

Politechnika Poznańska  
Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu  
Instytut Budownictwa  
Zakład Inżynierii Produkcji Budowlanej

## Elastyczne planowanie obiektów infrastruktury eksploatowanych w zmiennym otoczeniu

Praca doktorska z dziedziny: budownictwa i inżynierii przedsięwzięć budowlanych, napisana pod kierunkiem:  
dr hab. inż. Jerzego Paślawskiego, prof. PP

### Streszczenie

Celem pracy jest przedstawienie i rozpropagowanie metodyki elastycznego podejścia do projektowania wraz z korzyściami płynącymi ze zmiany tradycyjnego modelu projektowania w obiektach inżynierskich na podejście elastyczne. Dodatkowo autorka zaproponowała procedurę pozwalającą na ocenę możliwości zastosowania różnych opcji elastyczności. Autorka ponadto stworzyła takie zmiany w typowych obliczeniach efektywności ekonomicznej inwestycji, które pozwoliły na wykorzystanie szans wynikających ze zmiennego otoczenia, gdyż wartość niepewności rośnie w warunkach niepewności i ryzyka.

**1. Rozdział** Autorka rozprawy przedstawiła dlaczego tematyka pracy została przez nią podjęta w badaniach naukowych. Został również sformułowany główny cel pracy i dwa cele poboczne, dodatkowo po wszechstronnej analizie literatury zarówno krajowych jak i zagranicznych źródeł obejmujących wszystkie kluczowe zagadnienia będące przedmiotem badań poniższej rozprawy doktorskiej takich jak: inżynieria przedsięwzięć budowlanych, ekonomika budownictwa i elastyczność w projektowaniu została postawiona teza główna, mówiąca o tym iż wprowadzenie elastycznego podejścia do projektowania przy realizacji inwestycji infrastrukturalnych daje przewagę z punktu widzenia kosztów inwestycji i reakcji na ryzyko nad podejściem tradycyjnym opartym na znalezieniu jednego rozwiązania optymalnego. Przedmiotem badań z uwagi na skalę działania, cykl życia obiektów oraz wysoką kapitałochłonność autorka pracy przeanalizowała przypadki należące do grupy inwestycji infrastrukturalnych. W ostatnim podrozdziale, autorka rozprawy przedstawiła zakres całej pracy wraz z schematem blokowym zawierającym całkowity obszar badań w rozprawie doktorskiej.

**2. Rozdział** dotyczył analizy stanu wiedzy istniejącego w literaturze polskiej i zagranicznej. Dotyczy ona zagadnień budowlanego procesu inwestycyjnego a autorka wyróżniła pięć z nich takie jak: inżynieria przedsięwzięć budowlanych, ekonomika budownictwa, cykl życia inwestycji, infrastruktura i elastyczność. Wnioski jakie autorka wysunęła z przeglądu literatury związanego z zagadnieniami obejmującymi przedmiot badań rozprawy, autorka wysunęła dwa wnioski. Pierwszy z nich brzmiał iż, Dotychczas powstało wiele publikacji w języku polskim dotyczących zarówno elastyczności jak i analizy efektywności ekonomicznej. Natomiast żadna z nich nie przedstawia połączenia tych dwóch dziedzin. Stąd niniejsza rozprawa doktorska jest zarówno innowacyjna jak i potrzebna w dziedzinie zarządzania, ekonomii i strategii. Drugi mówi o tym, iż pojęcie elastyczności jest ściśle związane z ekonomią, co uzasadnia wykorzystanie analizy ekonomicznej podczas analiz przedsięwzięć wykorzystujących narzędzia elastyczne.

Ponadto rozdział ten zawiera opis typowej procedury projektowej, która opiera się na stopniowej eliminacji liczby wariantów projektowo – realizacyjnych. Bazuje również na jednej wartości kluczowej (np. obciążenie ruchem) i przy tym nie uwzględnia możliwości jej zmian w czasie. Podczas takiego projektowania projektant często opiera się na jednej wielkości średniej, która podaje ograniczone informacje o realistycznych wartościach. Sporządzono również schemat tradycyjnego podejścia do projektowania.

