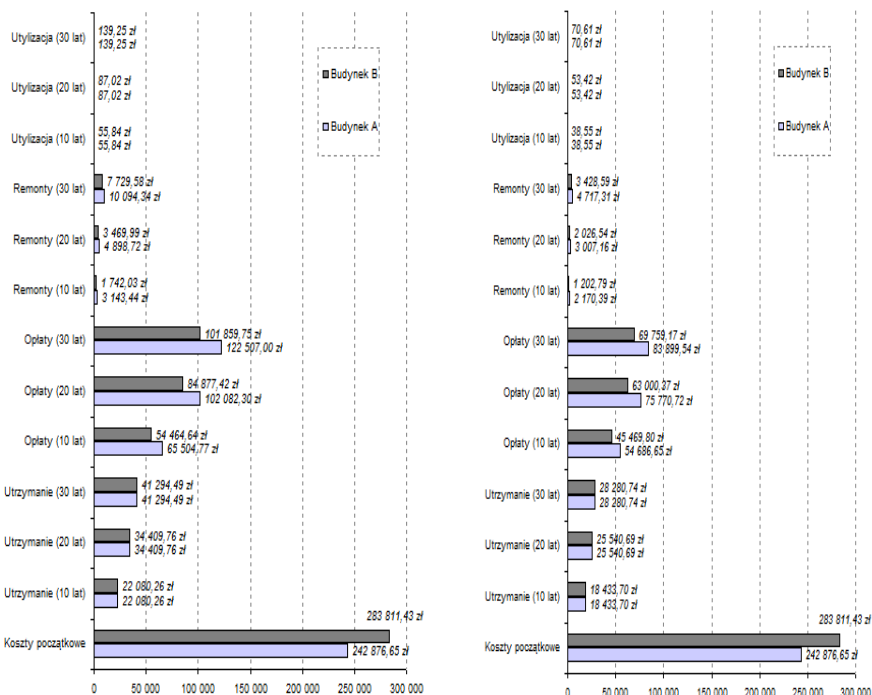
RODZAJ NAKŁADU	Budynek A	Budynek B	Częstotliwość naliczania
Nakłady inwestycyjne	242 876,65 PLN	283811,43 PLN	
Utrzymanie	3000 PLN	3000 PLN	co 1 rok
Prąd, gaz, ogrzewanie	6000 PLN	4500 PLN	co 1 rok
Zimna woda, ścieki	1500 PLN	1500 PLN	co 1 rok
Wywóz nieczystości	400 PLN	400 PLN	co 1 rok
Ubezpieczenie podatek	1000 PLN	1000 PLN	co 1 rok
Utylizacja	100 PLN	100 PLN	co 10 lat, co 30 lat 300 PLN
<b>Remonty dla Budynku A</b>		<b>Remont okresowy</b>	<b>Remont generalny</b>
Płytki lastrykowe	5 493 PLN	co 10 lat 25% wartości	co 30 lat
Wykładzina dywanowa	3001 PLN		co 10 lat
Stolarka z PCV	7 373 LN		co 30 lat
Tynk mineralny	4 183 PLN	co 10 lat 30% wartości	co 30 lat
Dachówka bitumiczna	9 790 PLN		co 30 lat
<b>Remonty dla Budynku B</b>		<b>Remont okresowy</b>	<b>Remont generalny</b>
Płytki gresowe	6277,73 PLN	co 20 lat 20% wartości	
Parkiet dębowy	9877,22 PLN	co 10 lat 12% wartości	co 30 lat
Stolarka drewniana	9 672,26 PLN	co 10 lat 20% wartości	co 30 lat
Tynk silikonowy	5 833 PLN	co 20 lat 20%	
Dachówka ceramiczna	22 678,99 PLN		co 30 lat

Rys. 12.3. Wykres wartości NPV dla budynków A i B ze wskazaniem różnicy wartości  $[NPV_{(B)} - NPV_{(A)}]$  po okresie 20, 40, 60 i 80 lat przy stopie dyskontowej równej 6%

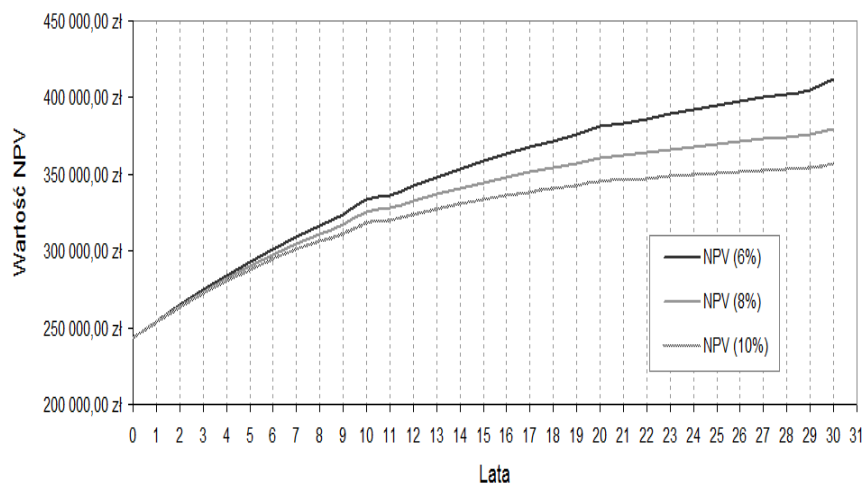


Rys. 12.4. Wykres wartości NPV dla budynków A i B ze wskazaniem różnicy wartości  $[NPV_{(B)} - NPV_{(A)}]$  po okresie 20, 40, 60 i 80 lat przy stopie dyskontowej równej 10%

