

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu
Instytut Budownictwa
Politechnika Poznańska

ROZPRAWA DOKTORSKA

**ELASTYCZNE PLANOWANIE
OBIEKTÓW INFRASTRUKTURY
EKSPLOATOWANYCH W ZMIENNYM
OTOCZENIU**

Flexible approach for infrastructure planning in changing environment

mgr inż. Maria Kośmiejka

Rozprawa doktorska wykonana w Zakładzie Inżynierii Produkcji Budowlanej
Instytutu Budownictwa
Politechniki Poznańskiej
pod kierunkiem dr hab. inż. Jerzego Paślawskiego, prof. PP

Poznań 2022



Chciałabym serdecznie podziękować mojemu promotorowi dr hab. inż. Jerzemu Paślawskiemu, prof. nadzw. PP za opiekę, zrozumienie, cierpliwość i wsparcie podczas pisania tej pracy. Za pokładaną nadzieję oraz wiarę w sukces do samego końca.

Mojemu mężowi, za motywację i wsparcie podczas pisania pracy. Za pomoc i cenne wskazówki, które przyczyniły się do powstania tej rozprawy.

Moim rodzicom za pomoc na wielu płaszczyznach.

Mojej siostrze, która jest codzienną inspiracją dla mnie oraz moim dzieciom Wojtkowi i Karolinie, ta praca jest dla nich.



SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	6
1.1. Wprowadzenie	6
1.2. Cel	7
1.3. Teza	8
1.4. Przedmiot badań	9
1.5. Zakres pracy	9
2. BUDOWLANY PROCES INWESTYCYJNY	12
2.1. Analiza stanu istniejącego w literaturze	12
2.1.1. Inżyniera przedsięwzięć budowlanych	12
2.1.1.1. Inżynieria	12
2.1.1.2. Przedsięwzięcie budowlane	13
2.1.1.3. Inżynieria przedsięwzięć budowlanych	14
2.1.2. Ekonomika Budownictwa	18
2.1.2.1. Inwestycja	18
2.1.2.2. Efektywność ekonomiczna	19
2.1.3. Cykl życia inwestycji	25
2.1.4. Infrastruktura	32
2.1.5. Elastyczność	34
2.2. Opis typowej procedury projektowej	38
2.3. Wnioski	40
3. RYZYKO I NIEPEWNOŚĆ W PROJEKTACH INWESTYCYJNYCH	43
3.1. Ryzyko w ocenie efektywności inwestycji	43
3.2. Ryzyko a niepewność	44
3.3. Rodzaje ryzyka	45
3.4. Poziom ryzyka a długość cyklu życia inwestycji	48
3.5. Rachunek efektywności inwestycji – ocena opłacalności inwestycji	49
3.6. Ujęcie czynnika czasu	49
3.7. Metody symulacyjne podczas szacowania ryzyka w projekcie inwestycyjnym	52
4. ELASTYCZNOŚĆ	56
4.1. Wstęp	56
4.2. Realizacje wykorzystujące podejście elastyczne na świecie	57
4.2.1. Londyn Miasteczko Olimpijskie	57
4.2.1.1. Basketball Arena w Londynie	57
4.2.1.2. Stadion Olimpijski w Londynie	58
4.2.1.3. Aquatics Centre w Londynie	61
4.2.2. Sapporo Dome w Japonii	62



4.2.3.	Centennial Olympic Stadium w Atlancie (Georgia)	64
4.2.4.	Most Vasco da Gamy na Tagu, Lizbona, Portugalia	66
4.2.5.	Most 25 kwietnia, Lizbona, Portugalia	67
4.2.6.	Stadion Australia, Sydney	69
4.2.7.	Efekt białego słonia	71
5.	NARZĘDZIA UMOŻLIWIAJĄCE OCENĘ ELASTYCZNYCH OPCJI W SYSTEMACH INŻYNIERSKICH.....	74
5.1.	Rachunek efektywności inwestycji	74
5.2.	Ocena efektywności inwestycji.....	76
5.3.	Metody proste (statyczne)	79
5.3.1.	Metoda ROI i ROE.....	79
5.3.2.	Metoda prostego okresu zwrotu (PP).....	81
5.3.3.	Metoda księgowej stopy zwrotu ARR.....	85
5.4.	Metody dynamiczne	87
5.4.1.	Metoda wartości bieżącej netto (Net Present Value – NPV).....	90
5.4.1.1.	Wycena elastyczności	97
5.4.1.2.	Stopa dyskonta	99
5.4.2.	Wewnętrzna stopa zwrotu (Internal Rate of Return – IRR).....	101
5.5.	Metody analizy ryzyka.....	104
5.5.1.	Bezpośrednie ujęcie ryzyka.....	105
5.5.1.1.	Metoda stopy dyskontowej z ryzykiem	106
5.5.2.	Pośrednie ujęcie ryzyka	111
5.5.2.1.	Analiza scenariuszy	111
5.5.2.2.	Metoda symulacyjna Monte Carlo	114
5.5.2.3.	Inne metody ujmujące ryzyko w sposób pośredni	123
6.	METODYKA	124
6.1.	Specyfika realizacji inwestycji infrastrukturalnych	124
6.2.	Metodyka.....	126
6.2.1.	Scenariusze.....	130
6.2.2.	Model prognostyczny obciążenia ruchem	130
7.	BADANIA „CASE STUDY”	133
7.1.	Parking typu Park&Ride	133
7.1.1.	Ogólna charakterystyka obiektu	134
7.1.2.	Podstawowe założenia analizy.....	136
7.1.3.	Metoda Scenariuszy	136
7.1.3.1.	Scenariusz optymistyczny	137
7.1.3.2.	Scenariusz pesymistyczny	139
7.1.3.3.	Scenariusz najbardziej prawdopodobny.....	141
7.1.3.4.	Wnioski.....	143



7.2.	Droga ekspresowa S5 (odcinek obwodnica Szubin)	145
7.2.1.	Ogólna charakterystyka obiektu	146
7.2.2.	Podstawowe założenia analizy.....	150
7.2.3.	Metoda Scenariuszy	151
7.2.3.1.	Scenariusz optymistyczny	152
7.2.3.2.	Scenariusz pesymistyczny	154
7.2.3.3.	Scenariusz najbardziej prawdopodobny.....	156
7.2.4.	Wnioski	158
7.3.	Autostrada A2	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
7.3.1.	Ogólna charakterystyka obiektu	160
7.3.2.	Podstawowe założenia analizy.....	162
7.3.1.	Metoda Scenariuszy	164
7.3.1.1.	Scenariusz optymistyczny	164
7.3.1.2.	Scenariusz pesymistyczny	166
7.3.1.3.	Scenariusz najbardziej prawdopodobny.....	168
7.3.2.	Wnioski	170
8.	ZAKOŃCZENIE	171
8.1.	Podsumowanie i wnioski	171
8.2.	Wkład własny autora i osiągnięcia praktyczne.....	172
8.3.	Kierunki dalszych badań	173
	BIBLIOGRAFIA.....	175
	Literatura	175
	Normy.....	182
	Strony internetowe	182
	Inne	182

1. Wstęp

1.1. Wprowadzenie

Rosnąca dynamika zmian i ich zakres oraz niepewność w określaniu momentu ich zaistnienia są pewne i wynikają między innymi z bardzo szybkiego postępu technologicznego. Masowe zjawiska, takie jak globalizacja całkowicie zaburzają ukształtowanie rynku i branż, które dotychczas miały jasno określone granice. Generuje to znaczne trudności podczas projektowania obiektów budowlanych, szczególnie elementów infrastruktury, gdyż coraz trudniejsze staje się przewidywanie zaistnienia przyszłych zdarzeń nawet w odniesieniu do relatywnie krótkiego odcinka czasu.

Strategie podczas podejmowania decyzji muszą być na tyle elastyczne, by móc podążać za ciągłymi zmianami i jednocześnie umożliwiać wykorzystanie szans pojawiających się w niepewnym otoczeniu [144], na przykład współpraca różnych systemów i ich rozwój : kolej regionalna wraz z komunikacją zbiorową w aglomeracji. Natomiast tradycyjne podejście do projektowania oparte jest głównie na analizie i ocenie prawdopodobieństwa zaistnienia zdarzeń, niestety coraz częściej jest to niewystarczające, gdyż przyszłość toczy się bardzo nieprzewidywanie.

Niepewność związana ze zmiennością otoczenia jest szczególnie odczuwalna w przedsięwzięciach inwestycyjnych. Związane bowiem jest to z poniesieniem znacznych nakładów inwestycyjnych w celu osiągnięcia w przyszłości zysków, które niekoniecznie muszą być uzyskane lub wręcz przeciwnie – otworzą nowe, nieprzewidziane wcześniej szanse.

W rozprawie doktorskiej analizy w znacznej mierze dotyczyły infrastruktury komunikacyjnej, gdyż jest ona doskonałym przykładem tego typu zjawiska, której intensywny rozwój jest ściśle związany z rozwojem gospodarczym. Zatem pierwszoplanową czynnością podczas sporządzania projektu przedsięwzięcia jest uwzględnienie gotowości do zmian w całym cyklu życia obiektu. Dlatego też w niniejszej rozprawie podjęto rozważania dotyczące

wprowadzenia elastyczności w projektowaniu, która tworzy szansę dostosowania się do możliwych do zaistnienia zmian.

Cykl życia infrastruktury komunikacyjnej jest bardzo długi, dlatego zmiany warunków działania (np. obciążenie ruchem) i stawiane wymagania (np. klasa drogi, zwiększenie dopuszczalnych parametrów), modernizacje i przekształcenia obiektów są pewne. Natomiast moment zaistnienia tych zmian oraz rzeczywiste wartości parametrów są bardzo trudne do ustalenia. Dlatego też w rozprawie doktorskiej uzasadnia się wprowadzenie nowego podejścia opartego o elastyczność rozumianą jako możliwość, (ale nie konieczność) wprowadzenia pewnych opcji zakładających zmianę konfiguracji parametrów systemu lub jego elementów w czasie [44].

Niestety tradycyjne metody oceny efektywności ekonomicznej są niewystarczające do prawidłowej oceny inwestycji zaprojektowanych przy użyciu podejścia elastycznego. Ponadto nie pozwalają one prawidłowo ocenić szans wynikających z podjętych decyzji inwestycyjnych, gdyż opierają się na analizie spodziewanych strumieni pieniężnych, kosztów działalności czy amortyzacji. A przy definiowaniu projektu inwestycyjnego i dokonywaniu rachunku jego efektywności nie zakładają konieczności wprowadzenia przyszłych zmian i modyfikacji, które mogą nastąpić podczas procesu realizacji [15]. Podejmowanie decyzji inwestycyjnych opierając się na tradycyjnych metodach rachunku efektywności znacznie ogranicza przyszłą strategię rozwoju inwestycji.

1.2. Cel

Głównym celem pracy jest przedstawienie i rozpropagowanie metodyki elastycznego podejścia do projektowania wraz ze wszystkimi korzyściami płynącymi ze zmiany tradycyjnego modelu projektowania w obiektach inżynierskich na podejście elastyczne.

Dodatkowo w pracy zostały sformułowane dwa cele cząstkowe. Pierwszy z nich to opracowanie procedury pozwalającej na ocenę możliwości zastosowania różnych opcji elastyczności. Dzięki temu będzie możliwe zastosowanie poza typowym kryterium ekonomicznym (uwzględniając

np. NPV, IRR) kryterium które uwzględnienia uwarunkowania związane z innymi założeniami (wymagania techniczne, jakościowe oraz dotyczące ekologii, itp.).

Drugim celem cząstkowym pracy jest stworzenie takich zmian w typowych obliczeniach ENPV, które pozwalają na wykorzystanie szans wynikających z zastosowania podejścia elastycznego. Umożliwi to ograniczenie ryzyka w I etapie inwestycji oraz wykorzystanie szans wynikających ze zmiennego otoczenia, gdyż wartość elastyczności rośnie w warunkach ryzyka i niepewności.

Wszechstronna analiza zarówno krajowych jak i zagranicznych źródeł literatury, obejmujących wszystkie kluczowe zagadnienia będące przedmiotem badań poniższej rozprawy doktorskiej takich jak: inżynieria przedsięwzięć budowlanych, ekonomika budownictwa i elastyczność w projektowaniu, a także wnioski z przeprowadzanych analiz, umożliwiły sformułować główne tezy pracy oraz tezę pomocniczą.

1.3. Teza

Główną tezą pracy jest założenie 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.

Teza pomocnicza pracy mówi, że przy pomocy elastycznego podejścia do projektowania infrastruktury inwestor (czy to prywatny czy to publiczny) może otrzymać niewymierne korzyści, takie jak szybka reakcja na ryzyko, możliwość zmian w różnych etapach inwestycji czy dopasowanie do zmieniających się warunków gospodarczych oraz dodatkowo taki produkt, który po zmianach środowiskowych znajdzie sensowe kolejne życie.

1.4. Przedmiot badań

Z uwagi na skalę działania, cykl życia obiektów wraz z wysoką kapitałochłonnością w rozprawie przeanalizowano przypadki należące do grupy inwestycji infrastrukturalnych, takich jak: drogi szybkiego ruchu, obwodnice czy parkingi typu Park&Ride. Proces realizacji tych inwestycji trwa latami, od momentu koncepcji aż do użytkowania i modernizacji. W tym czasie wiele czynników środowiskowych może ulegać zmianie, a zatem parametrybrane do początkowych analiz i obliczeń stają się zdezaktualizowane. Uzasadnia to wprowadzenie nowego podejścia opartego na elastyczności rozumianej jako założenie pewnych opcji uwzględniających zmianę parametrów systemu lub jego elementów w czasie.

Do tej pory w Polsce nie przeprowadzono i nie opracowano dokładnej oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć zaprojektowanych przy pomocy elastycznych narzędzi. Brak tych obliczeń uniemożliwia prawidłową ocenę efektów działania elastyczności. Stąd w pracy doktorskiej zajęto się stworzeniem jasnej i przejrzystej procedury, która umożliwi wprowadzenie elastyczności, a otrzymane wyniki pomogą w opracowaniu bardziej trafnych metod oceny i zastosowania elastyczności w budownictwie. Umożliwi to podejmowanie decyzji dotyczących zastosowania podejścia elastycznego przy planowaniu obiektów infrastruktury

1.5. Zakres pracy

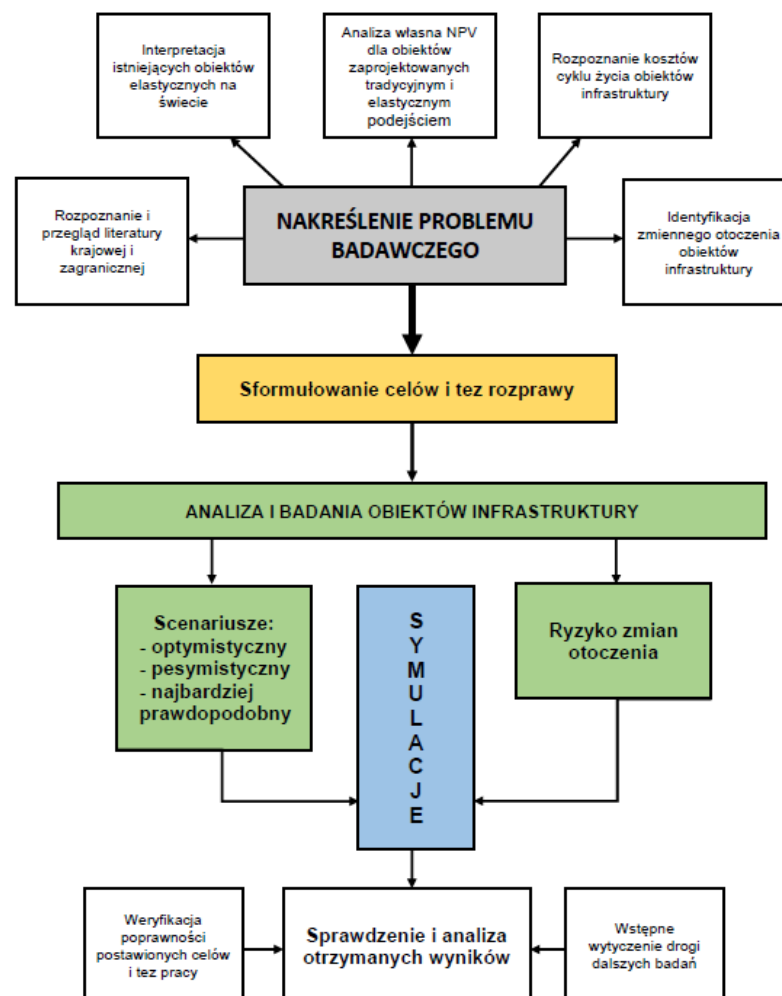
Niniejsza rozprawa doktorska składa się z ośmiu rozdziałów, które zajmują odpowiednio 174 strony, a jej zakres badań został w sposób schematyczny przedstawiony na Rys 1.1

Drugi rozdział pracy dotyczy przeglądu stanu wiedzy zarówno z dziedziny inżynierii przedsięwzięć budowlanych, cyklu życia obiektu, ekonomiki budownictwa, jak i elastyczności. W rozdziale tym omówiono pojęcia i definicje, nakreślono ramy czasowe stosowanych pojęć oraz wymieniono

prekursorów z danych dziedzin rozprawy. Ponadto zaprezentowano wnioski płynące z dotychczasowego stanu wiedzy.

Trzeci rozdział rozprawy omawia ryzyko i niepewność w projektach inwestycyjnych. Przedstawia różnice między ryzykiem a niepewnością, omawia rodzaje ryzyka oraz jego poziomy z punktu widzenia cyklu życia inwestycji. Rozdział zakończony jest przedstawieniem metod symulacyjnych, które uwzględniają ryzyko w swoich obliczeniach.

W kolejnym rozdziale przedstawiono zastosowanie idei elastyczności jako metody projektowania inwestycji budowlanych. Dodatkowo omówiono realizacje elastyczne na świecie, między innymi w Wielkiej Brytanii, Japonii, Stanach Zjednoczonych czy Portugalii. Przedstawiono inwestycje takie jak stadiony, hale sportowe czy mosty.



Rys. 1.1 Schemat blokowy obszaru badań w rozprawie doktorskiej

Źródło: opracowanie własne



Zaprezentowano ich historię oraz to jak funkcjonują obecnie oraz całkowite koszty budowy.

Piąty rozdział rozprawy przedstawia narzędzia umożliwiające ocenę elastycznych opcji w systemach inżynierskich. Omówiono rachunek efektywności, cykl życia obiektu oraz stopę dyskonta. Przedstawiono proste i złożone metody oceny efektywności inwestycji oraz metody analizy ryzyka.

W rozdziale szóstym zaprezentowano metodykę wraz ze schematami toku postępowania podczas prowadzonych badań. Omówiono również podstawowe założenia wykorzystywane podczas obliczeń.

Siódmy rozdział rozprawy dotyczy badań i analiz przykładów ukazujących narzędzie elastyczności takich jak: parking Park&Ride, droga ekspresowa oraz autostrada i przedstawia uzyskane wyniki.

Na zakończenie pracy przedstawiono wnioski i podsumowanie oraz ukazano dalsze, możliwe kierunki badań. Ponadto zaprezentowano wykaz literatury, spis tabel i oznaczeń.

2. Budowlany proces inwestycyjny

2.1. Analiza stanu istniejącego w literaturze

2.1.1. Inżyniera przedsięwzięć budowlanych

Od wielu lat trwają badania dotyczące budowy obiektów budowlanych, technologii i organizacji robót, zarządzania przedsięwzięciami budowlanymi czy eksploatacji obiektów budowlanych. Jednakże, na początku XXI wieku nastąpił znaczny rozwój technologiczny, a co za tym idzie rozwój teorii i możliwości wspomagania pracy narzędziami. Dzięki temu budownictwo rozwinęło nowe kierunki analiz i projektowania procesów budowlanych, a także pojawiły się nowe potrzeby dotyczące zakresu zarządzania tymi procesami.

Dodatkowym czynnikiem warunkującym rozwój są wciąż wzrastające wymogi społeczne, techniczne i ekonomiczne, które wymuszają na badaczach kompleksowe analizy dotyczące rozwiązań problemów budowy, przebudowy czy remontu lub rozbiórki, ale również analizy warunkujące czynniki występujące podczas eksploatacji obiektów budowlanych. Zatem niezbędne staje się nowe hybrydowe, systemowe podejście do rozwiązań tych zagadnień. Koniecznością staje się stosowanie nowych metod i technik analizy i projektowania realizacji robot budowlanych. To wszystko uwarunkowało stworzenie nowej specjalności inżyniera przedsięwzięć budowlanych.

Biorąc pod uwagę hybrydowość specjalności inżyniera przedsięwzięć budowlanych i różnorodność badaczy z nią związanych Kasprovicz [60] proponuje zdefiniować trzy podstawowe pojęcia jakimi są: inżyniera, przedsięwzięcie budowlane oraz inżyniera przedsięwzięć budowlanych.

2.1.1.1. Inżyniera

Zagadnienie inżyniera było stosowane już od dawna w nauce. Ten termin w swojej publikacji już w 1978 roku został użyty przez Pszczołowski [100]. Jednakże przez lata termin ten ulegał zmianom. Obecnie pojęciem tym najczęściej opisuje się postępowanie, w którym analiza wybranego

fragmentu rzeczywistości prowadzona jest kompleksowo z zastosowaniem podejścia systemowego, a proponowane metody i rozwiązania formułowane są w ujęciu systemowym [64].

Inną koncepcję definicji inżynierii w swojej pracy przedstawił Findeisen [37], uważał on, że jest to rozszerzający się dział nauk plastycznych, który opisuje, bada i formułuje prawa dotyczące określonego fragmentu rzeczywistości, w tym materii nieorganicznej i organicznej, roślin i zwierząt.

Kapliński w swoich pracach [61] inżynierię definiuje jako proces decyzyjny i wykorzystanie zasobów podporządkowane celowi, którym jest stworzenie lub realizacja robót budowlanych oraz związanych z nimi procesów zarządzania i logistycznych.

Stricte w budownictwie termin „inżynieria” rozumiany jest jako inżynieria lądowa czyli dyscyplina naukowa zajmująca się zagadnieniem budowy dróg, kolei, lotnisk i tuneli [168], jednakże wydaje się, że Leksykon naukowo – techniczny całkowicie nie wyczerpuje definicji tego słowa. Według badaczy określenie nie zawiera dużego obszaru budownictwa obejmującego techniki wznoszenia i konserwacji budowli oraz wszystkich umiejętności z tym związanych.

Zgodnie z Kasprowiczem [63] najtrafniejszą definicję terminu inżynierii przedstawia Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN [165], który określa zakres działań inżynierii lądowej jako badanie obiektu budowlanego w czasie projektowania, wznoszenia i eksploatacji w środowisku, a także jego modernizacje i naprawy. Natomiast główne kierunki badań to: „obciążenie działające na obiekt, współdziałanie obiektu z podłożem, materiały budowlane, systemy izolacyjne, systemy ogrzewania, wentylacji, zaopatrzenia w wodę i energię, sanitarne, ponadto budowle hydrotechniczne, inżynieria dróg i mostów, infrastruktura techniczna miast oraz organizacja i planowanie procesów budowlanych”.

2.1.1.2. Przedsięwzięcie budowlane

W pracach naukowych [61,100] przy pomocy terminu „przedsięwzięcie budowlane” opisuje się proces przygotowania i realizacji budowy,

przebudowy, montażu, remontu lub rozbiórki obiektu budowlanego w konkretnym miejscu, czasie, otoczeniu systemowym i środowisku naturalnym.

Wyróżnia się cztery etapy przedsięwzięć budowlanych [138]:

1. studia techniczno – ekonomiczno – środowiskowe
2. opracowanie koncepcji przedsięwzięcia i projektu budowlanego
3. przygotowanie organizacyjne i realizacja budowy
4. eksploatacja obiektu

Ostatni etap przedsięwzięcia budowlanego - jakim jest eksploatacja obiektu - jest bardzo szczególny, gdyż stanowi zapewnienie możliwości użytkowania obiektu przez cały jego okres użytkowania. Pod tym względem można stwierdzić, że użytkowanie obiektu to zbiór wszystkich działań związanych z kierowaniem procesem użytkowania i spełnieniem przez obiekt wymaganych funkcji użytkowych, włącznie z koniecznością dostosowania się zmian warunków zewnętrznych.

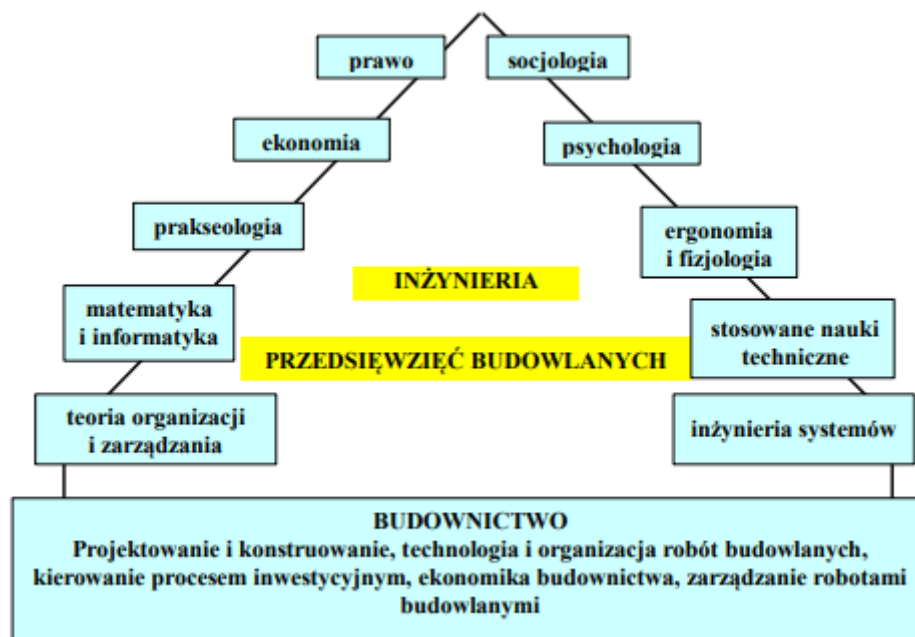
2.1.1.3. Inżynieria przedsięwzięć budowlanych

Kasprowicz [63] podaje, że inżynieria przedsięwzięć budowlanych to specjalność w ramach inżynierii lądowej, która zajmuje się badaniem budowy, montażu, przebudowy, remontu i eksploatacji obiektów budowlanych w konkretnym miejscu, czasie, otoczeniu systemowym i środowisku naturalnym. Dotyczy to gromadzenia i tworzenia specjalistycznej wiedzy, umiejętności i kompetencji, które są niezbędne do projektowania przedsięwzięć budowlanych oraz podejmowania decyzji określających sposób, czas, koszty, jakość, wymagania i miejsce realizacji przedsięwzięcia budowlanego.

Dyscyplina badań inżynierii przedsięwzięć budowlanych jest wielopłaszczyznowa, ze względu na swój charakter scalający zagadnienia techniczne, technologiczne, organizacyjne, ekonomiczne i środowiskowe. Dotychczas badania pokazały, że podejście systemowe stanowi odpowiednią metodę do sporządzania analiz, wykrywania i formułowania problemów badawczych. Jest to podejście interdyscyplinarne, które umożliwia zastosowanie sprawnych metod analizy systemowej i inżynierii

systemów oraz optymalne lub racjonalne rozwiązywanie złożonych problemów analizy identyfikacyjnej, problemowej, projektowo – planistycznej i decyzyjnej robót i przedsięwzięć budowlanych [100].

Biorąc pod uwagę aktualny stan wiedzy, rozwój współczesnych technologii oraz praktykę badań, można zauważyć, iż pojęcie inżynierii przedsięwzięć budowlanych stanowi podstawę dla określenia wiedzy specjalistycznej w dyscyplinie budownictwo. Jednakże swoistość przedsięwzięć budowlanych powoduje, iż inżynieria przedsięwzięć budowlanych powinna wykorzystywać dorobek wielu nauk, dyscyplin i specjalności takich jak: prawo, socjologia, ekonomia, psychologia, ergonomia, matematyka, informatyka, teoria organizacji i zarządzania oraz inżynieria systemów. (Rys. 2.1).



Rys. 2.1 Inżynieria przedsięwzięć budowlanych w otoczeniu nauk podstawowych i stosowanych

Źródło: [63]

Podczas analiz przedmiotu badań inżynierii przedsięwzięć budowlanych wymienia się podstawowe obszary problemów występujących w ramach badań inżynierii przedsięwzięć budowlanych Rys. 2.2



Rys. 2.2 Obszary problemowe badań inżynierii przedsięwzięć budowlanych

Źródło: [63]

W powyższych obszarach przedstawionych na Rys. 3 można wyodrębnić szczegółowe problemy badań. Najważniejsze szczegółowe problemy badawcze zostały przedstawione w Tab. 2

Tab. 2. Szczegółowe problemy badań występujące w inżynierii przedsięwzięć budowlanych

Problem	Szczegółowy podział	
Problemy zintegrowanego zarządzania w budownictwie	zintegrowane metody przygotowania organizacji i realizacji robót i przedsięwzięć budowlanych:	standaryzacja procesu inwestycyjnego i systemów realizacji, w tym cykl realizacji, wymagania prawa budowlanego
		analiza technologii i organizacji robót, ocena kosztów i efektywności
		analiza czasu realizacji, metody harmonogramowania w warunkach ryzyka
		analiza i ocena ryzyka, kontyngencja ryzyka
		systemy, metody i techniki wspomagania przygotowania i realizacji robót i przedsięwzięć budowlanych
		kierowanie robotami i przedsięwzięciami budowlanymi, w tym:
kierowanie operatywne		
systemy, metody i techniki wspomagania kierowania operatywnego, zarządzania ryzykiem		
Problemy zintegrowanego zarządzania eksploatacją obiektów budowlanych	metody identyfikacji cyklu życia obiektu budowlanego	
	definiowanie koniecznych normatywnych warunków eksploatacji obiektu budowlanego	
	organizacja eksploatacji normatywnej obiektów budowlanych (system in-proces eksploatacji, użytkowanie, utrzymanie, standardy utrzymania, prognozowanie eksploatacji)	
	metody oceny i prognozowania stanu eksploatacyjnego podczas eksploatacji normatywnej obiektów budowlanych	
	systemy, metody i techniki wspomagania zarządzania eksploatacją	
Problemy funkcjonowania przedsiębiorstw budowlanych	tworzenie, struktura i funkcjonowanie	zarządzanie i kierowanie, oferty i umowy na roboty budowlane
		realizacja przedsięwzięć, logistyka, outsourcing, reengineering, lean management, płynność finansowa, zarządzanie jakością, bezpieczeństwo i ochrona zdrowia itp.
	systemy i metody wspomagania podejmowania decyzji (procedury algorytmiczne i heurystyczne, systemy eksperckie, algorytmy ewolucyjne i sieci neuronowe, metody symulacyjne itd.	
	zarządzanie ryzykiem, zarządzanie strategiczne, w tym systemy zrównoważonego rozwoju	

Źródło: opracowanie własne na podstawie [63]

2.1.2. Ekonomia Budownictwa

2.1.2.1. Inwestycja

By w prawidłowy i właściwy sposób rozwijać zasoby w gospodarce, konieczne jest prowadzenie inwestycji, które pobudzą zmiany strukturalne w całym cyklu życia inwestycji, jednakże muszą one być prowadzone tak, by były efektywne ekonomiczne. W literaturze przedmiotu można znaleźć podział na dwie podstawowe grupy definicji zagadnienia inwestycji [113]:

- *Nurt monetarny (finansowy – płatniczy) – rozpatrujący inwestycję jedynie z pozycji ruchu pieniądza (w podejściu tym nie jest akcentowany materialny wymiar inwestycji); zgodnie z ujęciem płatniczym, można opisać inwestycję jako przepływ pieniężny (przepływ wpływów i wydatków zapoczątkowany wydatkami),*
- *Nurt rzeczowy (majątkowy) – widzący w inwestycji jedynie ruch dóbr (w podejściu tym zwraca się szczególną uwagę na konieczność uzyskania materialnego efektu w wyniku przeprowadzenia inwestycji).*

W literaturze przedmiotu, jeżeli chodzi o szczegółową definicję pojęcia „inwestycja” występuje wiele prób jej podjęcia. Brochacka i Gajęcki (1997) [10] w swojej pracy napisali o inwestycji jako formie *zamiany środków finansowych na czynniki produkcji*, co ogranicza inwestycję jedynie do ruchu środków pieniężnych. W latach 80 ubiegłego wieku Merkle (1980) [81] napisał, że *inwestycja to każde przeznaczenie czynników produkcyjnych w celu utrzymania, powiększenia lub poprawienia aparatu produkcyjnego (poza prywatnym gospodarstwem domowym)* - taka definicja ukazuje jedynie celowy aspekt inwestycji, w którym brakuje aspektu efektywnościowego.

W zachodniej literaturze Kamerschen, MacKenzie oraz Nardinelli (1991) [59] definiują inwestycję jako *nabywanie dóbr kapitałowych, które mogą być użyte w produkcji*. Taka definicja ogranicza inwestycję tylko do ruchu dóbr. Wielu autorów w swoich pracach definiuje inwestycję jako *bieżące wyrzeczenie się konsumpcji w celu osiągnięcia przyszłych korzyści*, między innymi: Jajuga i Słoński (1998) [52], Marcinek (1998) [77], Dobbins,

Frąckowiak, Witt (1992) [27]. Takie definiowanie ukazuje dwa aspekty inwestycji: psychologiczną i przyszłe korzyści. Definiowanie inwestycji przy pomocy kapitału i rozumienie jej poprzez zwiększenie dochodu przedstawiają w swoich pracach Dziworska (2000) [34]; Nowak, Pielichaty oraz Poszwa (1999) [86]. Natomiast Wiśniewski [131] (2008) definiuje inwestycję jako *wydatkowanie środków finansowych na pozyskanie dóbr inwestycyjnych, papierów wartościowych lub dóbr niematerialnych służących do realizacji procesów gospodarczych i pozwalających na osiągnięcie w przyszłości korzyści przeważających poniesione wcześniej nakłady, co jest obciążone ryzykiem*. Inaczej inwestycję określa Gawron (1997) [46] inwestycja jest to *celowe działanie w taki sposób by środki pieniężne inwestora powiększyły jego dochód*.

Samo pojęcie inwestycji można także rozpatrywać w ujęciu dynamicznym i statycznym. Ujęcie dynamiczne wiąże się z procesem inwestowania (etapami, fazami, czynnościami i zadaniami). Natomiast statyczne ujęcie inwestycji odnosi ją do zasobowego efektu inwestowania, czyli do nowo powstałego w wyniku realizacji inwestycji aktywów zarówno bilansowego (rzeczowego), jak i intelektualnego (ludzkiego, relacyjnego oraz strukturalnego) [95].

Wszystkie powyższe definicje w różnym sposób ujmują pojęcie definicji inwestycji, jednakże we wszystkich z nich występują pewne wspólne cechy, które powodują, iż dane działanie możemy nazywać inwestycją. Zaliczamy do nich: nakład inwestycyjny – rozumiany jako korzyść finansową otrzymaną dzięki poniesieniu nakładów, czas – czyli okres w którym zostanie osiągnięta korzyść i ryzyko – które towarzyszy realizacji inwestycji.

2.1.2.2. Efektywność ekonomiczna

Jeżeli mówimy o efektywności inwestycji, należy mówić o całym rachunku efektywności, który składa się nie tylko z analizy danych i sporządzenia oceny opłacalności inwestycji, ale również należy mówić o ryzyku związanym z realizacją projektu. Literatura przedmiotu dzieli rachunek efektywności na kilka rodzajów. Podział wynika z zastosowanego kryterium, tzn. momentu wykonywania analizy (rachunek efektywności: prospektywny

i retrospektywny), celu któremu ma ona służyć (bezwzględny i względny) oraz w jaki sposób będzie ona przeprowadzona (rachunek wielowskaźnikowy i jednowskaźnikowy), ponadto wyróżnia się jeszcze jeden podział ze względu na charakter analizy i klasyfikujemy rachunek efektywności na komercyjny i społeczny.

Studia literatury przedmiotu ukazują, iż efektywność ekonomiczna ma bardzo wiele definicji i interpretacji, podkreśla to tym samym wielowymiarowość omawianego pojęcia. W większości literatury przedmiotu można znaleźć informacje na temat efektywności ekonomicznej czy organizacyjnej, bazujących na podejściach wskaźnikowych czy parametrycznych.

W niniejszej rozprawie wykorzystano pojęcie efektywności ekonomicznej jako kryterium oceny opcji realizacji inwestycji budowlanej.

Za prekursora rachunku efektywności ekonomicznej uznaje się Welligtona [130]. W XIX wieku rachunek opłacalności stosowany był do oceny umów dzierżawy ziemi, podjęcia inwestycji leśnych czy kolejowych, ponadto miał inną formułę obliczeń w porównaniu z dzisiejszą metodyką. Formuły te były sporządzane na podstawie ówczesnej gospodarki rynkowej i nie brały pod uwagę wielu czynników, które wraz z upływem czasu mają istotny wpływ na wynik analiz efektywności ekonomicznej inwestycji.

Kolejny krok milowy praktykowania rachunku efektywności inwestycji dotyczy lat 30 XX wieku i związany jest z dorobkiem publikacyjnym Fishera [39] oraz Samuelsona [117] którzy w swoich pracach przedstawili podstawy zarówno teoretyczne jak i metodyczne stanowiące wstęp do współczesnych metod oceny efektywności inwestycji. W publikacjach opracowali rachunek dyskontowy oraz wprowadzili formuły metod NPV i IRR.

Następnym, istotnym przełomem dla rachunku efektywności inwestycji stanowią lata 50 i 60 XX wieku, kiedy Dean [26] przedstawiał metodę zdyskontowanych przepływów pieniężnych netto (DCF). Od tej pory nastąpił błyskawiczny postęp w dziedzinie rachunku efektywności inwestycji.

Podzielił się ona na dwa decydujące nurty rozważań. Pierwszy z nich opiera się na szukaniu teoretycznych założeń dla coraz to bardziej skomplikowanych metod oceny efektywności inwestycji. Gawron [45] pisze o nim tak: *dalszy systematyczny rozwój teoretycznych podstaw funkcjonowania i rozwoju gospodarki rynkowej czy metod podejmowania decyzji i technik obliczeniowych pozwalał na tworzenie coraz bardziej skomplikowanych algorytmów i formuł oceny inwestycji. Próbowano uwzględnić coraz większą liczbę zmiennych i coraz bardziej złożone warunki gospodarowania. Próbowano więc w coraz bardziej rozbudowanych i skomplikowanych algorytmach oceny uwzględnić nowe zjawiska (m. in. Ryzyko i inflację). Jednak rosnący stopień skomplikowania postulowanych przez teorię złożonych metod oceny opłacalności inwestycji nie zawsze zachęcał praktyków do ich stosowania. Jednakże metody te, by poprawnie je opracować wymagały bardzo dużej liczby zweryfikowanych informacji oraz ich algorytmy były bardzo skomplikowane, ponadto ich koszt przygotowania był bardzo wysoki stąd, mimo dużej dokładności, metody te nie były stosowane w praktyce. Był to główny powód powstania drugiego nurtu, który opierał się na doskonaleniu już istniejących metod. Skupiał się on na doskonaleniu i modyfikowaniu oraz wskazaniu zalet i wad już wcześniej opracowanych i wykorzystywanych metod (głównie dyskontowych oraz określaniu warunków ich stosowania w praktyce gospodarczej [94]. Rogowski i Kasiewicz wyróżnili trzy podstawowe wymiary oraz towarzyszące im tendencje i trendy w metodyce rachunku efektywności ekonomicznej inwestycji, które zaprezentowano w Tabeli 3 [103]*

Tab. 3. Tendencje i trendy w metodyce rachunku efektywności ekonomicznej inwestycji

Wymiar	Charakterystyka	Główne tendencje i kierunki rozwoju
Metodyczny	Rozwój, doskonalenie i modyfikowanie formuł oraz algorytmów metod wykorzystywanych w procesie oceny opłacalności i analizy ryzyka	1. Dopracowanie, uporządkowanie oraz modyfikacja algorytmów podstawowych metod oceny opłacalności inwestycji 2. Wskazanie wad podstawowych metod opłacalności wraz z propozycją ich eliminowania 3. Uzupełnienie oceny opłacalności inwestycji o analizę ryzyka, czyli przejście od oceny opłacalności do oceny efektywności (od podejścia deterministycznego do probabilistycznego)
Aplikacyjny	Badanie zakresu i skali wykorzystania metod oceny opłacalności inwestycji przez menadżerów	1. Odejście od jednej metody oceny opłacalności na rzecz wykorzystania kombinacji metod oceny opłacalności 2. Zwiększenie praktycznego wykorzystania w procesie oceny opłacalności inwestycji metod dyskontowych, jednak w warunkach koegzystencji tych metod z metodami prostymi 3. Coraz szersze wykorzystywanie opcji realnych
Adaptacyjny	Objęcie Rachunkiem efektywności ekonomicznej inwestycji (REI) nowych obszarów w ujęciu podmiotowym i przedmiotowym poprzez adaptację metodyki do nowych uwarunkowań.	1. Rozszerzenie podmiotowe i przedmiotowe zakresu stosowania rachunku efektywności, w tym objęcie rachunkiem efektywności inwestycji społecznych i hybrydowych

Źródło: [32]

W swojej pracy Różański i Czerwiński [114] zwracają uwagę, iż w literaturze przedmiotu stosuje się zamiennie takie pojęcia jak: metody oceny efektywności (opłacalności) inwestycji, procedury rachunku inwestycyjnego (decyzyjne), techniki oceny inwestycji czy modele w rachunku inwestycyjnym, stąd konieczne wydaje się przedstawienie ich definicji.

Poziom efektywności ekonomicznej inwestycji może być mierzony przy pomocy mierników opłacalności, czyli różnych miar opłacalności takich jak [69] stopa zwrotu zainwestowanego kapitału, skumulowane korzyści netto liczone w całym cyklu życia inwestycji i generowane przez inwestycje, czas

jaki musi upłynąć by dokonał się zwrot poniesionych nakładów na realizację inwestycji oraz stosunek dodatnich korzyści netto do ujemnych korzyści netto związanych z inwestycją.

W swojej pracy Wiśniewski [131] wskazuje na istotny problem związany z nazewnictwem dwóch pojęć: metody i efektywności. Autor mówi, że *niejednoznaczność nazewnictwa jest również widoczna w literaturze zagranicznej, na przykład w angielskojęzycznej miary efektywności są nazywane technikami oceny efektywności (investment appraisal techniques), ale mówi się też o podejściach do oceny efektywności (approach) lub metodyki (methodology)*. W polskiej literaturze przedmiotu, stosuje się zamiennie: metoda oceny efektywności inwestycji, techniki rachunku inwestycyjnego czy modele w rachunku inwestycyjnym.

Wiśniewski [131] w swojej pracy przedstawił swoją definicję metody efektywności ekonomicznej, którą oparł na 9 podstawowych cechach charakterystycznych:

- *istota – celowe złożone działanie,*
- *cel – selekcja najlepszych inwestycji ze wszystkich możliwych do realizacji,*
- *złożoność – wykorzystywanie wielu prostych czynności, procesów, operacji, algorytmów i formuł, które łącznie stanowią jedną metodę,*
- *struktura – algorytm pozwalający określić wartość poszczególnych parametrów i zmiennych,*
- *osadzenie w teorii - metody korzystają z najnowszych osiągnięć teorii finansów,*
- *kompleksowość – całość postępowania, dająca decydentowi określony zakres informacji niezbędnych do podjęcia decyzji inwestycyjnej,*
- *powtarzalność – powtarzalny sposób rozwiązywania problemów,*
- *uwzględnienie przez metodę aspektów teoretycznych i praktycznych – metoda to działanie wykorzystujące podstawy teoretyczne i praktyczne wskazówki.*

Terminem, które spotyka się w literaturze przedmiotu wraz z członem „metoda oceny efektywności” jest pojęcie efektywności. Pawłowski [95] w swojej publikacji z 2004 roku definiuje efektywność jako *cechę działań dających jakiś oceniany pozytywny wynik, bez względu na to, czy był on zamierzony czy niezamierzony*. W literaturze przedmiotu występuje ponadto pojęcie sprawności, rozumianej jako realizację zamierzonego celu w sposób jak najbardziej korzystny dla inwestora (różnica między efektem użytecznym a kosztami koniecznymi do poniesienia by osiągnąć oczekiwany efekt) oraz pojęcie ekonomiczności, którą oblicza się jako stosunek efektu użytecznego do kosztów działania (koszty materialne i niematerialne, koszty operacyjne i koszty inwestycyjne).

Podsumowując wszystkie przytoczone definicje oceny efektywności ekonomicznej obliczenia należy prowadzić w dwóch obszarach, które wzajemnie się przenikają. Pierwszy z nich, to obszar zasad, które należy przestrzegać by przeprowadzona analiza była poprawna pod względem teoretycznym a jej wynik doprowadził do podjęcia właściwych decyzji. Drugi obszar dotyczy trzech elementów oceny efektywności, takich jak: korzyść netto, okres czasu w jakim zostanie osiągnięta założona korzyść oraz ryzyko, które wiąże się z otrzymaniem danej korzyści netto.

Dorobek publikacyjny polskich autorów w tematyce metod rachunku efektywności ekonomicznej inwestycji jest bardzo bogaty. Powstało wiele kompleksowych monografii poświęconych definicjom teoretycznym oceny efektywności inwestycji oraz te najnowsze pokazujące aktualny stan wiedzy w tym czasie. Problematyka ta poruszana jest przez wielu autorów, m.in. takich jak: Borowiecki [9], Brzozowska [11], Gawron [44], Jajuga [51], Mizerka [83], Nowak [86], Róžański [113], Towarnicka [126], Wiśniewski [132], Wrzosek [141] czy Matwiejczuk [76]

Według Matwiejczuka pojęcie efektywności odnosi się najczęściej do zasady racjonalnego gospodarowania formułowanej w dwóch wariantach: wydajnościowym (maksymalizacja efektu) i oszczędnościowym (minimalizacja nakładu) [76]. Natomiast samą efektywność można

przedstawić jako relację między nakładami i efektami i wyróżnić trzy podstawowe formuły [22]:

- *efektywność jako różnica pomiędzy efektami a nakładami (korzystność): pożądany wynik powinien być większy od zera, co oznacza, że uzyskane efekty są większe od poniesionych nakładów*
- *efektywność jako iloraz efektów do poniesionych nakładów (ekonomiczność): pożądany wynik powinien być większy od jedności, co oznacza, że poniesione nakłady są niższe od uzyskanych efektów*
- *efektywność jako iloraz różnicy pomiędzy efektami a nakładami do poniesionych nakładów – formuła ta, określana jest jako stopa zwrotu inwestycji (return on investment ROI) i wyrażana jest w procentach.*

Efektywność w literaturze dość często traktowana jest na równi ze skutecznością. Na różnicę w tych pojęciach zwraca uwagę Helmes [48] w swojej publikacji, mówiąc iż „efektywność odnosi się do robienia rzeczy w odpowiedni sposób, natomiast skuteczność odnosi się do robienia właściwych rzeczy”.

2.1.3. Cykl życia inwestycji

Ponieważ wszystkie korzyści netto płynące z inwestycji rozłożone są w czasie, należy to w prawidłowy sposób uwzględnić podczas analizy oceny efektywności inwestycji.

Każda inwestycja – niezależnie od rodzaju i wielkości – ma indywidualny cykl życia, zwany *cyklem życia inwestycji*, którego określenie jest procesem złożonym, wieloaspektowym i wielopłaszczyznowym, obejmującym zarówno zagadnieniem ekonomiczne, społeczne oraz techniczne, jak i środowiskowe [33]

Podstawową definicję cyklu życia opisuje norma ISO 15686-5:2017 „Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 5: Life-cycle costing” [147], która jest jedną z części pakietu międzynarodowych norm ISO 15686:2017 „Budynki i budowle. Planowanie okresu

użytkowania”, zgodnie z którą definicje cyklu życia obiektu budowlanego można podzielić na:

- cykl życia (ang. *Life cycle*) oznacza kolejne, powiązane ze sobą okresy czasu, pomiędzy czasem wybranym a czasem wycofania lub zbycia budynku, w którym oceniane są pewne kryteria (np. koszty, zużycie energii); okres ten może zostać sprecyzowany w analizie np. jako okres równy czasowi najmu lub posiadania lub obejmować cały cykl życia, przy czym okres cyklu życia podlega zdefiniowaniu zakresu oraz specyfiki wymagań eksploatacyjnych dla danego składnika budynku,
- cały cykl życia (ang. *entire life cycle*) oznacza kolejne, powiązane ze sobą okresy czasu pomiędzy czasem wybranym a czasem do końca użytkowania budynku, tj. do „końca życia”.

Marcinek [77] wskazuje iż cykl życia inwestycji tworzą kolejne fazy jej rozwoju, czyli zbliżone rodzajowo grupy czynności, które są elementami ciągu sekwencyjnych, logicznych działań zaprojektowanych z myślą o zapewnieniu właściwego zdefiniowania i osiągnięcia celu danej inwestycji.

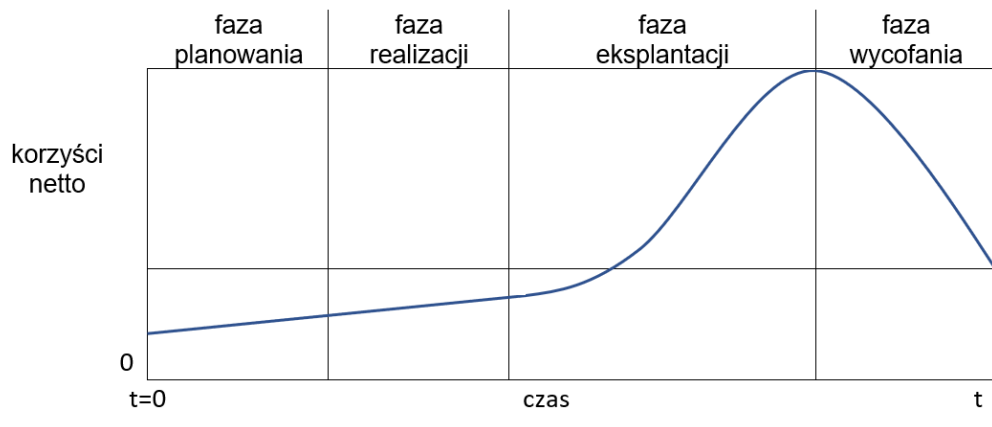
Literatura przedmiotu jednoznacznie nie określa ilości faz cyklu życia inwestycji ale czynności, które je tworzą. W tab. 4 przedstawiono zestawienie faz cyklu życia inwestycji, które zostały przedstawione w wybranych pozycjach literaturowych.

