

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ NT.
MODELOWANIE KOSZTÓW CYKLU ŻYCIA BUDYNKÓW
Z UWZGLĘDNIENIEM CZYNNIKÓW RYZYKA

W niniejszej pracy doktorskiej przedstawiono zagadnienia związane z modelowaniem kosztów cyklu życia budynków z uwzględnieniem czynników ryzyka. Celem głównym pracy jest opracowanie podstaw matematycznych modelu pozwalającego na szacowanie całości kosztów życia budynków wraz z możliwością kwantyfikacji dodatku kosztowego za ryzyko dla konstrukcji budynków i innych konstrukcji zwykłych, czyli obiektów budowlanych czwartej kategorii projektowego okresu użytkowania zgodnie z normą PN-EN 1990:2002.

W rozdziale pierwszym uzasadniono podjęcie tematu pracy, przedstawiono główny cel, cele częściowe oraz główną tezę badawczą i tezy pomocnicze. Ponadto wyodrębniono podstawowe zagadnienia składające się na przedmiot badań w postaci kosztów cyklu życia budynków, w zakres których wchodzi również pojęcia całości kosztów życia budynków oraz dodatku kosztowego za ryzyko w cyklu życia budynków, a także ryzyka, które może oddziaływać na budynki w poszczególnych fazach ich cyklu życia.

W rozdziale drugim opisano pojęcia cyklu życia budynku i całego cyklu życia budynku w ujęciu normy ISO 15686-5:2008 "Buildings and constructed assets. Service life planning. Life cycle costing", która stanowi jedną z części pakietu międzynarodowych norm ISO 15686:2008 „Budynki i budowle. Planowanie okresu użytkowania”, mających zastosowanie w budownictwie do planowania okresu użytkowania budynków i budowli. Przedstawiono i omówiono typy końców cyklu życia budynku oraz scharakteryzowano pojęcia strategii zarządzania oraz scenariuszy cyklu życia budynku. Rozdział kończy charakterystyka pojęć użytkowania i utrzymania budynku. W niniejszym rozdziale autor przedstawia również pojęcie trwałości budynku, dokonuje syntetycznego opisu czynników mających wpływ na trwałość budynku, a także charakteryzuje analityczne oraz empiryczne metody, które służą do szacowania okresu użytkowania budynku, tj. do prognozowania długości fazy eksploatacji.

W rozdziale trzecim scharakteryzowano pojęcia kosztów cyklu życia i całości kosztów życia budynku. Przedstawiono podział kosztów i przychodów ze względu na fazy cyklu życia budynku. Opisano ponadto zakres, cele i założenia do ekonomicznej analizy cyklu życia budynku (LCCA). Dokonano również przeglądu modeli służących do szacowania kosztów cyklu życia budynków. Scharakteryzowano wybrane modele proste, wśród których omówiono przykład wdrożenia w praktykę metody kalkulacji kosztów cyklu życia budynków, którą zawarto w Rozporządzeniu Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 11 lipca 2018r. w sprawie metody kalkulacji kosztów cyklu życia budynków oraz sposobu przedstawiania informacji o tych kosztach. W przypadku modeli złożonych wyróżniono modele uwzględniające wyłącznie wpływ ryzyka finansowego, a także modele uwzględniające wpływ innych czynników ryzyka. W niniejszym rozdziale pracy przedstawiono również autorską definicję dodatku kosztowego za ryzyko (ΔR_{LCC}) jako różnicę wyrażoną w jednostkach walutowych pomiędzy wielkością kosztu cyklu życia budynku, która uwzględnia wpływ ryzyka na jej wielkość, a wielkością kosztu cyklu życia budynku, która nie uwzględnia tego wpływu.

Rozdział czwarty traktuje o ryzyku w cyklu życia budynku. Przedstawiono w nim definicje ryzyka i zarządzania ryzykiem przedsięwzięć budowlanych oraz wymieniono i scharakteryzowano metody służące do procesów identyfikacji, kwantyfikacji oraz reakcji na ryzyko. W rozdziale opisano również przykłady zastosowania podejścia rozmytego do oceny ryzyka przedsięwzięć budowlanych. Ponadto przedstawiono założenia i rezultaty badań własnych wpływu ryzyka na wielkość kosztów cyklu życia budynków. Przedmiotowe badania składały się z identyfikacji i podziału czynników ryzyka w cyklu życia budynków, które zostały następnie poddane ocenie eksperckiej ich wpływu na wielkość odpowiadających im składników kosztów cyklu życia budynków.