Badania uwypukliły wrażliwość metody LCCA, służącej do analizy kosztów w cyklu życia na zmienne parametry tj. stopę dyskonta, długość okresu analizy, odchylenie kosztów eksploatacyjnych od zakładanego poziomu (wpływ czynników ryzyka), itp. Przy dłuższym okresie użytkowania różnica w wysokości NPV pomiędzy budynkami A i B maleje i w dużej mierze zależy od przyjętej stopy dyskonta (rys. 12.3 i 12.4). Przykład obliczeniowy pokazuje, że wartość stopy dyskonta przekłada się na wartość obliczonych kosztów cyklu życia obiektu budowlanego. Im wyższa stopa tym zdyskontowana wartość kosztów jest niższa (rys. 12.5 i 12.6).



Rys. 12.5. Wykres kosztów początkowych oraz kosztów eksploatacyjnych dla budynków A i B po okresie 10, 20 i 30 lat przy stopie dyskontowej równej 6% i 10%



Rys. 12.6. Wykres wartości NPV w i-tych latach cyklu życia dla budynku A

Rozpatrując wszystkie koszty w całym cyklu życia zakładamy długi horyzont czasu. Wówczas możliwość przewidywania może być obciążona błędem wynikającym z wystąpienia czynników losowych (ryzyka) powodujących zmianę (odchylenie) danej grupy kosztów od zakładanego poziomu (odchylenie standardowe od wartości oczekiwanej kosztu).

Do deterministycznego modelu kosztów przy użyciu LCCA wprowadzono element stochastyczny, wykorzystując w tym celu podejście PERT, jednocześnie uwypuklając możliwe zmiany wartości NPV (Koszacowany). Jest to szeroko stosowana metoda wykorzystująca własności standaryzowanego rozkładu normalnego Gaussa [ $N(NPV, \sigma NPV)$ ]. Dla każdej grupy kosztów przyjęto wspomniany rozkład, natomiast nie jest to obligatoryjne. Typ rozkładu (trójkątny, jednostajny, itp.) można przyjąć dowolnie, kierując się doświadczeniem w zakresie rozkładu kosztów w całym cyklu życia. Istotny jest rozrzut zmian kosztów (odchylenie standardowe, współczynnik zmienności), który daje pewność co do ich wysokości w przyszłości. Im większa zmienność tym mniejsza pewność wyników (rys. 12.7 i 12.8, tab. 12.2, 12.3 i 4).

Tabela 12.2. Zależność wartości NPV (Koszacowany) i odchylenia standardowego od wielkości stopy dyskonta

	dla 6%	dla 8%	dla 10%
NPV ( $K_{\text{oszacowany}}$ )	412 678,56 zł	378 337,58 zł	353 622,85 zł
$\sigma K_{\text{oszacowany}}$ dla A	15 742,98 zł	13 629,06 zł	12 101,73 zł