Tab. 4. Tendencje i trendy w metodyce rachunku efektywności ekonomicznej inwestycji

Ilość faz cyklu życia inwestycji	Autor (autorzy)	Koncepcja podziału
Dwie fazy	Jajuga [51], Pluta [97]	- budowy (inwestycyjna) - eksploatacji (operacyjna)
	Borowiecki [9],	- tworzenia - eksploatacji, użytkowania
Trzy fazy	Behrens, Hawranek [4] Kawa, Wydymus [65] Walica [129] Brochocka, Gajęcki [10] Malinowski, Tarapata [75] Leszczyński, Skowronek – Mielczarek [71] Towarnicka [126] Flak [38]	- przedinwestycyjna - inwestycyjna - operacyjna
Cztery fazy	Dziworska [31] Różański, Czerwiński [114] Fojud [40] Połoński [98] Kasprowicz [63] Marcinek [77]	- przedinwestycyjna (planowania) - inwestycyjna (budowy) - operacyjna (eksploatacji) - likwidacji (wycofania)
Siedem faz	Corrie [18]	- identyfikacji - planowania i studium wykonalności - koncepcji technicznej - szczegółowego projektowania technicznego - zakupu wyposażenia technicznego, budowy i kontraktów - rozruchu - przeglądu i oceny realizacji inwestycji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [111]

W rozprawie przyjęto - podobnie jak wielu badaczy oraz naukowców z Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych (Fojud [40] Kasprowicz [63], Połoński [98] - czterofazowy cykl życia inwestycji, który składa się z fazy programowania (planowania), fazy realizacji, fazy eksploatacji oraz fazy wycofania (Rys. 2.3)



Rys. 2.3 Cykl życia inwestycji budowlanej

Źródło: opracowanie własne na podstawie [63,98,111]

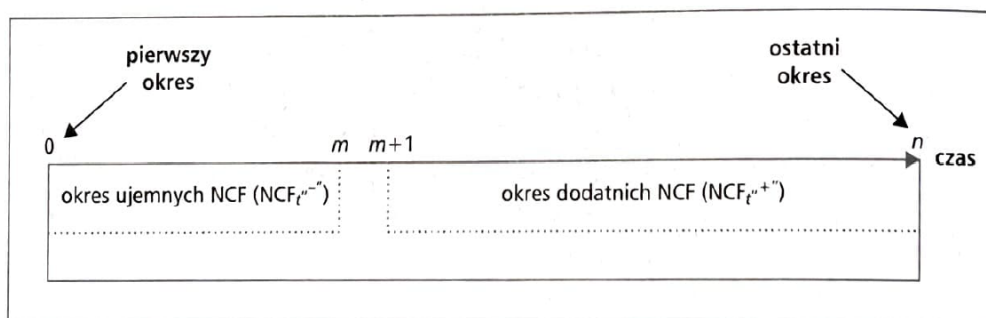
Układ podmiotowy obejmuje uczestników procesu inwestycyjnego, a więc inwestora, firmy doradcze, dostawców, wykonawców, instytucje finansowe, układ przedmiotowy (strukturę przedmiotową). Tworzą oni poszczególne zadania inwestycyjne, które są zwykle zrealizowane w różnym czasie. Z kolei układ czynnościowy skupia całokształt działań o różnym charakterze, decydujących o przebiegu procesu rozwojowego inwestycji, układ (wymiar) ekonomiczny zaś wiąże się z rozłożeniem w czasie korzyści netto danej inwestycji. Układ czynnościowy – ze względu na swój wymiar procesowy – jest określony jako *cykl życia projektu inwestycyjnego* i składa się z wielu, często bardzo skomplikowanych czynności, które przyjmują postać powtarzalnego ciągu, mogą być łączone w szersze, jednorodne zespoły działań (fazy ciągu czynności) i przebiegają w logicznie określonej kolejności [33].

Cykl życia zbudowany jest z kolejnych, postępujących po sobie faz, które grupują wszystkie działania inwestycyjne, tworząc w ten sposób logiczny ciąg, który ma zapewnić właściwe osiągnięcie oczekiwanego wyniku w danej inwestycji. Ogólny podział pojęć cyklu życia budynku ze względu na fazy, opracowany przez [98,111] przedstawia następujące założenia:

- faza programowania składa się z analiz studialnych oraz koncepcyjnych i po nich następuje projektowanie,

- faza realizacji to budowa, remont bądź montaż budynku po wcześniejszym wyprodukowaniu potrzebnych komponentów,
- faza eksploatacji stanowi czas w którym obiekt jest użytkowany oraz utrzymywany,
- faza wycofania to rozbiórka obiektu budowlanego, który przestał pełnić swoje funkcje.

Przedstawiony podział cyklu życia inwestycji eksponuje głównie ujęcie materialne, a należałoby również spojrzeć na to zagadnienie w aspekcie ekonomicznym czyli przez pryzmat rozplanowania korzyści netto w czasie, wtedy, gdy cykl życia jest ujęty w aspekcie efektywności. To podejście można nazwać *ekonomicznym cyklem życia* i jest to czas, w którym inwestycja generuje korzyści netto: najpierw wydatki pieniężne na przygotowanie i realizację inwestycji (w okresie tym mogą również wystąpić wpływy pieniężne, na przykład ze sprzedaży aktywów trwałych), następnie pojawiają się wpływy i wydatki pieniężne związane z działalnością operacyjną inwestycji, a na końcu mamy do czynienia z wpływami pieniężnymi ze sprzedaży likwidowanej inwestycji lub wydatkami pieniężnymi związanymi z jej likwidacją (na przykład rekultywacją gruntów) [111].



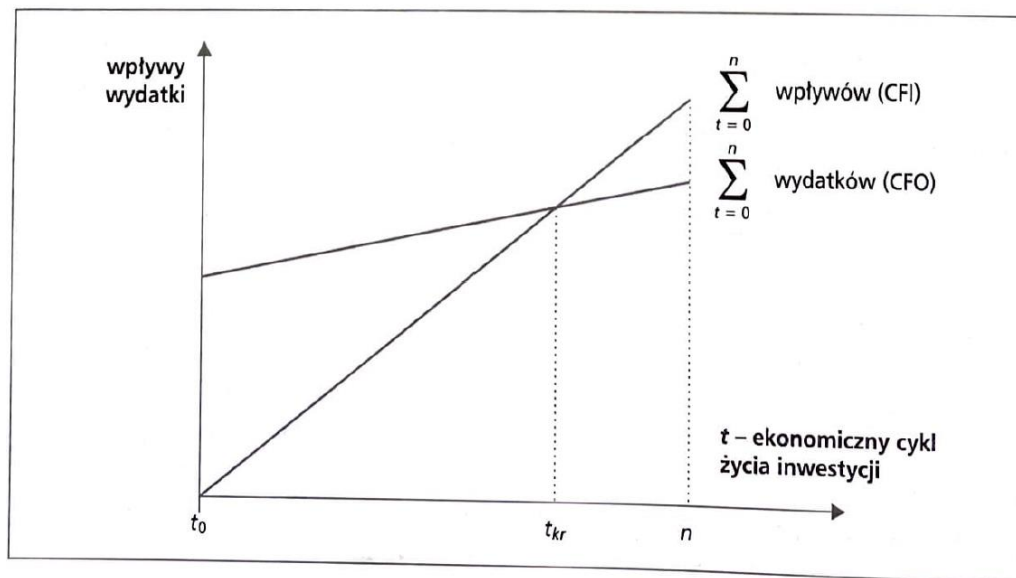
Rys. 2.4 Ekonomiczny cykl życia inwestycji (t)

Źródło: [111]

Uwzględniając powyższe stwierdzenie można wyodrębnić, w ekonomicznym cyklu życia dwa okresy: pierwszy w którym inwestycja przynosi ujemne korzyści netto, inaczej mówiąc generuje straty ($t=0$ do m)

i drugi, w którym inwestycja tworzy dodatnie korzyści netto ($t=m+1$ do n). Zależność tę ilustruje Rys. 2.4

Takie podejście do przedstawienia cyklu życia inwestycji określa swoisty sposób rozkładu wpływów i wydatków pieniężnych w czasie (Rys. 2.5). Całkowita długość czasu oraz wartość zysku netto są uwarunkowane kolejnością zdarzeń i czynności, które są realizowane w następujących po sobie fazach cyklu życia, ale również wynikają z rodzaju i charakteru inwestycji. Reasumując, rozplanowanie wydatków i wpływów w całym cyklu życia ma charakter indywidualny, niepowtarzalny i zależy od wielu czynników zewnętrznych.



Rys. 2.5 Rozkład wpływów i wydatków pieniężnych w cyklu życia inwestycji (ujęcie skumulowane)

Źródło: [111]

Długość cyklu życia, jego poszczególnych faz zależy w znacznym stopniu od charakteru i rodzaju inwestycji. By prawidłowo przeprowadzić ocenę efektywności – opłacalności – inwestycji należy zwrócić uwagę na ustalenie liczby okresów (lat) cyklu życia inwestycji, gdyż algorytmy matematyczne służące do obliczeń opierają się bezpośrednio na długości okresu w jakim będą uwzględniane korzyści płynące z inwestycji. Opłacalność inwestycji

jest wprost proporcjonalna do długości fazy operacyjnej, a odwrotnie proporcjonalna do długości fazy inwestycyjnej.

Przyjęcie do szacunków zbyt krótkiego cyklu życia inwestycji powoduje zaniżenie uwzględnionej w ocenie opłacalności sumy korzyści netto, a tym samym zaniżenie poziomu opłacalności inwestycji. Z kolei uwzględnienie dłuższego cyklu życia „poprawia” poziom opłacalności, ale budzi wątpliwości związane z możliwością osiągnięcia korzyści netto w dłuższym okresie oraz właściwego określania elementów uwzględniających w ocenie opłacalności w zbyt odległej przyszłości [30].

W literaturze przedmiotu można wyodrębnić dwie metody określania długości cyklu życia. Niemiecki badacz Wöhe [139] w swojej pracy mówi, iż długość cyklu życia jest określona przez czas, w jakim osiągnie się maksymalne korzyści netto. Ów pogląd jest dominującym poglądem wśród znacznej liczby ekonomistów, którzy stwierdzają, iż należy uznać za optymalną taką długość cyklu, w której bieżąca wartość korzyści netto osiąga maksimum. Reasumując, moment krytyczny jest to punkt w, którym korzyści netto zaczynają przyjmować wartości obniżające się.

Natomiast zupełnie odmienne stanowisko przyjmuje Organizacja Narodów Zjednoczonych ds. Rozwoju Przemysłowego (United Nations Industrial Development Organization UNIDO), która uznaje, że długość cyklu życia inwestycji powinna bazować na długości użytkowania poszczególnych, znaczących składników aktywów trwałych, które wytworzyły się w wyniku realizacji inwestycji (urządzenia, maszyny) [69]

Behrens i Hawranek w swojej pracy zalecają by podczas ustalania okresu życia obiektu uwzględnić następujące czynniki [4]:

- trwałość popytu na wyroby i usługi
- trwałość źródeł zaopatrzenia
- postęp techniczno – technologiczny
- cykl i etap życia branży
- trwałość techniczną środków trwałych
- alternatywne możliwości inwestycyjne

- względy formalnoprawne i środowiskowe

Długość cyklu życia można również określić, wykorzystując wyodrębnione okresy, w których są generowane korzyści netto – ponieważ wiążą się one z realizacją inwestycji (faza budowy), jej eksploatacją (faza operacyjna) oraz likwidacją (faza likwidacji), zatem cykl życia inwestycji jest sumą długości okresu budowy (realizacji), okresu operacyjnego oraz okresu likwidacji [29].

Określenie długości życia obiektu, a co za tym idzie okresu operacyjnego, jest bardzo skomplikowane.

2.1.4. Infrastruktura

Definicja infrastruktury jest powszechnie stosowana w różnych dyscyplinach nauki, jak i poza jej obszarem. A samo pojęcie doczekało się wielu, szeroko rozbudowanych sformułowań koncepcyjnych. Jednym z autorów zajmującym się badaniem infrastruktury jest Brzozowska [11], która podaje że słowo infrastruktura pochodzi od łacińskiego terminu i jest połączeniem słów *infa* – „pod”, i *structura* – „budowa”, co w dosłownym tłumaczeniu oznacza *podbudowę*. Natomiast Wojewódzka-Król idzie o krok dalej w interpretacji słowa infrastruktura, uważa ona iż słowo te jest zaczerpnięte ze słownika języka angielskiego i oznacza podbudowę bazy, tj. konieczną podstawę gospodarki [137].

Z punktu rozważań ekonomicznych infrastrukturę w 1985 roku definiuje Dziembowski [30] jako zespół urządzeń i instytucji, stwarzających podstawę zarówno dla funkcjonowania na danym terenie gospodarki narodowej, jak i życia ludności. Natomiast Grzywacz [47] uważa że infrastrukturę stanowią podstawowe urządzenia i instytucje wraz z niezbędnym wyposażeniem rzeczowym i osobowym, służące do zapewnienia materialnych i społecznych warunków jakiegokolwiek działalności w znaczeniu prakseologicznym, zinstytucjonalizowanej w ramach całej gospodarki narodowej lub jej poszczególnych działów, gałęzi i jednostek podstawowych. Powyższe definicje są pierwszymi definicjami polskich badaczy ekonomicznych, ale przez wielu uważane są za zbyt ogólne i stanowią jedynie podstawę dla kolejnych analityków tej tematyki.

Według Karsta [64] najważniejszą funkcją, według której powinniśmy definiować infrastrukturę jest pojęcie funkcji przemieszczania. Według niego infrastruktura to zbiór urządzeń i instytucji użytku publicznego, wynikający z działalności człowieka, trwale zlokalizowany i zorganizowany w systemy, których świadczenia mają istotne znaczenie dla funkcjonowania gospodarki i organizacji życia ludności w mieście i na wsi oraz które służą za pomocą różnych urządzeń technicznych funkcjom wytwarzania, przesyłania, przetwarzania, rozdzielania i rozprowadzania, a więc przemieszczania z jednego miejsca na drugie: wody, ścieków, energii, wiadomości, obrazu, osób i ładunków [68]. Na podstawie tej definicji można przyjąć za słuszne stwierdzenie, że infrastruktura służy przede wszystkim mobilności ludzi oraz przepływowi materii i energii oraz dyfuzji informacji [14].

Podczas próby definicji podziału infrastruktury, występuje ponownie bardzo duża rozbieżność w literaturze. Jednak najpopularniejszym podziałem jest klasyfikacja proponowana przez Grzywacza [47], a mianowicie podział na:

- infrastrukturę ekonomiczną, obejmującą urządzenia świadczące usługi w zakresie transportu, komunikacji, energetyki, irygacji, melioracji itd.
- infrastrukturę społeczną, która obejmuje urządzenia i instytucje świadczące usługi w zakresie prawa, bezpieczeństwa, kształcenia, oświaty, służby zdrowia, opieki społecznej, budownictwa mieszkaniowego itp.

Pojęcie „infrastruktura społeczna”, które zostało globalnie przyjęte do języka badaczy, to termin infrastruktura ekonomiczna, zastępowane również przez określenie infrastruktura gospodarcza [33] lub infrastruktura techniczna [39]. Klasyfikację infrastruktury, którą zaproponował Dziembowski [30] w swojej pracy przedstawia tabela 5.

Tab. 5. Rodzaje działalności zaliczanej do infrastruktury

Funkcja	Dział infrastruktury	Gałęzie infrastruktury
Infrastruktura gospodarcza	Transport i łączność	Sieć drogowa, transport szynowy, transport drogowy, transport rzeczny, transport morski, transport lotniczy, telekomunikacja, poczta
	Energetyka	Elektroenergetyka, gazownictwo, ciepłownictwo
	Ochrona i kształtowanie środowiska	Zbiorniki wodne, regulacja rzek, melioracja, zaopatrzenie w wodę, kanalizacja i oczyszczanie ścieków, oczyszczanie osiedli
Infrastruktura społeczna	Nauka i szkolenie wyższe	Instytuty naukowe, szkoły wyższe
	Oświata	Przedszkola, szkoły podstawowe, szkoły ogólnokształcące, szkoły zawodowe
	Kultura	Radio i telewizja, sale widowiskowe, muzea, biblioteki
	Ochrona zdrowia i opieka społeczna	Żłobki, szpitale i sanatoria, ośrodki zdrowia, pogotowia, opieka społeczna
	Kultura fizyczna i wypoczynek	Urządzenia sportowe, tereny zielone

Źródło: [30]

2.1.5. Elastyczność

Choć elastyczność jest często spotykanym zjawiskiem w życiu codziennym, trudno jednakże o trafną definicję odnoszącą się do badań w dziedzinie zarządzania w budownictwie. Można mówić o elastyczności jako narzędziu wspomagającym zarządzanie działalnością w zmiennych warunkach otoczenia. Ponadto funkcjonuje w literaturze wiele definicji elastyczności, terminów czy pojęć z nią związanych i trudno doszukiwać się w nich

zgodności. Wynika to w dużej mierze z ilości dziedzin nauki, gdzie wykorzystywane jest to pojęcie. Znaczna większość literatury dotyczącej elastyczności skupia się na elastycznych systemach produkcyjnych [60] albo na zarządzaniu strategicznym organizacją [23,129]. By zgłębić literaturę przedmiotu należy sięgnąć po tą w języku angielskim, gdyż przeważająca jej ilość właśnie w tym języku jest napisana.

W związku z brakiem literatury związanej z zastosowaniem elastyczności jako metody projektowej stosowanej przy inwestycjach budowy infrastruktury w niniejszej rozprawie oparto rozważania głównie na publikacjach związanych z zastosowaniem elastyczności na poziomie strategicznym.

Podstawowym problem podczas definiowania elastyczności wynika z poziomu (perspektywy) w jakiej ją rozpatrujemy. Pasławski [85] wskazuje na dwa zasadnicze podejścia w tym kierunku:

- *Ukierunkowanie na spełnienie wymagań klienta (ang. customerization) w dość szerokim zakresie – przyjęte w elastycznych systemach produkcyjnych*
- *Ukierunkowanie na dostosowanie do warunków działania dyktowanych przez otoczenie (ang. conditionalization) – rozumiane jako zdolność do reagowania na zmienne wymogi otoczenia*

Cousens, Szwejczeński i Sweeney [19] w swojej publikacji przedstawiają trzy, różne podejścia stosowane w analizie elastyczności: konkurencyjne, konfliktowe i podejście oparte na efektywności. Ostatnie z nich zostało również przyjęte jako właściwe przy analizie elastyczności w systemach wytwarzania przez Teece, Pisano oraz Shuen [124].

O definicji elastyczności już w 1965 roku Ansoff wspomina w swojej publikacji [1] i rozumuje ją jako narzędzie potrzebne organizacjom do prawidłowego funkcjonowania w zmiennym otoczeniu. Można ją nazywać elastycznością zewnętrzną, z kolei jako wewnętrzną elastyczność autor publikacji rozumuje jako narzędzie służące do amortyzacji zdarzeń niekorzystnych dla ostatecznego wyniku zadania. Natomiast Eppik [35] powyższe podejście nazywa pasywnym, gdyż według niego ogranicza się

w ten sposób oddziaływanie czynników zewnętrznych na organizację. A sam definiuje elastyczność jako *charakterystyka organizacji, która czyni ją mniej podatną na straty ze względu na nieprzewidywalne zewnętrzne zmiany i stawia ją w lepszej pozycji, aby pomyślnie odpowiedzieć na taką zmianę.*

Zelenovic [146] definiuje elastyczność jako *miarę zdolności systemu produkcyjnego do adaptacji wobec zmieniających się warunków otoczenia i wymagań systemu.* Carlsson [13] proponuje wprowadzenia dwóch rodzajów elastyczności: *typ I – związany ze znaną niepewnością (ryzykiem) i typ II – związany z nieznaną niepewnością.*

Bardziej rozbudowaną definicję elastyczności w 1993 roku zaproponował Gerwin [46], który przedstawił aż pięć elementów elastyczności: *niepewność otoczenia, strategia, wymagana elastyczność wytwarzania, metoda wprowadzania elastyczności i pomiar efektów działania.* Ponadto w swojej publikacji zaproponował cztery rodzaje strategii: *adaptację* (możliwość dostosowania się do warunków otoczenia), *przedefiniowanie* (możliwość ponownego zdefiniowania rynku przy pomocy stworzenie niepewności dla konkurencji – podejście proaktywne), *buforowanie* (stworzenie rezerwy mogącej w przyszłości zagwarantować odpowiednią reakcję potrzeby) oraz *redukcję* (zmniejszenie niepewności otoczenia).

Upton [127] proponuje definicję elastyczności przedstawić jako *zdolność do zmiany lub reakcji, związaną z małym pogorszeniem efektywności w kwestii czasu, nakładów, kosztów lub wyników.*

Na uwagę zasługuje definicja elastyczności przedstawiona przez Stabryłę [122], który mówi, że *elastyczność jako przeciwieństwo sztywności jest własnością, która pozwala na efektywne funkcjonowanie systemu i to zarówno ze względu na zaistniałe warunki zewnętrzne, jak i w związku z wewnętrzną możliwością działania, a jej ukierunkowanie zależy od poziomu inicjatywy i zdolności do kierowania samym sobą przez dany system. Elastyczność jest więc szczególną postacią sprawności systemu, a zarazem jest miarą jego samodzielności: ustala się ją dla potrzeb utrzymania stanu równowagi, którym może być wielkość efektów i/lub*

wskaźnik funkcjonalności systemu, np. trwałość, niezawodność czy intensywność działania.

Jednakże najlepszą definicją, odnoszącą się do budownictwa i inżynierii procesów budowlanych przedstawił Paślawski [90]: *Elastyczność jest to zdolność systemu do działania w sposób umożliwiający przełączenie różnych taktyk, odpowiednio z punktu widzenia czasu i sposobu w stosunku do zmieniającego się otoczenia (zarówno ze względu na zaistniałe warunki zewnętrzne, jak i wewnętrzne możliwości działania), która bazuje na proaktywnym wielowariantowym podejściu i ocenie z punktu widzenia efektywności realizacji procesów, mając na celu ograniczenie zagrożeń oraz wykorzystanie potencjalnych szans.*

Idąc dalej tym rozumowaniem, można zaproponować następujące definicje elastyczności, w zależności od etapów procesu inwestycyjnego [88]:

- *Fazy realizacji: zdolność systemu do działania umożliwiające przełączanie w sposób odwracalny różnych taktyk odpowiednio do zmieniającego się otoczenia bazująca na podejściu proaktywnym (monitoring procesów w toku i otoczenia) mającye na celu ograniczenie zagrożeń i wykorzystanie szans, zakładająca maksymalizację wartości zysku (przy stałej cenie umownej oznacza to minimalizację kosztów)*
- *Fazy eksploatacji: zdolność systemu do przełączania różnych opcji elastyczności w zależności od zmieniających się warunków zewnętrznych w trakcie eksploatacji zakładająca maksymalizację wartości NPV (Net Present Value).*

Problemy związane z zarządzaniem procesami budowlanymi cieszyły się zainteresowaniem wielu badaczy naukowych. Niektórzy z nich przedstawiali w swoich publikacjach rozwiązania wykorzystujące ideę elastyczności:

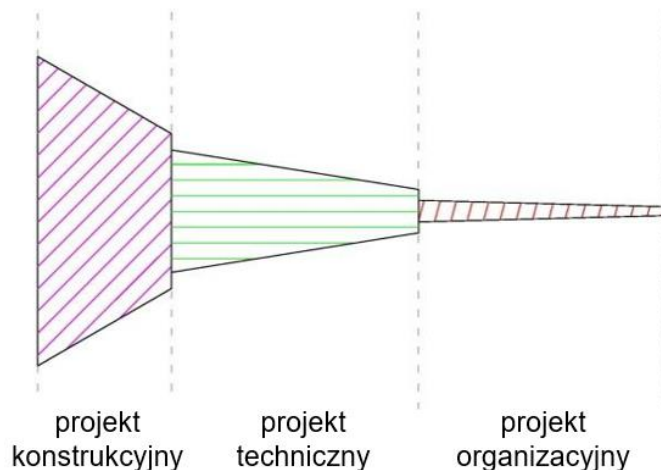
- *Schumpeter; w 1934 roku opisał ideę elastyczności w zarządzaniu produkcją [118],*
- *Kapliński w 1978 przedstawił koncepcję buforowania przy rozpatrywaniu problemu harmonizacji cyklicznych procesów*

budowlanych (analiza dotyczyła zbiorników pośrednich betonu towarowego) [61],

- *De Neufville od 2000 roku przedstawia, iż elastyczność pełni kluczową rolę w planowaniu i projektowaniu, stanowi również możliwość dostosowania reakcji do zmieniających się warunków działania [23,24,25],*
- *Thomas w latach 1999-2005 wraz ze swoim zespołem prowadził badania dotyczące analiz procesów budowlanych z wykorzystaniem elastyczności przy zmiennych warunkach realizacji [50,125],*
- *Paślawski w 2009 roku przedstawił w swojej rozprawie koncepcję metody elastycznego zarządzania za pomocą realizacji procesów budowlanych metodą FLEMANCO [90],*
- *Zavadskas i Vaidogas w 2009 opracowali i przedstawili pracę dotyczącą zastosowania wielokryterialnego wyboru przy projektowaniu infrastruktury [144],*
- *Shahu et.al. w 2012 roku wskazali na konieczność brania pod uwagę elastyczności podczas planowania procesów budowlanych wraz z innymi kryteriami takimi jak: koszt, terminy realizacji czy jakość [119].*

2.2. Opis typowej procedury projektowej

Tradycyjne podejście do planowania i projektowania w budownictwie opiera się na stopniowej eliminacji liczby wariantów projektowo – realizacyjnych Rys. 2.6. 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. Ostatecznie z reguły projektant działając zgodnie ze specyfikacją, przepisami i normami oraz często ograniczeniami finansowymi narzuconymi przez inwestora, tworzy projekt o minimalnych możliwościach wariantowania. Korzystniejsze byłoby stosowanie przedziału możliwych do zaistnienia wartości.

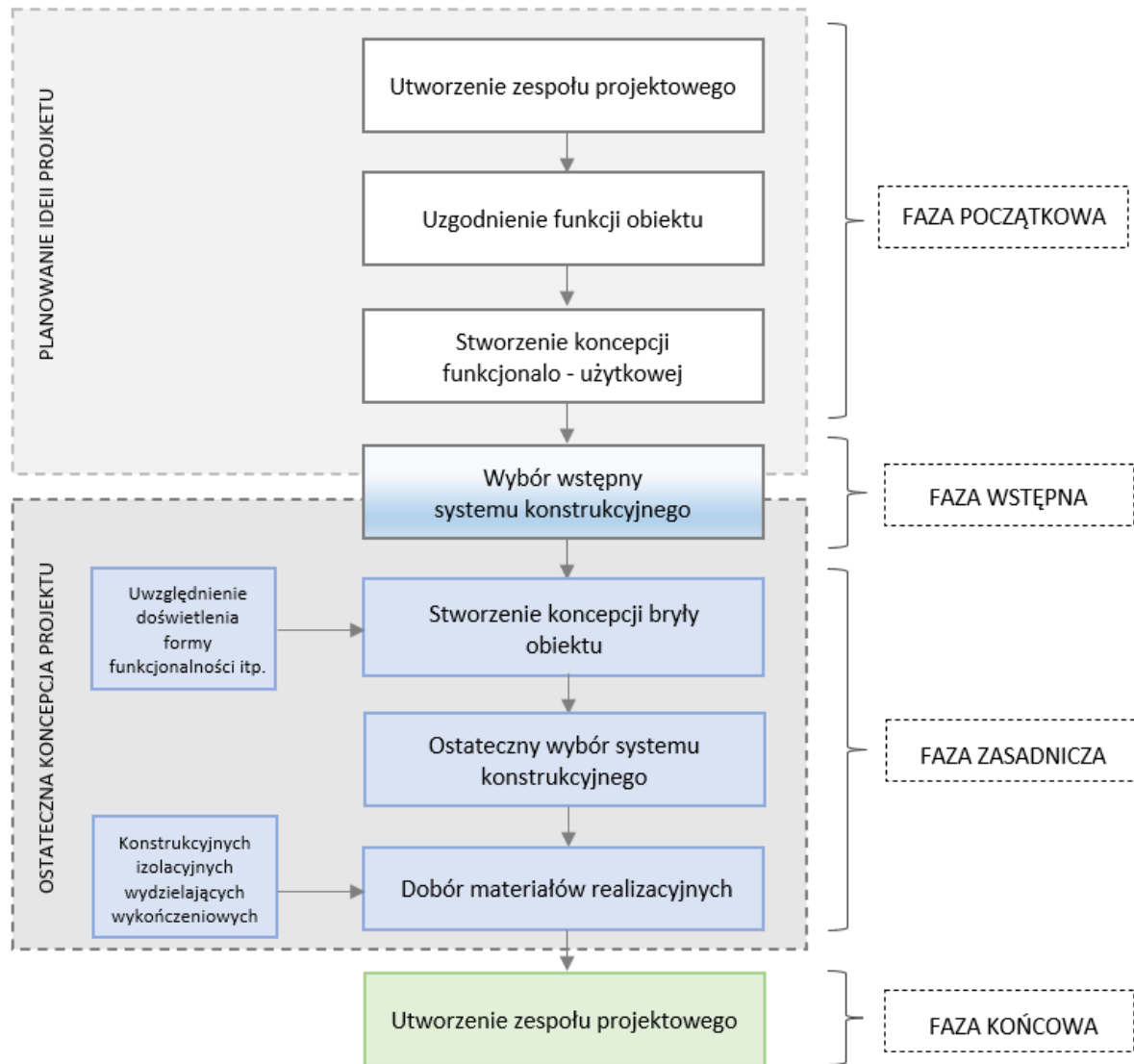


Rys. 2.6 Stożek projektowania konstrukcji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [44]

Tradycyjne metody projektowe nie są przygotowane na zmiany otoczenia. Procedury, na których bazują skupiają się na deterministycznych celach i ograniczeniach, określają jedynie to, co projekt musi osiągnąć po zakończeniu (Rys. 2.7). Prowadzi to do statycznej oceny problemu. Standardowe metody odnoszą się w zasadzie do równań strumieni przepływów korzyści i kosztów związanych z inwestycją, całkowicie pomijając dodatkowe czynniki ekonomiczne, które mogą wystąpić podczas realizacji czy eksploatacji. A czynniki, które mogą wpłynąć na przepływ pieniężny, takie jak: ceny materiałów, udział w rynku, tempo innowacji są w tradycyjnym podejściu całkowicie pomijane.

Ponadto standardowe metody projektowe unikają ryzyka, które dobrze zidentyfikowane może służyć jako dobre narzędzie dla przyszłych korzyści. W swojej pracy De Neufville [23] nazywa ten proces *kompleksem oblężonej twierdzy* – sytuację, w której projektanci odpowiadają jedynie na dwa pytania: czy będziemy mogli powstrzymać ryzyko?, czy będziemy mogli przeżyć niekorzystne transakcje terminowe? W ten sposób tworzy się projekt zupełnie oderwany od rzeczywistości.



Rys. 2.7 Schemat podejścia tradycyjnego do projektowania

Źródło: opracowanie własne

2.3. Wnioski

Literatura przedmiotu dotycząca inżynierii przedsięwzięć budowlanych w polskich publikacjach wyłania kilku pionierów w swojej dziedzinie, m.in. Kasprowicza [63] czy Kaplińskiego [62]. Jednakże, nie można znaleźć jednolitej definicji pojęcia inżynierii przedsięwzięć budowlanych, gdyż każdy z badaczy w inny sposób definiuje zakres oraz tło naukowe powyższego terminu. Aczkolwiek wszyscy są zgodni, że inżynieria przedsięwzięć budowlanych, z powodu szybkiego wzrostu technologicznego oraz współczesnych metod badawczych powinna czerpać wiedzę z wielu nauk,

zarówno technicznych (matematyka, informatyka, inżynieria systemów, teoria organizacji i zarządzania) jak i społecznych (zarządzanie, ergonomia, psychologia, socjologia, prawo). A sama dyscyplina badań posiada wielopłaszczyznowy charakter scalając te wszystkie zagadnienia.

By mówić o pojęciach dotyczących inwestycji, należałoby w prawidłowy sposób zdefiniować ten termin. W rozprawie, w rozdziale 2.1.2 przedstawiono wiele podziałów i definicji, które do tej pory pojawiły się w literaturze, zarówno polskiej jak i zagranicznej, które w różny sposób ujmują pojęcie inwestycji. Jednakże we wszystkich, można znaleźć cechy, które powodują że dane działanie nazywamy inwestycją. Są nimi, nakład inwestycyjny, czas i ryzyko. Literatura podmiotu bogata jest w zagadnienia dotyczące efektywności ekonomicznej. Już na początku ubiegłego wieku pojawiły się istotne publikacje dotyczące rachunku efektywności ekonomicznej i metod obliczeń zdyskontowanych przepływów pieniężnych, a za samego prekursora tej dziedziny uznaje się Welligtona [130]. Od tamtej pory coraz częściej sięgano po zagadnienia rachunku opłacalności inwestycji.

Podstawowa definicja cyklu życia została przedstawiona w normie ISO 15686-5:2017. Jednakże powstało sporo jej interpretacji, które podkreślają iż jest to proces złożony, wieloaspektowy i wielopłaszczyznowy, zawierający zagadnienia nie tylko ekonomiczne i społeczne, ale również techniczne i środowiskowe. Jeżeli chodzi o podział na fazy i określenie ich ilości w cyklu życia inwestycji literatura przedmiotu nie jest zgodna. Część badaczy uważa podział na trzy fazy [4] za prawidłowy, a część wyróżnia cztery [58,137,138,140], a nawet - w zagranicznych publikacjach - możemy spotkać siedmiofazowy cykl życia [Corrie] [18] W rozprawie przyjęto podejście zgodne z naukowcami z Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych (Fojud [40], Kasprowicz [63], Połoński [98]) i przyjmuje czterofazowy cykl życia inwestycji.

Definicja infrastruktury została szeroko omówiona w literaturze przedmiotu, a jej podział na ekonomiczną i społeczną przedstawiono w niniejszej rozprawie. Sam przedmiot badań rozprawy podlega infrastrukturze

gospodarczej, której jeden z działów stanowi transport i łączność, a dokładniej sieć drogowa i transport drogowy.

Chociaż elastyczność stanowi często spotykane zjawisko w otoczeniu badawczym, w literaturze ciężko natrafić na definicję stricte dotyczącą zarządzania w budownictwie. Wiele pojęć, które w literaturze przedmiotu występuje, związanych jest z elastycznością jako narzędziem wspomagającym zarządzanie i trudno doszukiwać się w nich zgodności. Wynika to z faktu, iż elastyczność występuje w bardzo dużej ilości dziedzin nauki. Trudno również doszukiwać się publikacji dotyczących elastyczności wykorzystywanej w budownictwie w języku polskim, stąd przegląd literatury oparto o zagraniczne publikacje.

Z powyższego przeglądu literatury związanego z zagadnieniami obejmującymi przedmiot badań rozprawy wysunięto dwa wnioski:

- 1. 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 w budownictwie.***
- 2. Literatura przedmiotu ukazuje, iż pojęcie elastyczności jest ściśle związane z ekonomią, co uzasadnia wykorzystanie analizy ekonomicznej podczas analiz przedsięwzięć wykorzystujących narzędzia elastyczne.***

3. Ryzyko i niepewność w projektach inwestycyjnych

3.1. Ryzyko w ocenie efektywności inwestycji

Uwzględnienie ryzyka w procedurze obliczeń podczas oceny efektywności inwestycji gwarantuje poprawność dokonanej oceny oraz pozwala na podjęcie prawidłowej, trafnej decyzji inwestycyjnej, gdyż według Marcinkowskiego [80] ryzyko w realizacji przedsięwzięć budowlanych jest charakterystyką immanentną. Pochodzi ono z nie do końca odkrytych warunków realizacji robót, zmian otoczenia (fizycznego i organizacyjnego), nierzetelności kontrahentów, zdarzeń losowych, pomyłek ludzi itd.

Niestety, wciąż nie ma jeszcze jednoznacznej definicji ryzyka w budownictwie, zatem możemy jedynie odwoływać się do ogólnej charakterystyki tego zagadnienia. Jedną z najbardziej popularnych definicji jest objaśnienie terminu przez Knighta [66], który ryzyko określa jako „możliwość, prawdopodobieństwo, że coś się nie uda, inwestycja, której wynik jest nieznan, niepewny, problematyczny; odważenie się na niebezpieczeństwo”. Natomiast Encyklopedia organizacji i zarządzania wskazuje, iż ryzyko to „sytuacja gdy co najmniej jeden z elementów składających się na nią nie jest znany, ale znane jest prawdopodobieństwo jego wystąpienia (lub ich – jeżeli tych elementów jest więcej) [34].

W literaturze przedmiotu można wyodrębnić kilka nurtów definiowania ryzyka. Korombel, opierając się na przeglądzie literatury przedmiotu, wyróżnia cztery grupy definicji ryzyka [68]:

- *definicje rozpatrujące ryzyko w kategoriach podejmowanych decyzji dla realizacji określonych celów; ryzyko to brak pewności co do przyszłych wydarzeń lub wyników podjętych decyzji. Tak zdefiniowane ryzyko wyłoniło dwa podejścia: defensywne i ofensywne. W pierwszym z nich ryzyko utożsamia się wyłącznie z niebezpieczeństwem, możliwością wystąpienia wydarzenia negatywnego (straty). Natomiast drugie podejście przedstawia ryzyko nie tylko jako możliwość poniesienia straty, ale również jako*

możliwość osiągnięcia wyższej opłacalności niż pierwotnie planowano;

- *Definicje odnoszące się do źródeł powstania ryzyka; ryzyko jest zagrożeniem nieosiągnięcia zamierzonego celu (w przypadku inwestycji opłacalności);*
- *Definicje opisujące pewne przejawy ryzyka, ryzyko jako potencjalne wahania oczekiwanego dochodu; ryzyko jako brak pewności (zmienność) przyszłego dochodu, rozkład prawdopodobieństwa przyszłego dochodu;*
- *Definicje utożsamiające ryzyko z jego probabilistycznymi lub statycznymi miarami, określające ryzyko przez pryzmat prawdopodobieństwa uzyskania dochodu mniejszego niż dochód oczekiwany, a rozkład prawdopodobieństwa stanowią podstawę pomiaru ryzyka.*

Niezależnie od przyjętej koncepcji ryzyka, w większości definicji utożsamia się ryzyko z niekorzystnym odchyleniem od wartości przewidywanych. To pojęcie ryzyka jest typowe w kulturze zachodniej. Kultury Wschodu od dawna postrzegały jednak ryzyko zarówno jako zagrożenie, jak i szansę. I to właśnie dwukierunkowe rozumienie ryzyka jest bardzo zbliżone do współczesnego ujmowania ryzyka w finansach, koncentrującego się nie tylko na analizie zagrożeń z niego wynikających, ale także wskazujące na pozytywne konsekwencje jego wystąpienia [135].

3.2. Ryzyko a niepewność

Literatura przedmiotu obok pojęcia ryzyka używa również często pojęcie niepewności, niekiedy nawet oba określenia zamiennie. Jednakże większość badaczy twierdzi, że choć pomiędzy tymi pojęciami istnieje ścisły związek, to nie należy jednak traktować ich jak synonimów. 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 się oszacować prawdopodobieństwo ich wielkości.

Stąd nie można mówić o ryzyku i niepewności jako tożsamych kategoriach, dotyczą one bowiem występujących po sobie faz tego samego procesu decyzyjnego. Stąd coraz częstszy pogląd, iż ryzyko jest funkcją niepewności o prostej zależności – im większy zakres niepewności tym większe ryzyko i odwrotnie – wydaje się słuszny podczas rozważań decyzyjnych.

We wszelkich działalnościach inwestycyjnych elementy ryzyka i niepewności występują zawsze. Pomyślność danego przedsięwzięcia zależna jest od wielu zmieniających się czynników, zarówno w otoczeniu firmy jak i jej wnętrzu, a możliwość ich przewidzenia często jest ograniczona, gdyż trudno jest określić kurs przyszłych zmian: rynkowych, technicznych społecznych czy politycznych.

Ze względu na dużą niepewność otoczenia inwestowanie możemy określić jako najbardziej krytyczny obszar działalności inwestora [144]. Każda decyzja, która dotyczy zainwestowania kapitału, wymaga szczegółowych kalkulacji oraz odpowiedniego przygotowania. Zmusza to inwestora do tworzenia dużej liczby wariantów i podejmowania wyborów.

W praktyce jednak podczas prowadzenia inwestycji wielu inwestorów nie decyduje się na wdrożenie wieloetapowych metod zarządzania ryzykiem ze względu na ich złożoność i czasochłonność, a także na duży stopień trudności [87] i często podejmuje nieodpowiedzialne decyzje.

3.3. Rodzaje ryzyka

Każda podejmowana decyzja inwestycyjna obarczona jest mniejszym lub większym ryzykiem, gdyż polega na ocenie istniejących i przyszłych warunków realizacji projektu. Stąd wynika konieczność określenia ryzyka, by uniknąć strat finansowych i otrzymać oczekiwaną korzyść.

Inwestorzy podejmują decyzje inwestycyjne w warunkach, które można podzielić na [18]:

- *warunki pewności dotyczące realizacji samego projektu inwestycyjnego oraz powodzenia ogólnej strategii przedsiębiorstwa na rynku,*
- *warunki niepewności określające brak podstaw do określenia szans lub zagrożeń w osiągnięciu oczekiwanych dochodów z realizacji projektu inwestycyjnego,*
- *warunki ryzyka określone możliwościami ustalenia oczekiwanych dochodów z inwestycji. Wyznacznikiem tych warunków jest skłonność inwestora do podejmowania ryzyka i gotowość do jego pomiaru przy założeniu dostępności do informacji.*

Należy również zauważyć, iż ryzyko i niepewność posiadają dynamiczną specyfikę rozwoju, ponieważ [17]:

- *ryzyko i niepewność rosną wraz z przedłużeniem zaplanowanego czasu inwestycji, a co się z tym wiąże, wraz ze wzrostem czasu, w którym zaangażowany jest kapitał inwestora,*
- *gdy podjęta decyzja wiąże się ze zwiększonym ryzykiem, inwestor może więcej zyskać lub stracić w porównaniu z decyzją o mniejszym stopniu ryzyka,*
- *każde ryzyko wiąże się z ceną, zależną od rodzaju ryzyka i metod jego ustalenia.*

Wyróżnia się trzy grupy czynników, jakie są źródłem ryzyka w inwestowaniu, zaliczamy do nich [17]:

- *czynniki makroekonomiczne związane z analizą ogólnogospodarczą kraju i stosunków międzynarodowych,*
- *czynniki mezogospodarcze związane z analizą sektorową,*
- *czynniki mikroekonomiczne związane z sytuacją finansową przedsiębiorstwa, w której prowadzona jest działalność operacyjno – finansowa.*

Podział ryzyka ze względu na częstotliwość jego występowania wyróżnia dwa rodzaje ryzyka: systematyczne i specyficzne. Pierwsze z nich oparte jest na czynnikach ogólnogospodarczych, które związane są z realizacją wszystkich projektów inwestycyjnych. Drugie z nich znajduje uzasadnienie

w czynnikach mezogospdarczych i mikro-gospodarczych i odnosi się do konkretnych projektów, ponadto może dotyczyć tylko jednego, wybranego wariantu projektu.

Według kryterium efektywnego doboru projektu inwestycyjnego wyodrębniono ryzyko operacyjne i ryzyko finansowe. Ryzyko operacyjne jest to ryzyko poniesienia strat w wyniku działania niesprawnych systemów, niewystarczającej kontroli, błędu człowieka lub niewłaściwego zarządzania [73]. Powiązane jest ono zmianami w strukturze aktywów i mogą mieć na nie wpływ zmiany cen surowców, zmiany technologii, konkurencja, siła marketingowa, nowoczesne zarządzanie [104]. Wyznacznikiem ryzyka finansowego jest zmiana w strukturze pasywów przedsiębiorstwa, i może dotyczyć zarówno kapitałów (kapitał własny a kapitał obcy) jak i sfery zobowiązań i należności. Gdy udział kapitału obcego jest większy, prowadzi to do zwiększenia ryzyka finansowego.

Ze względu na przedstawiony wyżej element niepewności, inwestowanie zaliczyć można niewątpliwie do najbardziej krytycznych obszarów przedsiębiorstwa [143]. Każda decyzja, w której lokowane są środki finansowe, wymaga wcześniejszego przygotowania, analizy oraz kalkulacji, której wynik wskaże czy decyzja jest opłacalna.

Żeby nazwać proces inwestycyjny opłacalnym, należy wykonać serię działań takich jak: dokładne sformułowanie projektu inwestycyjnego, określenie priorytetów inwestycyjnych (zysk, użyteczność itp.), a następnie wykonać ocenę opłacalności realizacji projektu. Fazy te są ze sobą ściśle powiązane. Cały proces zmierzający do przygotowania decyzji inwestycyjnej nazywamy jest w literaturze przedmiotu procesem planowania inwestycji [43]. Natomiast w publikacjach anglojęzycznych możemy znaleźć termin jak *capital budgeting* tłumaczone jako „preliminowanie inwestycji”, które Brigham tłumaczy jako proces analizy danego projektu i podejmowania decyzji, czy projekt ten powinien być włączony do preliminarza inwestycji (planu wydatków) [6].

Projekt inwestycyjny i jego rozwiązania powinien być oceniany w szerokim spektrum. Sposób oceny w znacznym stopniu zależy od tego, kto

sporządza ocenę i jakie cele jej przyświecają oraz jaki cel stawiany jest generalnie przed projektem inwestycyjnym [78]. Inny będzie w sektorze publicznym a zupełnie inny może być w sektorze prywatnym. W tym pierwszym inwestycje oceniane będą głównie pod kątem korzyści społecznych, np. tworzenie nowych miejsc pracy, spełnienie wymogów ochrony środowiska czy poprawa jakości życia. W sektorze prywatnym ocena z punktu widzenia klienta dotyczyć będzie, np. nieprzekroczenia kosztów, czasu czy zachowania jakości, natomiast z punktu widzenia inwestora najistotniejszym elementem będzie efektywność finansowa projektu.

Każdy inwestor chce by jego inwestycja była efektywna finansowo, czyli przychody bądź wpływy z projektu być większy niż poniesione nakłady na inwestycje. Relacja ta jest najważniejsza wówczas, gdy wpływy z inwestycji przewyższają wydatki, w takim stopniu, że nadwyżka ta, stanowiąca dochód inwestora, pozwala pomnożyć jego majątek [79]. Aby dokonać tego typu oceny, konieczne jest przeprowadzenie rachunku czy też kalkulacji, nazywanej rachunkiem opłacalności inwestycji, obejmującego ogół obliczeń porównujących wyrażone wartościowo efekty uzyskane dzięki inwestycji z wyrażonymi wartościowo nakładami niezbędnymi do osiągnięcia tych efektów [88]. Podczas analizy należy wziąć pod uwagę wszystkie podstawowe wielkości związane z realizacją, czyli: koszty operacyjne, przychody i nakłady inwestycyjne.

3.4. Poziom ryzyka a długość cyklu życia inwestycji

Im dłuższy cykl życia obiektu tym większy poziom ryzyka związany z osiągnięciem zakładanych korzyści netto. Jasno obrazuje to zjawisko przewidywanych przepływów pieniężnych, rozłożonych w całym cyklu życia inwestycji. Choć mamy założoną pewną oczekiwaną wartość przepływów pieniężnych netto, to poziom ich odchylenia rośnie wraz z każdym kolejnym rokiem w cyklu życia obiektu. Reasumując, oznacza to, że korzyści netto wypracowane w późniejszych okresach cyklu życia inwestycji są obciążone wyższym ryzykiem niż te osiągnięte w okresach wcześniejszych.

3.5. Rachunek efektywności inwestycji – ocena opłacalności inwestycji

W praktyce istnieje wiele tradycyjnych technik rachunku oceny opłacalności finansowej przedsięwzięcia, zaczynając od najbardziej prostych, intuicyjnych a kończąc na metodach bardzo złożonych. Już w latach trzydziestych XX wieku Fisher opracował podstawę pod stosowane dzisiaj metody oceny efektywności [39], stąd śmiało nazywa się je dziś tradycyjnymi, gdyż na przełomie tych lat zyskały powszechną akceptację i weszły do praktyki gospodarczej.

W pracy podzielono metody oceny efektywności ekonomicznej ze względu na dwie najważniejsze przesłanki, które obowiązkowo należy wziąć pod uwagę podczas kalkulacji opłacalności przedsięwzięć, a mianowicie: *czas* i *ryzyko*. Te dwa czynniki są kluczowe, gdyż podczas podejmowania decyzji inwestycyjnych po pierwsze sporządzamy rachunek korzyści finansowej, który musi uwzględniać zmianę wartości pieniądza w czasie, po drugie musimy spodziewać się, iż założone efekty mogą nastąpić, ale nie muszą.

3.6. Ujęcie czynnika czasu

Pierwszym kryterium podziału metod oceny efektywności jest czas, a dokładniej czynnik zmiany wartości pieniądza w czasie. W literaturze przedmiotu, wyróżnia się dwie grupy metod oceny efektywności inwestycji ze względu na ten czynnik: metody proste (statyczne) i metody złożone (dynamiczne, dyskontowe). Występują one często pod różnymi nazwami, stąd ich zamienne nazewnictwo ujęto w powyższych nawiasach.

Dziworska (2000) [32], Gawron (1997) [44], Kosiński (2001) [67] w swoich pracach mówią o podziale na metody statyczne i dynamiczne, natomiast Towarnicka (2003) [126] oraz Wrzosek [141] dzielą metody na proste i złożone. Nowak (1999) [86] i Różański (1999) [114] w twórczości wspominają o metodach prostych i dyskontowych, natomiast Leszczyński, Skowronek – Mielczarek (2000) [71] oraz Nogalski i Piwecki (1999) [85] wyróżniają metody statystyczne i metody dynamiczne.

Charakteryzując metody proste i złożone, większość autorów koncentruje się tylko na jednym ich wyróżnieniu, zauważając, że metody proste - w przeciwieństwie do metod dyskontowych - nie uwzględniają zmienności wartości pieniądza w czasie, ponieważ nie stosuje się w nich rachunku dyskontowego [32].

Jednakże można wyodrębnić jeszcze kilka rozbieżności o istotnym charakterze (Tab. 6), które przedstawił Rogowski (2016) [111]. Pierwsza z nich mówi o definiowaniu korzyści netto, które podczas obliczeń w metodach złożonych liczone są przy pomocy przepływu pieniężnego netto (NCF), natomiast w metodach prostych ujęte są przy pomocy zysku.

Tab. 6. Zestawienie cech metod prostych i metod złożonych

Kryterium różnicujące	Metody	
	Proste (statyczne)	Złożone (dyskontowe, dynamiczne)
Podstawy matematyczne	Brak	Matematyka finansowa
Czynnik czasu	Zmiana wartości pieniądza w czasie nie jest uwzględniana	Zmiana wartości pieniądza w czasie jest uwzględniana przez rachunek dyskontowy
Elementy finansowe uwzględniane w szacunkach	Koszty, przychody, nakłady – korzyść netto wyceniana jako zysk (podejście memoriałowe)	Wpływy i wydatki pieniężne – korzyść netto wyceniana jako NCF (podejście pieniężne)
Sposób szacowania elementów	Metody prymitywne: - elementy rachunku w pierwszym roku są automatycznie traktowane jako reprezentatywne - szacowanie pojedynczych elementów i wyliczanie średniej lub określanie roku reprezentatywnego, dla którego jest szacowana opłacalność (dotyczy metod prostych stóp zwrotu)	Szacowanie rozłożenia w czasie i wartości pojedynczych składników wpływów i wydatków, najczęściej w okresach rocznych, oddzielnie dyskontowanie pojedynczych rocznych NCF
Kryterium decyzyjne	Tylko subiektywne	Najczęściej obiektywne

Źródło: [111] s. 231

Kolejne różnice wynikają ze sposobu szacowania elementów składowych analizy. W metodach złożonych odbywa się to rocznie, dla każdego kolejnego roku analizy osobno, natomiast w metodach prostych przez cały

okres analizy bazują na pierwszym roku i na jego podstawie są szacowane wyniki dalszych elementów składowych.

Bezspornie najważniejszymi metodami oceny efektywności finansowej są, bardzo szeroko opisane w literaturze przedmiotu, dwie metody bazujące na zaktualizowanej wartości pieniądza w czasie. Należą do nich: metoda wartości bieżącej netto – NPV oraz wewnętrzna stopa zwrotu – IRR. Jednakże proste, statyczne metody również są powszechnie stosowane.