**3. Rozdział** rozprawy został oparty na zagadnieniu ryzyka i niepewności w projektach inwestycyjnych. Autorka rozprawy uważa, podobnie jak wiele naukowych tej dziedziny, że dodanie ryzyka do obliczeń podczas oceny efektywności inwestycji gwarantuje poprawność dokonanej oceny oraz pozwala na

podjęcie prawidłowej, trafnej decyzji inwestycyjnej. A samo ryzyko jest w realizacji przedsięwzięć budowlanych charakterystyką immanentną. Pochodzi ono z nie do końca odkrytych warunków realizacji robót, zmian otoczenia (fizycznego i organizacyjnego), nierzetelności kontrahentów, zdarzeń losowych, pomyłek ludzi itd.

Dodatkowo w rozdziale tym zawarto różnice w rozumowaniu ryzyka a niepewności, gdyż literatura często podaje te dwa pojęcia zamiennie. Jednakże m według autorki możemy mówić o wstępowaniu niepewności wówczas gdy nie można jasno zidentyfikować przyszłych poziomów parametrów inwestycji (nakładów inwestycyjnych, przychodów ze sprzedaży, kosztów eksploatacji itp.) oraz wtedy gdy nie można określić ich rozkładu prawdopodobieństwa. Z kolei ryzykiem nazywamy sytuację, gdy dla poszczególnych kategorii da oszacować się prawdopodobieństwo ich wielkości.

Rozdział ten został zakończony przedstawieniem rodzajów ryzyka i stosowanymi w rachunku niepewności, metodami jego szacowania w przedsięwzięciach inwestycyjnych.

**4. Rozdział** rozprawy autorka poświęciła tematyce elastyczności, jej idei oraz realizacji istniejących obiektów na świecie, które wykorzystywały narzędzia elastyczne podczas projektowania. Autorka zauważa również, iż podczas zastosowania elastycznego zarządzania inwestycją należy pamiętać by projekt zawierał trzy podstawowe elementy: śledzenie i wykrywanie zmian w otoczeniu, musi posiadać różne, możliwe do podjęcia decyzje operacyjne oparte na badaniach i analizach oraz powinien zawierać schemat drożenia konkretnej decyzji. Zatem można stwierdzić, że celem wprowadzenia elastyczności jest stworzenie projektu który jest gotowy na zmianę opcji w obiekcie (lub systemie) podczas jego całego cyklu życia umożliwiających dostosowanie do zmiennych warunków otoczenia.

Ponadto w rozdziale omówiono realizację inwestycji wykorzystujących podejście elastyczne takich jak Londyńskie Miasteczko Olimpijskie, zbudowane na Olimpiadę w 2012 roku, Stadion Sapporo Dome w Japonii wykonany na Mistrzostwa Świata w Piłce Nożnej w 2002 roku, Stadion Olimpijski w Atlancie wybudowany na Igrzyska Olimpijskie w 1996 roku, Most Vasco da Gamy oraz most 25 kwietnia w Lizbonie oraz Stadion Olimpijski w Sydney z 2000 roku.

Autorka pracy wspomina również o efekcie białego słonia biały słoń, które się w przypadku projektów inwestycyjnych oznacza to nic innego jak drogi i okazały projekt, który zupełnie nie spełnia oczekiwań inwestora lub taki projekt, który stał się bezużyteczny i jest znacznym obciążeniem dla właściciela.

**5. Rozdział** dotyczył narzędzi umożliwiających ocenę elastycznych opcji w systemach inżynierskich. Rachunek efektywności został podzielony na dwa rodzaje metod. Metody proste (statyczne) stanowią grupę metod intuicyjnych, służących do zorientowania się co do ekonomiczności inwestycji. Wykorzystywane są głównie we wczesnych fazach procesu inwestycyjnego a do ich stosowania skłania przede wszystkim ich prostota i komunikatywność. Wszystkie metody proste mają jedną cechę wspólną, a mianowicie opierają się na dwóch podstawowych założeniach. Po pierwsze przychód netto z inwestycji jest wycenionym wynikiem finansowym inwestycji, po drugie wartość pieniądza w całym okresie trwania inwestycji nie zmienia się. Oraz metody złożone (dynamiczne) które przede wszystkim uwzględnienie czynnika czasu, a dokładnie zmiany wartości pieniądza w czasie oraz rozłożenie w czasie wpływów i wydatków związanych zarówno z przygotowaniem, realizacją i eksploatacją inwestycji. Dodatkowo ważną cechą metod dynamicznych jest bazowanie na wielkościach wpływów i wydatków a nie na przewidywanych kosztach i przychodach, co zwiększa znacznie prawdopodobieństwo realności uzyskanych ocen.