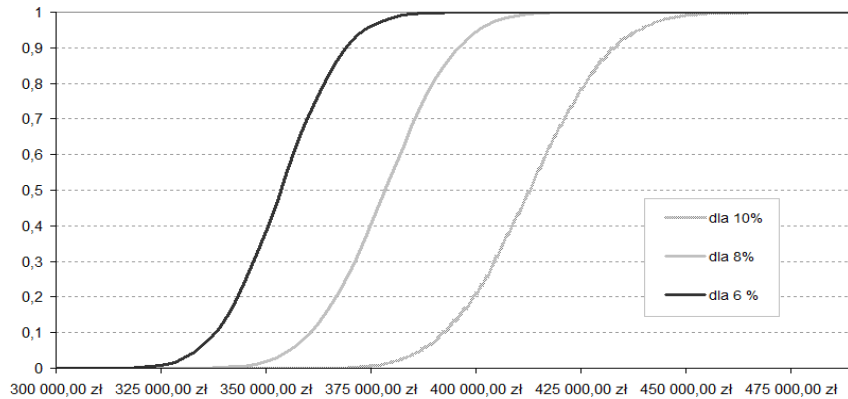


Tabela 12.3. Kalkulacja kosztów do analizy LCCA dla budynku A

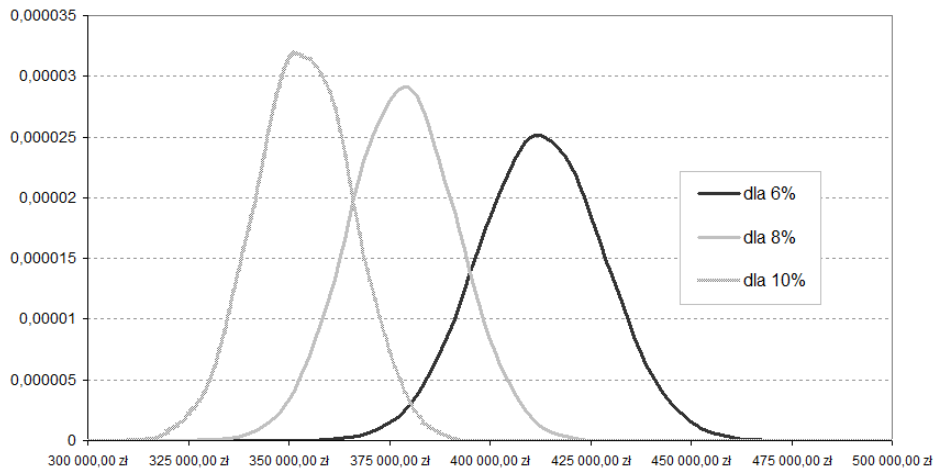
Dane wejściowe (okres użytkowania - 30 lat)	Budynek A				
	$K_{min}$	$K_{opt}$	$K_{max}$	$K_{oszacowany}$	$\sigma K_{oszacowany}$
<b>Początkowe nakłady inwestycyjne</b>					
Pozyskanie działki	232 453,15 zł	242 876,65 zł	259 871,24 zł	243 971,83 zł	4 569,68 zł
Przygotowanie terenu/Uzgodnienia					
Projekt budowlany i wykonawczy					
Realizacja/Konstrukcja					
<b>Koszty operacyjne (rocznie)</b>					
Utrzymanie	2 600,00 zł	3 000,00 zł	4 500,00 zł	3 183,33 zł	316,67 zł
Prąd, gaz, ogrzewanie	5 700,00 zł	6 000,00 zł	7 530,00 zł	6 205,00 zł	305,00 zł
Zimna woda, ścieki	1 350,00 zł	1 500,00 zł	1 730,00 zł	1 513,33 zł	63,33 zł
Ubezpieczenie budynku, podatek	890,00 zł	1 000,00 zł	1 240,00 zł	1 021,67 zł	58,33 zł
Wywóz nieczystości	368,00 zł	400,00 zł	478,00 zł	407,67 zł	18,33 zł
<b>Remonty okresowe i generalne</b>					
Ulepszenia i modernizacje [co 10 lat]	4 785,00 zł	5 629,42 zł	7 743,76 zł	5 841,08	493,13 zł
Remonty [co 30 lat]	22 563,15 zł	24 211,57 zł	28 143,12 zł	24 592,09	930,00 zł
Utylizacja [co 10 lat]	80,00 zł	100,00 zł	150,00 zł	105,00	11,67 zł

Tabela 12.4. Zdyskontowane wartości kosztów dla stopy dyskonta na poziomie 6%

NPV	Budynek A		$\sigma K_{oszacowany}$ dla kosztów
	$K_{oszacowany}$	%	
	412 678,56 zł	100,00%	
$\sigma K_{oszacowany}$	15 742,98 zł		
<b>Koszty początkowe</b>			
Pozyskanie działki	232 453,15 zł	56,33%	4 569,68 zł
Przygotowanie terenu/Pozwolenia			
Projektowanie/Pozwolenia			
Realizacja/Konstrukcja			
<b>Koszty operacyjne (rocznie)</b>			
Utrzymanie	43 818,05 zł	10,62%	4 358,86
Prąd, gaz, ogrzewanie	85 410,78 zł	20,70%	4 198,27
Zimna woda, ścieki	20 830,78 zł	5,05%	871,77
Ubezpieczenie budynku, podatek	14 063,07 zł	3,41%	802,95
Wywóz nieczystości	5 611,46 zł	1,36%	252,36
<b>Remonty okresowe i generalne</b>			
Ulepszenia i modernizacje [co 10 lat]	6 099,89	1,48%	514,98
Remonty [co 30 lat]	4 281,73	1,04%	161,92
Utylizacja [co 10 lat]	109,65	0,03%	12,18



Rys. 12.7. Wykres gęstości NPV ( $K_{\text{oszacowany}}$ ) dla budynku A



Rys. 12.8. Dystrybuanta NPV ( $K_{\text{oszacowany}}$ ) dla budynku A

## 12.9. Wnioski końcowe

Dokładne określenie kosztów ponoszonych w cyklu życia jest trudne i wymaga analizy wielu czynników wpływających na budynek. Jakość zastosowanych materiałów wpływa na rzadsze prowadzenie remontów i związaną z tym mniejszą ilość utylizowanych odpadów. Stąd wielkość opłat ponoszonych w cyklu życia budynku również może być niższa. Materiały o lepszych parametrach izolacyjnych oraz rozwiązania energooszczędne przyczyniają się do powstania oszczędności w zużyciu energii i ogrzewania. Inwestowanie w lepsze rozwiązania i trwalsze materiały na etapie projektowania i budowy przynosi korzyści w późniejszym okresie. Aczkolwiek warto analizę LCC rozszerzyć o analizę czynników ryzyka wpływającego zarówno na wysokość stopy dyskonta, jak również na ocenę efektywności inwestycji z uwagi na zmienność kosztów czynników produkcji oraz zmianę sytuacji na rynku usług budowlanych w tak długim okresie czasu. Wydaje się, że LCCA będzie naj-

bardziej właściwą metodą oceny wariantów inwestycyjnych, gdyż również dyrektywy UE wskazują na konieczność takiej analizy.

### **Model of estimation of Life Cycle Cost of Building.**

#### **Summary**

Until recently, in considering of the total costs of a building it has been taken into account only the costs associated with its construction (by specifying the bill of construction work quantity resulting from a quantity survey as well as the prices of production factors). However, the technological progress and the trend of cost optimization for the particular technological and material solutions caused the other method to evaluate construction projects, namely by taken into account all the costs, i.e. the costs incurred both in the planning phase and erection phase of a building, as well as during its service life. Investors increasingly recognize the need to assess the cost of the project, with taking into account the project usage phase and its liquidation. They tend to incur higher initial costs in order to reduce the future costs of fees, maintenance, repairs and disposal. The LCC analysis allows one to make the optimal choice. This paper aims to highlight the action lines presented in the standards about the environment management and to present the sensitivity of the LCC analysis, used for the analysis of costs in the life cycle, on the following variable parameters, i.e., the discount rate, the operating costs deviation from the desired level.