Zaletą stosowania metod prostych podczas oceny efektywności ekonomicznej jest ich szablonowy i prosty charakter, a sama interpretacja wyników nie wymusza na oceniającym dogłębnej znajomości wiedzy ekonomicznej, powodując w ten sposób ograniczenia metodyczne analiz. Wiśniewski podaje również wiele słabych stron metod złożonych, takich jak [133]:

- *zbyt wąska perspektywa spojrzenia na opłacalność inwestycji, wynikająca z ograniczenia oceny efektywności inwestycyjnych do części przedsiębiorstwa (na przykład działu), którego bezpośrednio dotyczy dana inwestycja,*
- *wyłączenie oceny korzyści niefinansowych, zwłaszcza w wypadku inwestycji w aktywa niematerialne,*
- *podatność tych metod na błędy metodyczne, co wynika z konieczności uwzględnienia licznych założeń oraz zasad (za najczęściej występujący błąd uznaje się nieprzestrzeganie zasady spójności oraz niepoprawne szacowanie korzyści netto – przepływów pieniężnych netto i stopy dyskontowej).*

Na rzetelność i poprawność dokonanej oceny efektywności ekonomicznej inwestycji wpływa szereg czynników, w tym takie związane bezpośrednio z metodą oceny opłacalności (prawidłowe stosowanie algorytmu matematycznego, poprawna interpretacja wyników, budowa odpowiedniego kryterium decyzyjnego), stąd w rozprawie wprowadzono układ pięciu zagadnień, które będą przedstawiać każdą metodę efektywności ekonomicznej inwestycji. Zagadnienia zostały wyodrębnione na podstawie Towarnicka [126] i obejmują:

- *założenia teoretyczne metody*
- *istotę metody (algorytm oraz stopień złożoności)*
- *interpretację ekonomiczną metody*
- *charakterystykę i formułę kryterium decyzyjnego*
- *wady i zalety metody*

3.7. Metody symulacyjne podczas szacowania ryzyka w projekcie inwestycyjnym

Symulacją możemy nazywać zbiór wszystkich sposobów w toku postępowania, który prowadzi do rozwiązania różnego rodzaju zagadnień m.in. ekonomiczno - gospodarczych, przy pomocy wielokrotnie powtarzanych prób losowych. W metodach oceny efektywności ekonomicznej projektu symulacja polega na obliczaniu np. wartości NPV zgodnych z modelem na wcześniej założonych zmiennych wartościach, które mają bezpośredni wpływ na wartość NPV (np. Stopa dyskontowa). Metoda ta jest techniką analizy ryzyka, w której prawdopodobne przyszłe zdarzenia inwestycyjne symuluje się za pomocą komputera w celu otrzymania szacunkowych stóp dochodu i ryzyka [6].

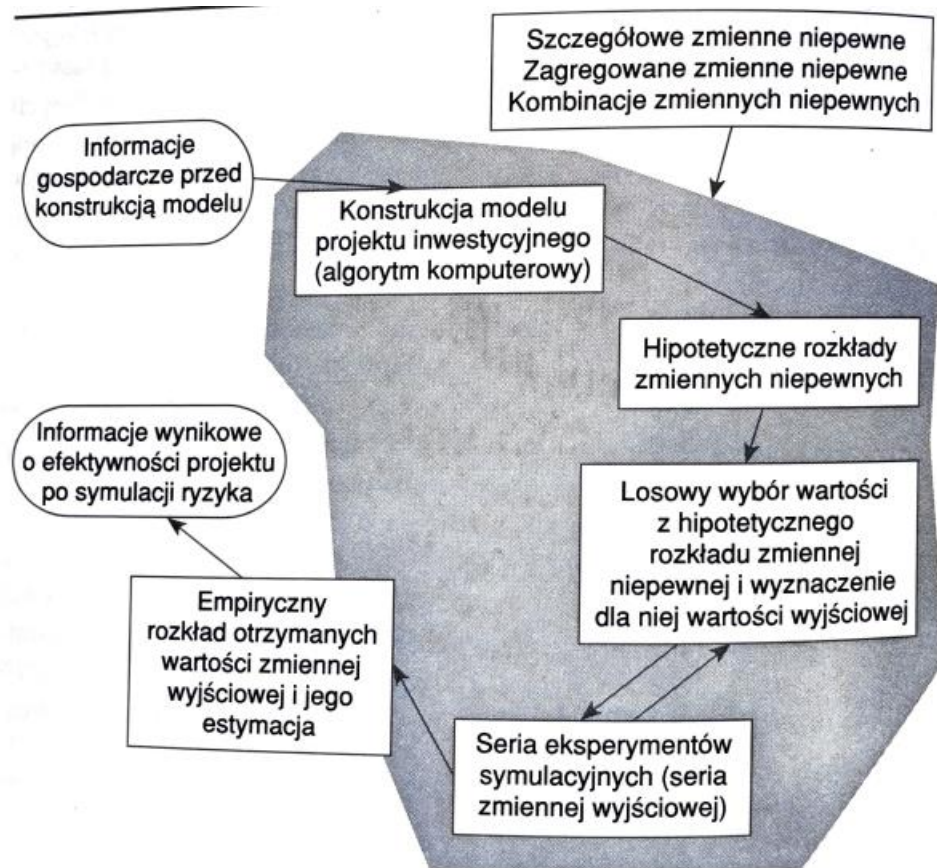
Szacowanie ryzyka przy zastosowaniu metod symulacyjnych daje możliwość zbadania znaczenia dużej ilości zmiennych wejściowych na efektywność ekonomiczną inwestycji. W metodach symulacyjnych zmienne wejściowe rozpatruje się zawsze razem, ponadto uwzględnia się wszystkie zależności między nimi.

Kolejność proceduralna w szacowaniu ryzyka inwestycyjnego zbudowana jest z pięciu podstawowych etapów:

1. budowy modelu projektu inwestycyjnego, w którym wyróżnia się zmienne pewne i niepewne (zdeterminowane i losowe), ponadto określa się wszystkie zależności między nimi,
2. wyznaczenie prawdopodobnego rozkładu przepuszczalnych wartości dla każdej zmiennej, która wykazuje cechy niepewności,
3. stochastyczny wybór wartości z hipotetycznego rozkładu danej zmiennej losowej i obliczenie jej wartości wyjściowej,

4. przeprowadzenie serii symulacji, które ma na celu wyznaczenie różnych wartości zmiennej wyjściowej,
5. ostateczne wyznaczenie rozkładu zmiennej wyjściowej na podstawie otrzymanych wyników z przeprowadzonych symulacji.

Cały cykl symulacji w szacowaniu ryzyka projektów inwestycyjnych został przedstawiony na Rys. 3.1.



Rys. 3.1 Cykl symulacji w szacowaniu ryzyka projektów inwestycyjnych

Źródło: [88, s.196]

Etap 1. Konstrukcja modelu projektu inwestycyjnego. W modelu projektu inwestycyjnego przede wszystkim należy wyznaczyć wszystkie najbardziej istotne zmienne, które mają bezpośredni wpływ na ryzyko projektu. W tym pierwszym etapie symulacji ustala się również istotność kombinacji zmiennych i ich zależności między sobą. W efekcie końcowym dąży się

do stworzenia układu równań, które opisują analizowane zmienne i połączenie ich razem w jeden ścisły model, który pozwoli na obliczenie miar efektywności inwestycji. Można wyróżnić cztery główne elementy modelu projektu inwestycyjnego [17]:

- *Przychody ze sprzedaży = Wielkość sprzedaży x Cena Jednostkowa*

- *Koszty uzyskania przychodów = Wielkość sprzedaży x Jednostkowe koszty zmienne + Koszty stałe*

- *Strumień dochodów (sald pieniężnych) = (Przychody ze sprzedaży - Koszty uzyskania przychodów - Amortyzacja) x (1 - Stopa podatku dochodowego) + Amortyzacja*

- *Nakłady inwestycyjne = Koszty zakupu maszyn i urządzeń + Koszty robót budowlano - montażowych + Koszty niematerialne (licencje, ekspertyzy).*

Etap 2. Hipotetyczne rozkłady zmiennych niepewnych. Jest to uznawany za jeden z trudniejszych etapów symulacji, gdyż istnieje ryzyko nadmiernej subiektywności podczas ustalania rozkładów wartości zmiennych niepewnych. Podczas ustaleń hipotetycznych rozkładów zmiennych można zastosować [97]:

a) rozkład normalny; w tej sytuacji do wyznaczenia konkretnego rozkładu wystarczy znajomość wartości oczekiwanej i odchylenia standardowego

b) rozkład jednostajny; w tej sytuacji do wyznaczenia konkretnego rozkładu wystarczy znajomość wartości minimalnej i wartości maksymalnej rozkładu; można zatem korzystać z wyników analizy scenariusza najbardziej prawdopodobnego, optymistycznego i pesymistycznego.

W efekcie ważne jest ustalenie możliwych przedziałów błędów szacunku wartości niepewnych zmiennych wejściowych modelu projektu i prawdopodobieństw występowania tych błędów szacunku. Są one podstawą do określania prawdopodobieństw złożonych różnych zmiennych wejściowych, charakteryzujących się mniejszą lub większą współzależnością [89].

Etap 3. *Losowy wybór wartości z hipotetycznego rozkładu zmiennej niepewnej i wyznaczenie dla niej wartości wyjściowej.* Etap ten polega na wyborze losowym dla wszystkich zmiennych niepewnych, jednej konkretnej wartości z rozkładu prawdopodobieństw tej zmiennej. W ten sposób, przy pomocy wygenerowanych liczb losowych oblicza się wartość zmiennej wyjściowej (np. NPV).

Etap 4. *Seria eksperymentów symulacyjnych.* W tym kroku symulacji wartości zmiennej wyjściowej stanowią podstawę do wyznaczania empirycznego rozkładu zmiennej będącej miarą efektywności projektu inwestycyjnego. Liczba eksperymentów symulacyjnych jest równa liczbie powtórzeń procedury generowania liczb losowych dla każdej zmiennej niepewnej oraz obliczania wartości zmiennej wyjściowej na podstawie tych wygenerowanych liczb losowych [97]

Etap 5. *Empiryczny rozkład otrzymanych wartości zmiennej wyjściowej i jego estymacja.* Gdy uzyskamy wynik występowania otrzymanych wartości wyjściowych możemy ustalić gęstość prawdopodobieństwa tych wartości. W efekcie na podstawie ustalonego empirycznego rozkładu wartości NPV estymuje się jego parametry. Jeżeli otrzymamy empiryczny rozkład jest zbliżony do normalnego, to oblicza się wartość oczekiwaną $E(NPV)$ i odchylenie standardowe $\sigma(NPV)$ a także współczynnik zmienności $C(NPV)$. W przypadku innego kształtowania się rozkładu empirycznego (wyraźnie asymetryczny, zbyt spłaszczony lub wydłużony) oblicza się inne parametry rozkładu, głównie medianę, dominantę oraz odchylenie standardowe [88].

4. Elastyczność

4.1. Wstęp

Choć za charakterystyczną cechę budownictwa coraz częściej uważa się zmienność na poziomie operacyjnym ryzyka, to nadal stosuje się podczas wielu realizacji projektów tradycyjny sposób zarządzania, który całkowicie pozbawiony jest dynamicznego dostosowania się do panujących czynników otoczenia zewnętrznego. Według Jędrzejowicza [55] tradycyjne podejście do zarządzania i projektowania, które nie posiada żadnych mechanizmów obronnych na możliwe zmiany podczas realizacji, wymaga spełnienia dwóch warunków:

- 1) idealnej stacjonarności procesów i zdarzeń zachodzących w otoczeniu systemu sterowania,
- 2) całkowitej identyfikacji procesów i zdarzeń zachodzących w otoczeniu systemu sterowania.

Spełnienie powyższych warunków jest mało prawdopodobne, gdyż zmiany zachodzące w otoczeniu odgrywają znaczącą rolę podczas realizacji inwestycji. Według Paślawskiego [90] zachodzące modyfikacje w otoczeniu inwestycji mogą generować:

- zmiany celów częściowych systemu (lub celu globalnego), zmiany dotyczące projektu wniesione przez inwestora (np. zmiana funkcji obiektu),
- zmiany reguł decydowania (tj. zmiana struktury modelu systemu decyzji lub zmiana struktury jego elementów), np. podwykonawców,
- zmiany parametrów modelu sterowania decyzji lub jego elementów.

Dlatego projekt inwestycji, która będzie realizowana w zmiennych warunkach otoczenia, powinien posiadać analizę wszystkich możliwych zmian w otoczeniu i umożliwiać reakcje na nie. Istotne w tego typu projektach jest wykorzystywanie mechanizmów, które poprzedzają wystąpienie jakiegoś zdarzenia (proaktywne).

By zastosować elastyczne zarządzanie inwestycją należy pamiętać by projekt zawierał 3 podstawowe elementy [44]:

- 1) komponent, który śledzi i wykrywa zmiany w otoczeniu
- 2) komponent, który zawiera możliwe do podjęcia decyzje operacyjne oparte na badaniach i analizach (np. innych, podobnych przypadków)
- 3) komponent, który zawiera schemat wdrażania 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 umożliwiającą dostosowanie do zmiennych warunków otoczenia.

Elastyczne podejście do projektowania umożliwia odejście od poszukiwania jednego prawidłowego rozwiązania, jako tego najbardziej optymalnego dla danych warunków zmiennego otoczenia. Determinuje za to zbiór rozwiązań, które możliwe są do zaakceptowania.

4.2. Realizacje wykorzystujące podejście elastyczne na świecie

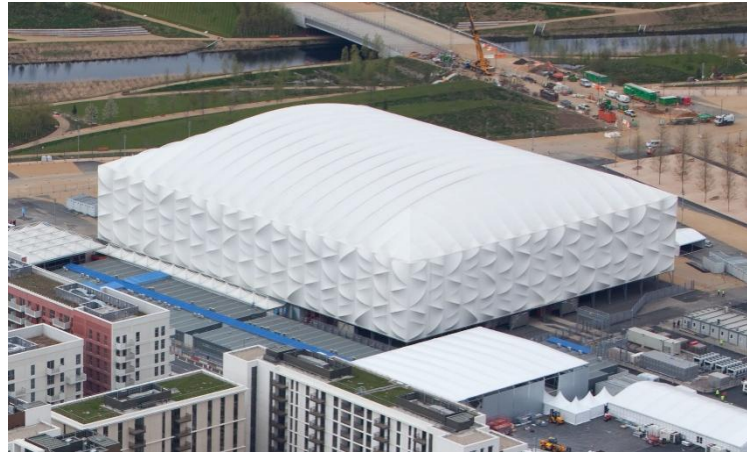
Elastyczność w budownictwie występuje, jednakże nie jest powszechnie znana i stosowana. Poniżej przedstawiono charakterystykę kilku obiektów zaprojektowanych i zbudowanych przy pomocy elastycznych narzędzi.

4.2.1. Londyn Miasteczko Olimpijskie

4.2.1.1. Basketball Arena w Londynie

Basketball Arena w Londynie została zaprojektowana jako całkowicie tymczasowa hala sportowa i kosztowała około 62,5 miliona dolarów. Podczas zmagania Olimpijskich w 2012 r. przeznaczono ją dla zmagania koszykarzy, a jej widownia pomieściła około 12 tysięcy widzów.

Po igrzyskach olimpijskich hala miała zostać kompletnie rozebrana, co stanowiłoby największy w historii obiekt przeznaczony do całkowitej rozbiórki. Jej właściciele wystawili halę na sprzedaż już w 2013 roku, jednakże nabywca musiałby sfinansować prace rozbiórkowe. W zamian otrzymałby ponad 1 000 ton stalowych elementów konstrukcyjnych nadających się do recyklingu. Niestety po dzień dzisiejszy nie znalazł się żaden chętny.



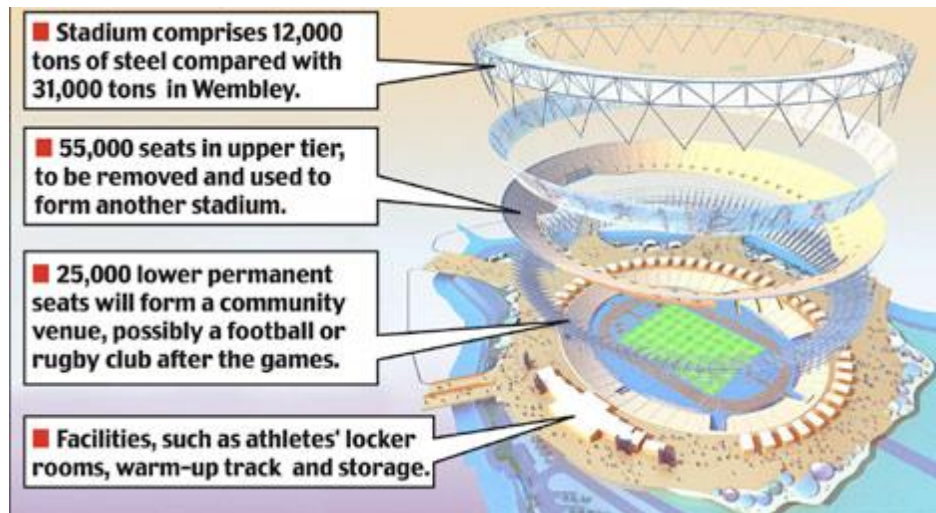
Rys. 4.1 Tymczasowa hala Basketball Arena

Źródło: [161]

4.2.1.2. Stadion Olimpijski w Londynie

Stadion Olimpijski Londyn to wielofunkcyjny stadion w Londynie, w północno-zachodniej części gminy London Borough of Newham, na terenie Parku Olimpijskiego. Zbudowany został na przełomie lat 2007–2011 z myślą o igrzyskach olimpijskich 2012, których był główną areną. Odbły się na nim ceremonie otwarcia i zamknięcia igrzysk oraz zawody w większości konkurencji lekkoatletycznych, ponadto te same funkcje pełnił podczas igrzysk paraolimpijskich w tym samym roku.

Koszt budowy stadionu opiewał na około 537 mln funtów, wraz z zakupem działki. Pojemność stadionu wyniosła 80 000 widzów miejsc podczas Igrzysk Olimpijskich, a później miała zostać zmniejszona jedynie do 25 tys. na niższym poziomie widowni. Górne sektory miały zostać rozebrane i zutylizowane (Rys. 4.2).



Rys. 4.2 Konstrukcja Stadionu Olimpijskiego w Londynie

źródło: [150]

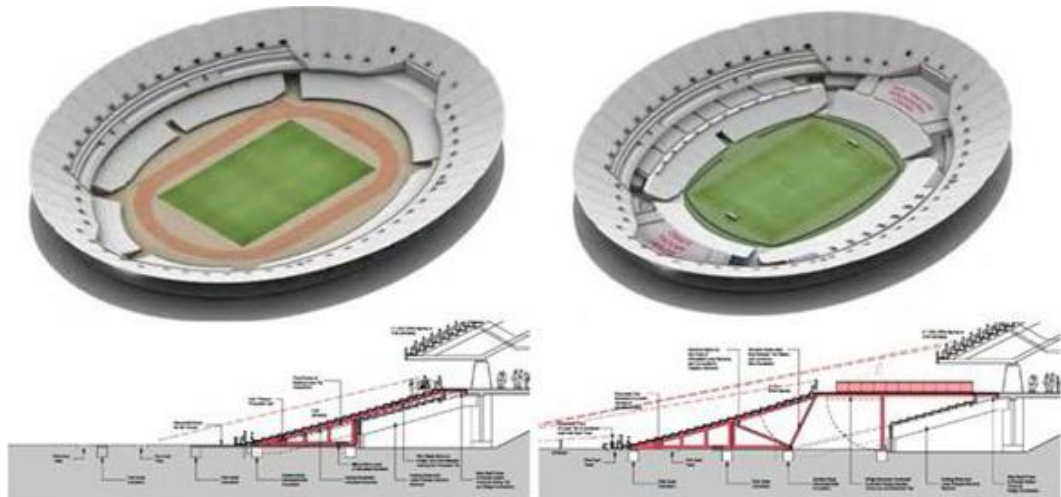
W trakcie użytkowania Stadionu zmieniono koncepcję przyszłego użytkownika stadionu, jego najemcą został klub piłkarski West Ham, zatem Stadion został w latach 2014-2016 przebudowany na potrzeby klubu, a koszt przebudowy wyniósł 323 mln funtów (około 1,55 mld zł) (Rys. 4.3)



Rys. 4.3 Stadion Olimpijski Londyn (lewa strona pierwotny projekt, prawa po przebudowie – projekt)

źródło: [163]

W ramach projektu przebudowy powstało nowe, największe na świecie zadaszenie oraz rozsuwane dolne trybuny. Zmiany te spowodowane były koniecznością połączenia funkcji w taki sposób, by jednocześnie można było rozgrywać mecze w sezonie piłkarskim oraz letnie zawody lekkoatletyczne (Rys. 4.4). Liczba miejsc na trybunach została zmniejszona do 60 tys. miejsc.



Rys. 4.4 Stadion Olimpijski Londyn - przekrój

źródło: [160]



Rys. 4.5 Stadion Olimpijski w Londynie obecnie

źródło: [151]

Niestety zmiany dokonane w czasie eksploatacji stadionu znacznie odbiegły od pierwotnej elastycznej koncepcji, co znacznie zawyżyło koszty przebudowy. Dla przykładu obecność bieżni w obiekcie powoduje, iż trybuny dolne są przesuwane, w zależności od aktualnego wydarzenia sportowego, przez co ich konstrukcja przedrożyła projekt prawie 3 krotnie.

4.2.1.3. Aquatics Centre w Londynie

Londyńskie Centrum Sportów Wodnych również powstało na potrzeby Letnich Igrzysk Olimpijskich w 2012 roku. Całkowity koszt budowy obiektu wyniósł około 345 milionów dolarów [161].



Rys. 4.6 Centrum Sportów Wodnych w 2012 roku (Igrzyska Olimpijskie)

Źródło: [161]



Rys. 4.7 Centrum Sportów Wodnych obecnie (po przebudowie w 2014 roku)

Źródło: [161]

Centrum zostało zbudowane tak, by pomieścić ponad 17 tysięcy widzów podczas Igrzysk, jednakże po przebudowie liczba ta zmalała aż 7 krotnie i wynosi obecnie 2,5 tysiąca widzów. Było to możliwe dzięki temu, iż zaprojektowany budynek składał się z dwóch części: tymczasowych trybun oraz części stałej zawierającej kompleks basenów: basen główny o długości

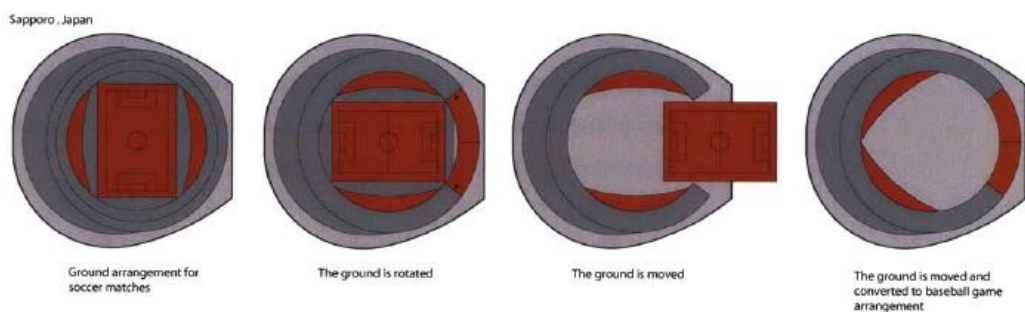
50 metrów, basen do nurkowania, basen rozgrzewkowy oraz wieżę do skoków do wody.

Część tymczasowa została rozebrana w 2014 roku, a sama pływalnia jest obecnie ogólnodostępnym obiektem.

4.2.2. Sapporo Dome w Japonii

Stadion został zaprojektowany na Mistrzostwa Świata w Piłce Nożnej w 2002 r. Jego budowa rozpoczęła się w 1998 roku i trwała aż do marca 2001 roku. Podczas turnieju stadion gościł trzy mecze grupowe. Obiekt posiada 41 580 miejsc, a jego budowa pochłonęła 350 mln dolarów.

Japoński obiekt sportowy zalicza się do najnowocześniejszych stadionów świata z powodu dwóch oryginalnych rozwiązań. Pierwsze z nich to stały dach nad boiskiem i trybunami, drugi to ruchomy a w razie potrzeby rozsuwany, poza trybuny, plac gry, pozwalający na dostosowanie rozmiarów i nawierzchni boiska do różnych rozgrywek. Sapporo Dome jest jedynym stadionem na świecie, który łączy ze sobą te dwa rozwiązania. To wynik konsensusu pomiędzy warunkami klimatycznymi a dwiema – różnymi co do zasad i cieszącymi się największą popularnością dyscyplinami sportowymi w Japonii: baseballiem oraz piłką nożną.



Rys. 4.8. Stadion Sapporo schemat przekształcenia

Źródło: [54]

Rejon Sapporo jest znany z bardzo ostrych zim i znacznych opadów śniegu, dlatego też zamknięta konstrukcja dachu nad całym stadionem chroni widzów i graczy w zimniejszych okresach. Natomiast murawa piłkarska jest wysuwana na zewnątrz stadionu, gdy nie jest potrzebna. Wówczas, po

przesunięciu ruchomych dolnych trybun w obiekcie można urządzić m.in. mecze baseballu.



Rys. 4.9 Stadion Sapporo z wysuniętą murawą (lewa strona) oraz ze schowaną (prawa strona)

Źródło: [164]

To nie jedyny stadion gdzie zastosowano mobilną nawierzchnię. Inne obiekty, w których zastosowano to rozwiązanie to: GelreDome w Holandii, Veltins Arena w Niemczech oraz University of Phoenix Stadium w Stanach Zjednoczonych. Jednakże, żaden z nich nie posiada stałego zadaszenia.



Rys. 4.10 Japoński obiekt sportowy - widok z góry

Źródło: [157]

Stadion w Sapporo Dome służy nie tylko do rozgrywania meczy w piłce nożnej i baseballu, znajdują również zastosowania podczas imprez narciarskich czy rajdów samochodowych, np. 22 lutego 2007 roku miała tam miejsce ceremonia otwarcia Mistrzostw Świata w Narciarstwie Klasycznym.

Dwa lata później, w 2009 roku wykonano przebudowę obiektu. Zwiększono liczbę miejsc na trybunach, zbudowano placówki gastronomiczne, powierzchnie biurowe oraz dwie dodatkowe szatnie dla zawodników, zamontowano również ekran dla widowni. To właśnie potwierdza, jak bardzo podejście elastyczne jest zgodne z kulturą japońską i ich myśleniem pragmatycznym nawet w dziedzinie budownictwa.



Rys. 4.11 Stadion Sapporo podczas meczu baseballowego (lewa strona) oraz meczu piłki nożnej (prawa strona)

Źródło: [153]

4.2.3. Centennial Olympic Stadium w Atlancie (Georgia)

Centennial Olympic Stadium w Atlancie został wybudowany na Letnie Igrzyska Olimpijskie w 1996 roku (Rys.4.12), ale jego budowa rozpoczęła się już trzy lata wcześniej. Jednakże po zakończeniu igrzysk olimpijskich i paraolimpijskich został zamknięty i przebudowany. A jego ponowne otwarcie nastąpiło dopiero pod koniec 1997. Dziś funkcjonuje pod nazwą Turner Field i jest wynajmowany przez drużynę baseballową Atlanta Braves.

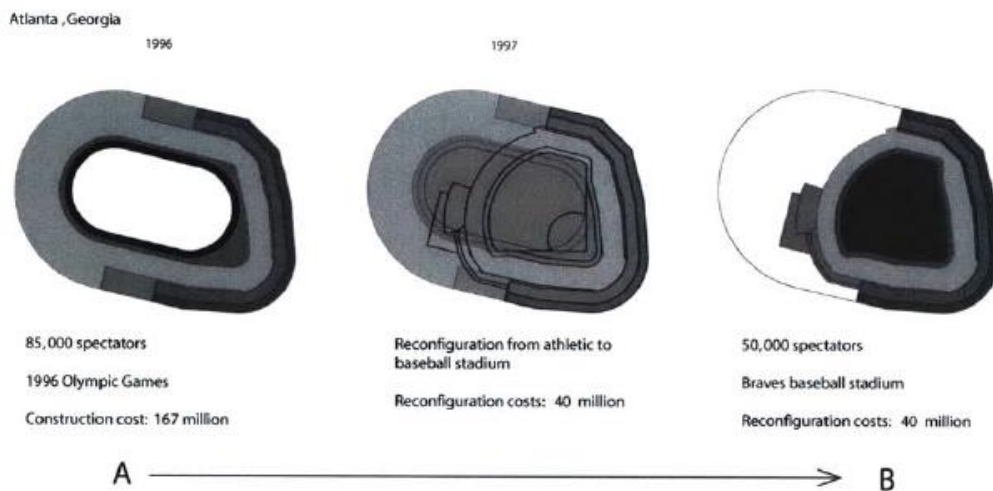
Całkowity koszt wybudowania stadionu został oszacowany na około 207 milionów dolarów. Suma jest tak wysoka, gdyż starano się zaprojektować go w taki sposób stadion by po zakończeniu igrzysk można było go przebudować na stadion baseballowy.



Rys. 4.12 Centennial Olympic Stadium przed przebudową

Źródło: [156]

Jeden z narożników Stadionu Olimpijskiego (południowo – zachodni) został zaprojektowany i wykonany w taki sposób, by po przebudowie pomieścić wewnętrzne pole boiska (Rys. 4.13). W tym miejscu trybuny widowni nie zostały umieszczone symetrycznie obok owalnego toru bieżni.



Rys. 4.13 Centennial Olympic Stadium - schemat przebudowy

Źródło: [54]

Po przeciwległej stronie stadionu trybuna składała się tylko z dwóch kondygnacji a nie z czterech, jak to miało miejsce po drugiej stronie oraz nie miała zadaszenia. Tylko południowo-zachodnia część stadionu posiadała

elewację od strony ulicy, na południowym zachodzie pozostawiono jedynie konstrukcję wsporczą.



Rys. 4.15 Centennial Olympic Stadium dziś

Źródło: [156]

Podczas przebudowy cała północna część stadionu została wyburzona, a bieżnia lekkoatletyczna usunięta. Ponadto początkowa liczba miejsc - 85 000 została zmniejszona do 49 000 sztuk.

4.2.4. Most Vasco da Gamy na Tagu, Lizbona, Portugalia

Najdłuższy most w Europie został oddany do użytku w I kwartale 1998 roku. Łączy on ze sobą dwa brzegi rzeki Tag i miejscowość Montijo ze stolicą Portugalii (w miejscowości Sacavem). Całkowita długość przeprawy wynosi 17,2 kilometrów (0,829 km przeszło główne, 11,5 kilometrów przeszła nurtowe oraz 4,8 kilometrów wiadukty dojazdowe i węzły). [141]

Konstrukcja pomostu ma szerokość około 30 metrów. W każdym kierunku zostały zaprojektowane trzy pasy ruchu (Rys. 4.16), przy czym jezdnia może być poszerzona do czterech pasów ruchu, gdy ruch samochodowy wzrośnie powyżej 52 tysięcy samochodów na dobę. Konstrukcja wiaduktów składa się ze sprężonych, żelbetowych przekrojów skrzynkowych, położonych równoległe względem siebie. Podczas zamówienia postawiono wymóg, iż trwałość elementów ma wynosić 120 lat.



Rys. 4.16 Most Vasco da Gama przez Tagu obecnie – widok na jezdnię

Źródło: [164]

Całkowity koszt przeprawy mostowej wraz z drogami oraz węzłami przedmostowymi oszacowano na około 1 miliard dolarów [141]. Część kosztów została poniesiona przez konsorcjum Lusoponte, którego zadaniem będzie utrzymanie i konserwacja mostu przez kolejne 40 lat (od rozpoczęcia użytkowania w 1998 roku). Ponadto firma będzie zarabiać na użytkowaniu mostu, pobierając opłaty za przejazd.

4.2.5. Most 25 kwietnia, Lizbona, Portugalia

Kolejny most w Lizbonie, noszący nazwę *25 Kwietnia* łączy stolicę Portugalii z gminą Almada (przeprawa przez rzekę Tag). Został zbudowany w latach 1962 – 1966 i posiada łączną długość 2277 m. Początkowo most posiadał tylko jeden poziom jednakże w 1999 roku dobudowano niższy poziom, pozwalający na ruch kolejowy (znajdują się tam dwie linie torów kolejowych). Górnym poziomem prowadzi obecnie autostrada E1 o sześciu pasach ruchu.



Rys. 4.17 Most 25 Kwietnia na Tagu – widok podczas maratonu

Źródło: [151]



Rys. 4.18 Most 25 Kwietnia na Tagu

Źródło: [151]

4.2.6. Stadion Australia, Sydney

Stadion Australia w Sydney to jeden z największych stadionów na świecie. Powstał na Igrzyska Olimpijskie w 2000 roku. Na największą uwagę zasługuje dach - zwany siodłem, który zachwyca wielkością i formą. Posiada również nowoczesny system zbierania i ponownego wykorzystania wody deszczowej. Całkowity koszt budowy stadionu wyniósł około 690 milionów dolarów.

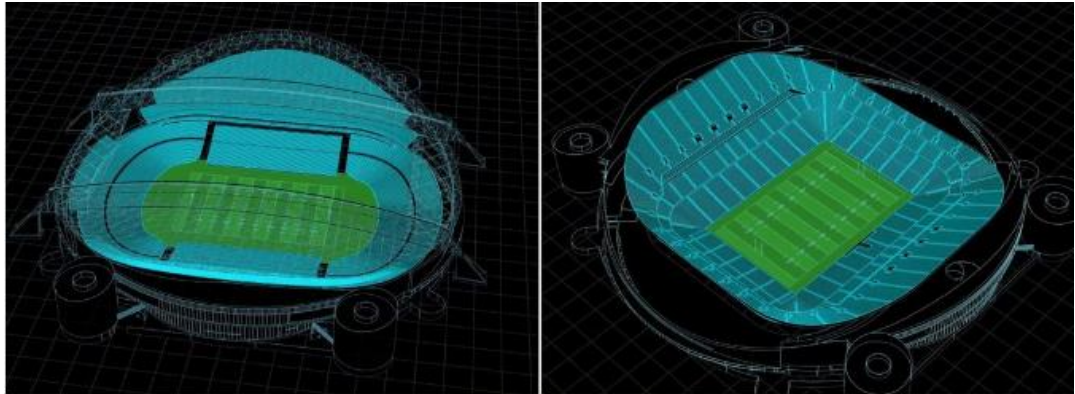


Rys. 4.19 AZS Stadion Australia obecnie – lewa strona, koncepcja przebudowy – prawa strona

Źródło: [152]

Już na etapie projektu założono, że stadion zostanie w przyszłości pomniejszony i zmodernizowany. Jednakże czas jego przebudowy nie został sztywno określony. Po ponad dekadzie użytkowania operator stadionu zdecydował, że konkurencyjność stadionu spada i zapowiedział plan modernizacji.

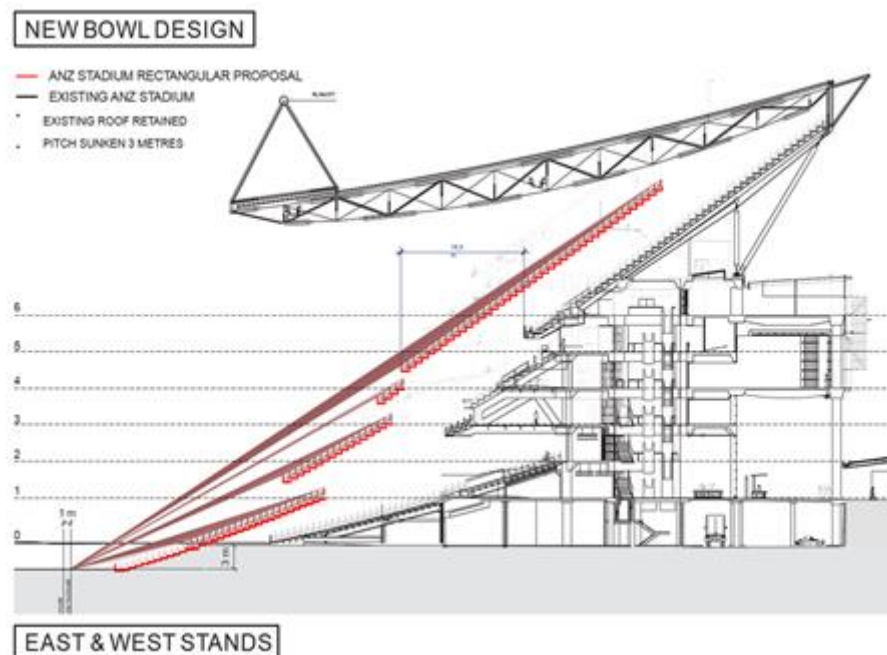
Dotychczasowe 85 tysięcy miejsc ma zostać zmniejszone do 75 tysięcy. Dodatkowo dach stadionu ma zostać powiększony oraz wzbogacony o rozsuwaną część środkową, która ma być przezroczysta. Same jednak trybuny zostaną zbudowane od nowa, postawione zostaną w pogłębionej nieszce, a widownia ma być bardziej stroma, by zapewnić lepszą widoczność.



Rys. 4.20 Wizualizacje przebudowy trybun Stadionu Australia. Lewa strona – obecnie, prawa – po przebudowie

Źródło: [152]

Ponadto nowy projekt uwzględnia ruchome dolne trybuny dostosowywane do wydarzeń z wszystkich dyscyplin sportowych mających odbywać się na stadionie. Zostanie zmieniona również elewacja oraz powstanie około 10 tysięcy m² powierzchni komercyjnych. Całkowity koszt przebudowy oszacowano na około 250 milionów dolarów.



Rys. 4.21 Koncepcja przebudowy konstrukcji Stadionu Australia

Źródło: [152]

4.2.7. Efekt białego słonia

Gdy rozważania i badania dotyczą dużych obiektów infrastruktury, między innymi stadionów nie można nie wspomnieć o *efekcie białego słonia*. Określenie to powstało w historycznym kontekście. Dawniej królowie Syjamu (ówczesna Tajlandia), by obdarować swoich fałszywych przyjaciół, mieli w zwyczaju dawać im prezenty. Były one piękne i okazałe, ale całkowicie bezużyteczne. Ponadto koszt utrzymania tego typu prezentów często doprowadzał do ruiny osobę obdarowaną. Obdarowany stawał przed dylematem: obrazą darczyńcy nieprzyjęciem prezentu i konsekwencjami z tym związanymi lub przyjęciem podarku i kłopotów z jego utrzymaniem (jakim często było zwierzę, np. słoń).



Rys. 4.22 Stadion Estádio do Maracanã podczas MŚ w 2014 r.

Źródło: [155]

Na podstawie tej historii powstało sformułowanie „biały słoń”, które stosuje się także w przypadku projektów inwestycyjnych. W dzisiejszych czasach oznacza to nic innego, jak drogi i okazały obiekt, który zupełnie nie spełnia oczekiwań inwestora lub taki projekt, który stał się bezużyteczny i jest znacznym obciążeniem dla właściciela. Przykładem takiego inwestycyjnego białego słonia jest najdroższy stadion piłkarski Brazylii, w Rio de Janeiro. Zbudowany na Mistrzostwa Świata w Piłce Nożnej w 2014 roku kosztował 426 mln euro. Obecnie jego utrzymanie kosztuje ok. 180 tysięcy euro miesięcznie. Okazały obiekt Mistrzostw Świata służy teraz jako stolicy

Brazylia zajezdnia autobusowa. Obecnie na jego murawie stacjonuje około 400 autobusów [4] (Rys. 4.23). Zbyt duże koszty utrzymania kolejnego obiektu piłkarskiego przerosły możliwości finansowe władze miejskich



Rys. 4.23 Stadion Estádio do Maracanã obecnie

Źródło: [150]

Podczas tworzenia projektów budowlanych nie można całkowicie skupić uwagi na produkcie. Oczywiście nie jest to błędne podejście pod warunkiem, że posiadamy świadomość, iż otrzymane budowle nie są celem samym w sobie, powinny stworzyć możliwość przynoszenia wymiernych korzyści.

Niestety w dzisiejszych czasach nie osiągniemy nigdy gwarancji, że unikniemy inwestycji, która nie osiągnie *efektu białego słońca*. Trudno jest przewidzieć wszystkie scenariusze. Jednakże możemy minimalizować ryzyko porażki inwestycji, przykładowo poprzez stawienie jasnych i przejrzystych celów do osiągnięcia, zastosowanie analizy opartej na wiarygodnych źródłach. Ponadto błędem jest koncentrowanie się tylko i wyłącznie na kosztach samego projektu, należy również przewidzieć wszystkie koszty zarówno eksploatacji jak i utrzymania. Dodatkowo trzeba rozważyć wariantowość wszystkich zdarzeń, które mogą wystąpić już po wybudowaniu obiektu.

Odpowiedzią na efekt białego słońca, zgodnie z ideą niniejszej rozprawy, jest podejście elastyczne, które zawiera w sobie większość z powyższych wskazówek. Przede wszystkim przewiduje ono możliwość wystąpienia ryzyka w projekcie oraz posiada odpowiedź na nie. Analiza w elastycznych



projektach obejmuje cały okres życia obiektu i jest przeprowadzana dla różnych warunków zewnętrznych.

Jak widać w przytoczonych dotąd przykładach (w tym rozdziale pracy), przy zastosowaniu narzędzia elastyczności już na etapie projektowania całkowicie udało się wyeliminować *efekt białego słonia*, co stanowi potwierdzenie słuszności stosowania podejścia elastycznego.

5. Narzędzia umożliwiające ocenę elastycznych opcji w systemach inżynierskich

5.1. Rachunek efektywności inwestycji

Według Wrzoska [141] rachunek efektywności inwestycji obejmuje przygotowanie danych i sporządzenie oceny opłacalności inwestycji, analizę poziomu ryzyka związanego z ich realizacją oraz podjęcie na tej podstawie decyzji inwestycyjnej. Według literatury przedmiotu można wyodrębnić kilka rodzajów rachunku efektywnością inwestycji: ze względu na moment w jakim zostanie sporządzony rachunek, na cel jakiemu ma służyć analiza efektywności inwestycji jak i sposób w jaki zostanie ona przeprowadzona. Borowiecki w swojej publikacji w ten sposób podzielił rodzaje rachunku efektywności inwestycji [9]:

Tab.7 Podział rachunków efektywności inwestycji

Kryterium	Podział
Moment sporządzania rachunku efektywności	- retrospektywny (ex post) - prospektywny (ex ante)
Cel sporządzania rachunku efektywności	- bezwzględny (absolutny) - względny (relatywny, porównawczy)
Sposób przygotowania rachunku efektywności	- rachunek wielowskaźnikowy - rachunek jednoskładnikowy
Charakter rachunku efektywności	- komercyjny - społeczny

Źródło: [9]

Z pierwszego kryterium wnioskujemy, iż rodzaj rachunku efektywności może mieć charakter *retrospektywny*, czyli taki który jest sporządzany przed rozpoczęciem inwestycji, gdyż stanowi podstawę do podejmowania decyzji przez inwestora. Zwykle opierany jest on na prognozie kształtowania się kategorii ekonomicznych. Drugi natomiast rodzaj - zwany *prospektywnym* - jest przeprowadzany już podczas trwania inwestycji lub po jej zakończeniu i służy do kontroli osiągniętych wyników.

Drugie kryterium podziału odnosi się do celu sporządzania rachunku efektywności i wyróżnia również dwa rodzaje podziału. Pierwszy z nich

zwany *bezwzględny (absolutny)* pozwala stwierdzić, czy inwestycja jest ekonomicznie opłacalna i charakteryzuje się akceptowalnym poziomem ryzyka (jest efektywna), co można wykazać - przy wykorzystaniu określonych algorytmów - porównując korzyści z nakładami i kosztami [35]. Natomiast drugi z nich - *względny (relatywny, porównawczy)* - różni się tym od pierwszego, że dotyczy wyboru najbardziej efektywnej decyzji inwestycyjnej z kilku analizowanych. Stąd inwestor stosuje go do oceny inwestycji, które posiadają ten sam cel, ale są rozwiązywane w inny sposób lub do inwestycji, które z uwagi na ograniczenia kapitałowe wykluczają się wzajemnie.

Z punktu widzenia sposobu przeprowadzenia rachunek efektywności wyróżnia się *rachunek wielowskaźnikowy (wielokryterialny, cząstkowy)* i *rachunek jednowskaźnikowy (syntetyczny)*. Pierwszy z nich bazuje na wskaźnikach cząstkowych, które dotyczą różnych elementów inwestycji takich jak: pracochłonność, kapitałochłonność, rentowność, materiałochłonność oraz koszty jednostkowe. Niestety wadą tego rachunku jest niejednoznaczność, która wynika z tego, iż wskaźniki cząstkowe mają różne kierunki i wartości zmian zupełnie niezależnych od siebie. Stąd w gospodarce widoczna jest znaczna skłonność do stosowania rachunku syntetycznego, opartego na jednym wskaźniku uwzględniającym wszystkie podstawowe elementy kształtujące efektywności inwestycji.

Ostatni podział rachunku efektywności wynika z dziedziny jego stosowania, komercyjny stosowany jest podczas budżetowania inwestycji komercyjnych, a społeczny, gdy mamy do czynienia z inwestycjami społecznymi.

By mówić o skutecznym rachunku efektywności inwestycji, musi on spełniać poniższe założenia teoretyczne:

- a) opierać się na odpowiednich, zweryfikowanych założeniach teoretycznych,
- b) właściwie odzwierciedlać rzeczywiste efekty ekonomiczne związane z realizacją inwestycji,
- c) ujmować wszystkie koszty i nakłady inwestycyjne oraz korzyści w całym okresie realizacji i funkcjonowania przedsięwzięcia,

- d) być uniwersalny (możliwość stosowania do oceny wszystkich rodzajów i typów inwestycji),
- e) umożliwiać zarówno bezwzględną, jak i względną ocenę efektywności.

Towarnicka stwierdziła, że warto porównać ze sobą rachunek efektywności inwestycji oraz innym rodzajem rachunku, który funkcjonuje z przedsiębiorstwie [126]. Wyniki tego porównania przedstawiono poniżej w Tabeli 8.

Tab. 8. Porównanie rachunku kosztów z rachunkiem efektywności

Rodzaj rachunku	Kryterium porównawcze				
	Częstotliwość	Okres planowania	Obiekt, którego dotyczy	Cel przeprowadzania	Elementy oceny
Rachunek kosztów	regularnie	jednookresowy	Przedsiębiorstwo jako całość	Kontrola i zarządzanie	Koszty i przychody
Rachunek efektywności	w miarę potrzeb	wielookresowy	Pojedyncze inwestycje	Podejmowanie decyzji	Nakłady, koszty i korzyści

Źródło: [126]

5.2. Ocena efektywności inwestycji

Wśród czynników i zjawisk oraz postaw i przekonań, które w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat ukształtowały współczesną metodykę rachunku efektywności inwestycji, należy wymienić [126]:

- 1) wzrost znaczenia procesów inflacyjnych i konieczność ich uwzględniania w procesie oceny efektywności inwestycji,
- 2) wzrost poziomu niepewności i ryzyka prowadzenia działalności gospodarczej (odrzućenie jednego z podstawowych założeń klasycznej formuły oceny inwestycji, które uwzględniało deterministyczny, nie zaś probabilistyczny charakter procesów inwestycyjnych); wpłynęło to na konieczność uwzględnienia w procesie decyzyjnym nie tylko opłacalności inwestycji, ale również ryzyka związanego z jej realizacją,



- 3) konieczność uwzględniania dominującego znaczenia skutków zewnętrznych inwestycji dla gospodarki (na przykład w zakresie stanu środowiska naturalnego) i starania o ujęcie w metodyce oceny efektywności także kosztów i korzyści społecznych. Coraz więcej inwestycji komercyjnych ewoluuje w kierunku inwestycji hybrydowych (komercyjnych z aspektami społecznymi),
- 4) internacjonalizację procesów inwestycyjnych i konieczność uwzględnienia jest skutków w ocenie poszczególnych inwestycji (oddzielnie geograficzne rynku, na którym dokonana jest inwestycja, od rynku kapitału, tzn. pozyskiwania kapitału),
- 5) kompleksowe programy inwestycyjne przygotowane przez poszczególne podmioty gospodarcze (przedsiębiorstwa, rząd, władze lokalne lub instytucje międzynarodowe) i potrzebę syntetycznej oceny ich efektywności,
- 6) zmianę i ciągłe różnicowanie się form inwestowania oraz konieczność dostosowania algorytmów i formuł oceny efektywności (wzrost liczby realizowanych inwestycji nietypowych oraz inwestycji w aktywa intelektualne – kapitał intelektualny) czy inwestycji z wbudowaną wysoką elastycznością,
- 7) rozwój teoretycznych podstaw oceny efektywności i techniki obliczeniowej.

Według Rogowskiego rachunek efektywności inwestycji składa się z siedmiu podstawowych „zasad metodycznych”, którymi należy się kierować, by sporządzić poprawną analizę, a uzyskany z niej wynik był właściwą podstawą do podjęcia decyzji inwestycyjnej. Do zasad tych należą [111]:

- a) Zasada przyrostowości (odrębności),
- b) Zasada uniwersalności,
- c) Zasada porównywalności,
- d) Zasada kompleksowości,
- e) Zasada jednoznaczności,
- f) Zasada realności (obiektywności),
- g) Zasada spójności.

Pierwsza *zasada przyrostowości (odrębności)* uwzględnia wszystkie korzyści (efekty) oraz koszty (nakłady) w sposób wzrostowy. Autor rozumie iż koszty związane z realizacją inwestycji i efekty jakie poniesiemy dzięki inwestycji zawierają się między dwoma stanami: dotychczasowym (stan jaki zostałby osiągnięty w razie niezrealizowania inwestycji) i nowym (stan jaki został założony w wyniku realizacji inwestycji). By mieć odpowiedni wynik analizy, należy podczas obliczeń wielkości kosztów i efektów określać również różnice między powyższymi stanami - umożliwi nam to rozstrzygnięcie wątpliwości dotyczących realizacji inwestycji.

Zasada uniwersalności (druga) opiera się na postulatach mówiących o stosowaniu takich metod oceny, które bez zmian lub z drobnymi modyfikacjami mogą być wykorzystywane podczas różnych innych rodzajów inwestycji, komercyjnych jak i społecznych czy hybrydowych.

Trzecią zasadę stanowi *zasada porównywalności*, która mówi o możliwości porównania ze sobą kosztów i korzyści w sposób bezpośredni. Porównując ze sobą te dwa parametry należy zachować dwa wymogi: przedmiotowy i czasowy. Pierwszy z nich narzuca konieczność przestrzegania korelacji pomiędzy nakładami (kosztami) a efektami (korzyściami). Inaczej mówiąc w ocenie opłacalności mogą być uwzględnione tylko te efekty, które są bezpośrednim bądź pośrednim rezultatem poniesionych nakładów i tylko te nakłady, które bezpośrednio lub pośrednio są niezbędne do uzyskania planowanych korzyści [33]. Wymóg drugi, mówiący o czasowości, bazuje na tym, iż zarówno koszty jak i korzyści występują w różnych, niejednokrotnie odległych okresach czasu (ze względu na długi okres życia obiektu). Przyjmując, że pieniądz zmienia swoją wartość w czasie nie mamy możliwości bezpośredniego porównania ze sobą tych parametrów. W celu zapewnienia im możliwości przyrównania stosuje się rachunek dyskonta.

Zasada kompleksowości, ogólnie rzecz ujmując, mówi o ujęciu w analizie wszystkich zysków (korzyści) i kosztów związanych z inwestycją zarówno w sposób pośredni jak i bezpośredni.

Kolejną zasadą jest *zasada jednoznaczności*. Mówi ona o tym, iż wyniki uzyskane podczas analizy tą samą metodą muszą być identyczne,

niezależnie kto tę analizę sporządzał. Stanowi to podstawę do stwierdzenia, że obliczenia mają charakter obiektywny.

Przedostatnią *zasadą realności (obiektywności)* obejmuje tylko te prognozy, których korzyści i koszty inwestycji posiadają najwyższy stopień prawdopodobieństwa i które zostały uzyskane przy pomocy rzetelnych, kompleksowych i wnikliwych analizach.

Ostatnią zasadą jest *zasada spójności*, według której w rachunku opłacalności należy integralnie traktować takie parametry jak: inflacja, stopa dyskonta, kurs walutowy czy kryterium decyzyjne.

5.3. Metody proste (statyczne)

Metody statyczne stanowią grupę metod intuicyjnych, prostych, 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 [33].

Wszystkie metody proste mają jedną cechę wspólną - 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 się nie zmienia.