**6. Rozdział** omawia dokładną metodykę, która została zaproponowana przez autorkę rozprawy, polegająca na stosowaniu jednego algorytmu dla wszystkich trzech analizowanych przypadkach. By ukazać różnice w obu podejściach (elastycznym i tradycyjnym) wszystkie badania zostały opracowane na podstawie dwóch modeli: a) tradycyjnego – budowa całego obiektu od razu, bez możliwości rozbudowy, od samego początku również ponoszone koszty utrzymania dla całego obiektu b) elastycznego – budowa etapowa, dostosowana do potrzeb otoczenia, z możliwością rozbudowy/przebudowy po czasie (w trakcie użytkowania), koszty utrzymania rozłożone w czasie, wzrastają wraz z rozbudową. By wykazać słuszność swoich tez autorka w pracy oba modele, we wszystkich przypadkach przeanalizowała przy pomocy autorskiej metody IBRIDO polegającej na połączeniu trzech metod wzajemnie się uzupełniających i dopełniających (metody oceny efektywności

ekonomicznej NPV, metody scenariuszy uwzględniającej zmienność rozkładu wartościowego i metody symulacyjnej Monte Carlo).

7. **Rozdział** zostały przedstawione i omówione trzy przykłady, które poddano analizie. Parking typu Park & Ride, fragment drogi ekspresowej S5 – odcinek obwodnica miasta Szubin w województwie kujawsko – pomorskim, oraz fragment autostrady A2 na odcinku węzłów Poznań – Komorniki i Poznań – Krzesiny. Dla wszystkich przykładów wykonano analizy i badania oparte na 2000 symulacji oraz wykonano wykresy porównujące każdy z zastosowanych wariantów dla każdego scenariusza osobno. Z badań autorka wyciągnęła wnioski.

### **Podsumowanie**

Otrzymane wyniki badań własnych autorki rozprawy udowodniły, że przy pomocy elastycznego podejścia do projektowania infrastruktury inwestor otrzymuje projekt, który posiada wiele niewymiernych korzyści, takich jak: szybka reakcja na ryzyko jakim jest rozwiązanie wcześniej zamodelowanych zagrożeń, możliwość zmian na każdym etapie procesu inwestycyjnego czy finalnie dopasowanie się projektu do zmieniających się warunków gospodarczych.

Należy jednak podkreślić, iż analizy symulacyjne nie stanowią metod, które całkowicie eliminują ryzyko. Wynik podczas ich prowadzenia stanowi jedynie źródło ważnych informacji, które w sposób istotny wspomagają proces decyzyjny, który oparty jest na zwiększeniu atrakcyjności ekonomicznej projektu. Im większa różnorodność projektu a co za tym idzie wrażliwość na zmiany, tym większe ryzyko oraz konieczność zastosowań metod elastycznych w projekcie.

Ponadto autorka pracy zauważa, że ograniczenie stosowanie podejścia elastycznego nie wynika z trudności wykonania takiego projektu czy z nowych, nierozpoznanych metod projektowych, związane jest jedynie z: a) dominacją tradycyjnego podejścia, opierającego się na jednym etapie analiz w którym dominuje minimalizacja kosztów inwestycji. Ponadto w tym podejściu brak jest badań decyzyjnych opartych na badaniach cyklu życia inwestycji. Zatem projektant uznaje, iż taka procedura da mu szybszy efekt końcowy b) z braku świadomości ekonomicznej inwestora i potencjalnych użytkowników w przestrzeni całego cyklu życia inwestycji, koszty rozpoznane są jedynie w pierwszej fazie – realizacji. Dlatego też autorka pracy uważa iż podjęta w rozprawie tematyka jest istotna i jej rozpropagowanie stanowi ważny cel w badaniach naukowych.