#### **12.10. Literatura**

- [1] Banaitienė, N.; Banaitis, A.; Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K. 2008. Evaluating the life cycle of a building: a multivariant and multiple criteria approach, *Omega-International Journal of Management Science* 36(3), (2008) 429–441.
- [2] Brigham Brigham E.F., *Podstawy zarządzania finansami*, tom II, PWE Warszawa 1997
- [3] H. Paul Barringer, P.E., Barringer & Associates, Inc., *A Life Cycle Cost Summary*, Humble, Texas USA, 2003
- [4] Dębowski, J. *Problematyka określania stopnia zużycia technicznego budynków wielkopłytowych* [online]. Kraków: Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2007
- [5] Durairaj S.K., Ong S.K., Nee A.Y.C., Tan R.B.H., *Evaluation of Life Cycle Cost Analysis Methodologies*, *Corporate Environmental Strategy*, Vol. 9. No.1 (2002), pp. 30-39
- [6] Dziaduch, I. *Modele szacowania kosztu cyklu życia: przegląd literatury* [online]. Wrocław.
- [7] Dziadosz A., *The influence of solutions adopted at the stage of planning the building investment on the accuracy of cost estimation*, *Procedia Engineering* 54 (2013), 625–635
- [8] Gajzler M., Puklińska N., Dziadosz A., *Wpływ rozwiązań projektowych na wielkość kosztów w cyklu życia inwestycji budowlanej*, *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 13/2012 , s.123-130

- [9] H-S Ang A., Life-cycle consideration in the development of risk-based criteria for structural design, w: *Advances in Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure Systems*. (ed. A.S. Nowak, D.M. Frangopol), Proceedings of the 4th International Workshop on Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure Systems, Cocoa Beach, Florida, May 8-11, 2005, p. 23-36
- [10] Kamińska A., Więcej robót bez żadnych formalności, *Murator* 5/2015
- [11] Kapliński, O. Development and usefulness of planning techniques and decision-making foundations on the example of construction enterprises in Poland, *Technological and Economic Development of Economy*, Vol.14, No.4., (2008) pp. 492-502
- [12] O.Kapliński (red.), *Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych*. PAN, KILiW, IPPT, Seria Studia z Zakresu Inżynierii Nr 57. Warszawa 2007, 415ss.
- [13] Kasprówicz T., Proces analizy koncepcyjnej, projektowania, organizacji i realizacji przedsięwzięć budowlanych, *Czasopismo Techniczne. Technical Transactions*, z. 1-B, 177-189, 2010
- [14] Khanduri, A.C., Bedard, C., Alkass, S., Assessing office building life cycle costs at preliminary design stage 1996. *Structural Engineering Review*, Vol. 8. No.2/3 pp. 105-114.
- [15] Knyziak P., Propozycja nowej metody określania zużycia technicznego budynków, *Problemy naukowo badawcze budownictwa*, tom V, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2008, s.573-580
- [16] Kozik R., Leśniak A., Plebankiewicz E., Zima K., Dokładność wstępnych oszacowań kosztów stanu zerowego obiektu kubaturowego, *Archiwum Instytutu Inżynierii Łądowej, Politechnika Poznańska* 2012, nr 13, str. 201-207
- [17] Krupa, A. O przyczynach różnic cenowych w szacowaniu inwestycji budowlanych na etapie projektowania i w ofertach wykonawców [on-line].
- [18] Mearig, T. *Life Cycle Cost Analysis Handbook – 1st edition* [online]. Juneau VA: 1999
- [19] Maes M.A., Troive S., Risk perception and fear factors in life cycle costing, w: *Advances in Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure Systems*. (ed. A.S. Nowak, D.M. Frangopol), Proceedings of the 4th International Workshop on Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure Systems, Cocoa Beach, Florida, May 8-11, 2005, p. 151-158
- [20] Palka-Wyżykowska K., Metoda LCC i jej przydatność do ekonomicznej oceny efektywności systemów energetycznych na przykładzie systemów grzewczych w budownictwie mieszkaniowym [online]. SiUChKI, Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2008
- [21] Plebankiewicz E., Dziadosz A., Łączne koszty budynków, *MAX Przewodnik dla inwestora*, nr 2, 2007
- [22] Plebankiewicz E., Kierunki działań zmierzających do obniżenia kosztów w cyklu życia budynków miejskich, *Budownictwo na obszarach zurbanizowanych*, monografia, Wydawca: Politechnika Lubelska,(2014) s. 271-282
- [23] Reichelt, B.: Melnikas, B: Vilutiene, T., The model for selection of a maintenance strategy for municipal buildings, *International Journal of Environment and Pollution*, Vol.35, No.2/3/4, (2008), pp. 219-236