5.3.1. Metoda ROI i ROE

Proste stopy zwrotu (rates of return) opierają się na relatywnym sposobie pomiaru bezwzględnej opłacalności i wyrażają relację korzyści netto z danej inwestycji z danego okresu (najczęściej roku) do wielkości zaangażowanego w nią kapitału. Ogólną postać prostych stóp zwrotu można przedstawić za pomocą wzoru [111]:

$$R = \frac{KN}{I} \cdot 100\%$$

gdzie: *KN* – korzyść netto wyrażona zyskiem

I – zaangażowany kapitał (nakłady inwestycyjne)

Jeżeli prowadzimy obliczenia, które dotyczą wszystkich inwestorów kapitałowych, to w mianowniku powyższego wzoru wprowadza się nakłady inwestycyjne (całkowity zainwestowany kapitał), na które składają się zarówno kapitał własny jak i obcy. Natomiast w liczniku umieszcza się jedynie zysk operacyjny, który wyrażony jest przez zyski netto pomniejszone o podatki. W ten sposób wyrażana stopa zwrotu nazywa jest *prostą stopą zwrotu nakładów inwestycyjnych* (return on investment, ROI). I przedstawia się ją (za pomocą wzoru):

$$ROI = \frac{\text{zysk operacyjny opodatkowany}}{\text{całkowite nakłady inwestycyjne}} \cdot 100\%$$

W przypadku, gdy szacunek stopy zwrotu jest obliczany jedynie dla właściciela inwestycji, wówczas w mianowniku wzoru uwzględnia się tylko część nakładów inwestycyjnych finansowanych kapitałem własnym, natomiast licznik przedstawia zysk netto z inwestycji. Metodę tę nazywamy *prostą metodą zwrotu z kapitału własnego* (return on equity, ROE) i przedstawia się ona następującym wzorem:

$$ROE = \frac{\text{zysk netto}}{\text{nakłady inwestycyjne finansowane kapitałem własnym}} \cdot 100\%$$

Obie metody szacowane są dla każdego okresu osobno, stąd otrzymuje się tyle wartości ROI i ROE ile lat ma cykl życia inwestycji. Stąd mówi się, że proste stopy zwrotu nie należą do metod syntetycznych, czyli takich które posiadają jedną wartość dla całego czasu trwania inwestycji.

Metoda ROI służy do pomiaru bezwzględnej opłacalności dla wszystkich dostawców kapitału i może być interpretowana ekonomicznie jako stopa zwrotu z całkowitych nakładów inwestycyjnych poniesionych na realizację danej inwestycji. Metoda ROE umożliwia zaś określenie bezwzględnej opłacalności kapitału własnego i jest interpretowana jako stopa zwrotu z finansowanych przez niego nakładów inwestycyjnych (zaangażowanego kapitału) [132].

Ze względu, na fakt iż proste metody stopy zwrotu przyjmują za kryterium zasadę maksymalizacji wartości lub osiągnięcia wielkości większej niż zakładana stopa wymagana, nie można w ich przypadku mówić o obiektywnych kryteriach decyzyjnych. Rogowski twierdzi, że ogólne kryterium decyzyjne można sformułować w następujący sposób [111]:

$$R > k_{gr} - \text{inwestycja opłacalna}$$

$$R < k_{gr} - \text{inwestycja nieopłacalna}$$

Podczas obliczeń w metodzie ROI za wartość graniczną (krytyczną, wymaganą) można przyjąć zwrot z nakładów inwestycyjnych w danej branży (ROI_b). Jednakże w większości przypadków jako kryterium decyzyjne przyjmuje się $WACC^{AT}$ (koszt kapitału – dla całej firmy lub inwestycji). Wtedy kryterium () przyjmuje postać:

$$ROI \geq WACC^{AT} - \text{inwestycja opłacalna}$$

$$ROI < WACC^{AT} - \text{inwestycja nieopłacalna}$$

Inwestycje ocenianą według stopy zwrotu z kapitału własnego (ROE) uznaje się za opłacalną, gdy stopa zwrotu jest wyższa od stopy granicznej (wymaganej) wyrażonej alternatywną stopą procentową, którą można uznać za prosty wskaźnik rentowności bezpiecznych inwestycji alternatywnych.

Podobnie jak w przypadku *prostej metody zwrotu z nakładów inwestycyjnych (ROI)* w metodzie ROE z reguły stopa graniczna do obliczeń przyjmowana jest jako koszt kapitału własnego

$$ROE \geq k_E - \text{inwestycja opłacalna}$$

$$ROE < k_E - \text{inwestycja nieopłacalna}$$

Obydwie powyższe metody służą do szacowania opłacalności inwestycji osobno dla każdego okresu (roku) osobno, zatem należy ustalać bezwzględne kryterium decyzyjne dla każdego okresu oddzielnie.

5.3.2. Metoda prostego okresu zwrotu (PP)

Metoda zwana *prostym okresem zwrotu* (payback period, PP) jest powszechnie stosowana i szacuje długość okresu (OZ) potrzebnego do

zwrotu (pokrycia) całkowitych nakładów inwestycyjnych (I) poniesionych na realizację inwestycji przez korzyści netto (KN), które generuje inwestycja. Wzór dla tej metody przedstawić można [111]:

$$\sum_{t=0}^m I = \sum_{t=m+1}^{OZ} KN_t$$

gdzie:

$t=0$ do m – kolejne okresy ekonomicznego okresu życia inwestycji, w których ponoszone są nakłady inwestycyjne (wydatkowany jest kapitał)

$t=m+1$ – kolejne okresy ekonomiczne okresu życia inwestycji, w których uzyskiwane są dodatnie korzyści netto; mają one służyć do pokrycia (zrównoważenia) poniesionych na realizację inwestycji nakładów inwestycyjnych

Powyższy wzór pokazuje, iż okres zwrotu (OZ) to wielkość podlegająca szacunkowi. Stąd wszystkie korzyści netto są sumowane (kumulowane) dla każdego okresu cyklu życia inwestycji, do chwili aż ich suma nie będzie równa wartości poniesionych na inwestycję nakładów. W literaturze przedmiotu występuje wiele sposobów obliczeń metody prostego okresu zwrotu, a różnice wynikają ze sposobu obliczania nakładów inwestycyjnych oraz korzyści netto.

O nakładach inwestycyjnych rozumianych jako poniesione wydatki inwestycyjne, czyli ujemny strumień pieniężny, wspominają Nowak, Pielichaty i Poszwa [87] w swojej pracy z 1999 roku. Również Rutkowski w *Zarządzanie finansami* [104] z 2000 roku wyraża podobny pogląd. Ponadto wszyscy powyżsi autorzy obliczają korzyści netto jako wpływy pieniężne netto.

Pozostała część autorów uznaje nakłady inwestycyjne jako wszystkie nakłady finansowe poniesione na inwestycje. Jednakże sposób obliczania korzyści netto jest inny. Flak [40] proponuje algorytm obliczeń jako sumę zysków netto i amortyzacji. Natomiast Szczepankowski [123] w swojej pracy z 1999 roku zastępuje zysk netto zyskiem operacyjnym. Ryżewska (1999) [116], Wrzosek [141] i Leszczyński, Skowronek – Mielczarek (2000) [71] do

sumy zysku netto i amortyzacji dodają jeszcze odsetki od kredytów. Natomiast Johnson (2000) [57] i przyjmuje korzyści netto jako dodatnie przepływy pieniężne netto.

Powyższe sprzeczności w rozumieniu i zdefiniowaniu formuł obliczeń okresów zwrotu znacznie komplikują stosowanie tej metody, gdyż może to doprowadzić do dwóch skrajnie przeciwnych wyników dla tej samej inwestycji.

Założenia prostego okresu zwrotu opierają się na hipotezie, że w ciągu określonego okresu czasu zainwestowany nakład na inwestycję (kapitał) zwróci się pod wpływem uzyskanych z inwestycji korzyści netto. Jednakże, jak autor wcześniej wspominał istnieje wiele algorytmów obliczeń dla tej metody, stąd też w literaturze przedmiotu można spotkać bardziej szczegółowe interpretacje tej metody. Machała [69] uznaje prosty okres zwrotu za czas, po jakim dodatnie przepływy pieniężne generowane przez inwestycję pokryją koszty jej uruchomienia i ewentualnie inne przepływy ujemne. Natomiast Rutkowski [110] w swoich pracach traktuje metodę prostego okresu zwrotu jako okresu, w którym następuje zrównanie wpływów z wcześniej poniesionymi wydatkami.

Metoda okresu zwrotu jest bardziej metodą informacyjną niż decyzyjną, gdyż w przypadku do zwrotu mamy całkowite nakłady inwestycyjne informuje nas o potrzebnym czasie do tego, by koszty te zostały zrównoważone przez sumę korzyści netto. Gdy w analizie okresu zwrotu mamy tylko część nakładów inwestycyjnych, która stanowiły kapitał własny, otrzymujemy informację o niezbędnym czasie zwrotu tego kapitału przez skumulowane zyski netto.

Okres zwrotu mierzy charakterystykę inwestycji, która jest tylko skorelowana z jej opłacalnością. Matematycznie miara ta jest odwrotnością prostej stopy zwrotu inwestycji. Nie jest to jednak miara efektywności w sensie prakseologicznym (ani ekonomiczności, ani korzystności), lecz raczej szybkości zwrotu, która jest powiązana, choć nie zawsze ściśle, z ryzykiem inwestycji [134].

Przy pomocy metody prostego okresu zwrotu nie można zdefiniować obiektywnego kryterium decyzyjnego, a jedynie subiektywne, które oparte jest na długości okresu zwrotu z danej inwestycji (OZ), czyli im krótszy czas tym inwestycja jest bardziej opłacalna i istnieje mniejsze ryzyko nieodzyskania zainwestowanego kapitału. By podjąć decyzję inwestycyjną opartą na prostej metodzie zwrotu należy ustalić najpierw krytyczny - czyli najdłuższy - dopuszczalny okres zwrotu, jednakże sposób jego wyznaczania nie jest jasno określony w literaturze przedmiotu. Podstawową informację jaką można znaleźć, to informacja o tym, że wartość graniczną ustala się na podstawie podobnych realizacji w branży, a w praktyce ustalana jest ona na podstawie ochrony patentowej lub okresu licencyjnego.

Na okres graniczny ma wpływ również skłonność decydenta do ryzyka. Jeżeli posiada on awersję do ryzyka będzie przyjmował bardzo krótki okres zwrotu, natomiast przyjmą dłuższy okres graniczny. Z reguły, dla inwestycji o wysokim poziomie ryzyka, wymagane są krótkie okresy zwrotu, dlatego długi okres zwrotu nie jest akceptowany przez decydenta, ponieważ informuje go, że [134]:

- *zaangażowane w inwestycję kapitały (środki) będą zamrożone na długi okres, stąd są one względnie mało płynne,*
- *korzyści netto osiągnane w dłuższych okresach są obarczone wyższym ryzykiem niż korzyści netto osiągnane w krótkim okresie, inwestycja o długim okresie zwrotu charakteryzuje się zatem wyższym ryzykiem niż inwestycja o krótkim okresie zwrotu.*

Bezwzględne kryterium decyzyjne oparte na metodzie prostego okresu zwrotu można ogólnie przedstawić w następujący sposób [32]:

- *jeżeli $OZ < n_{gr}$, to inwestycja jest opłacalna i można ją zaakceptować*
- *jeżeli $OZ > n_{gr}$, to inwestycja jest nieopłacalna i należy ją odrzucić*
- *jeżeli $OZ = n_{gr}$, to o przyjęciu lub odrzuceniu inwestycji powinny zdecydować inne czynniki nieuwzględnione w tej metodzie*

5.3.3. Metoda księgowej stopy zwrotu ARR

Ostatnią, a mimo to powszechnie stosowaną prostą metodą oceny efektywności inwestycji jest rachunek porównawczy rentowność. Choć istnieje wiele odmian i nazw tej metody to, najczęściej występuje pod nazwą księgowej stopy zwrotu (*Accounting Rate of Return*).

Wyrażona jest ona procentowo, a stanowi stosunek zysku księgowego z inwestycji do zaangażowanego w nią kapitału [68], czyli wyraża stosunek korzyści netto generowanych przez inwestycję do nakładu poniesionego na realizację. W przeciwieństwie do metod ROI i ROE metoda ta bazuje na wartościach średnich, nie rocznych. Ogólną postać algorytmu można przedstawić następująco [111]:

$$ARR = \frac{K_{\text{sr}}}{I_{\text{sr}}}$$

gdzie: K_{sr} - średnia księgowa korzyść netto

I_{sr} - średnia księgowa wartość nakładów inwestycyjnych

W literaturze przedmiotu możemy natknąć się na wiele różnych wariantów algorytmu dla metody księgowej stopy zwrotu. Wcześniej cytowany Jajuga i Słoński (1998) [52] porównują średnią arytmetyczną zysków netto uzyskiwanych w kolejnych latach cyklu życia inwestycji do przeciętnej wartości księgowej inwestycji. Natomiast zupełnie inne podejście podaje Marcinek (1998) [77] które jako korzyść netto stosuje księgowy zysk a porównuje go do księgowej wartości kapitału zaangażowanego w inwestycję. Rutkowski (2000) [110] proponuje algorytm dla metod stopy zwrotu jako iloraz przeciętnego rocznego zysku netto (lub przepływu pieniężnego netto) do wartości początkowej inwestycji. Podobny algorytm proponują Nowak, Pielichaty, Poszwa (1999) [86] gdyż przeciętny zysk netto porównują do wielkości początkowych wydatków inwestycyjnych. W swojej pracy Machała (2001) [74] przedstawia metodę ARR jako średnioroczny zysk netto (suma zysków netto podzielona przez liczbę lat realizowania inwestycji) podzielony przez średnioroczną inwestycję, rozumianą jako

suma wartości początkowej i końcowej księgowej wartości netto inwestycji (czyli z uwzględnieniem amortyzacji) podzielonej przez liczbę dwa.

Różnice w metodzie obliczeń dotyczą zarówno licznika poniższego wzoru jak i mianownika, stąd ogólny algorytm dla tej metody można zapisać następująco [111]:

$$ARR = \frac{\frac{\sum_{t=m+1}^n \text{zysk}_t}{d}}{\frac{WPI + WKI}{2}}$$

gdzie: ARR – księgowa stopa zwrotu

$od\ m + 1\ do\ n$ – kolejne okresy ekonomicznego cyklu życia inwestycji, w których generuje ona dodatnie korzyści netto (zyski)

zysk_t – zysk w i -tym roku okresu operacyjnego inwestycji

WPI – wartość początkowa inwestycji (nakłady inwestycyjne)

WKI – księgowa wartość rezydualna inwestycji

d – liczba okresów, w których inwestycja generuje zyski

Interpretację ekonomicznej księgowej stopy zwrotu można zawrzeć w stwierdzeniu [111]: ile średniej korzyści netto wyrażonej zyskiem przypada na jedną złotówkę średniej wartości nakładów inwestycyjnych (całkowitych lub nakładów finansowych kapitałem własnym). Zatem możemy powiedzieć, iż metoda ARR zawiera w sobie informacje dotyczące średniej stopy zwrotu z zaangażowanych nakładów inwestycyjnych.

Na podstawie tej metody nie można jednoznacznie określić bezwzględnego kryterium decyzyjnego, gdyż podobnie jak we wcześniej omawianych metodach, to decydent subiektywnie określa wartość graniczną stopy zwrotu (k_{wym}). W literaturze przedmiotu, Nogalski i Piwecki [85] proponują trzy sposoby ustalania wielkości granicznej, opartej na:

- *historycznej księgowej stopy zwrotu z aktywów obliczonej dla całej firmy ROA_f (zysk netto do aktywów lub zysk operacyjny do aktywów)*
- *historycznej średniej księgowej stopy zwrotu z aktywów dla danej branży ROA_b (zysk netto lub zysk operacyjny osiągnięty z inwestycji realizowanych w danej branży do aktywów branży)*

- *historycznej przeciętnej stopy zwrotu z inwestycji w danej branży ROI_b (zysk netto lub zysk operacyjny osiągnięty z inwestycji realizowanych w danej branży do nakładów inwestycyjnych w branży)*

Zatem kryterium decyzyjne w metodzie księgowej stopy zwrotu możemy przedstawić następująco [111]:

- $ARR \geq ROA_f$ lub ROA_b albo ROI_b – *inwestycja jest opłacalna (akceptowalna),*
- $ARR < ROA_f$ lub ROA_b albo ROI_b – *inwestycja jest nieopłacalna (nieakceptowalna).*

5.4. Metody dynamiczne

Podstawową cechą charakteryzującą metody dynamiczne jest 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 [135]. Metody te można podsuwać zdaniem Brealey „[...] dolar dziś wart jest więcej niż dolar jutro” [5]. Kolejną 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 [116].

Wszystkie metody z tej grupy opierają się na dwóch założeniach. Pierwszy z nich mówi o tym, iż korzyści netto generowane przez inwestycję określane są w sposób finansowy jako przepływ pieniężny netto (NCF). Drugie założenie opiera się na zasadzie iż pieniądź w całym okresie życia inwestycji ma zmienną wartość, tzn. o wartości przepływów nie decyduje wartość w momencie analizy, ale wielkość uzyskania tych korzyści.

Wiśniewski w swoich publikacjach oprócz wyżej wymienionych, dwóch założeń zwraca uwagę na kilka innych [134]:

- *sposób wyróżnienia (wyodrębnienia) inwestycji*
- *statyczny charakter metod dyskontowych*

- *ograniczenie uwzględnianego w obliczeniach ryzyka tylko do ryzyka systematycznego*

Pierwsze założenie odnosi się do sposobu wyróżniania inwestycji. Błędnie zakłada się w metodach dyskontowych, że inwestycję można całkowicie oddzielić od struktur finansowych firmy, a podczas oceny efektywności ekonomicznej brać pod uwagę tylko różnice w przepływach pieniężnych wynikających z realizacji inwestycji. W większości przypadków takie założenie nie jest wystarczające, gdyż występują powiązania organizacyjne i dywersyfikacje wewnątrz firmy. Podejście wielokryterialne może wyeliminować wiele z tych problemów.

Kolejne założenie Wiśniewskiego tyczy się charakteru metod. Autor uważa, że w metodach dyskontowych przyjmuje się pasywne a nie aktywne zarządzanie projektem. Spowodowane jest to pierwotnym założeniem, iż inwestycja będzie realizowana, a później eksploatowana, zgodnie z założeniami i wcześniej przyjętym scenariuszem. Nie ma możliwości żadnych odstępstw (dostosowań do panujących i zmieniających się warunków otoczenia). Nie zakłada się zmienności danych wyjściowych ani zmian w scenariuszu inwestycji. Przyjmuje się jedną, deterministyczną koncepcję i nie uwzględnia się zmian w jej zakresie. Jest to błędne podejście, gdyż w praktyce, oceniając efektywność ekonomiczną inwestycji przy pomocy jednego scenariusza w znaczący sposób upraszczamy warunki gospodarcze w jakich realizowana, a później eksploatowana jest inwestycja. Ponadto „sztywność scenariusza bazowego” dotyczy również założenia jednej możliwości: inwestycja jest albo realizowana albo całkowicie odrzucona. W rzeczywistości praktyka pokazuje, iż alternatyw jest więcej. Projekt może być podzielony na etapy, odłożony w czasie, czy też mogą wystąpić zmiany w jego zakresie albo skali, mogą być one zwiększone lub zmniejszone albo całkowicie przeformowane. *Możliwość podjęcia takich działań ma swoją wartość ekonomiczną, gdyż mamy do czynienia z elastycznością inwestycji. Metody dyskontowe nie ujmują w swoich algorytmach wartości tkwiącej w możliwościach zmian pierwotnych założeń inwestycji i podejmowaniu kolejnych wtórych decyzji inwestycyjnych już po podjęciu pierwotnej decyzji inwestycyjnej o realizacji inwestycji [132].* Takie

możliwości wyceny projektów opartych na elastyczności dają między innym i opcje realne (real option). Trzecie dodatkowe założenie według Wiśniewskiego dotyczy ryzyka i założenia, że występuje ono tylko w stopie dyskonta. Z praktyki gospodarczej wynika jednak iż inwestycja podlega również innym czynnikom ryzyka, tzw. ryzyku specyficznemu. Metody dyskontowe nie uwzględniają takiej możliwości stąd analizę należy wzbogacić o analizę scenariuszy wrażliwości czy symulacji. Dodatkowo, ryzyko zawarte w koszcie kapitału może ulegać zmianie w cyklu życia inwestycji, nie jest parametrem stałym - co skutkuje błędnym założeniem w metodach dyskontowych (zakładających stałą stopę dyskonta w całym okresie życia inwestycji).

By metody oceny efektywności inwestycji mogły być poprawnie przeprowadzone, a wyniki były spójne z założeniami i wszystkie elementy były uwzględniane, w ocenie należy wyróżnić kilka krytycznych elementów [132]:

- *wyznaczenie przepływów pieniężnych inwestycji (a w szczególności szacowania zapotrzebowania na kapitał obrotowy netto, płatności podatkowych, uwzględniania efektów i kosztów niejawnych, uwzględniania efektów ubocznych),*
- *określenie czasu trwania inwestycji,*
- *określenie wysokości kosztu kapitału używanego do dyskontowania przepływów pieniężnych netto,*
- *określenie wpływu struktury finansowania na ocenę opłacalności inwestycji,*
- *zbadanie wpływu ryzyka w tym głównie specyficznego, na efektywność inwestycji.*

By zreasumować rozważania na temat metod dyskontowych, autor pracy przytoczy ocenę dokonaną przez Wiśniewskiego [130]:

- *Metody dyskontowe zasadniczo nie uwzględniają ryzyka, lecz jedynie jego koszt, i to tylko częściowy, odpowiadający ryzyku systematycznemu. Ryzyko systematyczne zawarte w stopie dyskontowej odzwierciedla bowiem tylko koszt kapitału na poziomie*

najmniejszego, akceptowanego przez kapitałowców zwrotu. Korekta taka ma charakter ściśle kosztowy i uwzględnia w przepływach pieniężnych koszt opłacania kapitału na minimalnie wymaganym przez dostawców kapitału poziomie, wynikającym z teorii dywersyfikacji ryzyka. Wszelki zwrot ponad ten minimalny zwrot, to nadwyżka ponadnormatywna (ponad wymagany koszt kapitału) i dopiero ona określa efektywność inwestycji. Uwzględnienie ryzyka tylko przez obciążenie inwestycji pewnym poziomem kosztu kapitału nie odpowiada na zasadnicze pytanie o to, jaki wpływ, zarówno pozytywny jak i negatywny, może mieć ryzyko specyficzne na realizację inwestycji i jej ostateczną efektywność.

- Pomimo uwzględniania przez większość metod dyskontowych (oprócz IRR) w pełni zmiennej wartości pieniądza w czasie mają one dynamiczny charakter, ale jedynie w wymiarze czasowym, koncepcyjnie w aspekcie decyzyjnym należy uznać je za miary statyczne (pasywne), pokazujące tylko punktową (dyskretną) ocenę opłacalności inwestycji w fazie inwestycyjnej, a tym bardziej w fazie operacyjnej. Nie ma możliwości wyceny elastyczności decyzyjnej. Co więcej, metody dyskontowe nie uwzględniają zmienności zmiennych wyjściowych opierając się na jednym deterministycznym scenariuszu bazowym.*

W literaturze przedmiotu wyróżnia się dwie najważniejsze metody dynamiczne, określane wspólną nazwą, *metod zdyskontowanych przepływów pieniężnych (Discounted Cash Flow – DCF)*.

5.4.1. Metoda wartości bieżącej netto (Net Present Value – NPV)

W literaturze polskiej nazywana jest również: teraźniejszą wartością netto, wartością kapitałową inwestycji, aktualną wartością nadwyżki netto (nadwyżki finansowej netto). „Początków metody NPV można doszukać się już w pracy I. Fishera, który w 1907 roku zaproponował, aby wycenę inwestycji rzeczowych prowadzić w drodze dyskontowania strumieni

pieniężnych netto generowanych przez inwestycję, przy założeniu, że stopa dyskontowa odzwierciedla ryzyko związane z ocenianą inwestycją” [108].

Metoda wartości bieżącej netto NPV oparta jest na kilku istotnych założeniach:

- *wyznaczana jest długość cyklu życia inwestycji w aspekcie ekonomicznym (zakładany czas obliczeniowy),*
- *podczas analiz jest określona wielkość i rozkład w czasie korzyści netto w całym cyklu życia inwestycji,*
- *inwestycja posiada typowy rozkład przepływów finansowych w całym okresie analiz,*
- *nakłady inwestycyjne ponoszone są w sposób nieodwracalny (nie elastyczny),*
- *porównanie wyników następuje tylko wobec inwestycji na rynkach kapitałowych (metoda NPV pokazuje czy dla firmy bardziej opłacalne jest inwestowanie w aktywa rzeczowe czy bezpośrednio w rynek kapitałowy),*
- *przyjmuje się niezmienną wartość stopy dyskontowej w całym okresie życia inwestycji, gdyż zakłada się, iż wartość rynkowa inwestycji w stosunku do długu jest constans,*
- *zakłada się, że przepływy pieniężne NCF występują pod koniec roku, w rzeczywistości powoduje to zniżenie wartości NPV, gdyż przepływy te tworzone są stopniowo na przełomie całego roku,*
- *wyznacznikiem opłacalności w algorytmie jest suma wszystkich korzyści netto.*

Co więcej, w swoich pracy Araya, Fellingham i Glover [3] wspominają, iż: dwa dodatkowe, wyrażone w sposób implikacji, założenia metody NPV są często w praktyce z góry przyjmowane za spełnione. Po pierwsze, decyzja o zaakceptowaniu lub odrzuceniu inwestycji na podstawie wyników uzyskanych metodą NPV jest podejmowana raz na zawsze (odrzucona inwestycja nie jest więc rozważana w przyszłości), w związku z tym nie jest uwzględniana możliwość późniejszej realizacji lub modyfikacji inwestycji (brak możliwości wykorzystania tkwiącej w inwestycji

elastyczności). Po drugie, zarówno właściciel jak i zarząd mają taką samą wiedzę o czynnikach wpływających na poziom opłacalności ocenianej inwestycji.

Metoda ta oparta jest na stosunku poniesionych nakładów pieniężnych do wartości bieżącej przyszłych przychodów inwestycyjnych, która definiowana jest jako różnica pomiędzy sumą zdyskontowanych przepływów pieniężnych netto osiągniętych w okresie użytkowania inwestycji a sumą zdyskontowanych na ten sam rok nakładów inwestycyjnych na realizację tego przedsięwzięcia inwestycyjnego. Wyrażona jest ona wzorem [111]:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{NCF_t}{(1+r)^t}$$

gdzie:

NCF_t - przepływ pieniężny netto (*net present value*)

r – stopa dyskontowa

t – indeks czasu (kolejne lata inwestycji)

n – liczba lat trwania inwestycji

Stopa dyskonta zawsze powinna w swoich obliczeniach zawierać poziom ryzyka [51], a okres w jakim prowadzimy obliczenia powinien obejmować cały cykl życia inwestycji. Niektórzy autorzy uwzględniają tylko początkowe wydatki inwestycyjne oraz okres eksploatacji inwestycji, nie wskazując na konieczność uwzględnienia przepływów pieniężnych w fazie likwidacji [111]. Może to prowadzić do podjęcia złych decyzji, gdyż koszty te mogą stanowić istotne wartości podczas określania rentowności inwestycji.

W literaturze przedmiotu występuje wiele rozbieżności i sprzecznych opinii odnośnie stosowania stopy dyskontowej – r i jest ona definiowana jako [51]:

- *minimalna stopa zwrotu z inwestycji, która musi być osiągnięta, aby w wyniku realizacji ocenianej inwestycji wartość rynkowa firmy nie spadła,*
- *stopa zwrotu, jaką można uzyskać na rynku kapitałowym, inwestując w inwestycje kapitałowe o poziomie ryzyka zbliżonym do ryzyka*

ocenianej inwestycji w aktywa rzeczowe lub aktywa niematerialne (tzw. stopa alternatywna),

- koszt kapitału, który będzie wykorzystany do sfinansowania inwestycji o danym poziomie ryzyka.

Algorytm obliczeniowy metody NPV jest zbudowany w ten sposób, iż wpływy (CFI) i wydatki (CFO) uzyskane w tym samym okresie są obarczone tym samym poziomem ryzyka systematycznego, stąd podczas dyskontowania jest wykorzystywana ta sama stopa dyskontowa. Jest to podejście niewłaściwe, gdyż z reguły wpływy i wydatki posiadają różne poziomy ryzyka. Stąd bardziej prawidłowym wzorem wydaje się postać algorytmu [111]:

$$NPV = -NCF_0 + \left(\frac{CFI_1}{(1 + r_{CFI}^1)} - \frac{CFO_1}{(1 + r_{CFO}^1)} \right) + \dots \\ + \left(\frac{CFI_n}{(1 + r_{CFI}^n)} - \frac{CFO_n}{(1 + r_{CFO}^n)} \right)$$

gdzie: r_{CFI} – właściwa stopa dyskontowa dla wpływów

r_{CFO} – właściwa stopa dyskontowa dla wydatków

Ponadto literatura przedmiotu z uwagi na duże rozbieżności w stosowanych algorytmach i ich zastosowaniu pisze o pięciu formach algorytmu obliczającego NPV, min. W. Rogowski [111] w tym:

- *Ekonomiczna NPV (przed opodatkowaniem) – nie uwzględnia ani podatków ani odsetek. Obliczenia jedynie oparte są na przepływach operacyjnych i inwestycyjnych. Przyjęta w ten sposób stopa dyskonta nie będzie uwzględniać podatku. Ekonomiczna NPV wykazuje znaczne korzyści dla właścicieli i wierzycieli czyli wszystkich dostawców kapitału oraz państwa. Wielkość ta jest interesująca dla przedsiębiorstw rozważających inwestycje w kilku różnych krajach. Jednakże ekonomiczna NPV może jedynie służyć jako narzędzie wspierające decyzje w początkowych fazach realizacyjnych, gdyż pominięcie wartości podatku może spowodować podjęcie nieoptymalnej decyzji.*

- *Standardowa NPV (klasyczna) – najczęściej stosowana w praktyce metoda obliczeniowa wartości bieżącej netto. Opiera się na przepływie pieniężnym wszystkich stron finansujących (FCFF – free cash flow to firm) i uwzględnia zarówno przepływy inwestycyjne i operacyjne, także podatek dochodowy.*
- *Właścicielska NPV – podobnie jak standardowa NPV opiera się na przepływach pieniężnych (FCFE – free cash flow to equity), ale bierze pod uwagę tylko te finansowane z kapitału własnego, czyli wlicza się do obliczeń pożyczek i kredytów. Właścicielska NPV uwzględnia wszystkie trzy przepływy pieniężne, czyli operacyjny (z podatkiem dochodowym), inwestycyjny i finansowy (odsetki). Natomiast stopa dyskontowa obliczana jest w oparciu o koszt kapitału własnego ponieważ jej wielkość narzucona jest przez właściciela i jego opłacalność inwestycji.*
- *Dywidendowa NPV – pokazuje korzyść dla właścicieli z kapitału własnego i ogranicza się tylko do jednej formy wydatków i wpływów, czyli wkładów kapitałowych i dywidendy.*
- *Skorygowana NPV (ANPV) – uwzględnia przepływy inwestycyjne i operacyjne, nie biorąc jednak pod uwagę odsetek. Skorygowane przepływy pieniężne netto są dyskontowane kosztem kapitału własnego, a następnie oddzielnie liczony jest efekt tarczy podatkowej [105].*
- *Zmodyfikowana NPV (MNPV) – do obliczeń przyjmuje się dodatkową stopę reinwestycji.*

Interpretacje ekonomiczne metody NPV, które można znaleźć w literaturze przedmiotu, skupiają się najczęściej na korzyści netto, jakie może przynieść realizacja inwestycji. Można zatem stwierdzić, że metoda NPV to skumulowana bieżąca korzyść netto otrzymana z inwestycji.

Jajuga [52] w swoich rozważaniach napisał, że *metoda NPV umożliwia również uzyskanie odpowiedzi na pytanie, co się firmie bardziej opłaca: inwestowanie w konkretną inwestycję rzeczową czy inwestycję w aktywa niematerialne, czy bezpośrednią inwestycję na rynku kapitałowym, przy*

założeniu, że nakłady i okres życia obu alternatywnych inwestycji są identyczne, a poziom ryzyka zbliżony.

Podsumowując, każda z przedstawionych interpretacji prowadzi do jednego wniosku, iż metoda NPV podaje informacje o ile wzrośnie wartość firmy w wyniku realizacji danej inwestycji, co można przedstawić przy pomocy poniższego wzoru [111]:

$$W(F + I) = W(F) + NPV_I$$

gdzie: $W(F + I)$ – wartość firmy po zrealizowaniu inwestycji (wyceniona według wartości dzisiejszych),

$W(F)$ – obecna wartość firmy bez inwestycji,

NPV_I – wartość NPV inwestycji %,

W przeciwieństwie do metod prostych w metodzie NPV można zbudować obiektywne kryterium decyzyjne, które może być wykorzystywane w rachunku opłacalności inwestycji.

Otrzymany wynik w metodzie NPV w sposób bezpośredni ujmuje korzyść, która jest wyrażona przy pomocy jednostek pieniężnych. Dodatnia wartość NPV informuje o inwestycji opłacalnej (czyli takiej, gdzie jest przewaga inwestycji rzeczowej nad kapitałową), ujemna wartość zaś oznacza, że inwestycja nie jest opłacalna w danym okresie (inwestycja na rynku kapitałowym jest bardziej opłacalna).

Stopa dyskonta w metodzie NPV oznacza alternatywną stopę zwrotu z kapitału, czyli stopę otrzymamy, gdy zrealizujemy inwestycję. Powyższe kryterium decyzyjne metody NPV można przedstawić przy pomocy następującego wartości [111]:

- $NPV > 0$ *inwestycja opłacalna (akceptowalna)*
- $NPV = 0$ *inwestycja neutralna (akceptowalna)*
- $NPV < 0$ *inwestycja nieopłacalna (nieakceptowalna)*

Powyższe postacie interpretacji wyników możemy spotkać w publikacji Szczepankowskiego [123], który pisze że inwestycja jest opłacalna, gdy:

- *Generuje ona sumę wartości bieżącej przyszłych dodatnich przepływów pieniężnych netto wyższą od początkowego nakładu*

kapitałowego (obecnej wartości ujemnych przepływów pieniężnych netto),

- *Pozwala osiągnąć stopę wyższą od alternatywnej stopy zwrotu, jaką można uzyskać na rynku kapitałowym z podobnych inwestycji o zbliżonym poziomie ryzyka i okresie zaangażowania kapitału,*
- *Wypracowuje taką wartość nadwyżki pieniężnej, która umożliwia pokrycie kosztu kapitału zaangażowanego w finansowanie ocenianej inwestycji, co zapewnia dostawcom kapitału uzyskanie stopy zwrotu na poziomie przez nich określonym i wymaganym,*
- *Tworzy nadwyżkę finansową, która może być wykorzystana do finansowania kolejnych inwestycji w przyszłości – dotyczy inwestycji zrealizowanych w formule „corporate finance”,*
- *Zwiększa aktywa materialne i niematerialne przedsiębiorstwa realizującego inwestycję,*
- *Zwiększa wartość rynkową przedsiębiorstwa – dotyczy inwestycji realizowanych w formie „corporate finance”.*

Natomiast, gdy występują ujemne wartości NPV i inwestycja uznawana jest za nieopłacalną Szczepankowski [123] uważa, iż inwestycja:

- *Generuje sumę wartości bieżącej przyszłych dodatnich przepływów pieniężnych netto niższą od początkowego nakładu kapitałowego (obecnej wartości ujemnych przepływów pieniężnych netto).*
- *Nie pozwala osiągnąć stopy zwrotu wyższej od alternatywnej stopy zwrotu, ani nawet równiej, jaką można uzyskać na rynku kapitałowym z podobnych inwestycji o tym samym ryzyku i okresie zaangażowania kapitału.*
- *W ustalony okresie jej ekonomicznego okresu życia nie przynosi oczekiwanej przez inwestora stopy zwrotu od zainwestowanego w inwestycji kapitału (zarówno własnego, jak i dłużnego).*
- *Nie zapewnia pokrycia kosztów kapitału finansującego ocenianą inwestycję.*
- *Nie generuje nadwyżki finansowej, czyli nie zwiększa potencjału finansowego przedsiębiorstwa, które inwestycję planuje.*

- *Niszczy wartość rynkową podmiotu gospodarczego realizującego inwestycję (destrukcja wartości).*

Natomiast w przypadku, gdy wartość NPV jest równa zero, przyjmuje się, że inwestycja jest opłacalna, ponieważ dyskontowany koszt kapitału jest równy minimalnej, wymaganej przez inwestora stopie zwrotu z inwestycji. Innymi słowy inwestycja osiągnie co najmniej minimalny zwrot akceptowalny przez inwestora, ale też żadnego dodatkowego zwrotu ponad tę wartość.

Metoda NPV uznawana jest za jedyną poprawną metodę do oceny efektywności ekonomicznej inwestycji przez wielu inwestorów. Świadczy o tym jest stały wzrost w zakresie stosowania w praktyce. Jednakże w literaturze przedmiotu pojawiają się informacje o jej ograniczeniach podczas oceny opłacalności inwestycji. Można wyodrębnić cztery najważniejsze. Pierwsze ograniczenie dotyczy braku możliwości uwzględnienia w sposób bezpośredni elastyczności inwestycji. Drugie ograniczenie wynika z nieuwzględnienia przyszłych możliwości pojawiających się podczas realizacji inwestycji. Trzecie ograniczenie mówi o tym, iż metodologia obliczeń NPV tylko w sposób pośredni uwzględnia efekty związane z finansowaniem inwestycji kapitałem obcym (korekta stopy dyskonta, korekta przepływów pieniężnych), a nie przy pomocy narzędzi bezpośrednich. Ostatnie ograniczenie dotyczy ryzyka, a mianowicie metoda NPV uwzględnia w swoim algorytmie tylko ryzyko systematyczne, pomija całkowicie ryzyko specyficzne.

5.4.1.1. Wycena elastyczności

Tradycyjna metoda NPV umożliwia zbudowanie jedynie reaktywnego kryterium decyzyjnego, przy wykorzystaniu którego decydent może zaledwie zaakceptować lub odrzucić ocenianą inwestycję, nie mając możliwości aktywnego oddziaływania na zmianę jej wartości [66]. Zatem stosując metodę NPV zakładamy dwie możliwości decyzyjne: akceptacja lub odrzucenie, gdy de facto możliwości jest zdecydowanie więcej. Inwestor może poczekać z realizacją inwestycji na sprzyjającą sytuację zewnętrzną albo całkowicie zmienić zakres i skalę projektu. Tradycyjna metoda NPV

w swoim algorytmie nie uwzględnia powyższych przypadków, czyli nie wycenia możliwości elastyczności inwestycji takich jak: wcześniejsze zakończenie inwestycji, zmiana parametrów projektu (zarówno zmniejszenie jak i zwiększenie), modyfikacja skali inwestycji itp. Metoda NPV nie uwzględnia zatem prawa decydenta do zmiany wcześniej podjętej decyzji, co jest szczególnie istotne w otoczeniu cechującym się dużą zmiennością i ryzykiem [82]. *Wartość bieżąca netto mieści się więc w ramach pasywnego zarządzania inwestycją, ma zatem charakter statyczny. Statyczność metody NPV ogranicza możliwość aktywnego zarządzania inwestycją po rozpoczęciu jej realizacji. A przecież w praktyce bardzo często dochodzi do takich działań jak przesunięcie momentu realizacji inwestycji, jej ograniczenie lub rozszerzenie jej skali i zakresu, zmian parametrów (np. technologii produkcji czy stosowanych materiałów), a nawet do całkowitego zaprzestania inwestycji [51].* Podczas stosowania algorytmu metody NPV należy założyć, iż zna się wszystkie istotne parametry mające wpływ na wynik analizy efektywności ekonomicznej. Bowiem metoda NPV *wykorzystuje tylko informację dostępną w momencie dokonywania oceny opłacalności inwestycji, ignorując fakt, iż w przyszłości może pojawić się inna nowa informacja, istotna dla opłacalności analizowanej inwestycji [105],* która może powodować podjęcie kolejnych decyzji.

Metodologia metody oceny efektywności ekonomicznej NPV nie zakłada przyszłych zmian i modyfikacji w projekcie, które mogą nastąpić podczas całego okresu życia obiektu, gdyż brak w niej możliwości uzależnienia przyszłych przepływów pieniężnych od podejmowanych w przyszłości decyzji. *Innymi słowy, NPV nie uwzględnia wartości, która może wynikać z aktywnego zarządzania inwestycją, zakładającego możliwość podejmowania kolejnych decyzji „wtórnych”, czyli już po rozpoczęciu inwestycji decyzji dotyczących potencjalnego rozszerzenia lub wycofania się inwestycji oraz opóźnienia w czasie czy chwilowego wstrzymania jej realizacji [111].* W rozprawie zaproponowano rozwiązanie tego problemu przy pomocy zastosowania scenariuszy oraz uwzględnienia ryzyka w stopie dyskonta oraz zastosowania metody symulacyjnej Monte Carlo.

5.4.1.2. Stopa dyskonta

Najważniejszą wadą metody NPV w ujęciu teoretycznym jest na pewno założenie płaskiego kształtu krzywej rentowności (wynika to z algorytmu metody), czyli inaczej mówiąc wartość pieniądza w czasie, w poszczególnych okresach życia inwestycji, będzie się zmieniać dokładnie o tą samą wartość.

W rzeczywistości krzywa, która przedstawia stopę dyskontową jest zmienna, szczególne znaczenie dla tego proceduru ma wysoki poziom inflacji oraz zmienność kosztu kapitału. *Należy też podkreślić, że stała stopa dyskontowa jest właściwym rozwiązaniem przy kalkulacji stopy dyskontowej opartej na średnim ważonym koszcie kapitału jedynie wtedy, gdy kapitał obcy wykorzystywany do finansowania inwestycji jest zadłużeniem o stałym oprocentowaniu lub inwestycja jest finansowana kapitałem własnym o stałym koszcie (założenie, że koszty kapitału własnego i obcego muszą być stałe w całym ekonomicznym cyklu życia, a struktura finansowania inwestycji – udział kapitału obcego i własnego w całości kapitału – nie może ulec zmianie)* [111]. Gdy powyższe warunki nie będą spełnione, to założenie mówiące o płaskiej krzywej rentowności nie jest prawdziwe. Ponadto by spełnić takie założenia metody NPV, należy przyjąć stałą wartość tarczy podatkowej, co często w rzeczywistości gospodarczej nie jest możliwe na tak długim okresie jakim jest cykl życia inwestycji, gdyż dla przykładu stopa podatku dochodowego od osób prawnych CIT zmienia się. Podobna sytuacja ma miejsce, gdy inwestycja jest finansowana tylko kapitałem obcym lub tylko kapitałem własnym, by zastosować stałą stopę dyskonta należy przyjąć założenie iż wartość kosztu obu kapitałów w cyklu życia inwestycji jest stała.

Stać stopa dyskonta w całym ekonomicznym cyklu życia jest według autora błędnym rozwiązaniem. Jednakże wadę tę można wykluczyć poprzez zastosowanie prawidłowego kształtu krzywej rentowności w całym okresie życia inwestycji, czyli zakładając dla każdego okresu osobno inną stopę dyskontową, odzwierciedlającą rzeczywistą wartość pieniądza w danym okresie. *Rozwiązanie to wymaga zmiennej stopy dyskontowej dla*

poszczególnych okresów cyklu życia, czyli współczynnik dyskonta w postaci [111]:

$$\frac{1}{(1+k)^t}$$

gdzie: $k = k_1 = k_2 = \dots = k_n$

zostaje zastąpiony iloczynem współczynników dyskonta przy różnych stopach dyskontowych [54]:

$$\frac{1}{(1+k_1)} \cdot \frac{1}{(1+k_2)} \times \dots \times \frac{1}{(1+k_n)}$$

gdzie: $k_1 \neq k_2 \neq \dots \neq k_n$

By założyć zmienną stopę dyskonta dla każdego okresu, wszystkie przepływy pieniężne netto należy zdyskontować przy pomocy wskaźnika, który jest iloczynem współczynników dyskonta dla poprzedniego okresu oraz dla bieżącego okresu, w którym dany przepływ netto występuje, a samą postać wzoru NPV można zapisać jako:

$$NPV = NCF_0^{"-"} + \frac{NCF_1^{"-}}{(1+k_1)} + \frac{NCF_2^{"-}}{(1+k_1)(1+k_2)} + \dots + \frac{NCF_n^{"-}}{(1+k_1)(1+k_n)}$$

W literaturze przedmiotu można również spotkać inny sposób uwzględniania rzeczywistego kształtu krzywej rentowności – *obliczanie średniej geometrycznej ze stóp dyskontowych właściwych dla wszystkich okresów cyklu życia inwestycji* [74]:

$$k_{\acute{s}r} = \sqrt[n]{k_1 \cdot k_2 \times \dots \times k_n}$$

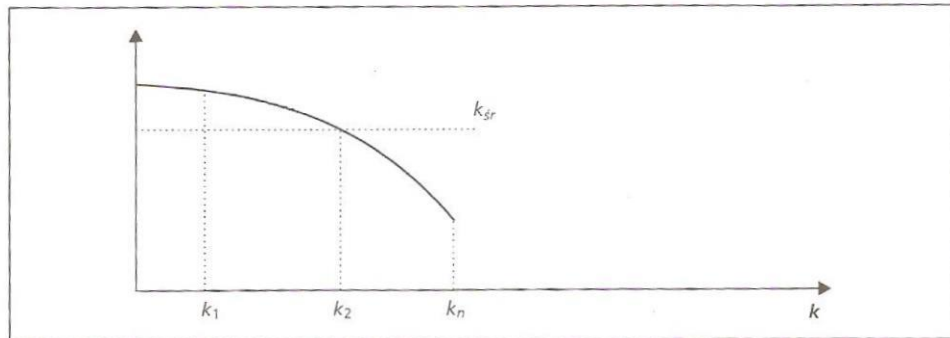
gdzie: $k_1 \neq k_2 \neq \dots \neq k_n$

a następnie zastosowanie tej średniej jako stopy dyskontowej dla wszystkich okresów:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{NCF}{(1+k_{\acute{s}r})^t}$$

Jednakże autor [74] pracy uważa, iż takie kształtowanie wielkości stopy dyskontowej jest znacznie przekłamane, gdyż krzywa rentowności może opadać albo wznosić się i spowoduje to, że początkowe przepływy pieniężne netto zostaną zdyskontowane zbyt niską (lub wysoką) stopą dyskontową.

Podobne zjawisko będzie miało miejsce później, gdzie przepływy pieniężne netto zostaną obliczona za pomocą zawyżonej (zaniżonej) stopy dyskontowej. Może to powodować znaczne przekłamania w wartości NPV (zawyżenie lub zaniżenie).



Rys. 5.1 Średnia stopa dyskontowa przy opadającej krzywej rentowności

Źródło: [33]

5.4.2. Wewnętrzna stopa zwrotu (Internal Rate of Return – IRR)

Pośród literatury przedmiotu mało pozycji opisuje trzy podstawowe założenia metody wewnętrznej stopy zwrotu IRR. Siudak [120] w swojej pracy mówi o założeniu polegającym na tym, iż krzywa rentowności (podobnie jak w metodzie NPV) jest płaska w całym cyklu życia inwestycji, zatem zakłada się też, że stopy dyskontowe są takie same przez cały okres życia projektu. Machała [74] wspomina o założeniu, iż dodatkowo przepływy pieniężnego netto (NCF_+) są reinwestowane do zakończenia ekonomicznego cyklu życia inwestycji według stopy reinwestycyjnej ($k_{rei} = IRR$). Ponadto, Dziworska [32] uważa, iż inwestycja obliczana przy pomocy metody wewnętrznej stopy zwrotu IRR jest inwestycją typową (przepływy pieniężne netto zmieniają znak tylko raz w całym cyklu życia inwestycji oraz w pierwszych latach zawsze są ujemne).

Istotą metody wewnętrznej stopy zwrotu (IRR) jest ustalenie stopy zwrotu, która reprezentuje rentowność całej inwestycji i jest jednocześnie stopą „wewnętrzną”, czyli zależną wyłącznie od wartości i rozłożenia w czasie przepływów pieniężnych netto generowanych przez inwestycję, a nie od zewnętrznych stóp zwrotu kształtowanych na rynku kapitałowym [88].

W uproszeniu można powiedzieć, iż wewnętrzna stopa zwrotu jest to stopa dyskontowa przy jakiej NPV przedsięwzięcia inwestycyjnego jest równa zero. Dlatego też IRR jest odpowiednikiem stopy dyskontowej, przy której w okresie analizy zaktualizowana wartość przychodów finansowych jest równa zaktualizowanej wartości nakładów, czyli cały nakład kapitałowy zwróci się.

Podczas obliczeń wartości bieżącej netto koniecznością jest określenie stopy dyskontowej założonej przez inwestora. Natomiast gdy inwestor jest zainteresowany tym, przy jakiej stopie dyskontowej, jego nakład inwestycyjny w danym okresie się zwróci, może posłużyć się narzędziem jakim jest metoda wewnętrznej stopy zwrotu IRR.

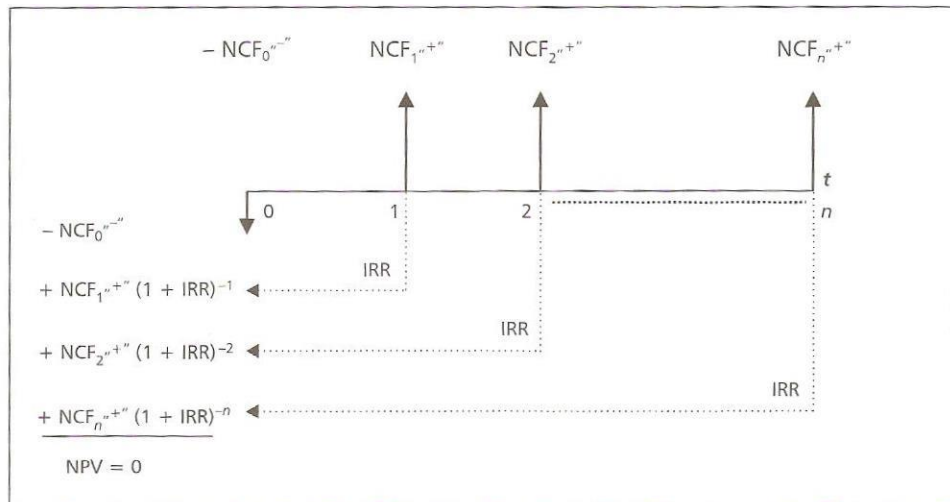
W sposób matematyczny wewnętrzną stopę zwrotu możemy przedstawić jako formułę równania NPV przy zastosowaniu stopy dyskontowej równej stopie granicznej (k_{gr}), dla której wielkość NPV będzie równa zero. Zatem można napisać [74]:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{NCF}{(1 + IRR)^t} = 0$$

Powyższy wzór stanowi ogólną postać formuły, określając sposób szacowania wartości IRR. W praktyce natomiast występują różne algorytmy formuły wewnętrznej stopy zwrotu. Wynika to z dwóch powodów:

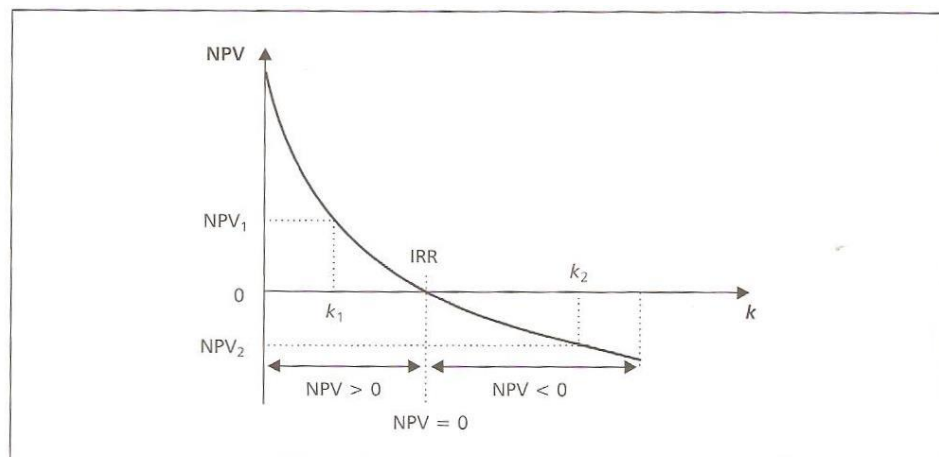
- *odmiennych metod obliczania przepływów pieniężnych netto (licznik),*
- *eliminacji założenia o równości stopy dyskontowej.*

Jajuga i Słoński [52] w swojej pracy przedstawiają algorytm szacowania IRR w sposób graficzny (Rys. 5.2), a istotę metody w Rys. 18



Rys. 5.2 Algorytm szacowania wewnętrznej stopy zwrotu

Źródło: [52], str. 104



Rys. 5.3 Metoda wewnętrznej stopy zwrotu w profilu NPV dla inwestycji typowej

Źródło: [52], str. 104

Metoda IRR, tak samo jak w przypadku metody NPV, umożliwia budowę obiektywnego kryterium decyzyjnego. Inwestycja jest opłacalna, gdy stopa zwrotu z kapitału zainwestowanego w projekt jest wyższa niż wymagana stopa zwrotu, inaczej wszystkie żądania dostawców kapitału są zaspokojone.