Rozdział piąty zawiera pełny opis podstaw matematycznych modelu szacowania całości kosztów życia budynków umożliwiającego kwantyfikację dodatku kosztowego za ryzyko. Model podzielono na dwa moduły, tj. moduł rozmytej oceny ryzyka w cyklu życia budynków oraz moduł szacowania całości kosztów życia budynków umożliwiający kwantyfikację dodatku kosztowego za ryzyko. Zwrócono uwagę, że opracowany model pozwoli przeprowadzić na potrzeby inwestora, ekonomiczną analizę cyklu życia (*LCCA*) w kontekście możliwości porównania budynków lub ich alternatywnych rozwiązań. Wskazano przy tym, że kryteriami porównawczymi mogą być: koszty cyklu życia budynku (*LCC*), ekwiwalent rocznych kosztów cyklu życia budynku (*LCEAC*), całość kosztów życia budynku (*WLC*) lub dodatek kosztowy za ryzyko w cyklu życia budynku (ΔR_{LCC}). Niniejszy rozdział zawiera uzasadnienie wyboru teorii możliwości do budowy modelu, analizę doboru funkcji przynależności zbiorów lub liczb rozmytych dla wszystkich parametrów mających zastosowanie w modelu, a także charakterystykę struktury i algorytmów obliczeniowych obu modułów ze wskazaniem metod, twierdzeń i zasad wykorzystanych do ich budowy.

W rozdziale szóstym pracy przedstawiono praktyczny przykład obliczeniowy oraz opisano proces weryfikacji teoretycznej modelu szacowania całości kosztów życia budynków umożliwiającego kwantyfikację dodatku kosztowego za ryzyko. W przykładzie obliczeniowym dokonano porównania trzech alternatywnych rozwiązań budynku mieszkalnego wielorodzinnego, które wynikają z konieczności uwzględnienia wpływu oddziaływania dwóch zidentyfikowanych czynników ryzyka w jego cyklu życia (błędy w projektach oraz błędnie przyjmowane założenia rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych). Dla inwestora (spółdzielni mieszkaniowej) wykonano ekonomiczną analizę cyklu życia (*LCCA*) przy uwzględnieniu wszystkich kryteriów porównawczych objętych działaniem modelu. Zakres badań weryfikacyjnych objął weryfikację logiczną bazy reguł bloku inferencyjnego modułu rozmytej oceny ryzyka w cyklu życia budynków, badanie wrażliwości modułów rozmytej oceny ryzyka w cyklu życia budynków oraz szacowania całości kosztów życia budynków na ewentualność zmiany parametrów mogących wpływać na wyniki obliczeń, weryfikację wyników deterministyczną metodą wartości bieżącej netto w cyklu życia (*LCNPV*) oraz badanie wpływu zmiany wartości danych wejściowych czasowych i finansowych na wyniki obliczeń.

Pracę doktorską zakończono rozdziałem siódmym, w którym dokonano podsumowania i przedstawiono wnioski, wyszczególniono wkład własny autora i osiągnięcia praktyczne pracy oraz wskazano kierunki dalszych badań.

SUMMARY

LIFE CYCLE COSTS MODELING WITH CONSIDERATION OF RISK FACTORS

This doctoral thesis presents issues related to modeling of building's life cycle costs taking into account risk factors. The main goal of the work is to develop a mathematical basis of a model that allows estimating the whole life cost of buildings together with the possibility of quantification of the risk addition for the construction of buildings and other ordinary constructions, i.e. buildings of the fourth designing category of service life according to PN-EN 1990:2002.

In the first chapter, it was justified to undertake the topic of the doctoral thesis, the main and partial goals and main and auxiliary theses were formulated. In addition, the basic issues included in the research in the form of building life cycle costs were distinguished, including concepts of the whole life cost of buildings and the risk addition in the life cycle of buildings, as well as risks that may affect buildings in different phases of their life cycle.