- [24] Rutkowski A., Zarządzanie finansami, PWE W-wa 2003
- [25] Samuelson W.F., Marks S.G., Ekonomia menedżerska, PWE W-wa 1998
- [26] Selech J., Kurczewski P., Life Cycle Costing (LCC) jako nowoczesny model zarządzania kosztami cyklu życia na przykładzie obiektów technicznych, "Problemy eksploatacji" [online], nr 1-2012, str. 99-108.
- [27] Sobotka A., Rolak Z., Multi-attribute analysis for the eco-energetic assessment of the building life cycle, Technological and economic development of economy, 2009, Vol. 15(4): 593–611
- [28] Woodward, D.G. Life cycle costing-theory, information acquisition and application. International Journal of Project Management. Vol.15, No.6 (1997), pp. 335-344
- [29] Zavadskas, E.K.; Kaklauskas, A.; Kvederyte, N., Multivariant Design and Multiple Criteria Analysis of a Building Life Cycle, Informatica, Vol. 12, No. 1 (2001), pp.169–188
- [30] Zavadskas, E.K.; Kaklauskas, A.; Andruškevičius, A.; Vainiūnas, P.; Banaitienė, N. Model for an integrated analysis of a building's life cycle, in CDVE 2005, Lecture Notes in Computer Science 3675: (2005) 218–226.
- [31] Life Cycle Cost Analysis Handbook – 1st Edition, State of Alaska - Department of Education & Early Development. 1999, 28pp.
- [32] IEC 60300-3-3, Dependability management - Part 3:Application guide – Section 3: Life cycle costing, 25 pp. [PN-EN 60300-3-3:2004 Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Szacowanie kosztu cyklu życia, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006.]
- [33] Implementing The Cost – Optimal Methodology in EU Countries. Wydawnictwo.: The Buildings Performance Institute Europe: (2013), coordinator: Bogdan Atanasiu
- [34] Implementing nerly zero-energy buildings (nZEB) in Poland – towards a definition and roadmap, Wydawnictwo.: The Buildings Performance Institute Europe: (2012) Project coordinator: Bogdan Atanasiu
- [35] ISO 14040:2006 - Zarządzanie środowiskowe – ocena cyklu życia – zasady i struktura
- [36] ISO 14044:2006 - Zarządzanie środowiskowe – ocena cyklu życia – wymagania i wytyczne.
- [37] Zielone Zamówienia Publiczne, podręcznik II, Urząd Zamówień Publicznych, Warszawa 2012
- [38] Kryteria oceny ofert w postępowaniach o udzielenie zamówienia publicznego – przykłady i zastosowanie, Urząd Zamówień Publicznych, Warszawa 2011
- [39] Zamówienia publiczne w Unii Europejskiej po modernizacji. Nowe unijne dyrektywy koordynujące procedury udzielania zamówień publicznych. Urząd Zamówień Publicznych, Warszawa 2014

Poprzednio wydane tomy w serii

### STUDIA Z ZAKRESU BUDOWNICTWA

1. ŁEMPICKI Jerzy – *Teoria zginania belek żelbetowych statycznie niewyznaczalnych*. Warszawa, PWN 1958; s. 115, rys. 62, tabl. 21; Rez., Sum.
2. KACNER Artur, LEWICKI Bohdan – *Praca budynków z elementów wielkowymiarowych pod działaniem sił poziomych parcia wiatru*. Warszawa, PWN 1959; s. 110, rys. 55, tabl. 2; Rez., Zsf.
3. LEWICKI Bohdan – *Nośność konstrukcji w przypadku technicznego obciążenia osiowego*. Warszawa, PWN 1960; s. 113, rys. 33, tabl. 15; Rez., Zsf.
4. SKAŁMOWSKI Włodzimierz – *Gipsy i anhydryty w Polsce. Możliwości i kierunki ich zastosowań w budownictwie*. Warszawa, PWN 1969; s. 87, mapa 1, ilustr.; Rez., Zsf.
5. LEWICKI Bohdan, KUKULSKI Wojciech, PAWLIKOWSKI Jan – *Ściany i słupy z betonu i muru obciążone mimośrodowo. Podstawy teoretyczne obliczeń*. Warszawa, PWN 1962; s. 129, rys. 83, tabl. 15; Rez., Sum.
6. BRANDT Andrzej M. – *Odkształcalność betonu w świetle pomiarów sześciu składowych stanu odkształcenia*. Warszawa, Arkady 1968; s. 120, rys. 88, tabl. 2; Rez., Res., Sum.
7. OSTOJA-PIĘTKOWSKI Jan – *Wpływ konstrukcji budynków mieszkalnych na architekturę ich elewacji*. Warszawa, Arkady 1970; s. 68, rys. 59; Rez., Res., Sum.
8. KUKULSKI Wojciech – *Nośność smukłych ściskanych elementów betonowych*. Warszawa, Arkady 1970; s. 116, rys. 65, tabl. 14; Rez., Res., Sum.

### STUDIA Z ZAKRESU INŻYNIERII

9. *Mechanizacja budowy mostów* (praca zbiorowa). Warszawa, WKiŁ 1971; s. 572, rys. 343, tabl. 102.
10. MIANOWSKI Krzysztof M. – *Zagadnienie siły poprzecznej w belkach strunobetonowych*. Warszawa, PWN 1971; s. 124, rys. 59, tabl. 7; Rez., Res., Sum., Zsf.
11. KASPERKIEWICZ Janusz – *Dyfuzja wilgoci i deformacje skurczowe w betonie*. Warszawa, PWN 1972; s. 129, rys. 69, tabl. 4; Rez., Sum.
12. *Zagadnienia inżynierii komunikacyjnej* (praca zbiorowa). Warszawa, PWN 1973; s. 192, rys. 45, tabl. 55; Rez., Res., Sum., Zsf.
13. JENDRZEJEK Stefan, WESELI Jerzy – *Zagadnienia analizy dynamicznej belkowych i płytowych mostów drogowych*. Warszawa, PWN; s. 118, rys. 27; Rez., Sum.
14. ABSI Elie, BRANDT Andrzej M. – *Analiza i badania płyt żelbetowych w stanie zarysowania*. Warszawa, PWN 1974; s. 128, rys. 60, tabl. 54; Rez., Res., Sum.
15. MURZEWSKI Janusz – *Teoria nośności losowej konstrukcji prętowych*. Warszawa, PWN 1976; s. 114, rys. 49, tabl. 6; Rez., Res., Sum.
16. *Nowoczesne metody projektowania dróg komunikacyjnych* (praca zbiorowa). Warszawa, PWN 1977; s. 138, rys. 47, tabl. 8; Rez., Sum.
17. DREWNOWSKI Sławomir – *Betonowe konstrukcje mostowe sprężono-rozprężne*. Warszawa–Łódź, PWN 1978; s. 80, rys. 60, tabl. 2; Rez., Res., Sum.
18. RADOMSKI Wojciech – *Badania betonu pod obciążeniami uderzeniowymi*. Warszawa–Łódź, PWN 1978; s. 135, rys. 81, tabl. 10; Rez., Res., Sum.
19. *Matematyczne modelowanie ujęć wody podziemnej* (praca zbiorowa). Warszawa–Łódź, PWN 1980; s. 251, rys. 103, tabl. 14; Rez.
20. PATAS Piotr – *Własności betonu w złożonych stanach naprężenia*. Warszawa–Łódź,