Kryterium decyzyjne oparte na metodzie wewnętrznej stopy zwrotu jest oparte na porównaniu IRR z wymaganą stopą zwrotu (k_{wym}), określającą również inne możliwości lokowania kapitału w inwestycje posiadające

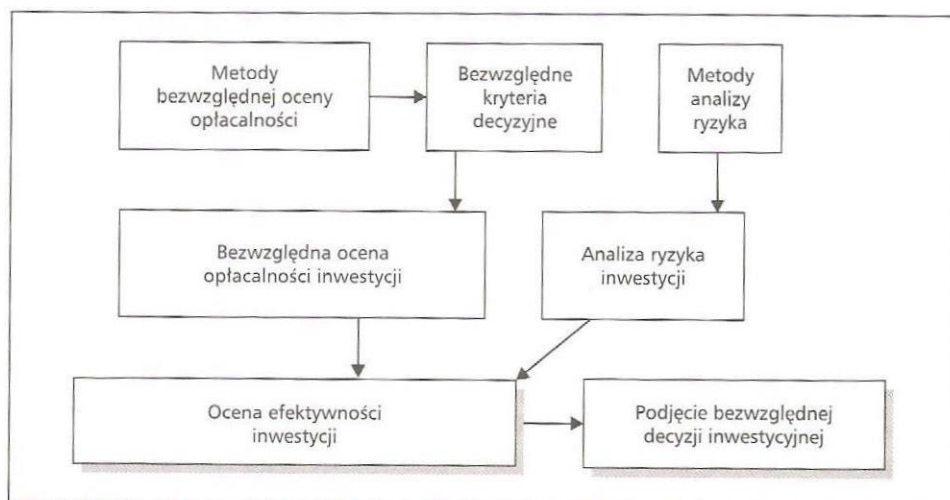
podobny stopień ryzyka. W sposób ogólny kryterium decyzyjne dla stopy zwrotu możemy przedstawić [111]:

- $IRR > k_{wym}$ – inwestycja jest opłacalna (akceptowalna)
- $IRR = k_{wym}$ – inwestycja jest neutralna (akceptowalna)
- $IRR < k_{wym}$ – inwestycja jest nieopłacalna (nieakceptowalna)

5.5. Metody analizy ryzyka

Jak wcześniej wspomniano, każda inwestycja jest obarczona ryzykiem, dlatego też należałoby uwzględnić je podczas analiz efektywności ekonomicznej każdego projektu.

Rogowski [111] pisze, iż *rozwój metod bezwzględnego rachunku efektywności inwestycji spowodował odejście od założeń deterministycznych w szacowaniu efektywności inwestycji (przyjmowanie w ocenie opłacalności poszczególnych zmiennych w wartościach prognozowanych) na rzecz probabilistycznego rozumienia efektywności inwestycji, czyli badania głównych zmiennych, które są przyjmowane nie na jednym, lecz na kilku możliwych poziomach, często wraz z odpowiadającymi im prawdopodobieństwami. Analiza ryzyka inwestycji przy ocenie ich efektywności pozwala podejmować trafne „właściwe” bezwzględne decyzje inwestycyjne* – Rys. 5.4.



Rys. 5.4 Model bezwzględnego rachunku efektywności inwestycji

Źródło: [111], str. 447

Poniższy podział metod analizy ryzyka bierze pod uwagę sposób ujmowania ryzyka w procesie decyzyjnym i jest najczęściej spotykanym i wykorzystywanym podziałem tych metod.

5.5.1. Bezpośrednie ujęcie ryzyka

W tych metodach ryzyko jest ujęte w sposób bezpośredni w algorytmie metody, zatem nie stanowią one odrębnego kryterium decyzyjnego (na podstawie takiego samego kryterium decyzyjnego jak dla opłacalności można podjąć decyzję).

Literatura podaje i omawia dwie najczęściej stosowane metody, które w sposób bezpośredni w swoich obliczeniach uwzględniają ryzyko. Metoda równoważników pewności oraz stopy dyskontowej uwzględniającej ryzyko.

Pierwsza z nich metoda *równoważnika pewności* (*Certainty Equivalent – CE*) mówi, iż oczekiwane przepływy środków pieniężnych są modyfikowane w celu odzwierciedlenia ryzyka z nim związanego [76]. A co za tym idzie, te przepływy które posiadają większy ryzyko są obniżane. Jest to spowodowane koniecznością rozpoznania „nieryzykownego odpowiednika” [75] ryzykownych środków pieniężnych zainwestowanych w dane przedsięwzięcie inwestycyjne.

Podczas obliczeń modyfikowane jest klasyczne równanie *NPV*, w którym ryzykowne przepływy pieniężne są zastępowane równoważnikami.

Powyższa metoda jest niezwykle korzystna, gdy przepływy pieniężne projektu dla różnych okresów mają inny stopień ryzyka. Jest to częste zjawisko, gdyż im dalej w czasie tym przewidywane przepływy pieniężne są obciążone większym ryzykiem.

W dalszej części pracy szerzej zostanie omówiona druga metoda oceny efektywności ekonomicznej, która w swoich obliczeniach uwzględnia ryzyko jest *metoda stopy dyskontowej uwzględniającej ryzyko* (*Risk Adjusted Rate – RADR*). Podobnie jak poprzednia metoda, ta również wprowadza czynnik ryzyka do kalkulacji *NPV*.

5.5.1.1. Metoda stopy dyskontowej z ryzykiem

Podstawowa zasada tej metody opiera się na założeniu, iż projekt inwestycyjny obciążony większym ryzykiem powinien posiadać większą stopę dyskontową niż projekt o mniejszym stopniu ryzyka, czyli wraz ze wzrostem ryzyka rośnie stopa dyskontowa jak i również ustalona przez inwestora stopa zwrotu z inwestycji obciążonej ryzykiem.

Jeśli w bezwzględnej ocenie opłacalności inwestycji jest stosowana metoda NPV, to spełnienie oczekiwań inwestorów oznacza konieczność zwiększenia stopy dyskontowej, która odzwierciedlałaby poziom ryzyka specyficznego, jakie ponoszą dostarczyciele kapitału. Metoda stopy dyskontowej z ryzykiem opiera się więc również na właściwości metody NPV dotyczącej spadku poziomu opłacalności inwestycji w przypadku zwiększania stopy dyskontowej (im wyższa stopa dyskontowa, tym niższa wartość NPV) [97]. Zatem by uwzględnić w stopie dyskontowej premię za ryzyko zwiększa się wymagania wobec inwestycji, co w rzeczywistości przekłada się na niższą wartość NPV, ale przy zapewnieniu dodatkowych marginesów bezpieczeństwa, bowiem akceptowalne są tylko inwestycje, których NPV jest większe lub równe zero.

Algorytm metody stopy dyskontowej w sposób ogólny można przedstawić:

$$k_{RADR} = \text{stopa bazowa} + \text{korekta w formie premii za ryzyko}$$

W zależności od sformułowania podstawowej stopy bazowej możemy przyjąć, że powyższy wzór ma postać [111]:

$$k_{RADR} = k_{RF} + r$$

lub:

$$k_{RADR} = k_{WACC^{AT}} + r$$

gdzie:

k_{RADR} – stopa dyskontowa uwzględniająca premię za ryzyko

k_{RF} – bazowa stopa dyskontowa wyrażona jako stopa zwrotu z inwestycji wolnej od ryzyka

r – procentowo wyrażona premia za ryzyko

$k_{WACC^{AT}}$ – bazowa stopa dyskontowa wyrażona jako koszt kapitału firmy –
 $WACC^{AT}$ (odpowiadający obecnemu ryzyku firmy)

Gdy podczas obliczeń NPV uwzględniamy metodę stopy dyskontowej z ryzykiem i uwzględniamy w ten sposób ryzyko inwestycji, to formuła NPV ma postać [111]:

$$NPV_{RADR} = \sum_{t=0}^n \frac{NCF_t}{(1 + k_{RADR})^t}$$

Ryzyko uwzględnia się w mianowniku powyższej formuły NPV, ujmując je w stopie dyskontowej, natomiast wartość współczynnika wartości bieżącej netto NPV oblicza się dla całego cyklu życia inwestycji.

Występują cztery metody szacunku premii za ryzyko [29]:

- *Metoda subiektywna (ekspercka)*
- *Metoda klasyfikacji (klas ryzyka)*
- *Metoda obiektywna (współczynnik zmienności)*
- *Metoda oparta na modelu wyceny aktywów kapitałowych*

Najczęściej w Polsce stosuje się metodę subiektywną do wprowadzenia ryzyka w stopie dyskonta, w której to metodzie decydent opierając się na swoim doświadczeniu i wiedzy dodaje do stopy bazowej punkty procentowe określające premię za ryzyko specyficzne. Sposób w jaki decydent określi wartość premii za ryzyko w metodzie subiektywnej różni się od stosowanych formuł w pozostałych metodach, gdyż wysokość premii jest całkowicie zależna od wiedzy i opinii eksperta. W pozostałych metodach wielkość premii za ryzyko wynika z matematycznych zależności pomiędzy ryzykiem a wymaganą stopą zwrotu.

W metodzie klasyfikacji sposób ustalania wielkości premii za ryzyko polega na klasyfikacji inwestycji do klasy ryzyka dla której określona jest wielkość premii za ryzyko, wdrażana w sposób procentowy. Zatem należy określić klasy ryzyka oraz odpowiednio premię za ryzyko dla każdej z nich.

W literaturze przedmiotu niektórzy autorzy proponują podział inwestycji na klasy i wielkość stopy dyskontowej z ryzykiem - Tab. 9 [111]

Tab. 9 Systemy klas ryzyka występujące w literaturze przedmiotu (kryterium – rodzaj przedsięwzięcia)

Autorzy	Rodzaj inwestycji	Stopa dyskontowa z ryzykiem (k_{RADR})
M. Dobija, D. Dobija, J. Kuchmacz (1993) [29]	Usprawnienie technologii wytwarzania produktu w celu obniżki kosztów	$0,75 \times WACC$
	Powiększenie skali działalności firmy	$1,0 \times WACC$
	Produkcja nowego wyrobu	$1,25 \times WACC$
	Inwestycje spekulacyjne	$2,0 \times WACC$
A. Skowronek, Z. Leszczyński (2001) [71]	Modernizacyjna	Stopa bazowa + 5%
	Rozwojowa	Stopa bazowa + 10%
	Spekulacyjna	Stopa bazowa + 20%

Źródło: 111 s. 516

Klasy ryzyka, które mogą być stosowane podczas ustalania premii za ryzyko mogą być ustalane według następujących kryteriów [29]:

- *długość ekonomicznego cyklu życia inwestycji – przyjmuje się, że poziom ryzyka jest tym wyższy, im dłuższy jest ekonomiczny cykl życia inwestycji (wadą takiego podejścia jest założenie o wykładniczym wzroście w czasie wymaganej premii za ryzyko, co może spowodować zbyt radykalną korektę wartości NPV i odrzucenie wielu opłacalnych inwestycji),*
- *branża – premię za ryzyko określa się, biorąc pod uwagę ryzyko branży, w której jest realizowana dana inwestycja,*
- *rodzaj inwestycji.*

W zagranicznej literaturze przedmiotu możemy spotkać inny sposób określania stopy dyskontowej z ryzykiem. Perridon i Steiner [96] w swojej pracy podporządkowują wysokość premii za ryzyko charakterowi wytwarzanego produktu (nowy, stary) oraz rynkowi, na którym produkt ma być sprzedawany (obecny, nowy) – Tab. 10

Tab. 10 Określenie wysokości stopy dyskonta z ryzykiem w relacji rynek – produkt

Sytuacja	Nominalna stopa dyskonta z ryzykiem (k_{RADR})	Premia za ryzyko
obecny rynek i znany rynek	10%	0%
obecny rynek i nowy produkt	15%	5%
nowy produkt i znany produkt	25%	15%
<i>nowy rynek i nowy produkt</i>	30%	20%

Źródło: [111] s. 90

W metodach bezpośrednio uwzględniających ryzyko analizę opieramy na obliczeniach współczynnika *NPV*. Natomiast literatura podmiotu opisuje metody, które są stosowane w praktyce i w sposób pośredni uwzględniają ryzyko. *Wyniki tych metod pokazują ryzyko mierzone odchyleniem standardowym albo informację o dopuszczalnych zmianach czynników wpływających na NPV* [97].

Inną koncepcję podziału premii za ryzyko w zależności od rodzaju inwestycji przedstawił Rogowski [111], którą przedstawia Tab. 11.

Tab. 11 Określenie premii za ryzyko w zależności od rodzaju inwestycji

Klasa ryzyka	Rodzaj inwestycji	Premia za ryzyko (w %)
I	odtworzenia	0
II	modernizacyjna	1-3
III	rozwojowa:	
IIIa	w obecnej branży	3,2-5
IIIb	w podobnej branży	5,1-8
IIIc	w zupełnie innej branży	powyżej 8

Źródło: [111] s. 517

Zarzutami wobec takich metod szacunku premii za ryzyko jest duży subiektywizm. By polepszyć procedurę, można zastosować podczas wyboru klas ryzyka jedną z statystycznych metod miar ryzyka, a mianowicie „współczynnik zmienności”, gdyż jest on wprost proporcjonalny do wielkości ryzyka, czyli gdy rośnie współczynnik wzrasta ryzyko inwestycji. W polskiej literaturze przedmiotu najczęściej spotykana jest propozycja z 1985 roku przedstawiona przez Neveu [84], którą prezentuje Tab. 12

Tab. 12 Kształtowanie się premii za ryzyko w zależności od współczynnika zmienności

Wartość współczynnika zmienności (CV)	Premia za ryzyko* (punkty procentowe)	Stopa dyskonta z ryzykiem k_{RADR} (w%)
0,0 – 0,1	0	k^{**}
0,1 – 0,3	1	$k + 1$
0,3 – 0,5	3	$k + 3$
0,5 – 0,7	6	$k + 6$
0,7 – 0,9	10	$k + 10$
0,9 – 1,1	15	$k + 15$
1,1 – 1,4	22	$k + 22$

* premia za ryzyko oszacowana przez odjęcie od stopy z ryzykiem k_{RADR} 8 punktów procentowych, co oddaje w przybliżeniu średni koszt kapitału (8%) dla inwestycji o niskim współczynnikiem zmienności. Według badań empirycznych realna stopa zwrotu z akcji w Stanach Zjednoczonych w latach 1926-1988 osiągnęła wartość 8,8% i zawiera premię za ryzyko w przybliżeniu 8,3%

** k – bazowa stopa dyskonta (rentowność inwestycji bez ryzyka lub obecny średni ważony koszt kapitału)

Źródło: [111] s. 64

Z teoretycznego punktu widzenia najwłaściwszą metodą określania stopy dyskontowej uwzględniającej ryzyko jest metoda oparta na modelu wyceny aktywów kapitałowych [111]. Wzór w metodzie przedstawia relację pomiędzy stopą zwrotu a ryzykiem na zrównoważonym rynku kapitałowym, ponadto zakłada się że inwestycje posiadające zbliżony poziom ryzyka mają zbliżoną stopę zwrotu z inwestycji. Stopę dyskontową z ryzykiem można zatem obliczyć z równania:

$$k_{RADR} = k_{RF} + \beta_p(k_M - k_{RF})$$

gdzie:

k_{RADR} – stopa dyskontowa uwzględniająca premię za ryzyko

k_{RF} – rentowność inwestycji bez ryzyka

k_M – rentowność alternatywnych inwestycji kapitałowych

r – procentowo wyrażona premia za ryzyko

β_p – współczynnik beta inwestycji, odzwierciedlający ryzyko systematyczne danej inwestycji

Jednakże, obliczając stopę dyskonta z ryzykiem, przy pomocy tej metody nie uwzględniamy ryzyka specyficznego inwestycji. Dodatkowo obliczenie współczynnika β_p jest bardzo trudne, a nawet w wielkości inwestycji niewykonalne. Stąd z czasem zaczęto przyjmować uproszczony scenariusz, iż współczynnik ten jest równy współczynnikowi beta firmy, która realizuje daną inwestycję.

5.5.2. Pośrednie ujęcie ryzyka

W metodach bezpośrednio uwzględniających ryzyko analizę opieramy na obliczeniach współczynnika NPV. Natomiast literatura podmiotu opisuje metody, które są stosowane w praktyce i w sposób pośredni uwzględniają ryzyko. Wyniki tych metod pokazują ryzyko mierzone odchyleniem standardowym albo informację o dopuszczalnych zmianach czynników wpływających na NPV [97].

5.5.2.1. Analiza scenariuszy

W analizie scenariuszy, którą można przeprowadzać według modelu zagregowanego i zdezagregowanego, uwzględnia się zarówno wrażliwość zmiennej objaśnianej (na przykład NPV) na zmiany niezależnych zmiennych objaśniających, jak i zakres najbardziej prawdopodobnych wartości niezależnych zmiennych objaśniających [7].

Główną zasadą tej metody jest dobranie scenariuszy w taki sposób, by zakładane zmienne występujące w algorytmie były niezależne oraz by przyjmowały określone wartości w przyszłości, które będą się różnić od tych przyjętych w rachunku deterministycznym. Nowe wielkości zmiennych mogą być zarówno większe jak i mniejsze od tych założonych na początku analizy.

Analiza scenariuszy opiera się na tworzeniu różnych, alternatywnych scenariuszy w stosunku do podstawowego (bazowego). Scenariusze te zawierają w sobie przebieg przyszłych zdarzeń, które mają ścisły wpływ na ocenę efektywności inwestycji. Podstawowe ale również najtrudniejsze zadania podczas stosowania analizy scenariuszy jest określenie, co ma

przedstawić dany scenariusz, jak należy go interpretować. Scenariusze można podzielić na dwie grupy: te które, dotyczą zmian ilościowych parametrów wyjściowych i te, które dotyczą zmian jakościowych w rozwoju. *Scenariusze opisujące zmiany ilościowe są próbą rozszerzenia informacji o opłacalności inwestycji przez poznanie rozkładu statystycznego badanej zmiennej objaśnianej (np. NPV) [89].* Ponadto scenariusz bazowy powinien być tak zbudowany by obrazować najbardziej prawdopodobny przebieg zdarzeń oraz wartość wszystkich zmiennych w przyszłości.

Można wyróżnić dwa etapy analizy scenariuszy. W pierwszym z nich opisuje się scenariusze określające wartość poszczególnych zmiennych. Należy jednak pamiętać, że w literaturze przedmiotu nie podaje optymalnej liczby scenariuszy, gdyż nie ma pod tym względem zgodności, jednakże zaleca się tworzenie co najmniej trzech grup scenariuszy, (analiza OBP) [113] :

- *optymistycznego (optimistic, O), w którym niezależne zmienne objaśniające są przyjmowane na poziomie najbardziej optymistycznym (wyższym dla stymulant, niższym dla destymulant),*
- *bazowego (basic, B), w którym niezależne zmienne objaśniające są przyjmowane w wartościach założonych dla analizowanej inwestycji w ocenie opłacalności (w rachunku deterministycznym),*
- *pesymistycznego (pessimistic, P), który jest sporządzany dla najbardziej pesymistycznych wartości niezależnych zmiennych objaśniających (na poziomie niższym dla stymulant, wyższym dla destymulant).*

Zgoła odmienne podejście przedstawia Ostrowska, która proponuje wyróżnić pięć scenariuszy [89]:

- *bardzo dobre tendencje rozwoju w gospodarce, czyli makrogospodarczy i mezogospodarczy wzrost koniunktury*
- *dobre tendencje makrogospodarcze i mezogospodarcze*
- *przeciętny rozwój (scenariusz zbliżony do normalnego stanu gospodarczego kraju, będący odzwierciedleniem aktualnej sytuacji państw o rozwiniętej gospodarce)*

- *trudności w rozwoju gospodarki – przejściowe lub występujące jako symptomy niewielkiej recesji*
- *zły stan rozwoju gospodarki, czyli recesja*

W rozprawie uważa się, że tego typu podział jest nie do końca trafny bowiem scenariusze oparte są na stanie gospodarki, a co za tym idzie głównie na ryzyku systematycznym a nie na ryzyku specyficznym, które ma znaczący wpływ na ocenę efektywności inwestycji.

W literaturze przedmiotu Ross, Westerfield oraz Jordan [106] przedstawili koncepcję nieskończonej ilości scenariuszy. Poza trzema podstawowymi zaproponowali poboczne oparte na wartościach pośrednich, stąd tworzą się scenariusze umiarkowanie pesymistyczne czy umiarkowanie optymistyczne. Kolejną odmienną koncepcję przedstawia Marcinek [77], który twierdzi, że należy ograniczyć ilość scenariuszy do dwóch: bazowego i pesymistycznego. Jednakże w tym przypadku ryzyko jest traktowane wyłącznie negatywnie i w rozprawie odrzucono ten sposób myślenia.

Drugim etapem podczas analiz scenariuszy są obliczenia wartości dla każdego scenariusza osobno zmiennej określonej, najczęściej jest to wielkość NPV.

Możemy wyróżnić cztery modelowe sytuacje podczas analiz metody scenariuszy, gdy założymy, że dla każdego scenariusza inwestycja może być nieopłacalna i opłacalna. Schemat ten przedstawiono w tabeli 13.

Tab. 13 Schemat analizy metody scenariuszy

Warianty	scenariusz		
	optymistyczny	bazowy	pesymistyczny
I	+	+	+
II	+	+	-
III	+	-	-
IV	-	-	-

Źródło: [23]

W I wariacie inwestycja we wszystkich trzech scenariuszach jest efektywna, nawet w pesymistycznym należy uznać iż inwestycja jest do przyjęcia. Natomiast w wariacie IV inwestycja jest całkowicie nie do przyjęcia, gdyż jest nieopłacalna nawet w optymistycznym scenariuszu.

W wariantcie III błędna decyzja obarczona jest wysokim ryzykiem i decydent często musi subiektywnie ocenić, czy rozpocząć daną inwestycję czy nie.

Jednak najczęstszym scenariuszem z jakim mierzą się decydenci jest wariant II, gdzie inwestycję możemy uznać za opłacalną w dwóch scenariuszach, zarówno optymistycznym jak i bazowym. Zatem konieczne jest przyrównanie wartości oszacowanego NPV dla scenariusza bazowego i pesymistycznego. *Im większa jest wartość NPV dla scenariusza bazowego, tym mniejsze ryzyko przyjęcia do realizacji nieopłacalnej inwestycji. W wypadku właściwie zdefiniowanych scenariuszy ujemna wartość NPV dla scenariusza pesymistycznego określa maksymalną wartość straty, jaką firma może ponieść, realizując daną inwestycję. Jeśli strata ta nie wiąże się z poważnymi konsekwencjami finansowymi (na przykład bankrutem), to inwestycja nie zagrazi przyszłości firmy, można ją więc realizować (jest efektywna: opłacalna i na akceptowalnym poziomie ryzyka) [74].*

5.5.2.2. Metoda symulacyjna Monte Carlo

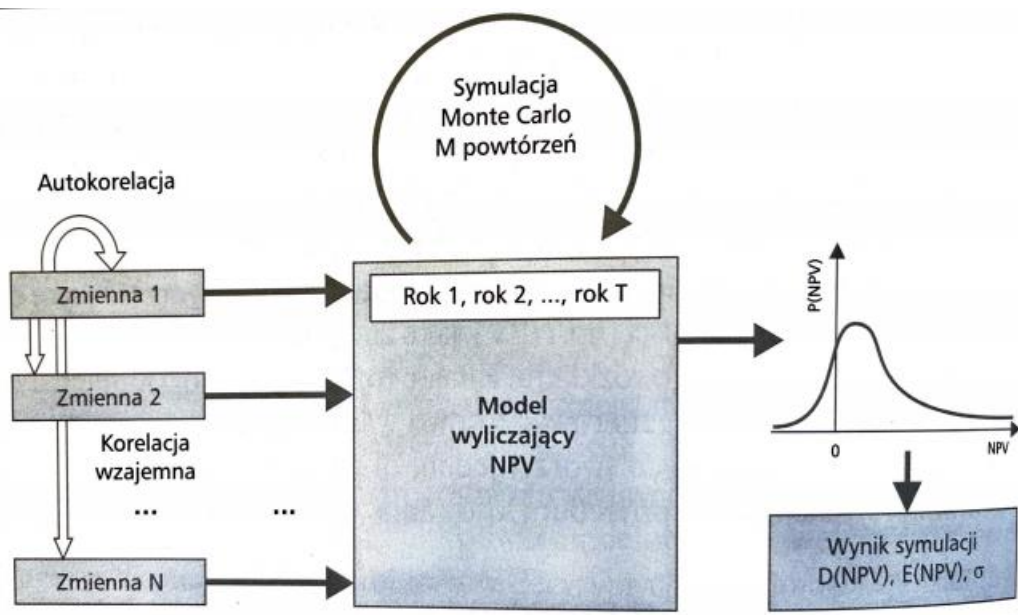
Wszystkie założenie metody symulacyjnej Monte Carlo opierają się na dwóch twierdzeniach: *twierdzeniu granicznym i prawie wielkich liczb, które od XVII wieku zajmują w teorii prawdopodobieństwa rolę szczególną [57]. Twierdzenia te informują o tym, co dzieje się z prawdopodobieństwem zdarzeń, jeśli liczba doświadczeń/symulacji jest bardzo duża (zbiega do nieskończoności) i zajmują się określeniem prawidłowości stochastycznych zdarzeń masowych [116].* By prawidłowo opisać i zdefiniować złożony proces decyzyjny konieczne jest zastosowanie podejścia symulacyjnego, gdyż pozwoli to na sformułowanie bardzo złożonych, dynamicznych problemów decyzyjnych.

Historycznie pierwszy raz metodę przedstawił w 1964 roku Hertz [49]. Najprościej analizę symulacyjną Monte Carlo można określić jako zbiór metod numerycznych, które wykorzystywane są do rozwiązania matematycznych zagadnień poprzez próbkowanie losowe.

Odwołując się do definicji leksykalnej słowa „symulacja” można powiedzieć, że to stworzenie takiego modelu, przy pomocy którego można odtworzyć zachowanie się danego obiektu czy odtworzenie konkretnego zjawiska.

Za pomocą analiz rozkładu wyników, które otrzymano w wyniku symulacji można obliczyć prawdopodobieństwo tego czy inwestycja jest nieopłacalna ($NPV < 0$) lub opłacalna ($NPV > 0$).

Istota koncepcji wykorzystania analizy symulacyjnej Monte Carlo do analizy ryzyka specyficznego inwestycji opiera się na zdefiniowaniu wybranych zmiennych wyjściowych w deterministycznym modelu finansowym służącym do wyliczenia poziomu opłacalności (np. NPV), jako zmiennych losowych o znanym rozkładzie i parametrach tego rozkładu. Znając rozkład prawdopodobieństwa i jego parametry, można wygenerować losowo wartości tak, aby wylosowany zestaw zmiennych wyjściowych tworzył jeden, określony scenariusz rozwoju modelowej sytuacji [86]. Dalej analizując otrzymane rezultaty można przeprowadzić badania rozkładu prawdopodobieństwa parametrów i obliczyć prawdopodobieństwo np. tego czy inwestycja będzie opłacalna. Schemat metodyczny metody Monte Carlo został przedstawiony na Rys. 5.5.



Rys. 5.5 Idea metody symulacyjnej Monte Carlo

Źródło: [132], s.202

Metoda Monte Carlo jest to metoda, zbudowana z czterech głównych etapów, które wymienia w swojej publikacji Wiśniewski [132]:

- [1]. *Konstrukcji modelu finansowego,*
- [2]. *Zdefiniowania wejściowych zmiennych stochastycznych, ich rozkładów i wzajemnych powiązań,*
- [3]. *Iteracyjnego przeliczenia modelu z wykorzystaniem wielu zestawów danych wejściowych wynikających z losowania według założeń przyjętych w drugim etapie,*
- [4]. *Statystycznej analizy struktury otrzymania wyników i jej interpolacji.*

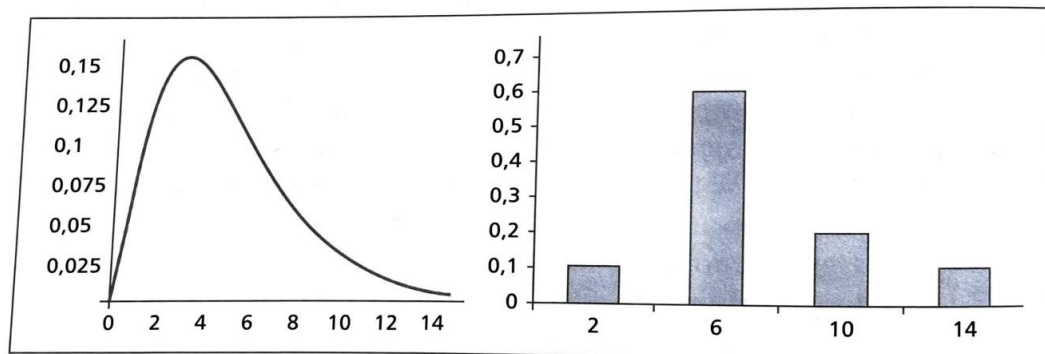
1. Etap pierwszy oparty jest na stworzeniu modelu finansowego opierającego się na najbardziej prawdopodobnych wartościach zmiennych bazowych. Zmienne te możemy przydzielić do trzech grup: zmienne rynkowe, nakłady inwestycyjne, koszty. Model ten jest podstawą oceny opłacalności inwestycji w warunkach deterministycznych, jednakże należy dokonać w nim pewnych modyfikacji, by stworzyć z niego model deterministyczno – stochastyczny, poprzez wyodrębnienie zmiennych kluczowych (tzw. zmiennych losowych), czyli takie których wartości mają znaczący wpływ na opłacalności inwestycji.

Model finansowy powinien przedstawić przyszłe przepływy pieniężne w zależności od opisu parametrów wejściowych modelu. Opis zaś parametrów wejściowych powinien odzwierciedlać naszą wiedzę o prognozowanym zjawisku oraz o ryzyku co do kształtowania się go w przyszłości. Jeśli za pomocą rozkładów prawdopodobieństwa opiszemy odpowiednio dużą liczbę parametrów modelu, a następnie wyniki uwzględniamy w procesie szacowania NPV, otrzymamy po przeprowadzeniu odpowiednich symulacji informację nie tylko o wartości oczekiwanej NPV, ale też o prawdopodobieństwie przyjęcia przez NPV odpowiednich zakresów wartości [99].

2. Kolejny etap polega na selekcji i wyborze takich zmiennych bazowych, które posiadają wysoką zmienność oraz wpływają w sposób znaczący na opłacalność inwestycji. Dodatkowo w metodzie symulacji nie ma żadnych ograniczeń, jeżeli chodzi o ilość zmiennych. Ponadto znany jest rozkład prawdopodobieństwa dla każdego rodzaju zmiennych,

na których buduje się model finansowy potrzebny do określenia opłacalności inwestycji.

W tym etapie należy podjąć decyzję, jaki rozkład prawdopodobieństwa zastosujemy podczas analizy - rozkład dyskretny czy ciągły – który posłuży nam do opisu wybranej zmiennej. Różnice pomiędzy tymi dwoma rozkładami przedstawia Rys. 5.6. Jak widać w rozkładzie dyskretnym mamy skończoną liczbę możliwych zdarzeń, natomiast w rozkładzie ciągłym ilość zdarzeń jest nieskończona.



Rys. 5.6 Rozkład ciągły (lewy wykres) i dyskretny (prawy wykres)

Źródło: [111]

W ilustracji po lewej stronie mamy przedstawiony rozkład ciągły, gdzie zmienna losowa na nim przedstawiona może przyjąć dowolną wartość z przedziału (0;14). Natomiast wykres po prawej stronie ilustracji przedstawia rozkład dyskretny a zmienna losowa w nim opisywana może przyjąć jedynie jedną z czterech wartości (1;5;9;13).

Następnie, za zakończenie należy wybrać typ rozkładu prawdopodobieństwa oraz zakresu zmienności oraz rozkładów zmiennych bazowych, definiując zależności między nimi, ponadto określeniu parametru celu (najczęściej wartość opłacalności mierzona przy pomocy metody NPV).

3. Trzecim etapem w analizie Monte Carlo jest przeprowadzenie symulacji w ilości od kilkuset do kilku tysięcy. Podczas tych symulacji należy również wprowadzić zmiany wybranych zmiennych, w ramach określonych rozkładów oraz przy zachowaniu wszystkich zależności

występujących między nimi. W ten sposób otrzymujemy rozkład prawdopodobieństwa wielkości opłacalności inwestycji. Dokładność analizy Monte Carlo jest ściśle związana z ilością symulacji jakie wykonamy, im więcej tym bardziej prawdopodobny wynik otrzymamy.

Damodaran w swojej publikacji [20] opisuje, iż liczba symulacji, które należy przeprowadzić w metodzie Monte Carlo jest zależna od trzech elementów:

- *Ilości probabilistycznych danych wyjściowych – im większa ilość danych wejściowych z przypisanymi rozkładami prawdopodobieństwa, tym większa wymagana liczba symulacji,*
- *cech rozkładu prawdopodobieństwa – im większa liczba analizowanych rozkładów, tym większa liczba wymaganych symulacji, dlatego też liczba wymaganych symulacji będzie mniejsza w przypadku symulacji, gdy wszystkie dane wejściowe mają rozkład normalny, niż w przypadku, gdy część ma rozkłady normalne, część oparta jest na rozkładach historycznych, a część jest dyskretna (punktowa),*
- *różnic w wynikach – im większa potencjalna różnica pomiędzy wynikami w przypadku danego typu danych, tym większa liczba koniecznych symulacji.*

Ostatni, czwarty etap analizy Monte Carlo polega na analizie i interpretacji uzyskanych wyników, wykorzystując narzędzia statystyczne.

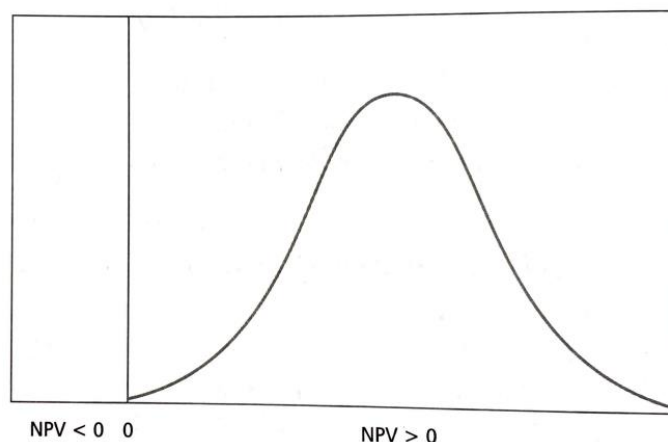
Rogowski [111] w swojej pracy pisze, iż możliwość stosowania metody symulacyjnej Monte Carlo podczas analizy ryzyka inwestycji jest zależna od:

- *dostępności informacji niezbędnych do przeprowadzenia analizy (brak informacji jest istotną przeszkodą w wykorzystaniu tej metody),*
- *wielkości i znaczenia inwestycji (czynniki te decydują o kosztach analiz, które w wypadku małych inwestycji mogą być za wysokie w stosunku do osiągniętych korzyści),*
- *długości ekonomicznego cyklu życia inwestycji (im dłuższy cykl, tym większe znaczenie analizy Monte Carlo),*
- *wiedzy oraz zainteresowania decydentów nowoczesnymi metodami analizy ryzyka inwestycji.*

Wyniki otrzymane przy zastosowaniu obliczeń metodą Monte Carlo dostarczają decydentowi informacje pozwalające podjąć decyzję inwestycyjną. Ponadto przedstawione są przy pomocy rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej objaśnionej (np. NPV). Przy zastosowaniu tej metody kryterium decyzyjne bazuje na efektywności, a nie tylko na opłacalności, stąd przedstawia się trzy sytuacje, które mogą nastąpić:

- $NPV > 0$ dla wszystkich symulacji – inwestycja ekonomicznie opłacalna
- $NPV < 0$ dla wszystkich symulacji – inwestycja ekonomicznie nieopłacalna
- $NPV > 0$ lub $NPV < 0$ dla części symulacji – konieczność zastosowania dodatkowych miar oceny

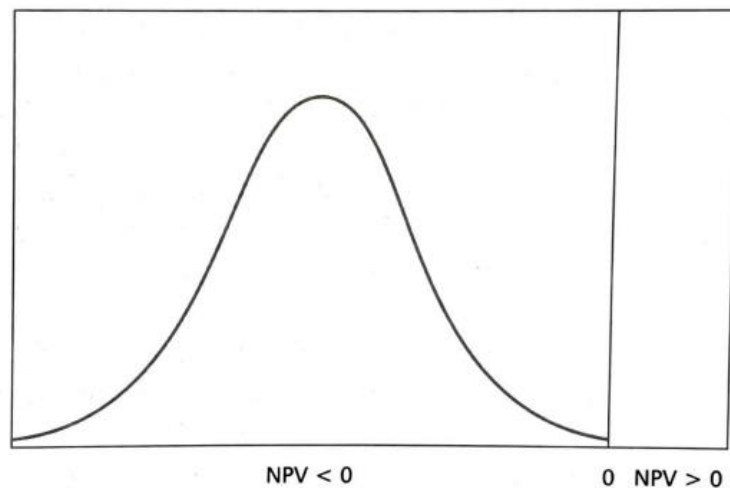
Gdy mamy do czynienia z przypadkiem $NPV > 0$ dla wszystkich symulacji, funkcja gęstości zmiennej NPV leży zdecydowanie na prawo od zera Rys. 5.7. Obrazuje to przypadek, w którym prawdopodobieństwo, że $NPV < 0$ jest równe zero, co oznacza, iż zanalizowana inwestycja jest we wszystkich scenariuszach (nawet tych pesymistycznych) całkowicie opłacalna.



Rys. 5.7 Funkcja gęstości, dla której $NPV > 0$

Źródło: [111]

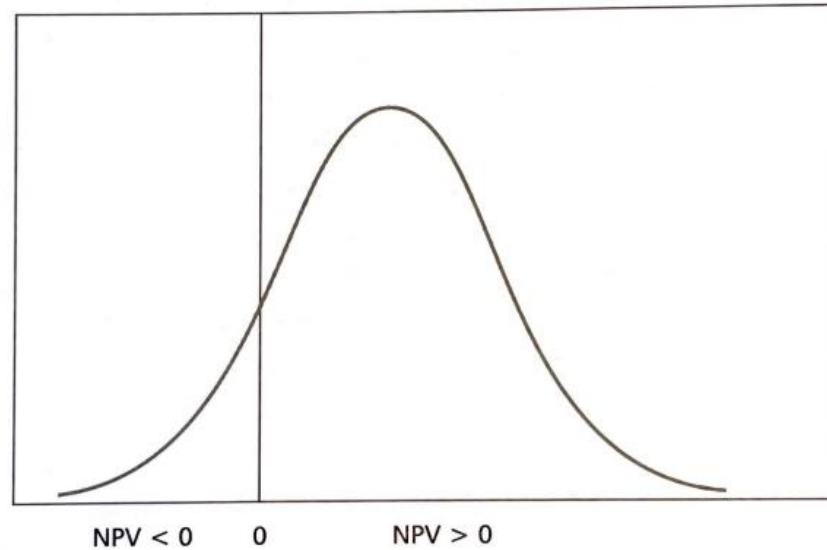
Sytuację przeciwną, w której $NPV < 0$ dla wszystkich scenariuszy, przedstawia rysunek (Rys. 5.8). Widać na nim, że funkcja gęstości rozkładu NPV leży na lewo od osi rzędnych. Z takiego rozkładu prawdopodobieństwa wynika, że nawet najbardziej optymistyczny scenariusz przedstawia inwestycję nieopłacalną ekonomicznie.



Rys. 5.8 Funkcja gęstości, dla której $NPV < 0$

Źródło: [111]

Jednakże, najtrudniejszy przypadek stanowi ostatnia sytuacja, gdy $NPV > 0$ lub $NPV < 0$ tylko dla części scenariuszy. Jak przedstawiono na Rys. 5.9. w takim wypadku należy stworzyć zmodyfikowane kryterium decyzyjne, które zawiera specyficzne i indywidualne preferencje decydenta. Należy również wykorzystać pełniejszą analizę ryzyka dotyczącego inwestycji (np. współczynnik zmienności (CV) - Contingent Valuation lub prawdopodobieństwo straty).



Rys. 5.9 Funkcja gęstości, dla której $NPV < 0$ i $NPV > 0$

Źródło: [111]

Współczynnik zmienności (CV) jest częstym miernikiem wykorzystywanym podczas analiz stopnia ryzyka inwestycji. Im niższa jest wartość współczynnika tym stopień zróżnicowania zmiennej objaśniającej jest mniejszy. Zakładając, że $E(NPV) > 0$, a jej rozkład jest zbliżony do normalnego, to dla $CV=1$ prawdopodobieństwo tego, że $NPV < 0$ wynosi 16%, a dla $CV=0,5$ już tylko około 2,5%. Z drugiej strony dla $CV=3$ prawdopodobieństwo przyjęcia przez NPV wartości ujemnej wynosi już około 37%. Rzeczywisty poziom prawdopodobieństwa zależy oczywiście od rozpatrywanego typu rozkładu, jednakże zasada postępowania jest jednakowa - im niższa wartość CV, tym poziom ryzyka związanego z realizacją inwestycji jest mniejszy [104].

Prawdopodobieństwo straty to miara ukazująca prawdopodobieństwo wartości ujemnych przyjmowanych przez zmienną objaśnianą (NPV). Rozkład ten może być obliczany przy pomocy dwóch metod: na podstawie rozkładu empirycznego, jak i również na podstawie odpowiadającego mu rozkładu teoretycznego zmiennej objaśnianej. W obu powyższych przypadkach analiza polega na obliczeniu kwantyla rozkładu prawdopodobieństwa, w którym $NPV=0$, bądź jest bardzo bliskie zero.

Ważnym uzupełnieniem pomiaru ryzyka na podstawie analizy stymulacyjnej jest obliczenie skumulowanego prawdopodobieństwa osiągnięcia przez NPV wartości z określonego przedziału wartości. W tym celu wykorzystuje się oszacowanie w ostatnim etapie analizy symulacyjnej krzywe gęstości prawdopodobieństwa wraz z parametrami rozkładu (wartością oczekiwaną i odchyleniem standardowym w wypadku rozkładu normalnego) [65].

Literatura przedmiotu wskazuje na dwa istotne problemy występujące podczas stosowania metody Monte Carlo, które dotyczą

- sposobu w jakim zostanie dobrany rozkład statyczny, który opisuje wszystkie czynniki ryzyka (w sposób obiektywny lub subiektywny),
- przedstawienia zależności liniowych, które występują między czynnikami ryzyka.

Problemem, który w znacznym stopniu dotyczy inwestycji o bardzo wysokim ryzyku, którym obarczone są poszczególne zmienne bazowe, jest to, że w wyniku symulacji możemy otrzymać bardzo duże zakresy zmienności wartości wyniku efektywności inwestycji. Co ostatecznie może doprowadzić do płaskiego rozkładu wartości, który będzie bardzo trudny do zinterpretowania.

Ponadto, wielu badaczy ma zastrzeżenia dotyczące metodyki metody Monte Carlo, a dokładnie *do poprawności założenia o możliwości zmiany wartości przepływów pieniężnych (w wyniku symulacji) bez odpowiedniej korekty stopy dyskontowej (zarówno w górę jak i w dół)* [82]. Stąd w rozprawie doktorskiej zastosowano połączenie metody stopy zwrotu z ryzykiem wraz z metodą Monte Carlo, by taka rozszerzona metoda symulacyjna stała się odpowiednim narzędziem do oceny efektywności inwestycji realizowanych przy pomocy narzędzi elastycznych.

5.5.2.3. Inne metody ujmujące ryzyko w sposób pośredni

Analiza wrażliwości to analiza, w której przy założeniach zmian wartości różnych zmiennych (np. cena, koszty, przepływy) wchodzących w skład obliczeń, ukazuje się opłacalność projektu inwestycyjnego. Podstawowym założeniem cechującym tą metodę jest fakt, iż przyszłość jest na tyle nieprzewidywalna, że rzeczywiste wartości poszczególnych zmiennych będą na przełomie czasu odchyłać się od założonych. Dzięki temu, można określić które zmienne mają rzeczywisty wpływ na wartość ekonomiczną projektu inwestycyjnego. Pozwala to wyeliminować zmienne, które nacechowane są znaczą zmiennością, ale mają znikomy wpływ na finalną opłacalność inwestycji.

Analiza wrażliwości ma również negatywne strony, gdyż uwzględnia tylko i wyłącznie wpływ poszczególnych zmiennych osobno, nie bierze pod uwagę działania wielu zmiennych jednocześnie.

Drugą metodą pośrednio uwzględniającą ryzyko jest *metoda drzewa decyzyjnego* (*Decision Tree Analysis – DTA*). Metoda ta w sposób graficzny przedstawia możliwe decyzje inwestycyjne, które mogą zostać podjęte w różnych momentach realizacji projektu. Jednocześnie pokazuje zależność pomiędzy poszczególnymi decyzjami i przypisuje każdemu z nich wartości prawdopodobieństwa. Każdy wariant, który został ujęty na drzewie decyzyjnym pomnożony przez zysk z projektu pokazuje rozkład korzyści dla poszczególnych decyzji.

6. Metoda FLEXICON

6.1. Specyfika realizacji inwestycji infrastrukturalnych

Metoda, która została opracowana w niniejszej rozprawie dedykowana jest projektowaniu i eksploatacji obiektów budowlanych oraz urządzeń infrastruktury, których celem jest umożliwienie przemieszczania się osób, towarów, informacji czy energii. Ponadto infrastruktura powinna zapobiegać powstaniu i rozprzestrzenieniu się negatywnych skutków działalności człowieka na środowisko. Sama istota infrastruktury określa jej szczególną rolę w rozwoju społecznym kraju i jego regionów jako podstawę tego rozwoju [56]. Stąd tematyka poruszana w rozprawie jest ważna z punktu widzenia funkcji jaką pełni infrastruktura w całym społeczeństwie i gospodarce.

Problematyka przepustowości i obciążenia ruchem uznana jest w rozprawie jako najistotniejsza i na niej zostały oparte analizy, gdyż prawidłowo działający system infrastrukturalny, przynoszący korzyści nie tylko materialne, stanowi dobro publiczne gwarantujące rozwój. Rola infrastruktury jako czynnika rozwoju jest zgodna z teorią *wielkiego pchnięcia*, oznacza to, iż odpowiednia alokacja zasobów sprzyja zapoczątkowaniu rozwoju, a następnie stymuluje jego samopobudzenie. Infrastruktura jest ważnym czynnikiem sprawczym rozwoju społeczno – gospodarczego [93].

Jednakże obecnie coraz częściej dostrzega się problemy powstałe na skutek niedostosowania przestarzałej infrastruktury do aktualnych potrzeb, użytkowanie pierwotnie złych projektów i brak możliwości ich zmiany w czasie oraz błędna prognoza ruchu dla danej inwestycji. Szereg tych czynników decyduje o szybszym zużyciu moralnym infrastruktury. By temu zapobiegać w rozprawie zaproponowano stosowanie elastycznego podejścia do projektowania, rozumianego jako szereg przyszłych możliwości do wykorzystania. By wykazać słuszność tego rozwiązania przeprowadzono analizę dwóch rozwiązań: typowego, opartego na tradycyjnych metodach projektowych (Big One) i elastycznego (Step By Step). Do badań i dowodu słuszności tezy posłużono się następującymi inwestycjami: parking typu Park&Ride, ciąg drogi ekspresowej S5 oraz

fragment autostrady A2 (obwodnica miasta Poznania). Do analiz porównawczych rozwiązań elastycznych i tradycyjnych użyto narzędzi symulacyjnych przy wykorzystaniu różnych scenariuszy, gdyż istotną cechą ekonomiczną infrastruktury jest szansa osiągnięcia korzyści dla różnych warunków zewnętrznych.

Ponadto obiekty infrastrukturalne charakteryzują się długim okresem użytkowania, nierzadko przekraczającym 100 lat. Według przeprowadzonych badań przez Wojewódzką – Król [138] drogi kołowe wykazują się cyklem życia w przedziale 15-30 lat, skrzyżowania 70-100 lat, a mosty betonowe aż od 90 do 110 lat. Tak długi okres żywotności obiektów infrastruktury wymusza konieczność przeprowadzenia badań przyszłych potrzeb oraz możliwości ich jak najszybszego zaspokojenia, gdyż błędy na tym etapie będą odczuwalne i kosztowne w przyszłości. Po raz drugi idealną odpowiedzią na te zapotrzebowanie są narzędzia elastyczne, które dają perspektywę sformułowania właściwej odpowiedzi dla możliwych do wystąpienia scenariuszy.

Inwestycje infrastrukturalne - z punktu widzenia bardzo dużych przyszłych potrzeb oraz ograniczeń finansowania - wymagają drobiazgowych badań i przemyśleń, by efektywnie alokować zasoby. Konieczne jest zatem sporządzenie oceny efektywności ekonomicznej inwestycji według określonych standardów i procedur oraz z uwzględnieniem wymagań stawianych przez UE. W rachunku efektywności takich inwestycji niezbędne jest zastosowanie metod, które dają możliwość oceny alternatywnych wariantów i rozwiązań inwestycji. Dodatkowo zmiany ruchu mają istotny, bezpośredni wpływ na rozmiar efektów zewnętrznych wynikających z transportu.

Wszystkie wyżej wymienione cechy mają znaczący wpływ na wybór metodyki prowadzonych analiz i oceny efektywności inwestycji infrastrukturalnych. W pracy dobrano dwie metody (metodę Wartości Bieżącej Netto – NPV oraz metodę scenariuszy), które dostarczyły informacji wzajemnie się dopełniających i wykluczyły sprzeczne decyzje.

Infrastruktura powinna stopniowo dostosowywać się do wzrastającego popytu na jej usługi. Metody przeprowadzenia analiz zastosowane w rozprawie opierają się na całym okresie ekonomicznym cyklu życia, jednocześnie ze względu na bardzo długie okresy użytkowania uwzględniają zmienną wartość pieniądza w czasie.

W praktyce inżynierskiej w projektach (w realizacji projektów) infrastruktury stosuje się zwiększenie nakładów inwestycyjnych o tzw. rezerwę w wysokości 10 – 30% oszacowanych pierwotnie nakładów, która ma zabezpieczyć inwestycję przed ryzykiem ich niedoszacowania. Takie działanie, choć wypływa wprost z podejścia pragmatycznego, opartego na doświadczeniu życiowym, nie jest właściwe. Nie dostarcza ono bowiem informacji ani o wielkości ryzyka związanego z danym przedsięwzięciem, ani o wpływie zmian elementów rachunku na efektywność przedsięwzięcia. Konieczne jest więc stosowanie sformalizowanych metod oceny ryzyka, które są źródłem wielu istotnych informacji wspomagających proces decyzji inwestycyjnych [78]. Dlatego też w rozprawie przyjęto metodę symulacji Monte Carlo (do prognozy obciążenia ruchem), która przez wielu badaczy jest uważana za najlepszą metodę, poprawiającą informację zarówno w sensie ilościowym jak i jakościowym.