The second chapter describes the definition of the life cycle of a building and the entire life cycle of a building in terms of ISO 15686-5:2008 "Buildings and constructed assets. Service life planning. Life cycle costing" which is one of the parts of the international standards ISO 15686:2008 applicable in the construction industry for planning the service life of buildings and structures. The types of the ends of the building life cycle were described and discussed and the concepts of management strategy and building life cycle scenarios were characterized. The chapter ends with the characteristics of the terms of use and maintenance of the building. In this chapter, the author also presents the definition of durability of the building, makes a synthetic description of factors affecting the durability of the building, and characterizes analytical and empirical methods that are used to estimate the service life of the building, i.e. to predict the duration of the operation phase.

The third chapter describes the terms of life cycle cost and the whole life cost of a building. The divisions of costs and incomes were presented due to the phase of the building's life cycle. The scope, goals and assumptions for an economic analysis of the building's life cycle (*LCCA*) were described and the models used for estimating the life cycle costs of buildings were also reviewed. Selected simple models have been characterized, among which an example of implementation in the practice of methods for calculating the life cycle costs of buildings was discussed, which was included in the Regulation of the Minister of Investment and Development of July 11, 2018 on the method of calculating the life cycle costs of buildings and the manner of presenting information on these costs. In the case of complex models, models with only the impact of financial risk were distinguished, as well as models taking into account the impact of other risk factors. This chapter of the paper also presents the original definition of the addition for the risk as a difference expressed in monetary units between the sum of a building's life cycle costs which involves the impact of risk, and the sum of the building's life cycle costs which excludes risk.

Chapter four deals with risks in the life cycle of the building. It presents definitions of risk and risk management of construction projects, and lists methods for identification, quantification and risk response. The chapter also describes examples of using a fuzzy approach to the risk assessment of construction projects. In addition, the assumptions and results of own research on the impact of risk on the life cycle costs of buildings were presented. The research consisted of identification and division of risk factors in the life cycle of buildings, which were then subjected to an expert assessment of their impact on the quantity of the corresponding components of the building life cycle costs.

The fifth chapter contains a full description of the mathematical foundations of the model for estimating the whole life cost of buildings that allows the quantification of the addition for risk. The model has been divided into two modules, i.e. a module of a fuzzy risk assessment in the life cycle of buildings and a module for estimating the whole life cost of buildings that allows the quantification of the addition for risk. It was pointed out that the developed model will allow the investor to conduct the economic analysis of the building's life cycle (*LCCA*) in the context of the possibility of comparing buildings or their alternative solutions. It was also pointed out that the comparison criteria may be: life cycle costs of the building (*LCC*), life cycle equivalent annual cost of the building (*LCEAC*), whole

life cost of the building (WLC) or the addition for risk (ΔR_{LCC}). This chapter provides justification for the choice of the theory of possibilities to build the model, analysis of the selection membership functions of sets or fuzzy numbers for all parameters applicable in the model, as well as the structure and calculation algorithms of both modules with the indication of methods, theorem and principles used to build them.

The sixth chapter of the paper presents a practical calculation example and describes the process of theoretical verification of the model for estimating the whole life cost of buildings that allows the quantification of the addition for risk. In the calculation example, three alternative solutions of a multi-family residential building were compared, which result from the need to take into account the impact of two identified risk factors in its life cycle (design errors and incorrectly assumptions of construction and material solutions). For an investor (a housing cooperative), the economic analysis of the building's life cycle ($LCCA$) was performed, taking into account all the comparative criteria covered by the model's operation. The scope of the verification studies covered the logical verification of the rules base in the module of the fuzzy risk assessment in the life cycle of buildings, sensitivity analysis of the module of the fuzzy risk assessment in the life cycle of buildings and the module for estimating the whole life cost of buildings for possible changes in parameters that may affect calculation results, verification of results by deterministic net present value method in the life cycle ($LCNPV$) and the study of the impact of changing the value of time and financial input data on the results of calculations.

The doctoral thesis was completed with the seventh chapter, in which the conclusions were summarized and presented, the author's own contribution and practical work achievements were specified, and directions for further research were indicated.