- PWN 1981; s. 61, rys. 17, tabl. 2; Rez., Sum.
21. BILISZCZUK Jan – *Reologiczna redystrybucja stanu naprężenia w niejednorodnych, izostatycznych konstrukcjach betonowych*. Warszawa–Łódź, PWN 1982; s. 150, rys. 103, tabl. 10; Rez., Res., Sum., Zsf.
  22. BARYŁA Adam, SOBOCIŃSKA Elżbieta – *Teoria płyt żelbetowych z rysami*. Warszawa–Łódź, PWN 1983; s. 110, rys. 39, tabl. 4; Rez., Sum.
  23. MAZURKIEWICZ Bolesław K. – *Mechanika gruntów dna morskiego*. Warszawa–Łódź, PWN 1985; s. 148, rys. 102, tabl. 7; Sum., Zsf.
  24. GIŻEJOWSKI Marian – *Nośność sprężysto-plastycznych belek ciągłych o przekrojach otwartych*. Warszawa–Łódź, PWN 1986; s. 159, rys. 71, tabl. 36; Sum.
  25. *Zastosowanie probabilistyki w nowoczesnych normach konstrukcji i obciążeń* (praca zbiorowa). Warszawa–Łódź, PWN 1987; s. 128, rys. 40, tabl. 23; Rez., Sum.
  26. *Badania doświadczalne żelbetowych ustrojów płytowo-słupowych* (praca zbiorowa pod red. Włodzimierza Starosolskiego). Warszawa–Łódź, PWN 1988; s. 129, rys. 80, tabl. 26; Rez., Rés., Sum., Zaf.
  27. BRUGGELING A.S.G. *A new approach to concrete structures classification and design*. Warszawa–Łódź, PWN 1989; s. 102, rys. 40, tabl. 8; Streszcz., Sum., Zsf., Rez.
  28. *Struktura a własności betonu i kompozytów betonopodobnych. Stan wiedzy w Polsce* (praca zbiorowa pod red. Janusza Kasperkiewicza). Warszawa–Łódź, PWN 1989; s. 104, rys. 9, tabl. 1; Rez., Sum.
  29. LEWIŃSKI Paweł Marek – *Nieliniowa analiza płyt i tarcz żelbetowych metodą elementów skończonych*. Warszawa–Łódź, PWN 1990; s. 126, rys. 40, tabl. 4; Rez., Sum.
  30. BĄK Grzegorz, STOLARSKI Adam – *Analiza nieliniowa prętowych ustrojów żelbetowych obciążonych impulsowo*. Warszawa 1990; s. 137, rys. 62; Rez., Sum.
  31. *Stan krajowych prac badawczych z zakresu technologii betonu* (praca zbiorowa pod red. Stanisława Bastiana). Warszawa 1991; s. 85; Rez., Sum.
  32. OWCZAREK Stefan – *Optymalizacja kształtu budynków energooszczędnych o podstawie wieloboku*. Warszawa 1992; s. 132, Sum.
  33. PIĘNKOWSKI Kazimierz, STEMPNIAK Andrzej – *Wykorzystanie akumulacyjności cieplnej budynku w pracy instalacji centralnego ogrzewania*. Warszawa 1992; s. 78, rys. 30, Sum.
  34. LASKOWSKI Leszek – *Systemy biernego ogrzewania słonecznego. Zagadnienia funkcjonowania i efektywności energetycznej*. Warszawa 1993; s. 126, rys. 35, Sum.
  35. ZAWADA Bernard A. – *Analiza procesu użytkowania energii cieplnej w eksploatacji obiektów przemysłowych*. Warszawa 1993; s. 126, rys. 61, Sum.
  36. CZKWANIANC Artem, KAMIŃSKA Maria – *Metoda nieliniowej analizy żelbetonowych elementów prętowych*. Warszawa 1993; s. 128, Sum.
  37. CHWIEDUK Dorota – *Słoneczne i gruntowe systemy grzewcze. Zagadnienia stymulacji funkcjonowania i wydajności cieplnej*. Warszawa 1994; s. 144, Sum.
  38. *Metody optymalizacji materiałów kompozytowych o matrycach cementowych* (praca zbiorowa pod red. A. M. Brandta). Warszawa 1994; s. 270, rys., tabl., Sum.
  39. LESZCZYŃSKA-SYDOR Małgorzata – *Dynamiczna izolacja cieplna przegród budowlanych*. Warszawa 1994; s. 77, rys., tabl., Sum.
  40. GRYCZMAŃSKI Maciej – *Wprowadzenie do opisu sprężysto-plastycznych modeli gruntów*. Warszawa 1995; s. 157, rys., tabl., Sum.