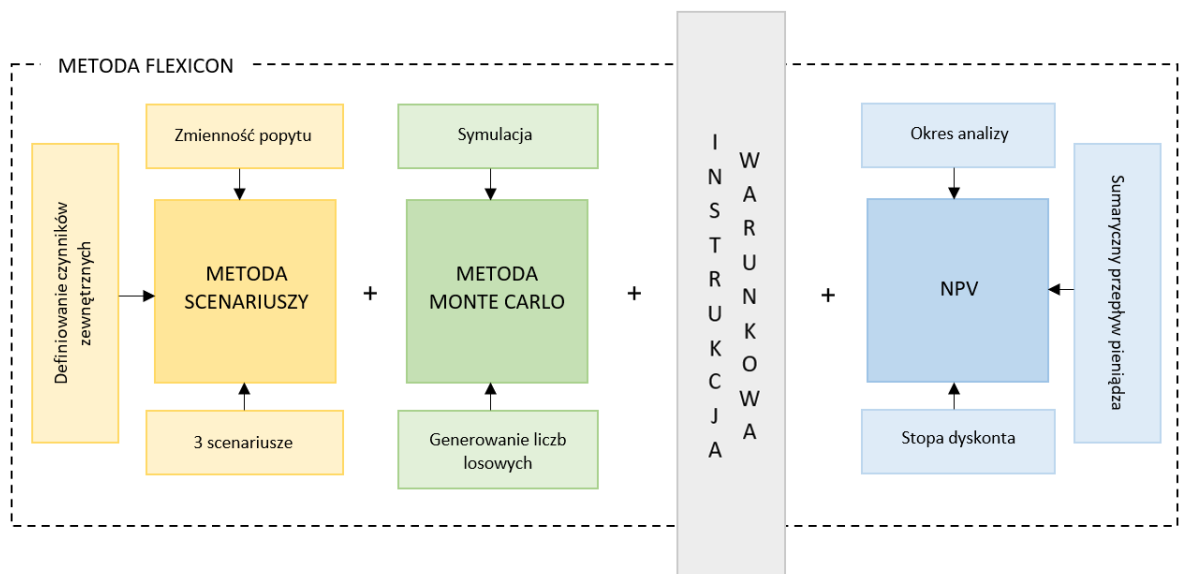
6.2. Metoda

Podczas analiz i badań zastosowano jeden algorytm postępowania dla wszystkich przeanalizowanych przypadków. By ukazać różnice w obu podejściach (elastycznym i tradycyjnym) wszystkie badania zostały opracowane na podstawie dwóch modeli:

- **tradycyjnego** – budowa całego obiektu od razu, bez możliwości rozbudowy, gdy od samego początku są ponoszone również koszty utrzymania dla całego obiektu
- **elastycznego** – budowa etapowa, dostosowana do potrzeb otoczenia, z możliwością rozbudowy/przebudowy po określonym czasie w trakcie użytkowania, koszty utrzymania rozłożone są w czasie, wzrastają wraz z rozbudową

By wykazać słuszność swoich tez, oba modele - we wszystkich przypadkach i scenariuszach przeanalizowano przy pomocy metody FLEXICON, która powstała poprzez połączenie trzech metod wzajemnie się uzupełniających i dopełniających otrzymane wyniki. Stwierdzono, że tylko w ten sposób, łącząc te metody otrzymujemy kompletną ocenę inwestycji infrastrukturalnej.

Przy pomocy metody wartości bieżącej netto (NPV) ocenia się efektywność ekonomiczną przedsięwzięcia. Ponadto można uwzględnić cały (długi) okres użytkowania infrastruktury drogowej, gdyż metoda ta opiera się na zdyskontowanych przepływach pieniężnych. Za to metoda scenariuszy uzupełnia wartość analizy NPV o zmienność rozkładu wartościowego przy pomocy zmian parametru wyjściowego (obciążenie ruchem), a co za tym idzie umożliwia wskazanie zmienności inwestycji w zależności od sytuacji zewnętrznych. Dodatkowo dodając do analiz metodę symulacji Monte Carlo umożliwiamy dokładniejszy szacunek wartości NPV oraz uwzględniamy ryzyko inwestycyjne (ryzyko popytowe: zmiany obciążenia ruchem) w każdej zastosowanej opcji obliczeniowej. Jedynie takie połączenie omówionych trzech metod rachunkowości efektywności inwestycji daje odpowiednie narzędzie do obliczeń oceny efektywności inwestycji infrastruktury (Rys. 6.1).



Rys. 6.1 Połączenie metod rachunkowości i symulacji – metoda własna FLEXICON

Źródło: opracowanie własne

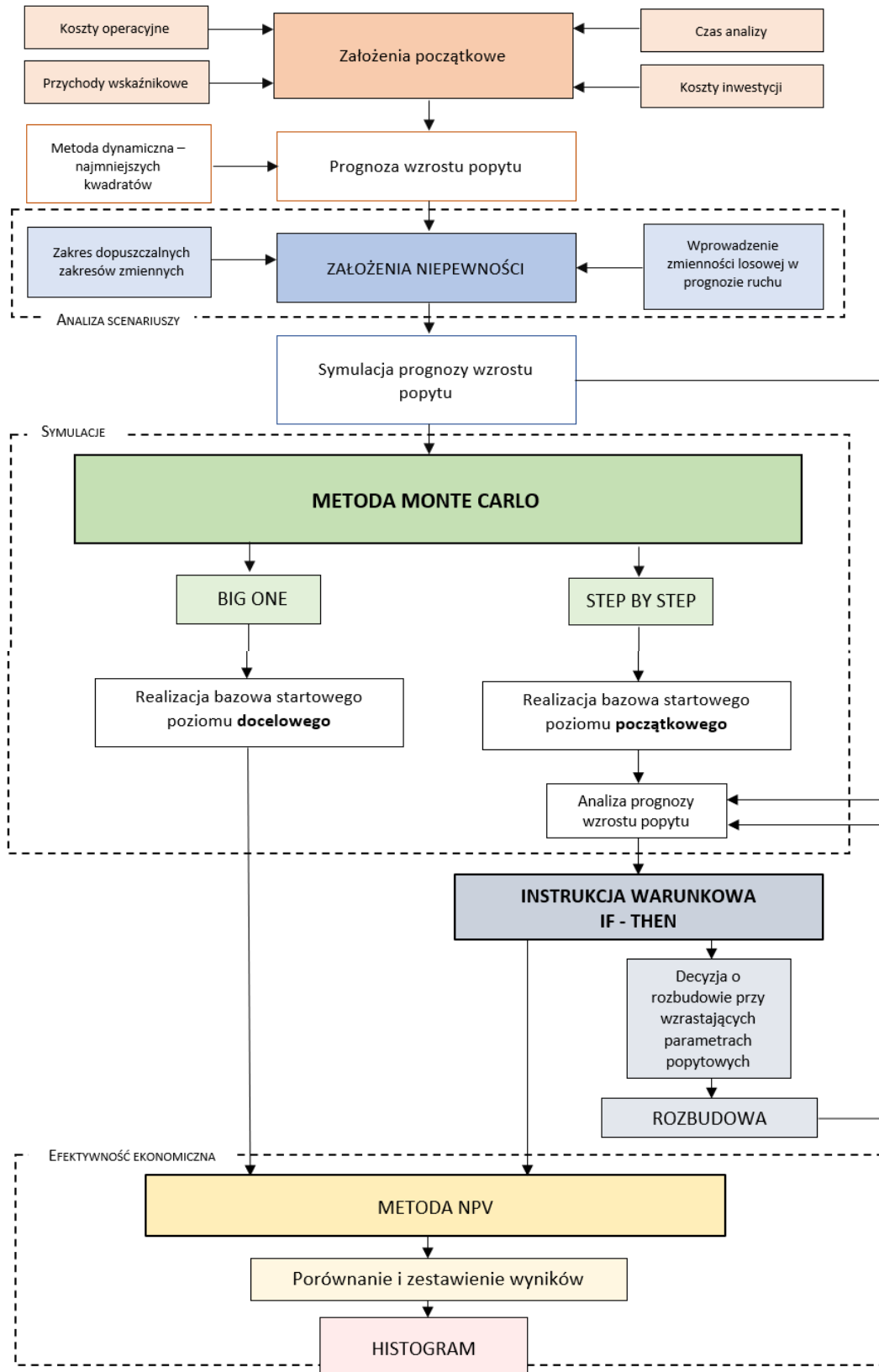
Niewątpliwą zaletą metody FLEXICON jest zastosowana instrukcja warunkowa typu IF/THEM która podczas symulacji wzrastającego popytu bada moment w którym wystąpi konieczność rozbudowy projektu Step By Step.

Kolejność działań, jaka została przyjęta podczas analiz, metodą FLEXICO wyglądała następująco:

- 1) Ustalenie - na podstawie umów bądź oszacowania - kosztów budowy obiektów przy pomocy Biuletynu Cen Obiektów Budowlanych [167] dla obu wariantów (tradycyjnego i elastycznego) we wszystkich trzech analizowanych przykładach;
- 2) Ustalenie kosztów utrzymania obiektów w założonym czasie eksploatacji na podstawie własnych doświadczeń lub opracowań wykonanych przez NIK w 2015 roku [172];
- 3) Ustalenie wielkości głównego czynnika decyzyjnego dla wszystkich trzech scenariuszy (natężenie ruchem/ilość potrzebnych miejsc postojowych) oraz ustalenie prawdopodobieństwa jego wartości w wariantach - pesymistycznym, optymistycznym i najbardziej prawdopodobnym; Wykorzystanie metody dynamicznej do prognozy obciążenia ruchem;
- 4) Określenie przedziału i sporządzenie wykresów (dla wszystkich scenariuszy) zapotrzebowania na miejsca postojowe bądź obciążenie ruchem, a przy pomocy metody Monte Carlo przeprowadzenie symulacji tych wartości; Na podstawie wyników określenie wielkości NPV dla poszczególnych wartości popytowych;
- 5) Zestawienie wyników dla obu wariantów (tradycyjnego i elastycznego) dla wszystkich trzech scenariuszy (optymistyczny, pesymistyczny, najbardziej prawdopodobny).

Dokładny schemat działań przyjętych podczas analiz został przedstawiony na rysunku 6.2.

By lepiej zobrazować idee obliczeń podczas stosowania metody FLEXICON na rysunkach 6.3, 6.4 oraz 6.5 i 6.6 przedstawiono wybrane etapy obliczeń w programie Microsoft Excel.



Rys. 6.2 Schemat procesu wykonywania badań analiz elastycznych rozwiązań infrastrukturalnych przy pomocy metody FLEXICO

Źródło: opracowanie własne

6.2.1. Scenariusze

W rozprawie zastosowano metodę scenariuszy jako kształtowanie i wariantowanie parametru wyjściowego. Dla analizowanych przypadków jest nim zmienność popytowa - rozumiana jako zapotrzebowanie na miejsca parkingowe oraz obciążenie ruchem drogi ekspresowej i autostrady.

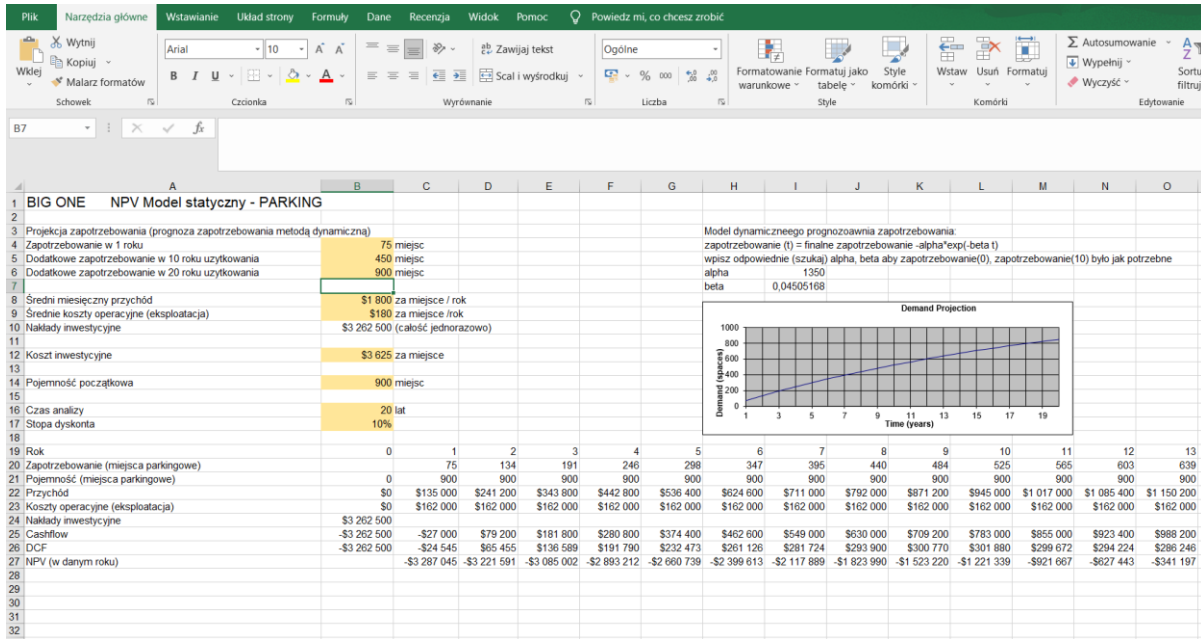
Trzy scenariusze (optymistyczny, pesymistyczny i najbardziej prawdopodobny) zostały tak dobrane, by zakładane zmienne występujące w algorytmie były niezależne oraz by przyjmowały określone wartości w przyszłości, które będą się różnić od tych przyjętych w rachunku deterministycznym. Nowe wielkości zmiennych zostały tak wygenerowane, by przyjmowały wartości zarówno mniejsze jak i większe. Ponadto wszystkie stworzone scenariusze zawierają alternatywne przebiegi zdarzeń w stosunku do zakładanego, np. wzrost popytu, jego zmniejszenie lub utrzymanie na stałym poziomie. Dla każdego scenariusza przeprowadzono obliczenia możliwych wielkości NPV przy pomocy metody Monte Carlo.

6.2.2. Model prognostyczny obciążenia ruchem

By w odpowiedni sposób przeprowadzić estymację parametrów strukturalnych modelu, którym jest obciążenie ruchem dla każdego scenariusza, zastosowano klasyczną metodę dynamiczną jaką jest metoda najmniejszych kwadratów (KMNK).

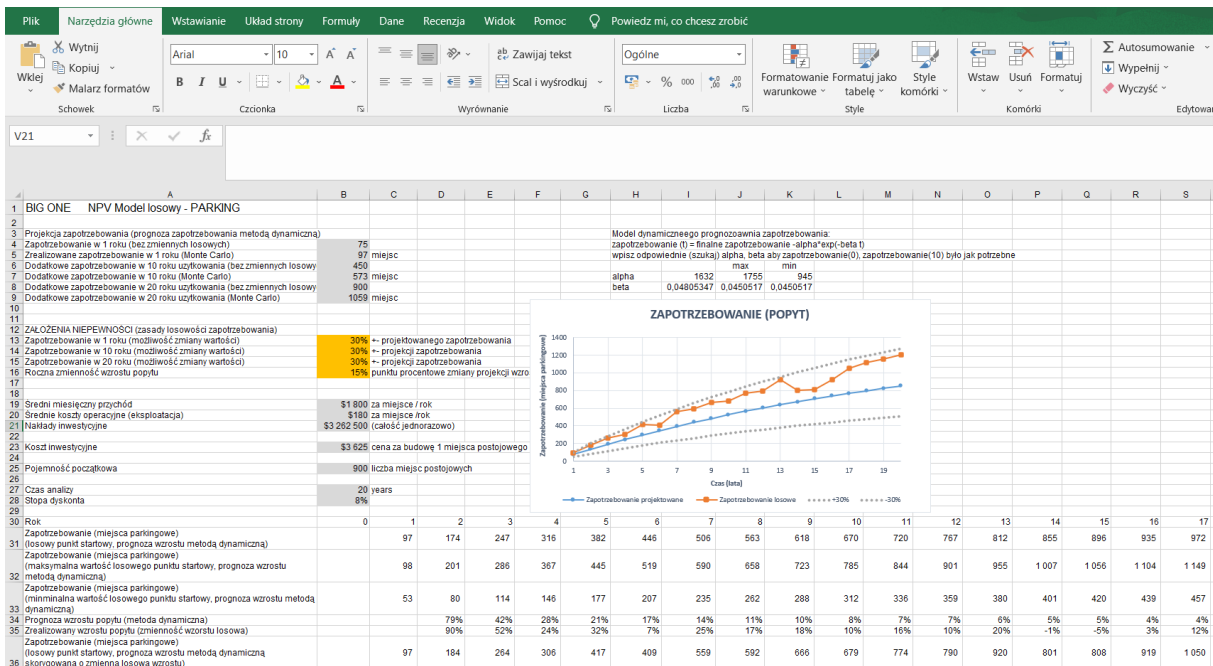
Jest to standardowa metoda przybliżająca rozwiązanie równań, w których występuje więcej niż jedna zmienna. Polega na tym, iż końcowe rozwiązanie przy wykorzystaniu tej metody zostaje zminimalizowane przy pomocy sumy kwadratów błędów podczas rozwiązań poszczególnych z kolei równań.

Posłużyła ona do sporządzania linii trendu dla każdego ze scenariuszy osobno, przedstawiając jego możliwy przebieg.



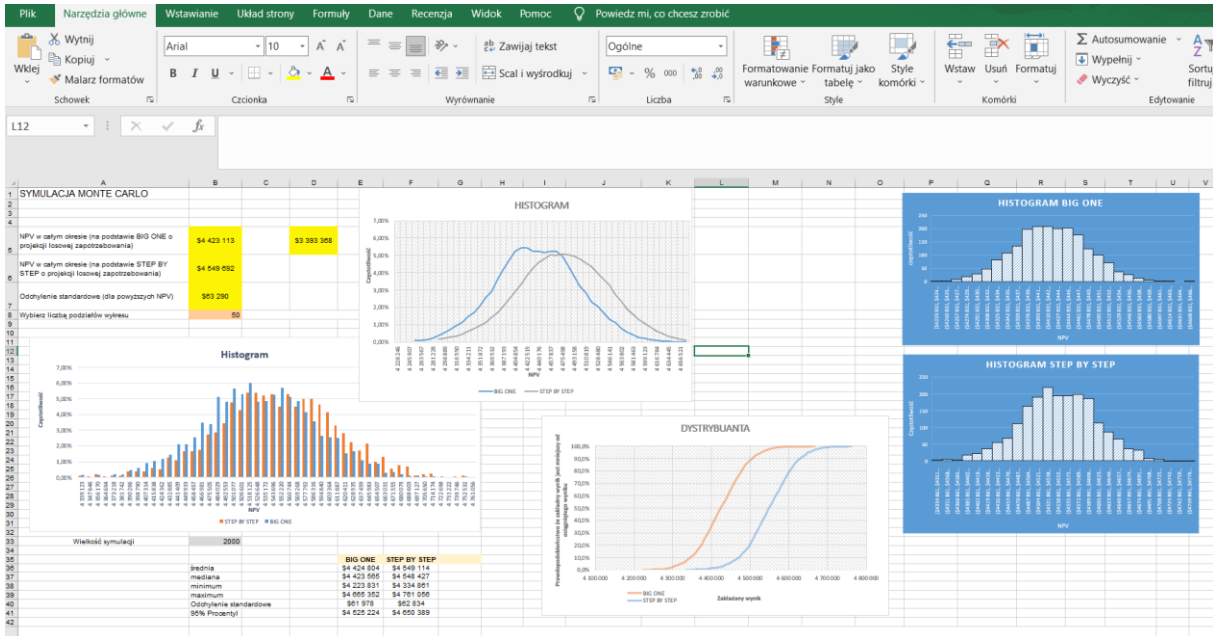
Rys. 6.3 Obliczenia w programie FLEXICON dla modelu BIG ONE - Parking

Źródło: opracowanie własne



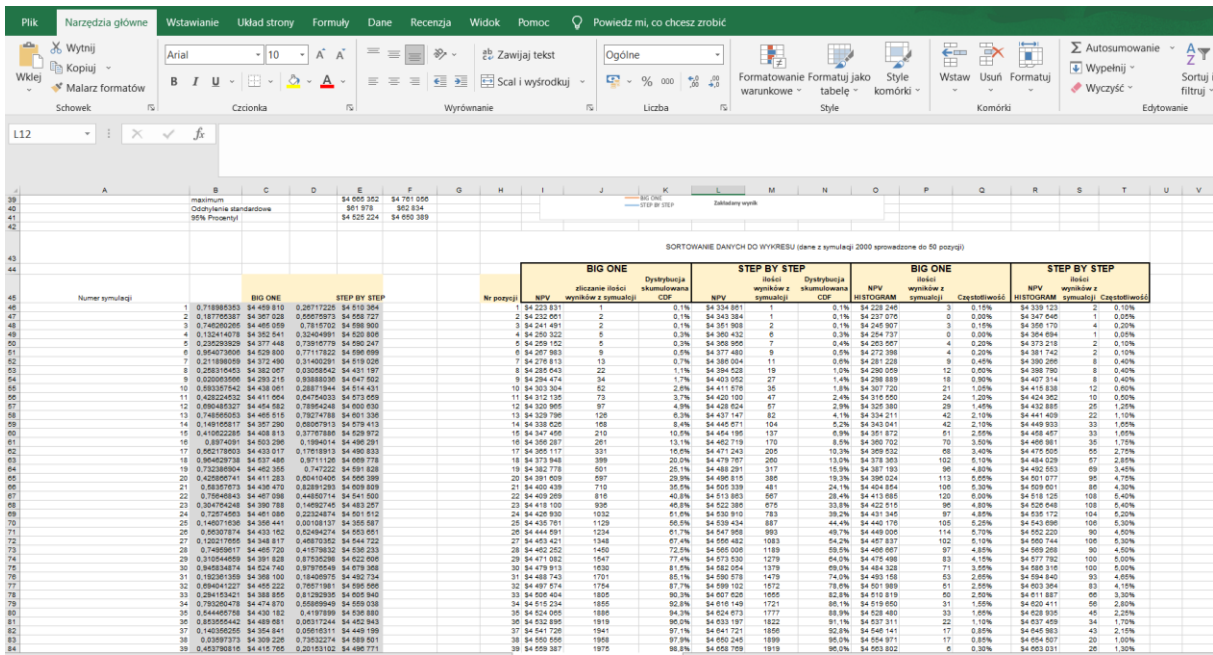
Rys. 6.4 Model losowego w programie FLEXICON, obliczenia zmiennego zapotrzebowania popytowego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6.5 Symulacja z programie FLEXICON metodą Monte Carlo oraz obliczenia NPV

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6.6 2000 wyników symulacji w programie FLEXICON oraz sortowanie danych

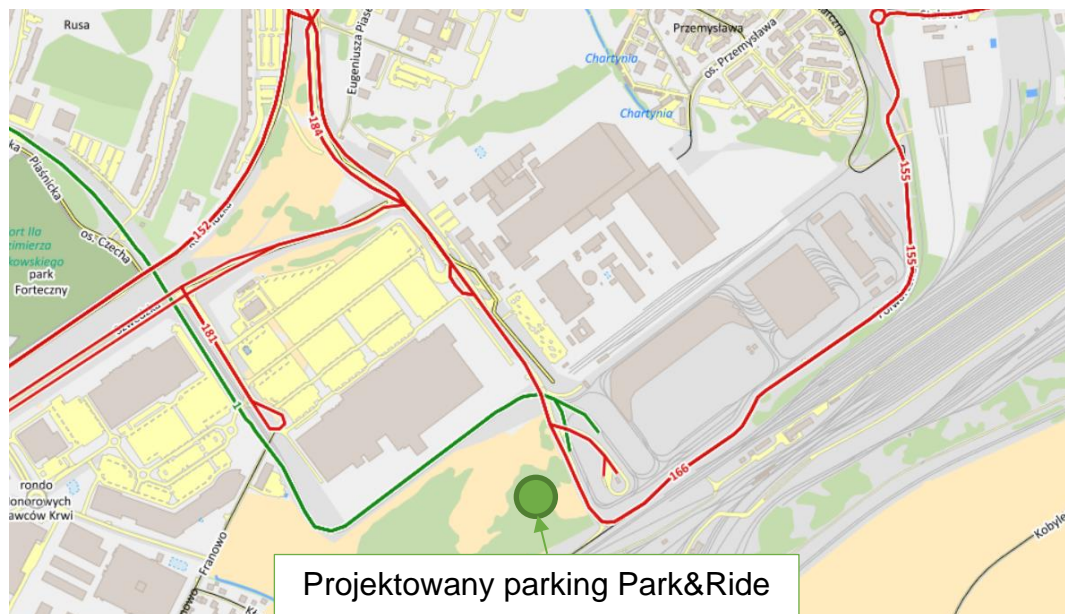
Źródło: opracowanie własne

7. Badania „case study”

7.1. Parking typu Park&Ride

Parkingi typu Park&Ride czyli *Parkuj i Jedź* lub parkingi buforowe budowane są w dużych miastach w pobliżu peryferyjnych przestanków publicznego transportu publicznego, w dzielnicach podmiejskich aglomeracji albo zupełnie na zewnętrznych obrzeżach miast. Mają one na celu zmniejszenie ilości samochodów w centrum miast, poprzez pozostawienie pojazdu w wyznaczonym miejscu i przesiadkę jego kierowcy na komunikację zbiorową i kontynuowanie w ten sposób dalszej podróży [92].

Po raz pierwszy tego typu rozwiązanie zastosowano w latach 60 ubiegłego wieku w Wielkiej Brytanii. Obecnie funkcjonują z powodzeniem w Niemczech, Szwecji, Francji, czy Czechach i oczywiście w Polsce.

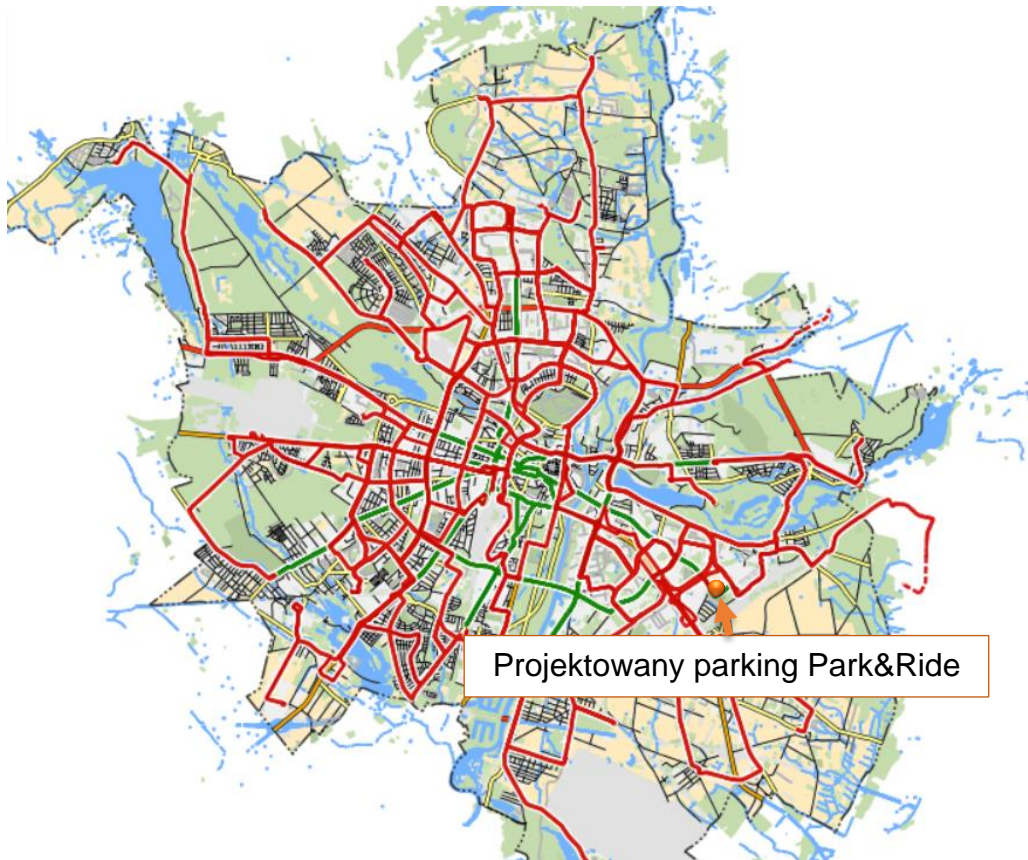


Rys. 7.1 Usytuowanie parkingu Park&Ride względem linii tranwajowych, autobusowych i linii kolejowej oraz sieci dróg miejskich

Źródło: opracowanie własne na podstawie map [166]

Prezentowany przypadek projektowania infrastruktury dotyczy parkingu buforowego w miejscowości Poznań [Rys. 7.1, Rys. 7.2], przewidzianego z racji budowy terminalu szybkiego tramwaju wraz z dworcem autobusowym w jego otoczeniu. Bliskość przebiegu linii kolejowej oraz sąsiedztwa trzech centrów handlowych należy liczyć się ze wzrostem liczby osób

przesiadających się z samochodów na różne środki transportu lub/i dokonujących zakupów.



Rys. 7.2 Usytuowanie parkingu Park&Ride w mieście Poznań

Źródło: opracowanie własne na podstawie map [166]

7.1.1. Ogólna charakterystyka obiektu

By oszacować koszty wykonania parkingu posłużono się Biuletynem Obiektów Budowlanych (BCO) z Sekocenbudu z II kwartału 2021 roku [167], w którym cena za wybudowanie 1 m² powierzchni parkingu oszacowana została na 290 zł. Szczegółowa struktura ceny została przedstawiona w Tab. 27.

Tab. 27 Struktura ceny wykonania 1 m² parkingu

Opis	Wskaźnik na m2 jezdni w zł	Udział % w cenie
Roboty przygotowawcze	6,41	2,2
Roboty ziemne	10,12	3,5
Odwodnienie korpusu drogowego	0,56	0,2
Podbudowy	111,40	38,4
Nawierzchnia	69,35	23,9
Elementy ulic	81,68	28,2
Zieleń drogowa	10,29	3,6

Źródło: opracowanie własne na podstawie [167]

Założono, że teren pod budowę jest płaski, roboty przygotowawcze polegały na dowiezieniu gruntu, wyrównaniu i zagęszczeniu podłoża. Odwodnienie parkingu zostało zaprojektowane jako powierzchniowe, woda odprowadzona jest ściekiem do rowu przydrożnego. Konstrukcja jezdni i chodników parkingu została przedstawiona w tabeli 28.

Tab. 28 Warstwy konstrukcyjne parkingu

Konstrukcja	
Podbudowa	- (jezdnia, miejsca postojowe i droga manewrowa) z gruntu stabilizowanego cementem o grubości warstwy 12 cm i chudego betonu o grubości warstwy 20 cm
Nawierzchnia	- jezdnia: z kostki betonowej koloru szarego, grubość 8 cm, ułożonej na podsypce cementowo – piaskowej grubości 3 cm, spoiny wypełnione piaskiem oraz z płyt betonowych grubości 7 cm ułożonych na podsypce cementowo – piaskowej z wypełnieniem spoin zaprawą cementową
Krawężnik uliczny	- betonowy o wymiarach 15x30 cm ustawiony na ławie betonowej z wypełnieniem spoin zaprawą cementowo – piaskową

Źródło: opracowanie własne na podstawie [167]

7.1.2. Podstawowe założenia analizy

Dla zilustrowania korzyści z wprowadzenia elastyczności przygotowano dwa warianty inwestycji:

- **WARIANT A (BIG ONE)** - Budowę parkingu na 900 miejsc postojowych jednorazowo, niezależnie od kształtowania się popytu.
- **WARIANT B (STEP BY STEP)** - Budowę parkingu na 300 miejsc postojowych w pierwszym etapie z opcją rozbudowy w następnych latach o kolejne moduły o pojemności 300 miejsc parkingowych - w zależności od popytu (do 1200 miejsc docelowo)
- Cena abonamentu parkingowego dla obu opcji została założona na poziomie 150 zł miesięcznie, a koszty utrzymania jednego miejsca (w tym koszty odśnieżania i sprzątanía) to 15 zł miesięcznie.
- Całkowity koszt budowy został oszacowany na podstawie wymiarów miejsca postojowego 2,5 m x 5,0 m i wynosi 3625 zł za miejsce postojowe.
- Stopa dyskonta – 10% - dla obu opcji.
- Każdy scenariusz został poddany analizie na podstawie 2000 symulacji

7.1.3. Metoda Scenariuszy

Przeanalizowano trzy scenariusze dotyczące możliwości zmian popytu a ich podstawowe założenia przedstawiono w tablicy 29.

Parametry popytowe według [25] powinny być szacowane na podstawie wcześniejszych danych z podobnych projektów a następnie obliczane przy pomocy wzoru [25, str.41]:

$$d(t) = X * a^{-bt}$$

Gdzie: X – ilość docelowa miejsc postojowych

a, b – graniczne wartości pojemnościowe parkingu w przedziale czasowym

t – okres analizy

W rozprawie wartości scenariuszowe dla trzech lat bazowych zostały określone na podstawie „Planu Zrównoważonego rozwoju publicznego transportu dla powiatu poznańskiego na lata 2014 – 2025” wykonanego przez Biuro Inżynierii Transportu Pracownice Projektowe sp.j. [169]. Wyniki w nim zawarte zostały oparte m.in. o: prognozy demograficzne, relacje aktualnych podróży z gmin powiatu poznańskiego w kierunku Poznania oraz dobową strukturę przemieszczeń w obszarze powiatu poznańskiego.

Tab. 29 Podstawowe założenia scenariuszy

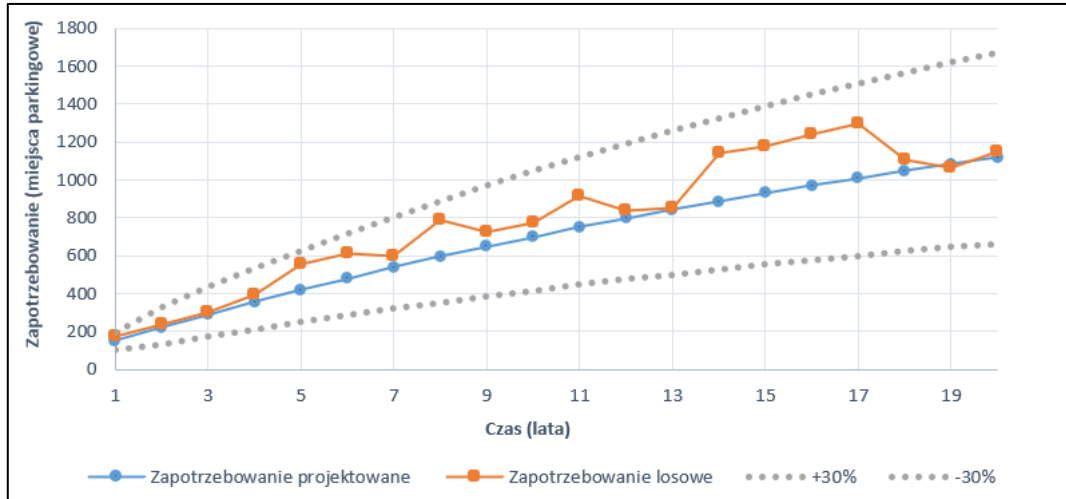
Scenariusz	Projekcja zapotrzebowania [samochodów/rok eksploatacji]								
	1	3	5	7	10	13	15	17	20
Optymistyczny	150	191	298	395	600	639	707	768	1200
Pesymistyczny	30	104	207	239	300	412	463	510	600
Najbardziej prawdopodobny	75	191	298	395	450	639	707	768	900

Źródło: opracowanie własne

7.1.3.1. Scenariusz optymistyczny

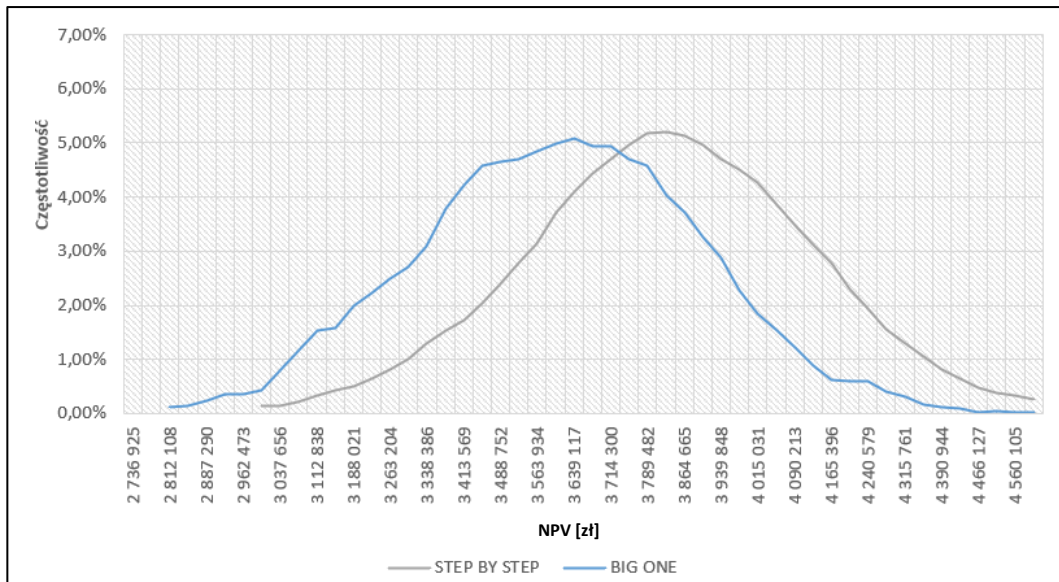
Założenia w tym scenariuszu opierały się przede wszystkim na szybkim wzroście zapotrzebowania na miejsca postojowe. Już po pierwszym roku analizy parking typu „Step by Step”. Na Rys. 7.3 został przedstawiony wykres losowego rozkładu zapotrzebowania w scenariuszu optymistycznym. Na potrzeby analizy zostało założone 30% zmienności w tym obszarze.

Na rysunku 7.4 został przedstawiony wynik symulacji przy pomocy Metody Monte Carlo dla obu wariantów realizacji inwestycji (rozwiązania Step By Step i Big One). Natomiast rysunek 7.5 przedstawia rozkład prawdopodobieństwa przyjmowanych wartości NPV dla obu opcji przy pomocy dystrybuanty.



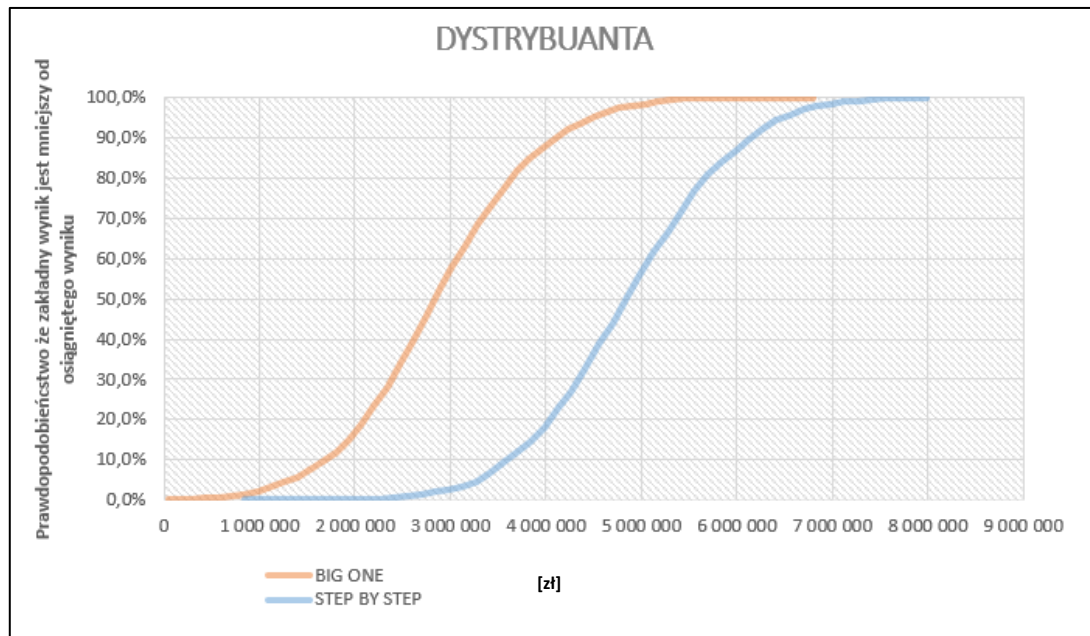
Rys. 7.3 Zapotrzebowanie popytowe dla scenariusza optymistycznego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7.4 Histogram rozkładu częstotliwości występowania wartości NPV dla scenariusza optymistycznego

Źródło: opracowanie własne



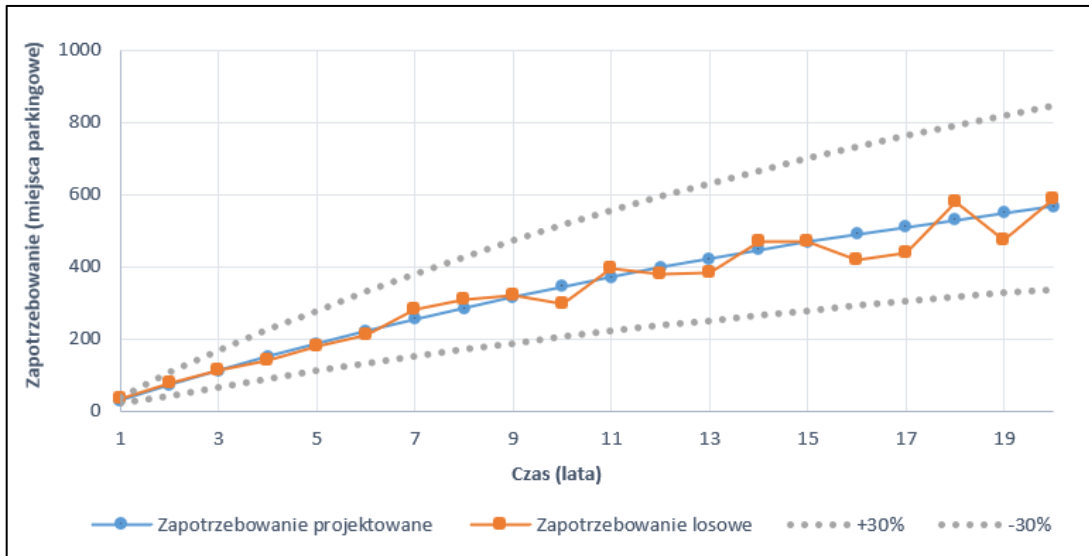
Rys. 7.5 Dystrybuanta rozkładu prawdopodobieństwa występowania wartości NPV dla scenariusza optymistycznego

Źródło: opracowanie własne

7.1.3.2. Scenariusz pesymistyczny

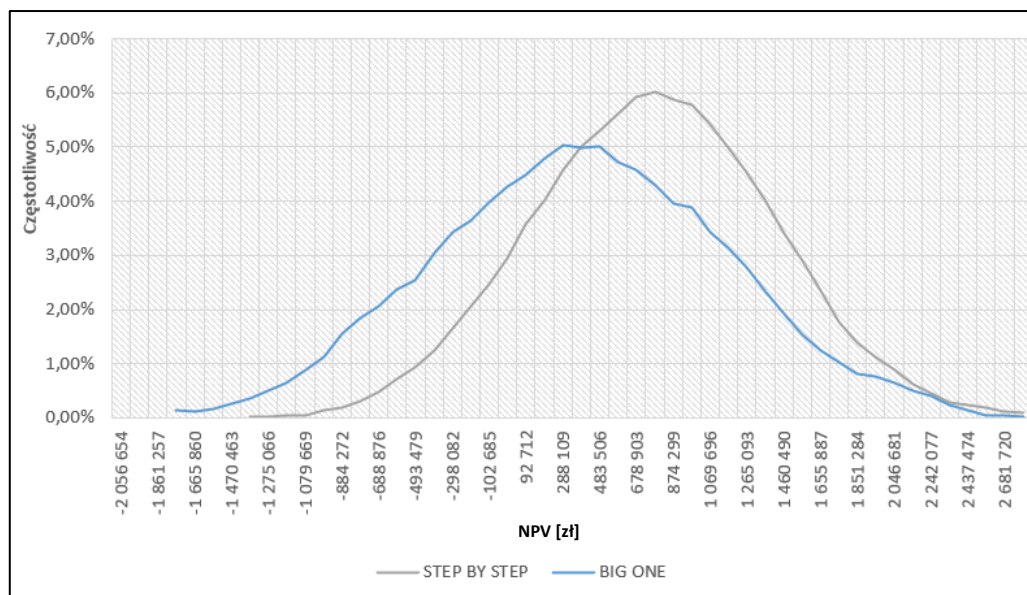
Scenariusz pesymistyczny zakładał, iż popyt nie będzie aż tak duży jak wybudowany obiekt w wariancie Big One, a zatem wstępne prognozy nie zostaną spełnione w całym okresie analizy inwestycji. Na Rysunku 7.6 przedstawiono projekcje zapotrzebowania popytowego dla takiego scenariusza.

Dla tego scenariusza sporządzono również rozkład możliwych wartości NPV dla zadanych wartości. Jego przebieg został przedstawiony na Rysunku 7.7 przy pomocy histogramu.



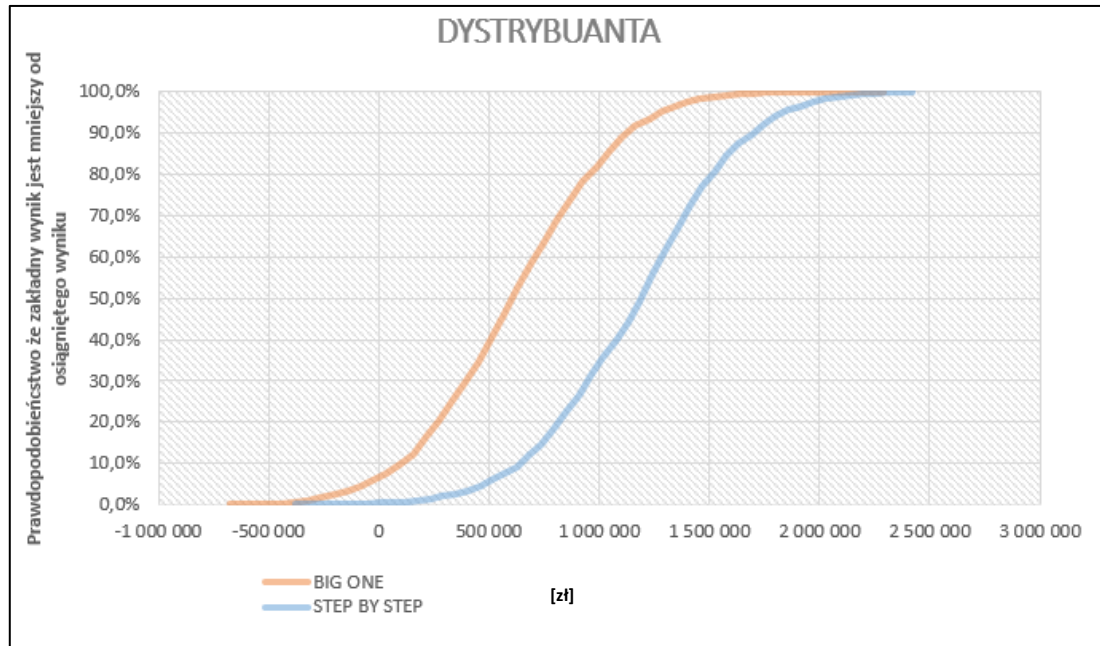
Rys. 7.6 Zapotrzebowanie popytowe dla scenariusza pesymistycznego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7.7 Histogram rozkładu częstotliwości występowania wartości NPV dla scenariusza pesymistycznego

Źródło: opracowanie własne



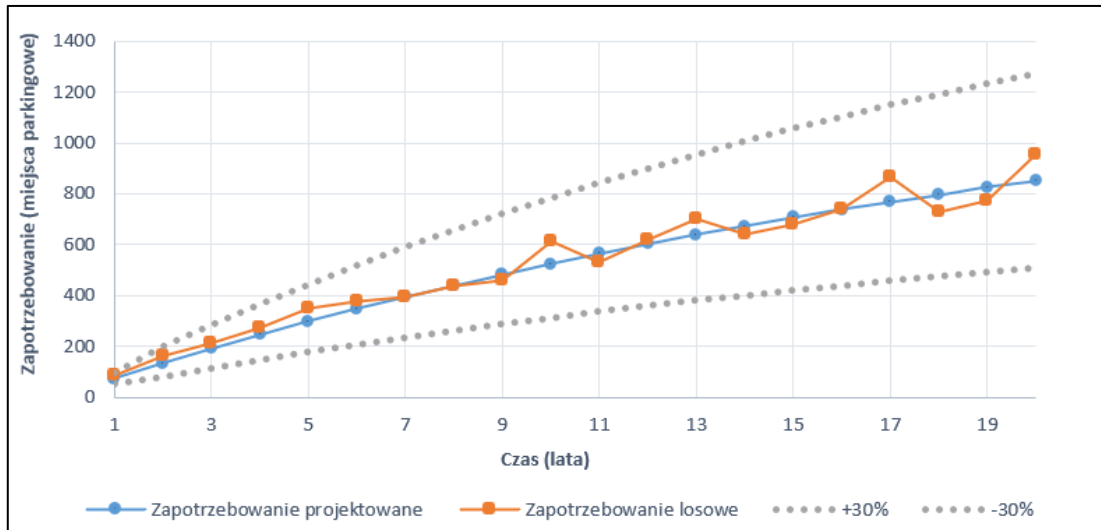
Rys. 7.8 Dystrybuanta rozkładu prawdopodobieństwa występowania wartości NPV dla scenariusza pesymistycznego

Źródło: opracowanie własne

7.1.3.3. Scenariusz najbardziej prawdopodobny

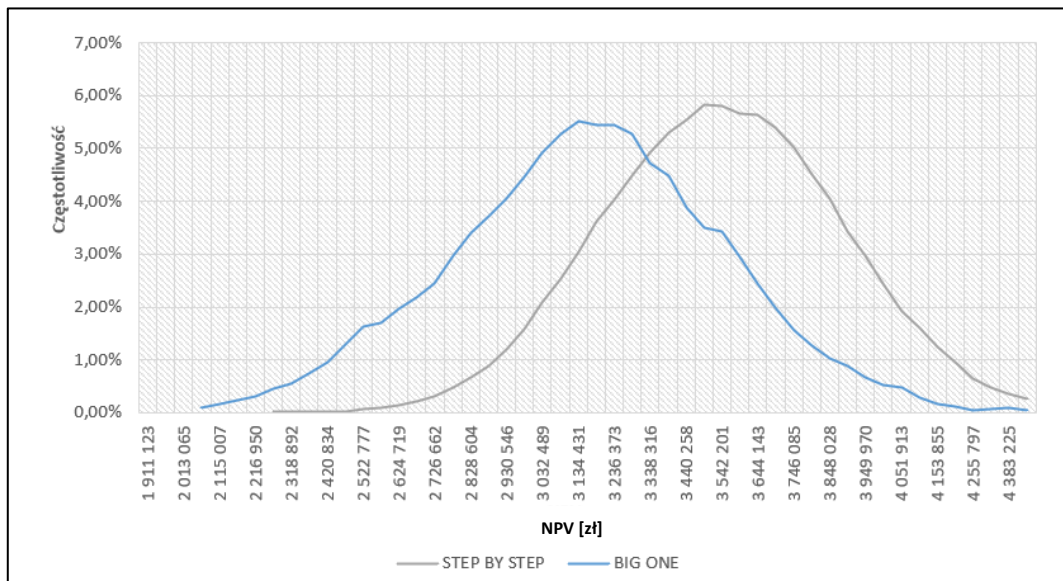
W tym scenariuszu oparto zapotrzebowanie popytowe o założenie, iż po 20 latach analizy popyt osiągnie maksymalną wartość 900 miejsc parkingowych, a w połowie analizy będzie wynosił dokładnie połowę tej wartości. Sam schemat rozkładu popytu dla scenariusza najbardziej prawdopodobnego przedstawia Rysunek 7.9.