*Krzysztof Marja*  
10.05.2022

Poznań University of Technology  
Faculty of Civil and Transport Engineering  
Institute of Building Engineering  
Division of Construction Technology and Management

## Flexible approach for infrastructure planning in changing environment

Doctoral thesis in the field of management under the direction of: dr hab. Eng. Jerzy Paślawski, prof. PP

### Abstract

The aim of the work is to present and popularize the methodology of a flexible approach to design along with the benefits of changing the traditional design model in engineering facilities to a flexible approach. In addition, the author proposed a procedure to assess the possibility of applying various flexibility options. The author also created such changes in the typical calculations of the economic efficiency of investments that allowed the use of opportunities resulting from the changing environment, as the value of uncertainty grows under conditions of uncertainty and risk.

**1<sup>st</sup> chapter** Author of the dissertation presented why the subject of the work was taken up by her in scientific research. The main goal of the work and two side goals were also formulated, in addition, after a comprehensive analysis of both domestic and foreign sources of literature covering all the key issues being the subject of research of the following doctoral dissertation, such as: engineering of construction projects, construction economics and flexibility in design, the main thesis was formulated, that the introduction of a flexible approach to design in the implementation of infrastructure investments gives an advantage in terms of investment costs and risk response over the traditional approach based on finding one optimal solution. The subject of the research, due to the scale of operation, the life cycle of facilities and the high capital intensity, the author of the work analyzed cases belonging to the group of infrastructure investments. In the last subsection, the author of the dissertation presented the scope of the entire work along with a block diagram containing the entire research area in the doctoral dissertation.

**2<sup>nd</sup> chapter** concerned the analysis of the state of knowledge existing in Polish and foreign literature. It concerns the issues of the construction investment process and the author has distinguished five of them, such as: engineering of construction projects, construction economics, investment life cycle, infrastructure and flexibility. Conclusions that the author made from the literature review related to the issues covering the subject of the dissertation's research, the author made two conclusions. The first was that, So far, there have been many publications in Polish on both flexibility and economic efficiency analysis. However, neither of them shows a combination of these two domains. Hence, this dissertation is both innovative and needed in the fields of management, economics and strategy. The second says that the concept of flexibility is closely related to economics, which justifies the use of economic analysis when analyzing projects using flexible tools.

In addition, this chapter describes a typical design procedure, which is based on the gradual elimination of the number of design and implementation variants. It is also based on one key value (e.g. traffic load) and does not take into account the possibility of its changes over time. When designing in this way, the designer often relies on a single mean value that gives limited information with realistic values. A diagram of the traditional approach to design has also been drawn up.

**3<sup>rd</sup> chapter** of the dissertation was based on the issue of risk and uncertainty in investment projects. The author of the dissertation believes, like many other scientists in this field, that adding risk to the calculations when assessing the effectiveness of investments guarantees the correctness of the assessment made and allows to make a correct, accurate investment decision. And the risk itself is inherent in the implementation of construction projects. It comes from not fully discovered conditions for the implementation of works, changes in the environment (physical and organizational), unreliability of contractors, random events, mistakes of people, etc.

In addition, this chapter contains differences in understanding risk and uncertainty, as the literature often uses these two concepts interchangeably. However, according to the author, we can talk about the occurrence of uncertainty when it is not possible to clearly identify the future levels of investment parameters (investment outlays, sales revenues, operating costs, etc.) and when their probability distribution cannot be determined. We call a risky situation when the probability of their size can be estimated for individual categories.

This chapter has been completed with the presentation of the types of risk and the methods of its estimation used in the uncertainty account in investment projects.

**4<sup>th</sup> chapter** of the dissertation was devoted to the subject of flexibility, its idea and the implementation of existing objects in the world, which used flexible tools during design. The author also notes that when using flexible investment management, it should be remembered that the project should contain three basic elements: tracking and detecting changes in the environment, it must have different, possible operational decisions based on research and analysis, and it should contain a pattern of making a specific decision. Thus, it can be concluded that the purpose of introducing flexibility is to create a design that is ready to change options in an object (or system) during its entire life cycle, enabling it to adapt to changing environmental conditions.