41. CHMIELNICKI Witold Józef – *Sterowanie mocą w budynkach zasilanych z centralnych źródeł ciepła*. Warszawa 1996; s. 168, rys., tabl., Sum.
42. BŁAZIK-BOROWA Ewa, FLAGA Andrzej, KAZAKIEWICZ Michaił I. – *Problemy interferencji aero-dynamicznej dwóch walców kołowych*. Warszawa 1997; s. 100, rys., tabl., Sum.
43. KAPLIŃSKI Oleg – *Modelling of construction processes. A managerial approach*. Warszawa 1997; s. 176, rys., tabl., Streszcz.
44. WYRWAŁ Jerzy, ŚWIRSKA Jadwiga – *Problemy zawilgocenia przegród budowlanych*. Warszawa 1998; s. 108, rys., tabl., Sum.
45. KOSSECKA Elżbieta – *Wybrane zagadnienia dynamiki cieplnej ścian budynków*. Warszawa 1998; s. 120, rys., tabl., Sum.
46. *Optymalizacja wielokryterialna budynków energooszczędnych* (praca zbiorowa pod redakcją W. Marksa i S. Owczarka). Warszawa 1999; s. 191, rys., tabl., Sum.
47. GRZESZCZYK Stefania – *Reologia zawieszin cementowych*. Warszawa 1999; s. 108, rys., tabl., Sum.
48. BOLTRYK Michał – *Rola wibracji w kształtowaniu właściwości cementowych ośrodków dyspersyjnych*. Warszawa–Białystok 1999; s. 150, rys., tabl., Sum.
49. MARKS Maria – *Analiza i optymalizacja kompozytów uzbrojonych dwiema rodzinami włókien*. Warszawa 2000; s. 115, rys., tabl., Sum.
50. ROŻNIAKOWSKI Kazimierz – *Zastosowanie promieniowania laserowego w badaniach i modyfikacji właściwości materiałów budowlanych*. Wybrane zagadnienia. Warszawa–Łódź 2001; s. 198, rys., tabl., Sum.
51. STOLARSKI Adam, CICHORSKI Waldemar – *Modelowanie statycznego i dynamicznego zachowania niesprężystych tarcz żelbetowych*. Warszawa 2002; s. 210, rys. 82, tabl., Sum.
52. MARYNOWICZ Andrzej, WYRWAŁ Jerzy – *Badanie właściwości wilgotnościowych wybranych materiałów budowlanych w warunkach izotermicznych*. Warszawa 2005; s. 96, rys., tabl., Sum.
53. SZCZURASZEK Tomasz (Red.) – *Badanie zagrożeń w ruchu drogowym*. Warszawa 2005; s. 120, rys., tabl., Sum.
54. JĘDRZEJUK Hanna – *Optymalizacja osiedli mieszkaniowych*. Warszawa 2006; s. 220, rys., tabl., Sum.
55. MIEDZIAŁOWSKI Czesław, MALESZA Mikołaj – *Budynki o szkielecie drewnianym z poszyciem*. Warszawa–Białystok 2006; s. 320, rys., tabl., Sum.
56. PIENKOWSKI Cezary A. – *Centralne ogrzewanie i komplikacje związane z rozliczaniem kosztów*. Warszawa–Białystok 2006; s. 90, rys., Sum.
57. *Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych* (praca zbiorowa pod red. Olega Kaplińskiego). Warszawa 2007; s. 415, rys. 119, tabl. 26; Rez., Sum.
58. PALECZEK Witold – *Metoda określania wielkości i zasięgu deformacji powierzchni terenu powodowanych podziemną eksploatacją złóż z uwzględnieniem własności geomechanicznych skał górotworu*. Warszawa 2007; s. 166, rys. 94, tabl. 3; Sum.
59. KWIETNIEWSKI Marian – *GIS in water supply and wastewater systems*. Warszawa 2008; s. 242, rys. 75, tabl. 11; Sum.
60. JAWORSKI Jan – *Termografia budynków w otaczającym środowisku. Obrazy termalne budynków w ocenie ich sprawności cieplnej*. Warszawa 2008; s. 178, rys. 34, tabl. 9; Sum.
61. SIWOŃ Zbigniew, ŁOMOTOWSKI Janusz, CIEŻAK Wojciech, LICZNAR Paweł, CIEŻAK Jan – *Analizy i prognozowanie rozbiórów wody w systemach wodociągowych*. Warszawa 2008; s. 120, rys. 48, tabl. 22; Sum.