Podobnie jak dla dwóch poprzednich scenariuszy przy pomocy histogramu zostały przedstawione możliwe do uzyskania wartości NPV dla obu wariantów inwestycyjnych (Big One i Step by Step) wraz z ich częstotliwością występowania (Rys. 7.10)



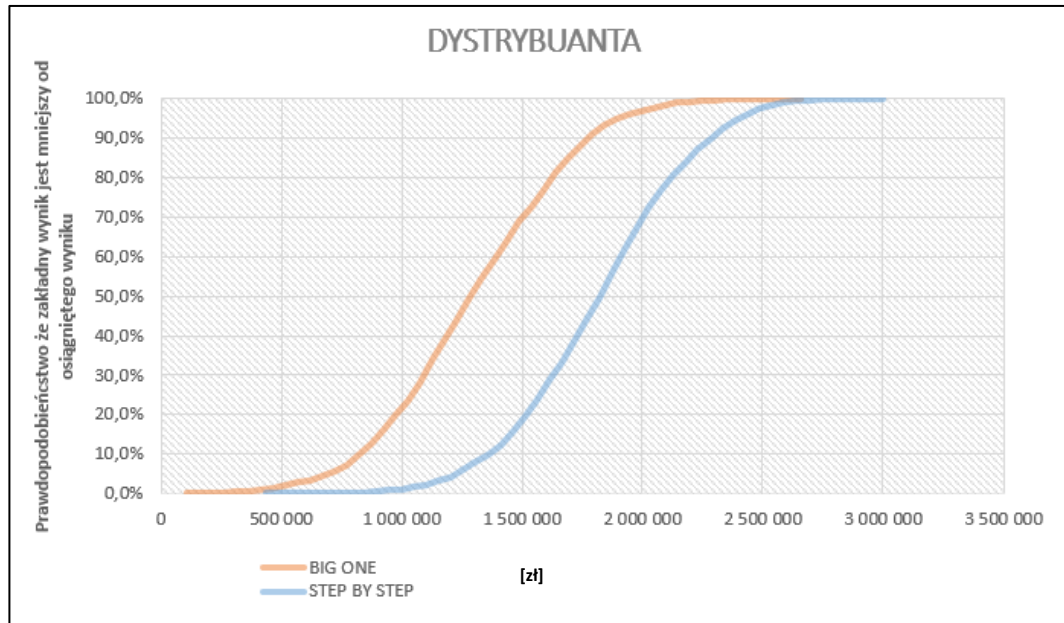
Rys. 7.9 Zapotrzebowanie popytowe dla scenariusza najbardziej prawdopodobnego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7.10 Histogram rozkładu częstotliwości występowania wartości NPV dla scenariusza najbardziej prawdopodobnego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7.11 Dystrybuanta rozkładu prawdopodobieństwa występowania wartości NPV dla scenariusza najbardziej prawdopodobnego

Źródło: opracowanie własne

7.1.3.4. Wnioski

Jak wynika z wykresów na rysunkach - przedstawiających rozkład częstotliwości przyjmowanych wartości bieżących netto (NPV), uzyskanych w wyniku symulacji przy pomocy metody Monte Carlo przebieg wartości możliwych do uzyskania wskazuje jednoznacznie na przewagę idei elastyczności.

Dla wszystkich trzech scenariuszy wartości dla opcji Big One wykazują przewagę nad opcją Step By Step, a rozkład ich jest bardziej rozproszony (co szczególnie widać na wykresach dla scenariusza optymistycznego i najbardziej prawdopodobnego).

Z wykresów na rysunkach wyraźne można zauważyć przesunięcia w kierunku wyższych wartości NPV (po prawej stronie wykresu) dla opcji Step by Step oraz koncentrację wielkości na wyższych poziomach. Potwierdza to ideę wprowadzenia elastyczności polegającej na ograniczeniu możliwości strat i zwiększeniu możliwości wykorzystania szans. W omawianym wypadku polegało to na ograniczeniu pojemności parkingu na początku inwestycji

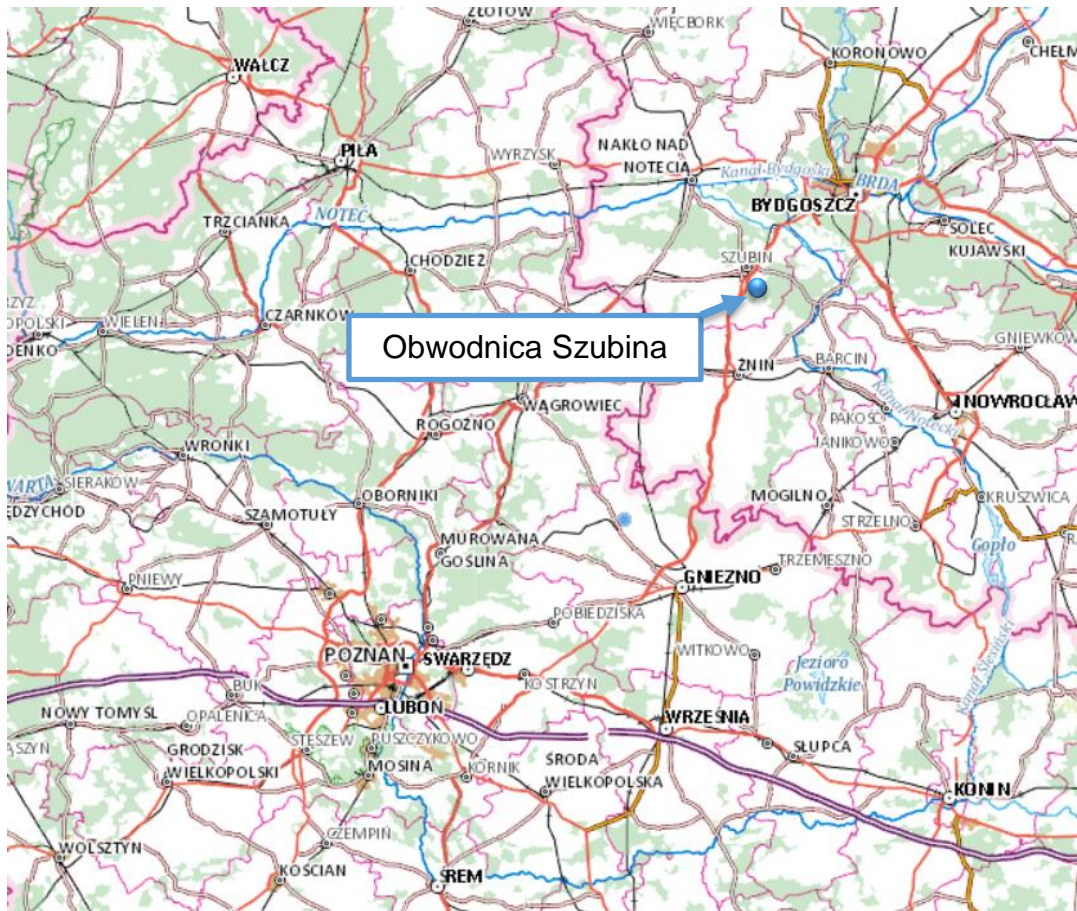


i uzależnieniu rozbudowy o kolejne moduły (300 miejsc) w zależności od wzrastającego popytu.

Ponadto na wykresie dla scenariusza pesymistycznego opcja Big One uzyskała znacznie więcej częstotliwości wystąpienia ujemnych wartości NPV, które wiążą się z nieopłacalnością inwestycji. Na tym samym wykresie można również zauważyć, że prawdopodobieństwo osiągnięcia ujemnych wartości dla wariantu Step by Step jest praktycznie równe zero. Wskazuje to jednoznacznie na pozytywne oddziaływanie elastyczności jako koncepcji działania w warunkach niepewności i ryzyka.

7.2. Droga ekspresowa S5 (odcinek obwodnica Szubin)

Analiza dotyczyła budowy obwodnicy Szubina (miasto w woj. kujawsko-pomorskim) w ciągu drogi krajowej nr 5 Bydgoszcz – Poznań od km 64 + 100 do km 69 + 835. Łączne koszty tej budowy wyniosły około 52,5 miliona złotych (rok 2019).



Rys. 7.12 Umiejscowienie miasta Szubin (woj. kujawsko – pomorskie)

Źródło: opracowanie własne na podstawie map [166]

Inwestycję wykonano przy pomocy założeń metod bazujących na elastyczności, gdyż wykonano dodatkowe prace związane z budową drogi ekspresowej na (tym) odcinku S5 Bydgoszcz – Poznań. Prace dotyczyły między innymi:

- obiekty inżynierskie takie jak węzły, przejazdy wykonano w poszerzonym świetle (przygotowanym na dodatkowych drugi pas ruchu w każdym kierunku) – Rys. 7.13

- przygotowano podbudowę w miejscu dodatkowych, późniejszych pasów ruchu

Obwodnica Szubina była ważnym elementem modernizacji drogi krajowej nr 5, która aktualnie została przekształcona w drogę ekspresowej S5. Droga ta łączy ze sobą duże polskie aglomeracje miejskie, takie jak: gdańska, bydgosko-toruńska, poznańska i wreszcie wrocławska. Prace przy budowie drogi ekspresowej na tym odcinku zakończyły się pod koniec 2019 roku (Rys. 7.14)



Rys. 7.13 Droga ekspresowa (przed rozbudową) S5 na odcinku Szubin – Bydgoszcz, 2016 rok

Źródło: własne

Projekt inwestycyjny, jakim była budowa obwodnicy obejmował budowę: 5,7 kilometrowego odcinka obwodnicy, 10,7 km dróg dojazdowych i serwisowych oraz 7 obiektów inżynierskich. Realizacja zadania wymagała przebudowy uzbrojenia podziemnego, nadziemnego oraz uregulowania urządzeń melioracyjnych

7.2.1. Ogólna charakterystyka obiektu

Ponownie założenia do analiz oparto na podstawie Biuletynu Cen Obiektów Budowlanych (BCO) z II kwartału 2021 [167], a mianowicie: droga położona została na terenie równinnym, szerokość korony drogi była równa 26,50 m - w tym szerokość jezdni 3,5 m, pas awaryjny 2,5 m, opaska od strony pasa

dzielącego 0,5 m. Spadki poprzeczne jezdni założono na poziomie 2%, a szerokość pobocza gruntowego przyjęto na poziomie 1,25 m i spadku poprzecznym 5%. Szerokość pasa dzielącego wynosiła 4,0 m. (Rys. 7.15). Konstrukcja jezdni została zaprojektowana dla obciążeń dochodzących do 115 kN/oś.



Rys. 7.14 Droga ekspresowa S5 na odcinku Szubin – Bydgoszcz, obecnie

Źródło: [160]

W pasie rozdziału oraz po zewnętrznej stronie drogi zamontowano ochronne bariery stalowe typu SP. Na przejazdach awaryjnych w pasie rozdziału zastosowano bariery rozbieralne. Przyjęto typowe znaki drogowe, montowane na słupkach stalowych. Oznakowanie poziome jezdni zaprojektowano w dwóch rodzajach:

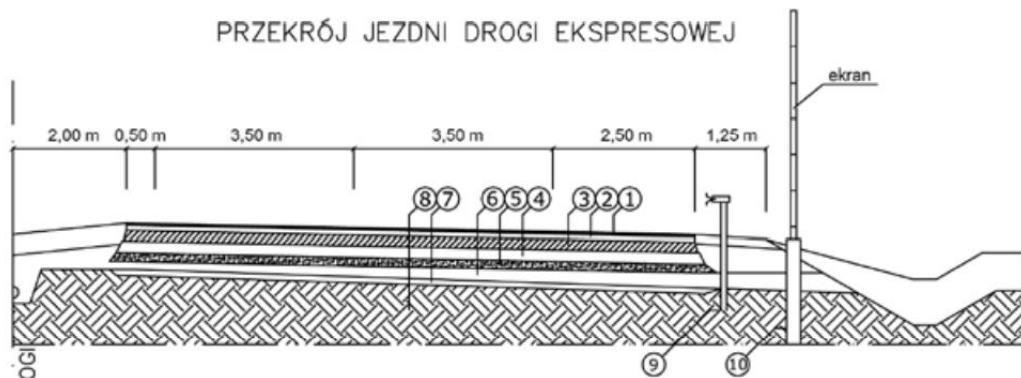
- linie segregacyjne ciągłe i przerywane grubowarstwowe odblaskowe,
- elementy odblaskowe na jezdni typu „kocie oczka”.

W obszarach zabudowanych, gdzie hałas wynikający z ruchu kołowego przekracza normy daytime lub nocne, zaprojektowano zabezpieczenia ekranami drogowymi akustycznymi o wysokości 5 m.

Tab.30 Konstrukcja poszczególnych elementów drogi ekspresowej

Konstrukcja	
Korpus drogowy	- wyniesiony ponad teren od 0,8 m do 1,5 m. Przy obiektach (mostach, wiaduktach) nasypy wys. Do 6,00 m. Podłoże pod nasyp na odcinkach o gruntach nienośnych wzmocnione przez wymianę gruntu lub geosiatkami
Umocnienie skarp	poprzez humusowanie i obsianie mieszanką traw, darniowanie, obłożenie brukowcem lub biowłókniną. pas dzielący umocniony humusowaniem i obsianiem mieszanką traw
Odwodnienie korpusu	System z powierzchniowym rowami przydrożnymi, zbiornikami odparowującymi oraz ściekami przykrawężnikowymi i skarpowanymi wykonanymi z elementów betonowych
Podbudowa nowej jezdni	- warstwa techniczna – grunt stabilizowany cementem grubość warstwy 10 cm - warstwa odsączająca – pospółka, piasek – grubość warstwy 20 cm - grunt stabilizowany cementem Rm 2,5 MPa – grubość warstwy 15 cm - kruszywo łamane (tłuczeń) stabilizowane mechanicznie – grubość warstwy 20 cm - beton asfaltowy– grubość warstwy 18 cm - warstwa wiążąca z betonu asfaltowego 0/20 mm o zwiększonej odporności na odkształcenia plastyczne – grubość 9 cm - warstwa ściernalna SMA 0/12,8 mm – grubość 4 cm

Zródło: opracowanie własne na podstawie [167]



① Warstwa ścierna SMA 0/12,8 mm – grub. 4 cm, ② Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego 0/20 mm o zwiększonej odporności na odkształcenia plastyczne – grub. 9 cm, ③ Podbudowa z betonu asfaltowego 0/25 mm – grub. 18 cm, ④ Podbudowa z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie 0/31,5 mm – grub. 20 cm, ⑤ Grunt stabilizowany cementem $R_m=2,5$ MPa – grub. 15 cm, ⑥ Warstwa odsączająca – pospółka – grub. 20 cm, ⑦ Warstwa technologiczna – grunt stabilizowany cementem – grub. 10 cm, ⑧ Podłoże gruntowe, ⑨ bariera sprężysta, ⑩ Ekran akustyczny.

Rys. 7.15 Przekrój przez jezdnię drogi ekspresowej

Źródło: [167]

W analizach założono cenę za 1 m² drogi ekspresowej na poziomie 650 zł, co odpowiada cenie 17 767 424 zł na każdy kilometr drogi ekspresowej w II połowie 2021 roku [167]. Struktura poszczególnych składników założonej ceny została przedstawiona w tabeli 31.

Tab. 31 Struktura ceny wykonania 1 m² drogi ekspresowej

Opis	Wskaźnik na m2 jezdni w zł	Udział % w cenie
Roboty przygotowawcze	5,11	0,8
Roboty ziemne	187,01	28,8
Odwodnienie korpusu drogowego	24,83	3,8
Podbudowy	196,87	30,3
Nawierzchnia	104,19	16,0
Roboty wykończeniowe	8,21	1,3
Oznakowanie dróg i urządzenia bezpieczeństwa	110,42	17,0
Elementy ulic	11,52	1,8
Zieleń Drogową	0,32	0,1
Inne roboty	1,03	0,2

Źródło: opracowanie własne na podstawie [167]

7.2.2. Podstawowe założenia analizy

Z racji bliskości aglomeracji bydgoskiej na tym odcinku drogi należy liczyć się ze wzrastającą liczbą użytkowników. Dla zilustrowania korzyści z wprowadzenia elastyczności przygotowano dwa warianty inwestycji:

- **WARIANT A (BIG ONE)** - Budowę drogi z dwoma pasami, niezależnie od kształtowania się popytu czy etapu realizacji drogi ekspresowej S5 Bydgoszcz - Poznań (opcja Big One);
- **WARIANT B (STEP BY STEP)** - Budowę drogi z jednym pasem ruchu w pierwszym etapie realizacji oraz z opcją rozbudowy w następnych latach o pas ruchu (opcja Step By Step) – jak w wykonanej inwestycji. Czas rozbudowy założono w momencie, gdy ŚDR (średni dobowy ruch) przekroczy 14 tys. samochodów na dobę [169];
- Całkowity koszt budowy został oszacowany na podstawie wymiarów pasa ruchu drogi ekspresowej, który odpowiednio wynosił: 7,25 m dla drogi z jednym pasem ruchu w każdym kierunku i 13,25 m z dwoma pasami ruchu w obu kierunkach;
- Koszty eksploatacji oraz utrzymania dróg zostały oszacowane na podstawie raportu NIK [172] na temat wykonywania przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad zadań związanych z utrzymaniem i remontami dróg. Wyniosły one 110 tys. zł za km/rok dla drogi ekspresowej z dwoma pasami ruchu w każdym kierunku, natomiast dla drogi krajowej z jednym pasem ruchu 60 tys. zł za km/rok;
- Przychodów dla tej inwestycji nie założono, gdyż droga ta jest, jak większość dróg w Polsce finansowana i eksploatowana ze środków publicznych;
- Stopa dyskonta – 10% - dla obu opcji wariantów;
- Każdy scenariusz został poddany analizie na podstawie 2000 symulacji.

7.2.3. Metoda Scenariuszy

Tak samo jak w przypadku parkingu, w tym przypadku również przeanalizowano trzy scenariusze dotyczące możliwości zmian średniego dobowego natężenia ruchem, a ich podstawowe założenia przedstawiono w tabelicy 32.

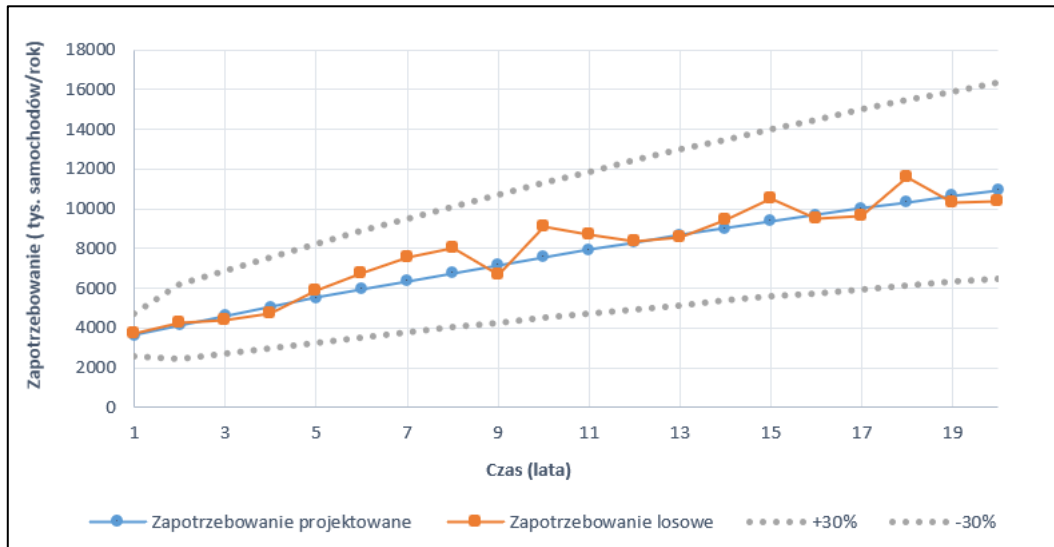
Tab. 32 Podstawowe założenia scenariuszy

Scenariusz	Projekcja obciążenia ruchem [tys. samochodów/dobę dla danego roku eksploatacji]								
	1	3	5	7	10	13	15	17	20
Optymistyczny	10	12,8	15,3	17,8	20	24,4	26,9	28,2	30
Pesymistyczny	3	4,6	6,3	7,8	11	11,8	12,9	14	17
Najbardziej prawdopodobny	6	7,9	9,7	11,4	15	16	17,3	18,6	20

Źródło: opracowanie własne

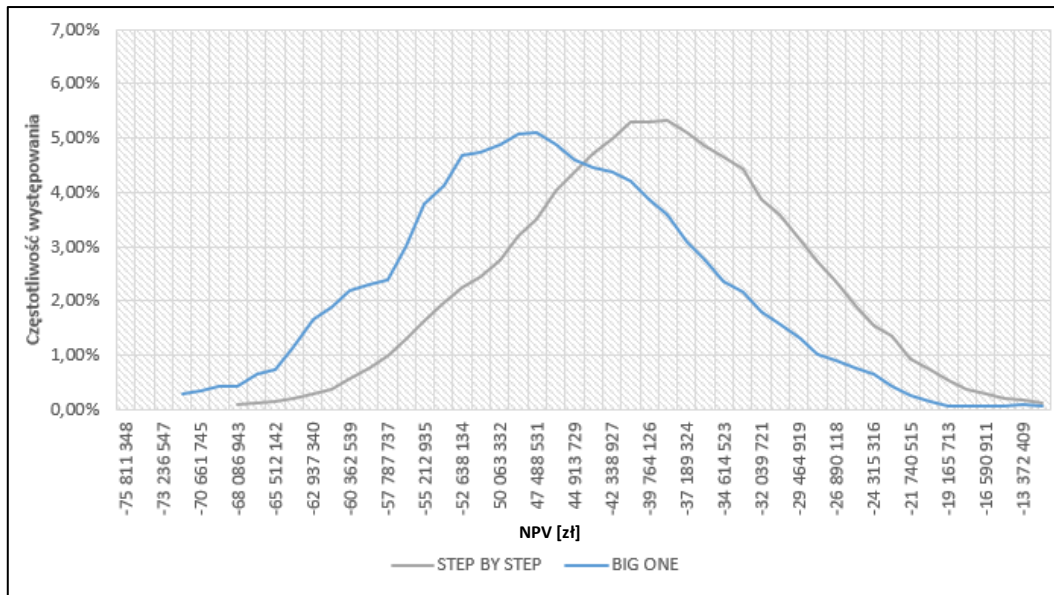
Powyższe graniczne wartości zostały oparte na podstawie średniego dobowego natężenia ruchu wykonanego przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) w „Syntezie wyników GPR 2020/21 na zamiejskich sieci dróg krajowych” [170] (3-10 tys. samochodów na dobę w zależności od lokalizacji ruchu).

7.2.3.1. Scenariusz optymistyczny



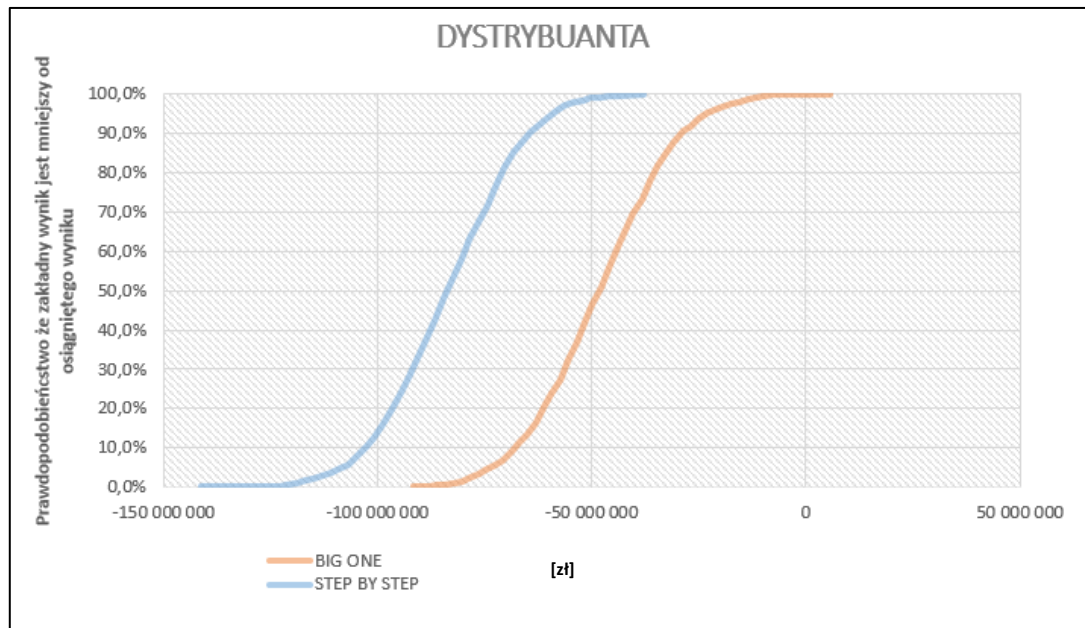
Rys. 7.16 Zapotrzebowanie popytowe dla scenariusza optymistycznego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7.17 Histogram rozkładu częstotliwości występowania wartości NPV dla scenariusza optymistycznego

Źródło: opracowanie własne



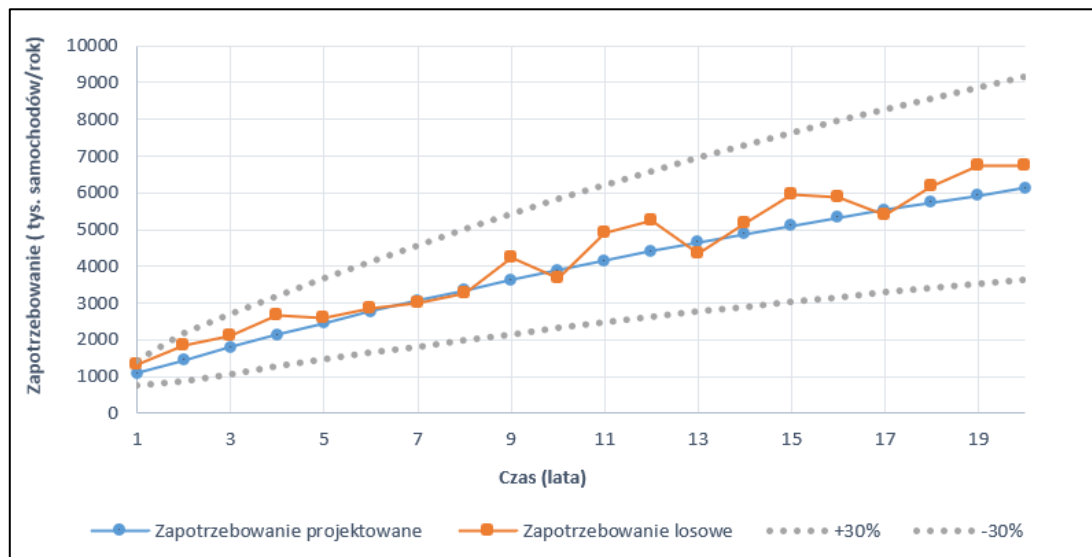
Rys. 7.18 Dystrybuanta rozkładu prawdopodobieństwa występowania wartości NPV dla scenariusza optymistycznego

Źródło: opracowanie własne

Podstawowe założenia tego scenariusza były oparte na szybkim, stałym wzroście natężenia ruchu na tym odcinku drogi. W połowie pierwszego okresu analizy średnie natężenie ruchu będzie na tyle duże, że dla wariantu Step by Step nastąpi rozbudowa drogi o kolejny pas ruchu w tym samym kierunku. Na Rys. 7.16 został przedstawiony wykres losowego rozkładu zapotrzebowania dla scenariusza optymistycznego. Na potrzeby analizy zostało założone 30% zmiennej niepewności.

Na rysunkach 7.17 i 7.18 zostały przedstawione odpowiednio wyniki symulacji przy pomocy Metody Monte Carlo dla obu wariantów realizacji inwestycji.

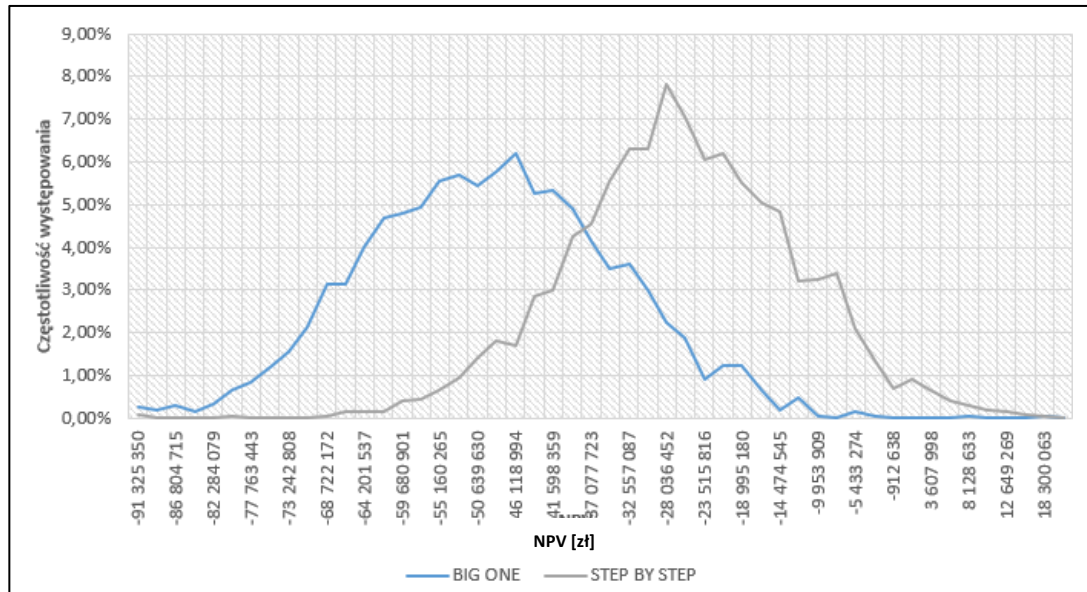
7.2.3.2. Scenariusz pesymistyczny



Rys. 7.19 Zapotrzebowanie popytowe dla scenariusza pesymistycznego

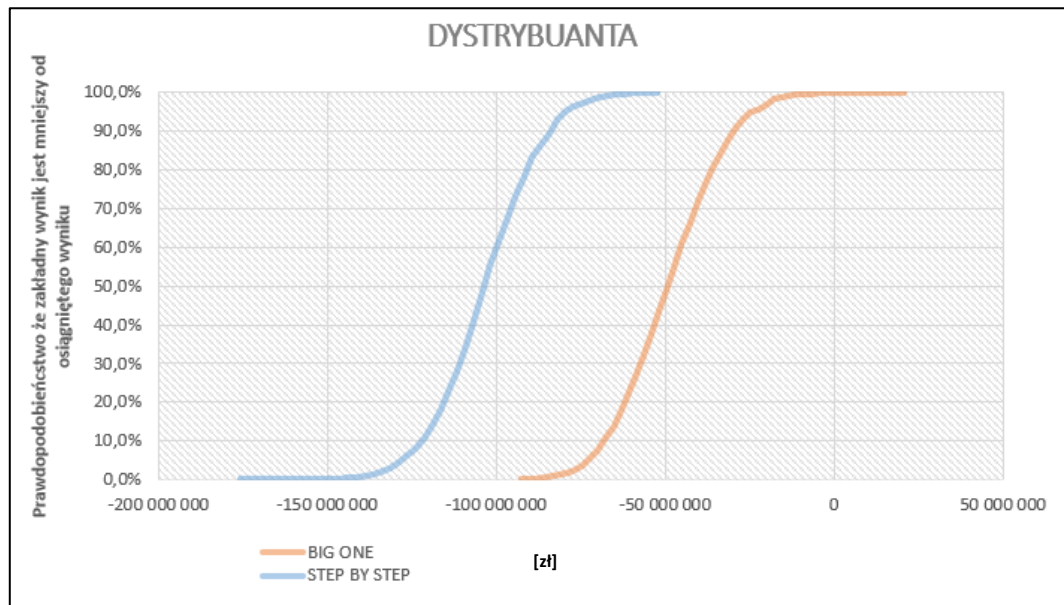
Źródło: opracowanie własne

Scenariusz pesymistyczny w swoich założeniach przedstawia, że średnie natężenie na tym odcinku drogi nie będzie rosło zbyt gwałtownie i dopiero pod koniec analiz, około 20-lecia, zajdzie potrzeba rozbudowy wariantu Step by Step o kolejny pas ruchu. Po 1 roku droga będzie nadal stanowiła mało uczęszczane połączenie komunikacyjne, dopiero w połowie okresu analizy droga ta będzie przejmować ruch równy aktualnemu natężeniu na głównych drogach krajowych.



Rys. 7.20 Histogram rozkładu częstotliwości występowania wartości NPV dla scenariusza pesymistycznego

Źródło: opracowanie własne



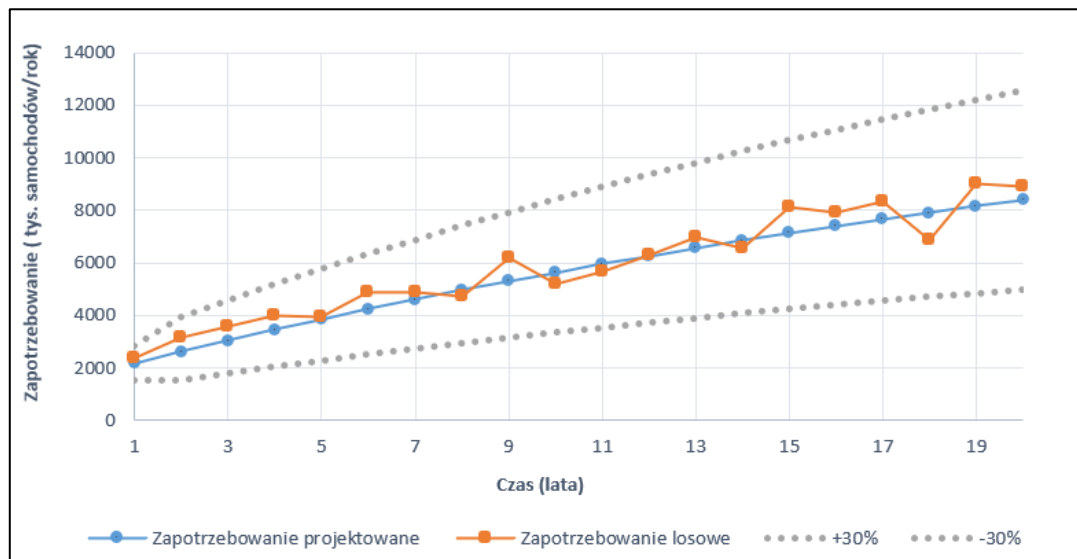
Rys. 7.21 Dystrybuanta rozkładu prawdopodobieństwa występowania wartości NPV dla scenariusza pesymistycznego

Źródło: opracowanie własne

7.2.3.3. Scenariusz najbardziej prawdopodobny

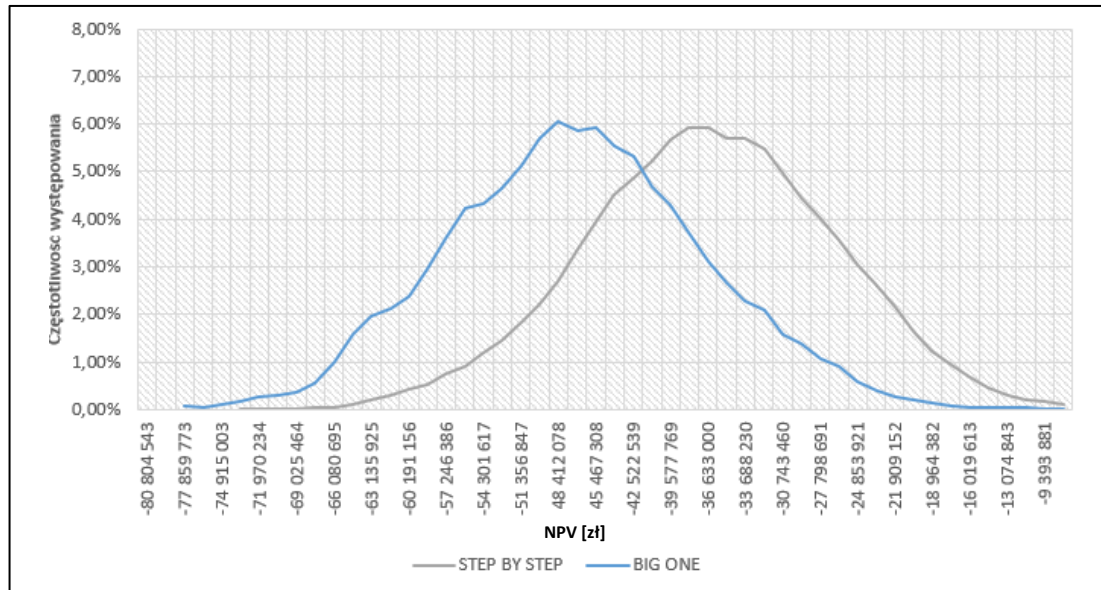
Dla scenariusza najbardziej prawdopodobnego założono, iż dopiero w połowie, tzn. po 10 latach nastąpi przekroczenie średniego natężenia ruchu i konieczna będzie rozbudowa o kolejny pas w wariancie Step by Step. Po 1 roku założono natężenie ruchu na średnim poziomie na drogach krajowych w 2021 roku [170].

Na rysunku 7.18 przedstawiony został rozkład zapotrzebowania popytowego w tym scenariuszu, a na Rys. 7.19 i Rys. 7.20 zostały naniesione wykresy obrazujące wyniki uzyskane przy pomocy Metody Monte Carlo.



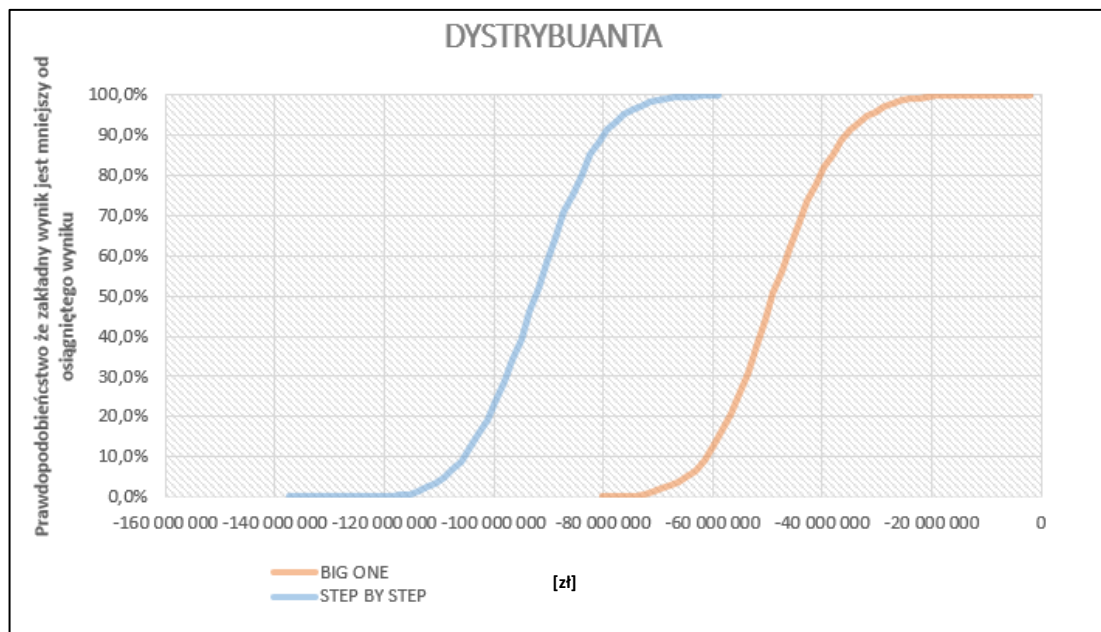
Rys. 7.22 Zapotrzebowanie popytowe dla scenariusza najbardziej prawdopodobnego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7.23 Histogram rozkładu częstości występowania wartości NPV dla scenariusza najbardziej prawdopodobnego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7.24 Dystrybuanta rozkładu prawdopodobieństwa występowania wartości NPV dla scenariusza najbardziej prawdopodobnego

Źródło: opracowanie własne

7.2.4. Wnioski

Ponownie, również dla tego przykładu, na wszystkich trzech histogramach przedstawiających rozkład częstotliwości przyjmowanych poziomów wartości bieżącej netto (NPV) - uzyskanych w wyniku symulacji przy pomocy metody Monte Carlo - przebieg wartości możliwych do uzyskania wskazuje na przewagę idei elastyczności.

Jak widać wartości NPV przyjmują wartości zawsze ujemne, co związane jest z założeniem, że odcinek tej drogi stanowi drogę krajową, na której administracja państwowa nie pobiera żadnych opłat za przejazd.

We wszystkich trzech scenariuszach wartości dla opcji Big One częściej przyjmują wartości niższe (po lewej stronie wykresu) niż opcja Step By Step. Wyraźne przesunięcia na wykresach dla opcji Step by Step w kierunku mniejszych ujemnych wartości NPV (po prawej stronie wykresu) ponownie potwierdzają ideę wprowadzenia elastyczności polegającej na ograniczeniu możliwości strat i zwiększeniu możliwości wykorzystania szans. W omawianym wypadku polegało to na budowie dodatkowego pasa w momencie przekroczenia granicznego, średniego ruchu dobowego pojazdów, czyli gdy wyniesie ponad 14 tys. pojazdów.

7.3. POZNAŃ BY – PASS A2 Autostradowa obwodnica Poznania

Kolejny badany i analizowany przypadek w niniejszej rozprawie dotyczył metody projektowania i etapowej rozbudowy 13 kilometrowego odcinka południowej obwodnicy Poznania, która jest częścią autostrady A2. Z racji swojej funkcji oraz połączenia trzech newralgicznych miejsc miasta, na tym odcinku drogi należy liczyć się ze wzrastającą liczbą użytkowników. Tym bardziej, że jest to również połączenie komunikacyjne o charakterze międzynarodowym (z Berlinem), łączącym wschodnią i zachodnią Polskę.



Rys. 7.25 Poznań BY - PASS A2 – Odcinek południowej obwodnicy autostradowej m. Poznania – podczas rozbudowy, 2019 rok

Źródło: [154]

Zanim zaczęto budowę - 20 lat temu (oddanie 2002), planowano budowę trzypasmową, jednakże ze względu na niskie natężenie ruchu (ok. 6000 pojazdów) zdecydowano przy pomocy narzędzi elastycznych, że powstanie jezdnia dwupasmowa z możliwością rozbudowy. W prognozach przyjęto, że rozpoczęcie prac przygotowawczych do budowy trzeciego pasa powinno się nastąpić w chwili, gdy poziom dobowy ruchu na obwodnicy osiągnie liczbę 45 tys. pojazdów. Według danych GDDKiA w 2017 r. - odcinek od węzła Poznań Zachód do węzła Komornik przejeżdżało średnio na dobę 45 tysięcy pojazdów. Pomiędzy węzłami Komorniki a Luboń było to już 60 tysięcy, a

z węzła Luboń do Krzesin niemal 62 tysiące samochodów dziennie. Wynikało to poniekąd również z powstania i przyłączenia do autostrady do A2 dróg ekspresowych S5 i S11. Podjęto zatem przygotowania do rozbudowy

(Rys. 7.25). Prace rozpoczęły się 1 marca 2019, a zakończyły pod koniec grudnia tego samego roku (Rys. 7.26). Polegały one na dobudowie kolejnego pasa w każdym kierunku, a dodatkowo na modernizacji nawierzchni, by była ona przystosowana do zwiększonego natężenia ruchu. Ponadto wymieniono bariery ochronne i oświetlenie oraz rozbudowano sieć ekranów akustycznych wzdłuż całej trasy. Aktualnie obwodnicą przejeżdża dziennie około 65 tysięcy pojazdów, co oznacza że rocznie na tym odcinku przemieszcza się blisko 23 miliony pojazdów.



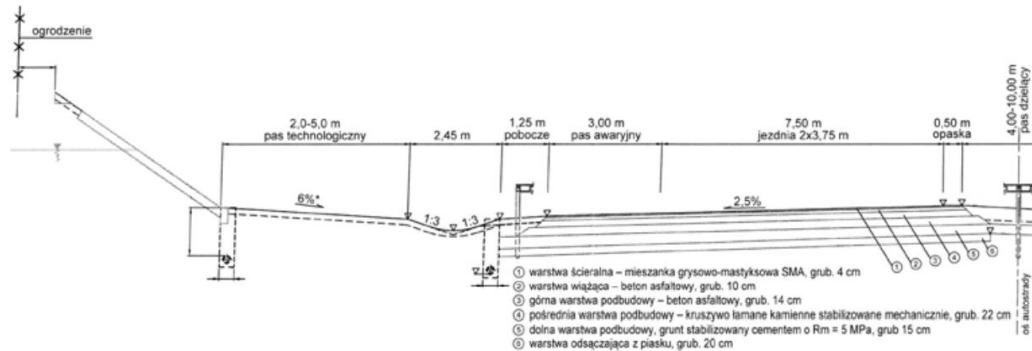
Rys. 7.26 Poznań BY - PASS A2 – Odcinek południowej obwodnicy autostradowej m. Poznania – obecnie, 2019 rok

Źródło: [154]

7.3.1. Ogólna charakterystyka obiektu

Do obliczeń założono, iż autostrada położona jest w terenie równinnym, szerokość korony drogi jest równa od 37,0 m w tym szerokość jezdni 3,75 m, pas awaryjny 3,0 m, opaska od strony pasa dzielącego 0,5 m [167]. Spadki poprzeczne jezdni założono na poziomie 2,5 %, a szerokość pobocza gruntowego przyjęto na poziomie 1,25 m i spadku poprzecznym

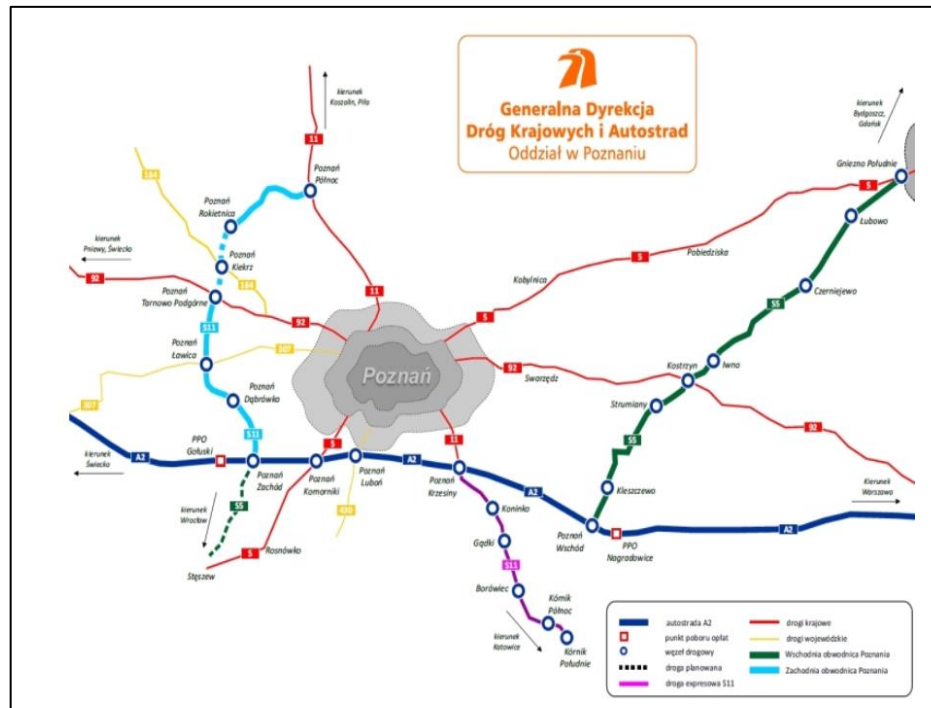
równym 6%. Szerokość pasa dzielącego wynosiła do 15 m (Rys. 7.27). Konstrukcja jezdni została zaprojektowana na obciążenia dochodzące do 115 kN/oś.



Rys. 7.27 Przekrój przez jednię autostrady

Źródło: [167]

Cena za 1 m² autostrady wykorzystana do obliczeń została ustalona na poziomie 990 zł co odpowiada średniej cenie 28 967 822 zł na każdy kilometr drogi ekspresowej w II połowie 2021 roku [167]. Struktura poszczególnych składników założonej ceny przedstawia w tabela 16.



Rys. 7.28 Połączenie drogowe na odcinku obwodnicy m. Poznania

Źródło: GDDKiA

Tab. 16 Struktura ceny wykonania 1 m² obwodnicy autostradowej m. Poznania – POZNAŃ BY PASS A2

Opis	Wskaźnik na m2 jezdni w zł	Udział % w cenie
Roboty przygotowawcze	70,35	7,1
Roboty ziemne	306,43	31,0
Odwodnienie korpusu drogowego	18,91	1,9
Podbudowy	286,98	29,0
Nawierzchnia	102,23	10,3
Roboty wykończeniowe	96,17	9,7
Oznakowanie dróg i urządzenia bezpieczeństwa	101,62	10,3
Elementy ulic	5,80	0,6
Zieleń Drogoza	1,24	0,1
Inne roboty	0,11	0,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie [167]

7.3.2. Podstawowe założenia analizy

W związku z wieloma funkcjami na tym odcinku drogi, takimi jak: [Rys. 7.28]

- obwodnica miasta Poznania
- węzeł drogowy drogi ekspresowej S5 w kierunku Bydgoszczy
- węzeł drogowy drogi ekspresowej S5 w kierunku Wrocławia
- odcinek drogi ekspresowej S11
- odcinek autostrady A2 Warszawa – Świecko,

należy spodziewać się dynamicznego wzrostu średniego dobowego ruchu kołowego.

Dla zilustrowania korzyści z wprowadzenia elastyczności przygotowano dwa warianty inwestycji:

- **WARIANT A (BIG ONE)** - Budowę drogi z trzema pasami ruchu jednorazowo, niezależnie od kształtowania się popytu;
- **WARIANT B (STEP BY STEP)** - Budowę drogi z dwoma pasami ruchu w pierwszym etapie i opcją rozbudowy w następnych latach o kolejny pas ruchu, w zależności od natężenia ruchu – projekt zrealizowany. Czas rozbudowy założono, gdy ŚDR (średni dobowy ruch) przekroczy 45 tys. samochodów/dobę [170];
- Całkowity koszt budowy został oszacowany na podstawie wymiarów pasa ruchu autostrady i odpowiednio wynosił: 16,25 m dla autostrady z dwoma pasami ruchu oraz 20 metrów dla autostrady z trzema pasami ruchu;
- Koszty eksploatacji oraz utrzymania dróg zostały założone na podstawie raportu NIK [172] na temat wykonywania przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad zadań związanych z utrzymaniem i remontami dróg. Wyniosły one 210 tys. zł na km/rok na autostradzie z dwoma pasami ruchu w każdym kierunku;
- Przychody na tym odcinku założono na podstawie średniego kosztu opłaty autostradowej w Polsce (0,23 gr/km dla samochodu osobowego) i odpowiednio uśredniono dla całego ruchu autostradowego (77% ŚDR samochody osobowe, 13% ŚDR samochody dostawcze, 4% ŚDR samochody ciężarowe bez przyczepy, 5% ŚDR samochody ciężarowe z przyczepą oraz autobusy 1% ŚDR [168]) i przyjęto 0,31 gr na 1 km autostrady;
- Stopa dyskonta – 10% - dla obu opcji wariantów;
- Każdy scenariusz został poddany analizie na podstawie 2000 symulacji.

7.3.1. Metoda Scenariuszy

Podobnie jak w poprzednich dwóch przypadkach zostały przeanalizowane trzy scenariusze dotyczące możliwości zmian średniego dobowego natężenia ruchem, a ich podstawowe założenia przedstawiono w tablicy 33.