In addition, the chapter discusses the implementation of investments using a flexible approach, such as the London Olympic Town, built for the Olympics in 2012, the Sapporo Dome Stadium in Japan, constructed for the Football World Cup in 2002, the Olympic Stadium in Atlanta, built for the Olympic Games in 1996, Vasco da Gama Bridge and the 25 April Bridge in Lisbon and the Olympic Stadium in Sydney from 2000.

The author of the work also mentions the white elephant effect, which in the case of investment projects means nothing more than an expensive and impressive project that does not meet the investor's expectations or a project that has become unusable and is a significant burden for the owner.

**5<sup>th</sup> chapter** dealt with tools for assessing flexible options in engineering systems. The efficiency calculation has been divided into two types of methods. Simple (static) methods are a group of intuitive methods used to find out about the profitability of an investment. They are used mainly in the early stages of the investment process and their use is primarily driven by their simplicity and communication skills. All simple methods have one thing in common, namely they are based on two basic assumptions. First, the net income

investment is the valued financial result of the investment, secondly, the value of money does not change throughout the investment period. And complex (dynamic) methods which primarily take into account the time factor, and specifically changes in the value of money over time and the distribution of

during the receipts and expenses related both to the preparation, implementation and operation of the investment. Additionally, an important feature of dynamic methods is the fact that they are based on the amount of inflows and expenses, and not on the expected costs and revenues, which significantly increases the probability of the reality of the obtained assessments.

**6<sup>th</sup> chapter** discusses the exact methodology that was proposed by the author of the dissertation, consisting in the use of one algorithm for all three analyzed cases. To show the differences in both approaches (flexible and traditional), all studies were developed on the basis of two models: a) traditional - construction of the entire facility at once, without the possibility of expansion, also the maintenance costs incurred for the entire facility from the very beginning b) flexible - phased construction, adapted to the needs of the environment, with the possibility of extension / reconstruction over time (during use), maintenance costs spread over time, increase with expansion. In order to prove the validity of her theses, the author analyzed both models in all cases using the proprietary IBRIDO method consisting in the combination of three mutually complementary and complementary methods (NPV economic efficiency assessment methods, scenario methods taking into account the variability of the value distribution and the Monte Carlo simulation method).

7<sup>th</sup> Chapter tree examples were presented and discussed and analyzed. Park & Ride car park, part of the S5 expressway - the section of the Szubin bypass in the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship, and a fragment of the A2 motorway at the Poznań - Komorniki and Poznań - Krzesiny junctions. For all examples, analyzes and tests were performed based on 2000 simulations and graphs were made comparing each of the applied variants for each scenario separately. The author drew conclusions from the research.

## Summary

The obtained results of the author's own research proved that with the help of a flexible approach to infrastructure design, the investor receives a project that has many unmeasurable benefits, such as: quick response to the risk of solving previously modeled threats, the possibility of changes at every stage of the investment process or the final adjustment the project to changing economic conditions.

However, it should be emphasized that simulation analyzes do not completely eliminate the risk. The result during their conduct is only a source of important information that significantly supports the decision-making process, which is based on increasing the economic attractiveness of the project. The greater the variety of the project and thus the sensitivity to changes, the greater the risk and the need to use flexible methods in the project.

In addition, the author of the paper notes that the limitation in the use of the flexible approach does not result from the difficulties of implementing such a project or from new, unrecognized design methods, it is only related to: a) the dominance of the traditional approach, based on one stage of analyzes in which minimization of investment costs dominates. Moreover, this approach lacks decision-making research based on investment lifecycle studies. Therefore, the designer considers that such a procedure will give him a faster end result b) due to the lack of economic awareness of the investor and potential users throughout the entire life cycle of the investment, the costs are recognized only in the first phase - implementation.

Therefore, the author of the work believes that the subject matter discussed in the dissertation is important and its dissemination is an important goal in scientific research.

Krzysztof Monie

10.05.2022