62. SZCZURASZEK Tomasz – *Prędkość pojazdów w warunkach drogowego ruchu swobodnego*. Warszawa 2008; s. 168, rys. 57, tabl. 37; Sum.
63. BILIŃSKI Tadeusz, ŚREDNIAWA Wojciech, FURTAK Kazimierz, CHOLEWICKI Andrzej, SZULC Jarosław, ROEHRYCH Paweł – *Konstrukcje zespolone*. Warszawa 2008; s. 98, rys. 78, tabl. 2; Sum.
64. SULEWSKA Maria – *Sztuczne sieci neuronowe w modelowaniu zagadnień oceny zagęszczenia gruntów niespoistych*. Warszawa–Białystok 2009; s. 164, rys. 64, tabl. 43; Sum., Rez.
65. PERKOWSKI Zbigniew – *Modelowanie mikrouszkodzeń w kruchych materiałach budowlanych z uwzględnieniem zjawisk powierzchniowych*. Warszawa 2009; s. 152, rys. 38, tabl. 12; Sum.
66. KLEDYŃSKI Zbigniew, RAFALSKI Leszek – *Zawiesiny twardniejące*. Warszawa 2009; s. 254, rys. 137, tabl. 34; Sum.
67. KWIETNIEWSKI Marian, RAK Janusz – *Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce*. Warszawa 2010; s. 134, rys. 23, tabl. 30; Sum.
68. KOTOWSKI Andrzej, KAŹMIERCZAK Bartosz, DANCEWICZ Andrzej – *Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji*. Warszawa 2010; s. 170; Sum.
69. GAWIN Dariusz – *Procesy degradacji mikrostruktury kompozytów cementowych w wysokiej temperaturze*. Warszawa 2010; s. 232; rys. 23, tabl. 17; Sum.
70. SZELKA Janusz – *Konstrukcje składane w mostownictwie*. Warszawa 2010; s. 128, rys. 91, tabl. 8; Sum.
71. PIENKOWSKI Cezary A. – *Regulacja rozliczenia kosztów ogrzewania w budynkach wielorodzinnych*. Warszawa–Białystok 2010; s. 100, rys. 11, tabl. 8; Sum.
72. BRANDT Andrzej M. (red.) – *Zastosowanie popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w betonach konstrukcyjnych*. Warszawa 2010; s. 300, rys. 174, tabl. 116; Sum.
73. HEIM Dariusz – *Modyfikacja termo-optycznych właściwości transparentnych elementów obudowy budynków*. Warszawa 2011; s. 228, rys. 100, tabl. 66; Sum.
74. WALERIAN Elżbieta - *To live in better environment*. Warszawa 2011; s. 200, rys. 20, tabl. 13; Streszcz.
75. KLEMM Katarzyna – *Kompleksowa ocena warunków mikroklimatu w luźnych i zwartych strukturach urbanistycznych*. Warszawa 2011; s. 172, rys. 66, tabl. 41; Sum.
76. ŁAGODA Marek – *Wzmacnianie konstrukcji mostowych kompozytami polimerowymi*. Warszawa 2012; s. 208, rys. 114, tabl. 14; Sum.
77. ŚWIRSKA-PERKOWSKA Jadwiga – *Adsorpcja i ruch wilgoci w porowatych materiałach budowlanych w warunkach izotermicznych*. Warszawa 2012; s. 226, rys. 114, tabl. 22; Sum.
78. KRYKOWSKI Tomasz – *Modelowanie uszkodzeniam otuliny wywołanego korozją zbrojenia w żelbecie*. Warszawa 2012; s. 173, rys. 60, tabl. 20; Sum.
79. ŻUKOWSKI Mirosław – *Modelowanie zużycia ciepła przez budynek*. Warszawa - Białystok 2012, s. 186, rys. 95, tabl. 20; Sum.
80. GARBALIŃSKA Halina – *Desorpcyjne badania nieliniowości dyfuzji wilgoci w zakresie higroskopijnym*. Warszawa 2013, s. 187, rys. 71, tabl. 26; Sum.
81. GILEWSKI Wojciech – *Fizyczne funkcje kształtu w metodzie elementów skończonych*. Warszawa 2013, s. 222, rys. 55, tabl. 1.
82. JANOWSKA-RENKAS Elżbieta - *Budowa superplastyfikatora a efektywność jego wpływu na właściwości zaczynu cementowego*, Warszawa 2013, s. 119, rys. 75, tabl. 16, Sum.

83. PIOTROWSKI Jerzy Zbigniew - *Procesy wymiany ciepła i ruchu powietrza w przegrodach wentylowanych*, Warszawa 2013, s. 158, rys. 62, tabl. 25, Sum.
84. MERKISZ Jerzy, PIELECHA Jacek, FUC Paweł - *Badania i analizy zużycia energii i emisji zanieczyszczeń przez pojazdy w sieci drogowej*, Kraków 2013, s. 161, rys.105, tabl. 31, Sum.
85. *Stan aktualny i kierunki rozwoju nauki w zakresie zaopatrzenia w wodę, usuwania i unieszkodliwiania ścieków i osadów oraz gospodarki odpadami* - praca zbiorowa pod redakcją KWIETNIEWSKIEGO Mariana, PODEDWORNEJ Jolanty, SOZANSKIEGO Marka, Warszawa 2014, s. 368, rys. 1, tabl. 1, Sum.
86. TRACZ Marian, WOŹNIAK Krystian, BUCZEK Piotr - *Rola obwodnic w poprawie klimatu akustycznego otoczenia przejść drogowych przez miasta*, Kraków 2014, s. 193, rys. 84, tabl. 12, Sum.
87. NAGÓRSKI Roman, BŁAŻEJEWSKI Krzysztof, NAGÓRSKA Magdalena, *Studium właściwości mechanicznych konstrukcji nawierzchni drogowej podatnej z uwzględnieniem trwałości. Zagadnienia wybrane*, Warszawa 2014, s. 141, rys. 63, tabl. 111, Sum.
88. OLASZEK Piotr, *Cyfrowe metody pomiarowe w zastosowaniu do badań mostów*, Warszawa 2015, w druku
89. SZELKA Janusz, WRONA Zbigniew, *Informatyczne wspomaganie procesów informacyjno-decyzyjnych w budownictwie komunikacyjnym*, Warszawa 2015, w druku
90. KORENTZ Jacek, *Metoda analizy żelbetowych elementów prętowych w stanie deformacji pokrytycznych*, Warszawa 2015, w druku