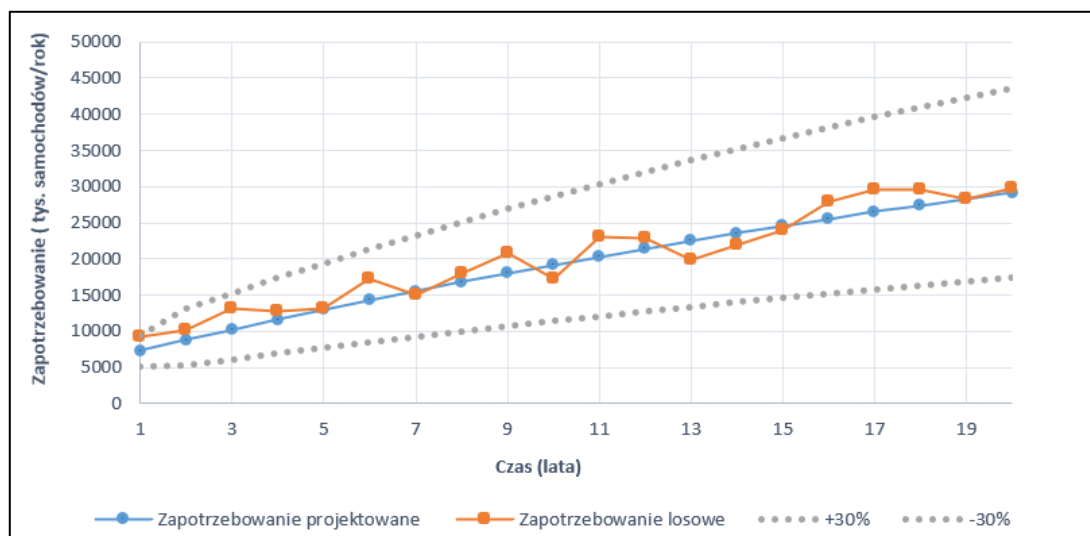
Tab. 33 Podstawowe założenia scenariuszy dla POZNAŃ BY - PASS A2

Scenariusz	Projekcja obciążenia ruchem [tys. samochodów na dobę/rok eksploatacji]								
	1	3	5	7	10	13	15	17	20
Optymistyczny	20	28	35,6	42,7	60	61,7	67,3	72,8	80
Pesymistyczny	8	10,2	12,3	14,3	15	19,6	21,4	23,8	30
Najbardziej prawdopodobny	15	18,3	21,5	24,4	25	32,7	35,3	37,7	50

Źródło: opracowanie własne

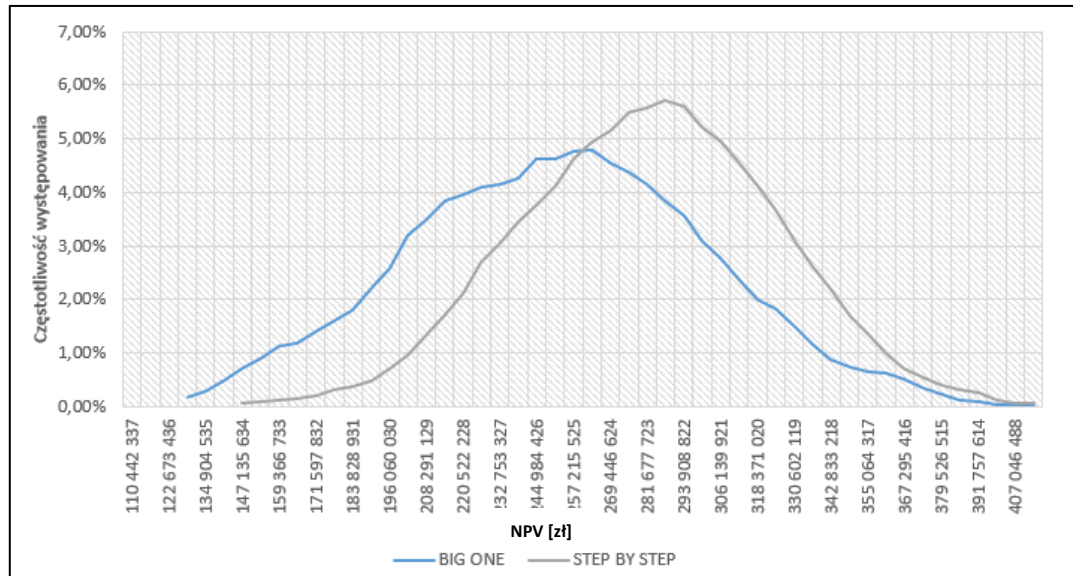
Powyższe graniczne wartości zostały oparte na podstawie średniego dobowego natężenia ruchu wykonanego przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) [170] - średni ruch autostradowy w Polsce w 2021 roku wynosił 35 tys. samochodów dobę.

7.3.1.1. Scenariusz optymistyczny



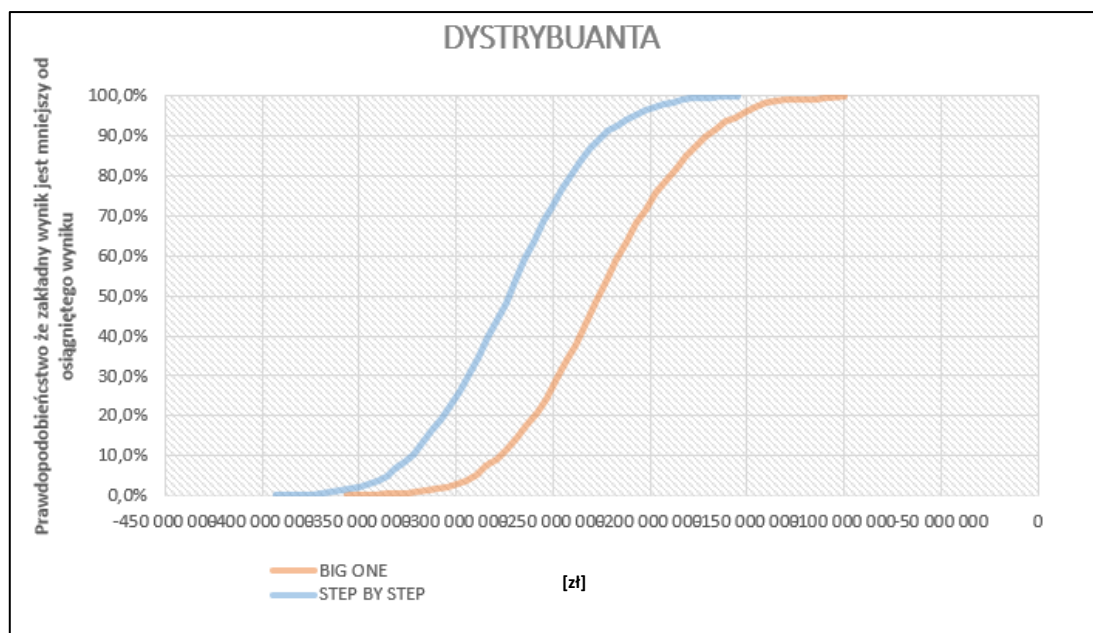
Rys. 7.29 Zapotrzebowanie popytowe dla scenariusza optymistycznego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7.30 Histogram rozkładu częstotliwości występowania wartości NPV dla scenariusza optymistycznego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7.31 Dystrybuanta rozkładu prawdopodobieństwa występowania wartości NPV dla scenariusza optymistycznego

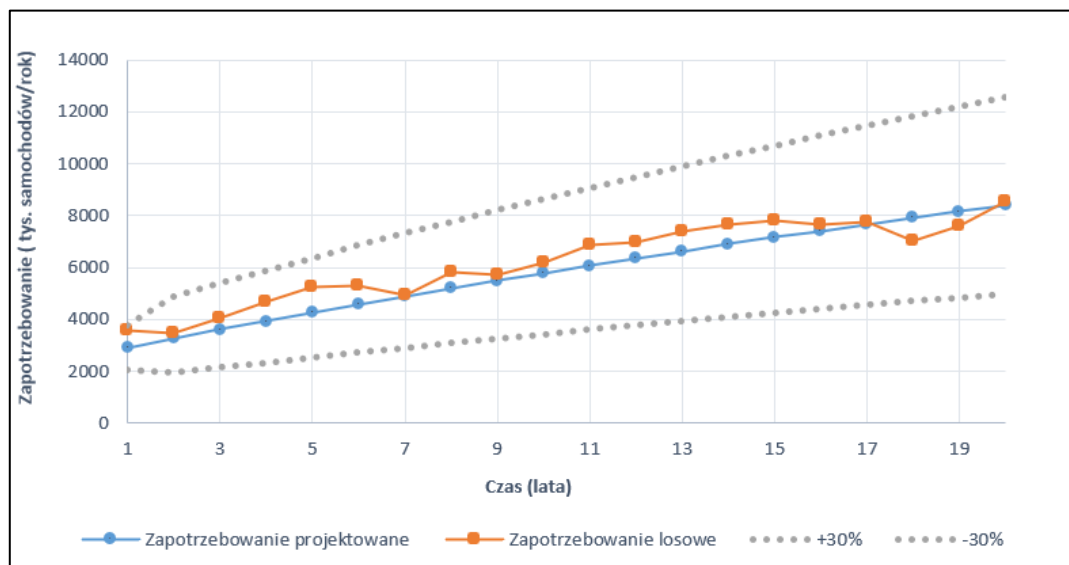
Źródło: opracowanie własne

Podstawowe założenia tego scenariusza były oparte na szybkim stałym wzroście natężenia ruchu na Poznań BY – PASS A2. Po pierwszych 10 latach analizy średnie natężenie ruchu będzie na tyle duże, że dla wariantu Step by Step musiała zostać wykonana wcześniej rozbudowa drogi o kolejny

pas ruchu w tym samym kierunku. Na rys. 7.29 został przedstawiony wykres losowego rozkładu zapotrzebowania w scenariuszu optymistycznym. Na potrzeby analizy założono 30% zmiennych niepewności.

Na rysunkach 7.30 i 7.31 zostały przedstawione odpowiednio wyniki symulacji przy pomocy metody Monte Carlo dla obu wariantów realizacji inwestycji.

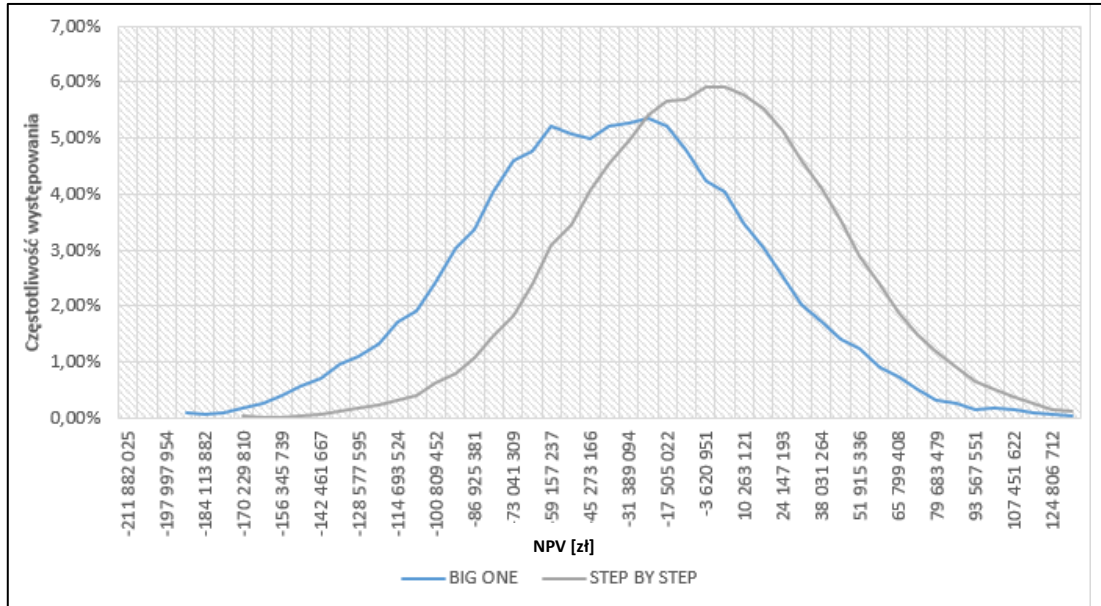
7.3.1.2. Scenariusz pesymistyczny



Rys. 7.32 Zapotrzebowanie popytowe dla scenariusza pesymistycznego

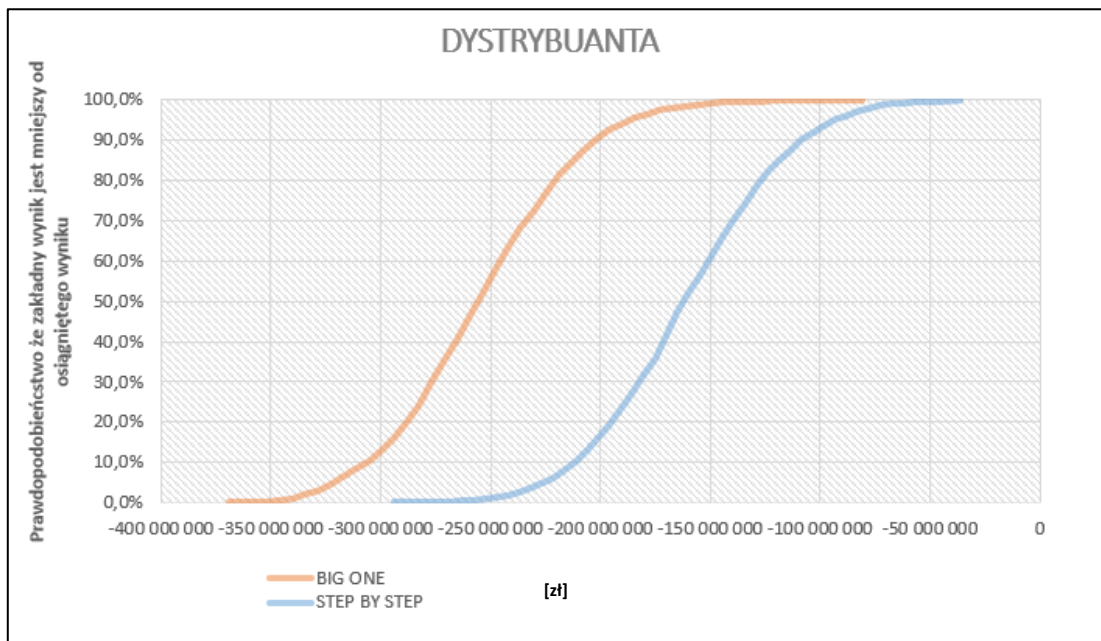
Źródło: opracowanie własne

Scenariusz pesymistyczny w swoich założeniach przewiduje, że natężenie na tym odcinku drogi nie będzie rosło gwałtownie i w całym okresie analizy nie wystąpi na tyle duże średnie natężenie ruchu by zaistniała potrzeba rozbudowy wariantu wyjściowego Step by Step o kolejny pas ruchu. Początkowo Poznań BY-PASS A2 będzie nadal stanowiło mało uczęszczane połączenie komunikacyjne, dopiero po 10 latach analizy droga będzie przyjmować ruch równy aktualnemu natężeniu na głównych drogach krajowych (tzn. nie na autostradzie).



Rys. 7.33 Histogram rozkładu częstości występowania wartości NPV dla scenariusza pesymistycznego

Źródło: opracowanie własne



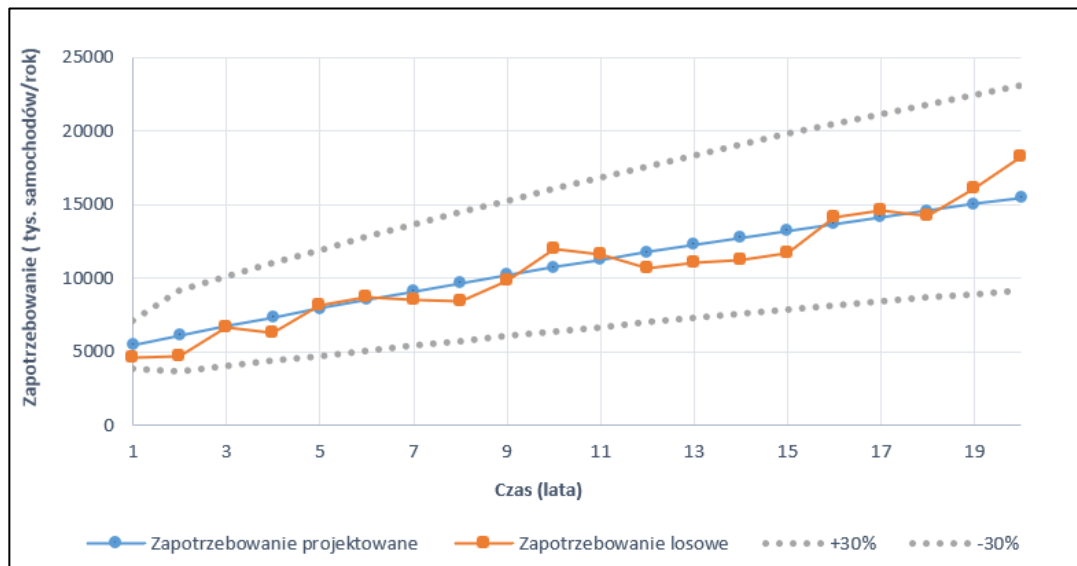
Rys. 7.34 Dystrybuanta rozkładu prawdopodobieństwa występowania wartości NPV dla scenariusza pesymistycznego

Źródło: opracowanie własne

7.3.1.3. Scenariusz najbardziej prawdopodobny

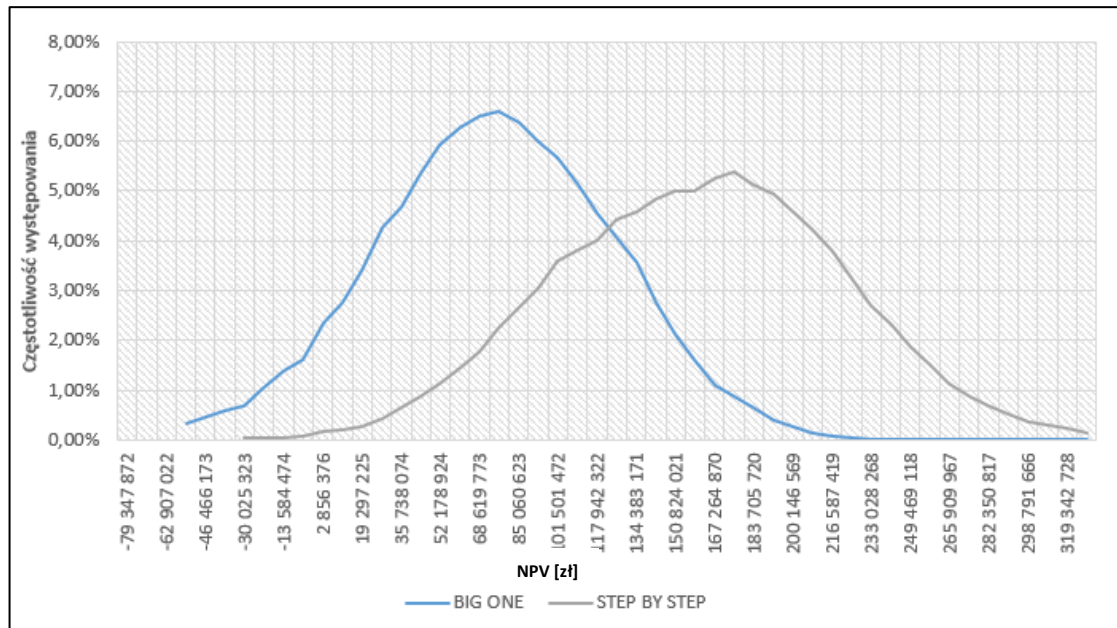
Analiza scenariusza najbardziej prawdopodobnego opierała się na stopniowym wzroście średniego dobowego natężenia ruchu na obwodnicy m. Poznania Poznań BY – PASS A2. Rozbudowa o kolejny pas została oszacowana na drugi okres analizy, czyli pomiędzy 10 a 20 rokiem użytkowania. Ponadto założono natężenie ruchu na średnim poziomie na drogach krajowych w 2021 roku [170].

Na rysunku 7.35 przedstawiony został rozkład zapotrzebowania popytowego w tym scenariuszu, a na Rys. 7.36 i Rys.7.37 zostały naniesione wykresy obrazujące wyniki uzyskane przy pomocy metody Monte Carlo.



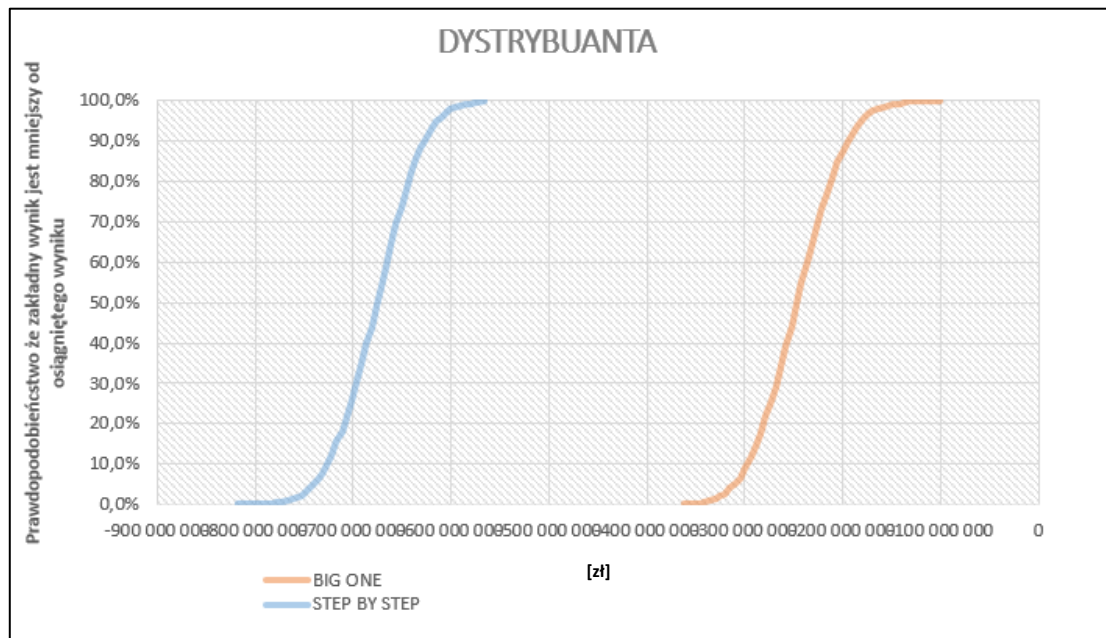
Rys. 7.35 Zapotrzebowanie popytowe dla scenariusza najbardziej prawdopodobnego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7.36 Histogram rozkładu częstotliwości występowania wartości NPV dla scenariusza najbardziej prawdopodobnego

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7.37 Histogram rozkładu częstotliwości występowania wartości NPV dla scenariusza najbardziej prawdopodobnego

Źródło: opracowanie własne

7.3.2. Wnioski

Po raz kolejny dla wszystkich trzech przykładów wyniki przedstawiające rozkład częstotliwości przyjmowanych poziomów wartości bieżącej netto (NPV) - uzyskanych w wyniku symulacji przy pomocy metody Monte Carlo - i możliwych do uzyskania wskazuje na przewagę idei elastyczności.

Jak widać wartości NPV przyjmują niekiedy wartości ujemne, co związane jest z bardzo dużymi kosztami początkowymi (budowa) i relatywnie krótkim, bo tylko 20 letnim, okresem analizy. Taki przedział czasu dla danych założeń nie będzie wykazywał zawsze dodatnich wartości NPV. Jednakże, należy zauważyć, że opcja Step by Step dla wariantu najbardziej prawdopodobnego nie wykazuje praktycznie żadnych wartości ujemnych.

Wszystkie trzy scenariusze dla wariantu Big One ukazują, iż wykres dla tej opcji przyjmuje większe wartości w znaku ujemnym (lewa strona wykresu). Szczególnie wyraźnie widoczne jest to dla scenariusza najbardziej prawdopodobnego, niż dla wariantów Step By Step. Dodatkowo częstotliwości większych ujemnych wartości NPV możliwe do uzyskania dla wariantu Big One są większe niż dla opcji Step By Step (wykresy Big One są wyższe po lewej stronie, przyjmuje wyższe wartości maksymalne). Dla opcji Step by Step wykres jest bardziej płaski, przyjmując mniejsze częstotliwości występowania największych ujemnych wartości NPV (zawsze znajduje się on po prawej stronie, przyjmując częściej wartości dodatnie). Po raz kolejny potwierdza to ideę wprowadzenia elastyczności polegającej na ograniczeniu możliwości strat i zwiększeniu możliwości wykorzystania szans. W omawianym wypadku polegało to na budowie trzeciego pasa ruchu w momencie przekroczenia granicznego średniego ruchu dobowego pojazdów.

8. Zakończenie

8.1. Podsumowanie i wnioski

W przypadku celów, które przedstawiono w rozdziale 1.2 niniejszej rozprawy, wyciągnięto następujące wnioski:

1. pierwszy cel cząstkowy pracy, który dotyczył opracowania procedury pozwalającej na ocenę możliwości zastosowania różnych opcji elastyczności, został osiągnięty i przedstawiony w rozdziale 6 rozprawy dotyczącym metodyki;
2. drugi cel cząstkowy rozprawy polegał na wprowadzeniu takich zmian w typowych obliczeniach ENPV, które pozwalają na wykorzystanie wszystkich szans wynikających z zastosowania podejścia elastycznego, również został on osiągnięty przez zastosowanie metody FLEXICON polegającej na połączeniu trzech metod wzajemnie się dopełniających i wzajemnie eliminujących swoje wady.
3. głównym celem pracy było przedstawienie i rozpropagowanie metodyki elastycznego podejścia do projektowania wraz ze wszystkimi korzyściami płynącymi ze zmiany tradycyjnego modelu projektowania w obiektach inżynierskich na podejście elastyczne. Cel ten został w pełni zrealizowany.

Ponadto badania oceny efektywności ekonomicznej tych samych przedsięwzięć komunikacyjnych wykonanych przy pomocy tradycyjnych metod projektowych i metod elastycznych, wykazały iż podejście elastyczne umożliwia osiągnięcie lepszych wyników pod względem ekonomicznym i stanowią metodę ograniczającą ryzyko i wykorzystanie pojawiających się szans.

Dowody na słuszność postawionych tez w rozdziale 1.2 rozprawy możemy znaleźć w:

- badaniach własnych oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć infrastruktury drogowej, dla wszystkich trzech przykładów,
- otrzymanych wynikach przedstawiających wartości NPV w całym cyklu życia inwestycji.

Otrzymane wyniki badań własnych (Rozdział 7) udowodniły, że przy pomocy elastycznego podejścia do projektowania infrastruktury inwestor otrzymuje rozwiązanie, które posiada następujące zaletę: ograniczenie ryzyka poprzez wcześniejsze zamodelowanie i rozwiązanie zagrożeń. Dodatkowo uzyskuje możliwość zmian na każdym etapie procesu inwestycyjnego czy finalnie dopasowanie się projektu do zmieniających się warunków zewnętrznych (np. obciążenie ruchem, zmiana klasy drogi, zmiana pełnionej funkcji itp.) Tym samym teza pomocnicza mówiąca o tym, że pomocy elastycznego podejścia do projektowania infrastruktury inwestor (czy to prywatny czy to publiczny) może otrzymać niewymierne korzyści została udowodniona.

Im większa różnorodność projektu, a co za tym idzie - wrażliwość na zmiany, tym większe ryzyko oraz konieczność zastosowania metod elastycznych w projektowaniu.

Ponadto zauważono, że ograniczenie stosowania podejścia elastycznego nie wynika z trudności wykonania takiego projektu czy z nowych, nierozpoznanych metod projektowych. Związane jest to jedynie z:

- dominacją tradycyjnego podejścia, opierającego się na jednym etapie analiz, w którym dominuje minimalizacja kosztów inwestycji. W tym podejściu brak jest ponadto badań decyzyjnych, opartych na badaniach cyklu życia inwestycji. Projektant zatem uznaje, iż taka procedura doprowadzi do szybszego efektu końcowego.
- brakiem świadomości ekonomicznej inwestora i potencjalnych użytkowników w przestrzeni całego cyklu życia inwestycji, gdzie koszty rozpoznane są jedynie w pierwszej fazie – realizacji inwestycji.

Dlatego też uważa się, iż podjęta w rozprawie tematyka jest istotna i jej rozpropagowanie stanowi ważny cel w badaniach naukowych.

8.2. Wkład własny autora i osiągnięcia praktyczne

W rozprawie doktorskiej systematyzowano stan wiedzy dotyczący zagadnień związanych z elastycznym projektowaniem i oceną efektywności inwestycji, a także budowlanym procesem inwestycyjnym i ryzykiem w nim występującym.

Celem przeglądu literatury polskiej i zagranicznej było osadzenie budowlanego procesu inwestycyjnego w ramach inżynierii przedsięwzięć budowlanych oraz ekonomiki budownictwa. Ponadto zaprezentowano pojęcie elastyczności jako koncepcji służącej do osiągnięcia lepszych wyników z punktu widzenia efektywności ekonomicznej.

W ramach przeglądu literatury zaprezentowano sześć przykładów rozwiązań elastycznych, wykorzystywanych podczas realizacji inwestycji infrastrukturalnych wielkogabarytowych, podkreślając tym znaczenie uniknięcia efektu „białego słonia”.

Przeprowadzono badania własne trzech obiektów infrastruktury transportowej, w których wykazano, iż zastosowanie elastycznego podejścia do projektowania podczas realizacji inwestycji infrastrukturalnych jest uzasadnione, co stanowi największą wartość dodaną niniejszej rozprawy.

Klasyfikacja i uszeregowanie stanu wiedzy dotyczące zagadnień obejmujących przedmiot badań, jak i również badania własne oceny efektywności ekonomicznej wskazujące zalety wprowadzenia elastyczności, uzupełniają, stan wiedzy w tej dziedzinie oraz wnoszą nową wartość badawczą.

W rozprawie wyróżnia się trzy osiągnięcia praktyczne rozprawy:

- 1) opracowanie własnej metody wprowadzenia elastycznego podejścia do projektowania inwestycji infrastrukturalnych,
- 2) budowa modelu symulacyjnego zapotrzebowania i popytu obciążenia ruchem drogowym dla trzech scenariuszy (optymistycznego, pesymistycznego i najbardziej prawdopodobnego),
- 3) opracowanie wyników badań własnych, otrzymanych przy pomocy metody FLEXICO przez porównanie elastycznego podejścia do projektowania z podejściem tradycyjnym.

8.3. Kierunki dalszych badań

Pomimo, że tematyka podjęta w pracy została omówiona dość szczegółowo, to jednak sam problem badawczy został zawężony i obejmował tylko symulację obciążenia ruchem jako czynnika determinującego ocenę

efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia budowlanego. Należałoby podjąć dalsze badania i poszerzyć materiał badawczy o symulacyjne badania zmiany stopy dyskonta w czasie.

Zatem planowane dalsze badania obejmują:

- adaptację założeń wyjściowych przeprowadzonych badań oraz uproszczenie procedury obliczeniowej do zmiennej wartości stopy dyskontowej,
- wykonanie ponownych symulacji dla wszystkich analizowanych przypadków pozwalających zobrazować uzyskane wartości stopy dyskonta,
- opracowanie i przedstawienie wyników wartości bieżącej netto (NPV) przy zmiennej stopie dyskonta,
- zobrazowanie schematu postępowania podczas analizy efektywności ekonomicznej uwzględniającej wszystkie znaczące czynniki.

Ponadto bieżę się ponadto pod uwagę fakt, iż koncepcja zmniejszającej się w czasie stopy dyskontowej jest prawidłowa i powinna być stosowana dla inwestycji długoterminowych. Zatem w dalszych analizach planuje się zastosować zmniejszającą się w czasie stopa dyskonta [41]:

- ze względu na występowanie niepewności w oparciu o koncepcję Wietzmana,
- w oparciu o koncepcję wyboru społecznego Li i Löfgrena,
- w oparciu o propozycję Loewensteina i Preleca.

Ponadto przewiduje się, iż dalsze modelowanie i symulacje dotyczące efektywności ekonomicznej inwestycji zostaną rozszerzone o komercyjne budynki wielkogabarytowe, takie jak: obiekty sportowe, hale magazynowe czy centra handlowe.

Bibliografia

Literatura

- [1]. Ansoff H. I., A work system view of DSS in its fourth decade, *Decision Support Systems*, Vol. 38, , 2004, s.319-327
- [2]. Antkiewicz T., Wykorzystanie opcji realnych w wycenie projektów inwestycyjnych na przykładzie przemysłu farmaceutycznego, *Zarządzanie finansami firm – teoria i praktyka*, red. Bernaś B., Pluta W., *Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław 2007
- [3]. Arya A., Fellingham J.C, Glover J.C, *Capital Budgeting: some exceptions to the net Present Value Rule*, *Issues in Accounting Education* 1998, r.13, nr.3
- [4]. Behrens W., Hawranek P.M., *Poradnik przygotowania przemysłowych studiów feasibility*, przeł. Gołębiowski T., Pigoń P., Puławska E., UNIDO, Warszawa 1993, s.333
- [5]. Brealey A.R., Myers S.C., *Podstawy finansów przedsiębiorstw*, przeł. J. Katolik, PWN, Warszawa, 1999
- [6]. Brigham E.F, *Podstawy zarządzania finansami T.2*, Polskie wydawnictwo Ekonomiczne S.A, Warszawa 1996, s.53
- [7]. Brigham E.F., Gapenski L.C, *Zarządzanie finansami*, przeł. M.Dyk i in., PWE, Warszawa 2000
- [8]. Bizon – Górecka J., Górecki J., *Ryzyko projektu inwestycyjno – budowlanego w perspektywie formuły jego realizacji*, *Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management* Nr 74, 2015, s. 4-15
- [9]. Borowiecki R., *Efektywność przedsięwzięć rozwojowych. Metody – analiza – przykłady*, Fogra, Warszawa – Kraków 1995, s.14-17
- [10]. Brochocka U., Gajęcki R., *Metody oceny projektów inwestycyjnych*, Oficyna Wydawnicza Szkoły Głównej Handlowej, Warszawa 1997
- [11]. Brzozowska K., *Infrastruktura publiczna jako kategoria ekonomiczna*, *Ekonomista* 2002, nr 1, str. 127-140
- [12]. *Budżetowanie kapitałów*, red. Pluta W., PWE, Warszawa 2000
- [13]. Carlsson B., *Flexibility and the theory of the firm*, *International Journal of Industrial Organization*, vol. 7, 1989, s.179-203,
- [14]. Ciesielski M., Szudrowicz A., *Ekonomika transportu*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2000.
- [15]. Copland T.E, Keenan P.T., *How Much is Flexibility Worth?*, *The McKinsey Quarterly* 1998, No.2 s.38-49
- [16]. Czechowski L, Dziworska K., Gostrzowska-Drzewicka T., Górczyńska A., Ostrowska E., *Projekty inwestycyjne*, ODDK, Gdańsk 1999
- [17]. Czekaj J. Z. Dresler Z., *Podstawy zarządzania finansami firm*, PWN, Warszawa 1997, s.38
- [18]. Corrie R.K., *Project Evaluation*, Thomas Telford, London 1991
- [19]. Cousens A., Szwejcowski M., Sweeney M., *A proces for managing manufacturing flexibility*, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 29, 2008, s.357-385,
- [20]. Damodaran A., *Ryzyko strategiczne. Podstawy zarządzania ryzykiem*, Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Warszawa 2009, s. 196-197



- [21]. Däumler D.K., Grundlagen der Investitions – und Wirtschaftlichkeitsrechnung, Verlag Neue Wirtschaftsbriefe, Berlin 1984, s. 163
- [22]. Das K., Integrating effective flexibility measures into a strategic supply chain planning model, European Journal of Operational Research, 211(1) 170-183, 2011
- [23]. De Neufville R, Dynamic strategic planning for technology policy, International Journal of Technology Management, 19, 225-245, 2000
- [24]. De Neufville R, Uncertainty management for engineering systems planning and design, Faculty Monograph, MIT Engineering Systems Symposium, Cambridge, MA, 2004
- [25]. De Neufville R, Scholtes S., Flexibility in Engineering Design, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2011
- [26]. Dean J., Measuring the Productivity of Capital, Harvard Business Review, January – February 1954, s. 120-130
- [27]. Dobbins R., Frąckowiak W., Witt S.F., Praktyczne zarządzanie kapitałami firmy, Pannpol, Poznań 1992
- [28]. Dobija M., Elementy rachunkowości zarządczej, Fundacja Rozwoju Rachunkowości w Polsce, Warszawa 1991, s.64
- [29]. Dobija M., Dobija D., Kuchmacz J., Inwestowanie i kredytowanie, Centrum Kreowania Liderów, Skierniewice 1993, s.80
- [30]. Dziembowski Z., Infrastruktura jako kategoria ekonomiczna, Ekonomista, 1985, nr 4-5.
- [31]. Dziworska K., Pojęcie i rodzaje inwestycji, [w:] Projekty inwestycyjne. Finansowanie, metody i procedury oceny, red. T. Gostkowska – Drzewiecka, Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr, Gdańsk 1996
- [32]. Dziworska K., Decyzje inwestycyjne przedsiębiorstw, Uniwersytet Gdański, Gdańsk 2000
- [33]. Dudycz T., Wrzosek S., Analiza finansowa – problemy metodyczne w ujęciu praktycznym, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 2003, s. 163
- [34]. Encyklopedia organizacji i zarządzania, red. L. Pasieczny, PWE, Warszawa 1981, s.456
- [35]. Eppik D.J., Planning for stratrgic flexibility, Long Range Planning, vol. 11, s. 9-15, 1978
- [36]. Fiedorowicz K., Sieć osadnicza a integracja infrastruktury technicznej kraju, Miasto, 1969, nr 7.
- [37]. Findeisen W., Analiza systemowa – podstawy i metodologia, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1985
- [38]. Flak W., Inwestor: Inwestycje rzeczowe, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2000
- [39]. Fisher I., The Theory of Interest, Macmillan, New York 1930
- [40]. Fojud A., Modelowanie cyklu życia produktu realizowanego w ramach przedsięwzięcia budowlanego,
- [41]. Foltyn-Zarychta M., Koncepcja zmniejszającej się w czasie stopy dyskonta w ocenie efektywności inwestycji publicznych o oddziaływaniach długoterminowych. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2014
- [42]. Gajdka J., Walińska E., Zarządzanie finansowe, T.2, warszawa 1998 s.14
- [43]. Gajzler M, Kośmiejka M, Paślawski J. Elastic designing the road infrastructure in example, Czasopismo Techniczne. Budownictwo, Nr. 2B (6), 2014, str. 57-64

- [44]. Gawron H., Ocena efektywności inwestycji, Wydawnictwo AE w Poznaniu, Poznań 1997
- [45]. Gradowska A, Połowski M., Wpływ uwarunkowań środowiskowych na koszty realizacji inwestycji drogowych na przykładzie przebudowy odcinka drogi krajowej S7, Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 62, 2013: 472–486
- [46]. Gerwin D., Manufacturing flexibility: a strategic perspective, Management Science, vol. 39, s.395-41, 1993
- [47]. Grzywacz W., Infrastruktura transportu. WKiŁ, Warszawa 1972.
- [48]. Helms M.M, Encyklopedia of Management, Thompson Gale, Detroit, 2006
- [49]. Hertz D. B., Risk Analysis in Capital Investments, Harvard Business Review, 1964
- [50]. Horman M.J, Thomas H.R, Role of inventory buffers in construction labor performance, Journal of Construction Engineering and Management, 131, 2005, str. 834-843
- [51]. Jajuga T., Projekt inwestycyjny jako opcja, Zarządzanie finansami w transformacji przedsiębiorstw, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 1999
- [52]. Jajuga T., Słoński T., Finanse spółek – długoterminowe decyzje inwestycyjne i finansowe, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 1998, s. 103
- [53]. Jajuga T., Wpływ decyzji inwestycyjnych i finansowych na elastyczność strategiczną przedsiębiorstwa, Zarządzanie finansami firm – teoria i praktyka, red. Barnaś B., Pluta W., Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław 2007
- [54]. Jakimovska G., Exploring Flexibility in Stadium Design, Submitted to the Department of Architecture in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Architecture Studies at the Massachusetts Institute of Technology, Berlin 2007
- [55]. Jędrzejowicz P. , Wybrane modele decyzyjne w produkcji i eksploatacji, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 1981
- [56]. Jabubowski J., Sztencel R., Wstęp do teorii prawdopodobieństwa, Scrip, Warszawa 2004
- [57]. Jonson H., Ocena projektów inwestycyjnych – maksymalizacja wartości przedsiębiorstwa, przeł. J. Kluziński, KE Liber, Warszawa 2000
- [58]. Joseph O.A., Sridharan R., Effects of flexibility and scheduling decisions on the performance of an FMS: Simulation modelling and analysis, International Journal of Production Research, 50(7) 2058-2078, 2012
- [59]. Kamerschen D.R., McKenzie R.B., Nardinelli C., Ekonomia, przeł. D. Filar i in., Fundacja gospodarcza NZSS „Solidarność”, Gdańsk 1991
- [60]. Kamińska T., Makroekonomiczna ocena efektywności inwestycji infrastrukturalnych na przykładzie transportu, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1999.
- [61]. Kapliński O., Harmonizacja cyklicznych procesów budowlanych w ujęciu stochastycznym, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Nr. 91, 1978
- [62]. Kapliński O (red.), Metody i modele badań inżynierii przedsięwzięć budowlanych. Studia z zakresu inżynierii nr 57, PAN-KILiW-IPP, Warszawa 2007

- [63]. Kasprowicz T. (red.) Inżynieria przedsięwzięć budowlanych. Rekomendowane metody i techniki, PAN-KILiW-IPP, Warszawa 2015
- [64]. Karst Z., Techniczno-ekonomiczna infrastruktura gospodarki narodowej, PWN, Warszawa – Wrocław, 1986.
- [65]. Kawa P., Wydymus S., Metodologia oceny efektywności projektów inwestycyjnych według standardów Unii Europejskiej, Text, Warszawa 1998
- [66]. Knight F.H., Uncertainty, and Profit, www.bnppublishing.com, 2022
- [67]. Kosiński J., Nowe techniki w projektowaniu inwestycji. Zastosowanie algorytmów genetycznych, Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemśle „Orgmasz”, Warszawa 2001
- [68]. Korombel A., Ryzyko w finansowaniu działalności inwestycji metodą project finance, Centrum Doradztwa i Informacji Difin Sp. z o.o, Warszawa 2007, s. 24-25
- [69]. Kozubek P.R., Efektywność inwestycji infrastrukturalnych w transporcie kolejowym. Analiza i ocena, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Kielce 2012
- [70]. Leslie K.J, Michaels P., The real power of real options, The McKinsey Quarterly, 1997, nr 3
- [71]. Leszczyński Z., Skowronek – Mielczarek A., Analiza ekonomiczno – finansowa firmy, Difin, Warszawa 2000
- [72]. Listkiewicz J., Niedziółka P., Szymczak P., (2004), Metody realizacji projektów inwestycyjnych, oddk; Gdańsk str.119
- [73]. Lumby S., Investment Appraisal and Financing Decision, Chapman&Hall, s.30, Londyn 1991
- [74]. Machała R., Praktyczne zarządzanie finansami firmy, PWN, Warszawa 2001
- [75]. Malinowski A., Tarapata Z., Metody oceny projektów gospodarczych, Wyższa Szkoła Ekonomiczna, Warszawa 2001
- [76]. Matwiejczuk R., Efektywność – próba interpretacji, Przegląd Organizacji, Nr 11, 2000
- [77]. Marcinek K., Finansowa ocena przedsięwzięć inwestycyjnych przedsiębiorstw, Akademia Ekonomiczna s. 75-76, Katowice 1998
- [78]. Marcinek K., Ryzyko projektów inwestycyjnych, Wydawnictwo Uczelniane Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2000
- [79]. Marcinek K., Foltyn-Zarychta M., Pera K., Saługa P., Tworek P., Ryzyko w finansowej ocenie projektów inwestycyjnych: Wybrane zagadnienia, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Katowice 2010
- [80]. Marcinkowski R., Krawczyńska-Piechna A., Budek-Wiśniewska K., Koncepcja analizy ryzyka podjęcia zamówienia na roboty budowlane z dynamicznym oddziaływaniem na warunki realizacji kontraktu, Przegląd Budowlany 7-8/2021
- [81]. Merkle H.L, Investition und investitionsplanung – Finanzierungshandbuch, Gabler Verlag, Wiesbaden 1980
- [82]. Mielcarz P., Wykorzystanie narzędzi uzupełniających analizę zdyskontowanych przepływów pieniężnych netto w ocenie inwestycji badawczo – rozwojowych, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, 2005, nr 1060, s. 299-319
- [83]. Mizerka J., Opcje rzeczywiste w finansowej ocenie efektywności inwestycji, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2005, s.44
- [84]. Neveu R.P., Fundamentals of Managerial Finance, South – Western College/West 1985 s.399

- [85]. Nogalski B, Piwecki M., Projektowanie przedsięwzięć kapitałowych – inwestycje rzeczowe, Oficyna Wydawnicza Ośrodka Postępu Organizacyjnego, Bydgoszcz 1999
- [86]. Nowak E., Pielichaty E, Poszwa M., Rachunek opłacalności inwestowania, PWN, Warszawa 1999
- [87]. Nowaczyk T., Warunki uwzględniania opcji rzeczywistych w ocenie opłacalności inwestycji, Współczesne Finanse, red. Kołosowska B., Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2008
- [88]. Ostowska E., Ryzyko inwestycyjne. Identyfikacja i metody oceny, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1999
- [89]. Ostrowska S., Metody oceny ryzyka w projektach inwestycyjnych, Zeszyty Naukowe nr 649, Akademii Ekonomicznej w Krakowie, 2004
- [90]. Paślowski J., Elastyczność w zarządzaniu realizacją procesów budowlanych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Nr.437, 2009
- [91]. Paślowski J., Różdżyńska M., Flexible Approach in Infrastructure Design Buffer Parking Case Study, Procedia Engineering, No. 57/201, 882-888, 2013
- [92]. Paślowski J., Rudnicki T., Agile/Flexible and Lean Management in Ready-Mix Concrete Delivery, Archives of Civil Engineering, vol. 67/2021, str. 689-709
- [93]. Pawlak M., Podstawowe metody szacowania zmienności do wyceny opcji realnych, Czas na pieniądz – Zarządzanie finansami – Inwestycje, wycena przedsiębiorstw, zarządzanie wartością, red. Zarzecki D., Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, nr 639, Wydawnictwo Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2011, s. 287
- [94]. Pawlina G., Opcje rzeczowe a NPV, Rynek Terminowy nr 22(4), 2003, s. 105
- [95]. Pawłowski J., Metodyka oceny efektywności finansowej przedsięwzięć gospodarczych, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2004
- [96]. Perridon L., Steiner M., Finanzwirtschaft der Unternehmung, Vahlen, Monachium 1991, s. 90
- [97]. Pluta W., Budżetowanie kapitałów, Polskie wydawnictwo ekonomiczne, Warszawa 2000
- [98]. Połowski M., Podstawowe pojęcia dotyczące procesu inwestycyjnego w budownictwie, Kierowanie budowlanym procesem inwestycyjnym, Warszawa SGGW, 2009
- [99]. Prokop B., Wierzińska M., Ocena przedsięwzięć inwestycyjnych w warunkach ryzyka za pomocą metod symulacyjnych, Polski przedsiębiorca we współczesnym otoczeniu prawno – ekonomicznym, cz. 3, Zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie, Zeszyt Naukowy, red. J. Ostaszewski, Warszawa 2004
- [100]. Pszczołowski T., Mała encyklopedia prakselogii i teorii organizacji, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław – Warszawa – Kraków – Gdańsk 1978
- [101]. Ratajczak M., Infrastruktura w gospodarce rynkowej, Wydawnictwo AE w Poznaniu, Poznań 1999
- [102]. Rogowski W., Kasiewicz S., Zmodyfikowane metody oceny opłacalności przedsięwzięć inwestycyjnych (MNPV i MIRR), Zeszyty Naukowe Kolegium Finansów SGH, nr 50, Warszawa 2004
- [103]. Rogowski W., Kasiewicz S., Przelomowe etapy ewolucji metodyki rachunku efektywności inwestycji w gospodarce rynkowej, [w] Czas nie pieniądz. Zarządzanie ryzykiem i kreowanie wartości, red. D. Zarzecki, Uniwersytet Szczeciński, Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, Szczecin 2007

- [104]. Rogowski W., Michalczewski A., Zarządzanie ryzykiem w przedsięwzięciach inwestycyjnych, Oficyna ekonomiczna, Kraków 2005
- [105]. Rudny W., Wykorzystanie koncepcji opcji realnych do pomiaru wartości projektowa. inwestycyjnych [w:] Praktyczne aspekty pomiaru efektywności, red. Wrzosek S, Prace naukowe Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław, 2005 s. 327
- [106]. Ross S.A, Westerfield R.W., Jordan B. D., Finanse przedsiębiorstw, przeł. Tarnowska K i in., Dom Wydawniczy ABC, Warszawa 2002
- [107]. Rudny W., Dwumianowy model wyceny rzeczowej opcji złożonej, Zarządzanie finansami firm – teoria i praktyka, red. Bernaś B., Pluta W., Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław 2007
- [108]. Rudny W., Opcje rzeczywiste w decyzjach inwestycyjnych – organizacyjne uwarunkowania wykonania opcji, Czas na pieniądz – Zarządzanie finansami – Zarządzanie ryzykiem i kreowanie wartości, red. Zarzecki D., Drukarnia Wydawnicza im. W.L. Anczyca SA, Szczecin 2007
- [109]. Rutkowska A., Teoretyczne aspekty efektywność - pojęcia i metody pomiaru, Zarządzanie i Finanse, R11 Nr1 cz.4, 2013
- [110]. Rutkowski A., Zarządzanie finansami, Polskie wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2000
- [111]. Rogowski W., Rachunek efektywności inwestycji, Wolters Kluwer Polska, Kraków 2016
- [112]. Rogowski W., Metodyka rachunku opłacalności inwestycji, zasady i korzyści inwestycji, Finanse – nowe wyzwania teorii i praktyki. Finanse przedsiębiorstw, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 172, red. Wrzosek S., Wrocław 2011, s. 185-186
- [113]. Różański J., Inwestycje rzeczowe w procesach rozwojowych przedsiębiorstw, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 1998
- [114]. Różański J, Czerwiński M., Inwestycje rzeczowe i kapitałowe, Przedsiębiorstwo Specjalistyczne „Absolwent”, Łódź 1999
- [115]. Rószkiewicz M., Statystyka. Kurs podstawowy, PWE, Warszawa, 2000
- [116]. Ryżewska S., Bankowa analiza przedsiębiorstwa na potrzeby oceny ryzyka kredytowego, Twigger, Warszawa 1999
- [117]. Samuelson P.A., Some Aspects of the Pure Theory of Capital, Quarterly Journal of Economics, 1936, s.469-496
- [118]. Schumpeter J., The theory of economic development, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1934
- [119]. Shahu R., Pindur A.K., Ganapathy . An Empirical Study on Flexibility: A Critical Success Factor of Construction Projects, Global Journal of Flexible Systems Management, 2012, 13(3):123–128
- [120]. Siudak M., Zarządzanie finansami przedsiębiorstwa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999
- [121]. Słownik języka Polskiego, red. M. Szymczak, Warszawa 1995, t.3, s.146
- [122]. Stabryła A., Analiza elastyczności systemu jako instrument programowania zmian i rozwoju, w: Rokita J., Grudzewski W., Elastyczność organizacji, GWSH, Katowice, 2005
- [123]. Szczepankowski P.J, Zarządzanie finansami przedsiębiorstwa. Podstawy teoretyczne, przykłady i zadania, Wydawnictwo Wyższej

- Szkoły Przedsiębiorczości i Zarządzania im. Leona Koźmińskiego, Warszawa 2004, s.240
- [124]. Teece D. J., Pisano G., Shuen A., Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, vol. 18, s. 509-533, 1997
- [125]. Thomas R., Horman M.J, Fundamental principles of workforce management, *Journal of Construction Engineering & Management*, 132, 97-104, 2006
- [126]. Towarnicka H., Strategia inwestycyjna przedsiębiorstwa, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 2003
- [127]. Upton D.M., The Management of Manufacturing Flexibility, *California Management Review*, Winter, s.72-89, 1994
- [128]. Volberda, H., Building the flexible firm. How to remain competitive, Oxford University Press, 1998
- [129]. Walica H., Zarządzanie strategiczne i polityka inwestycyjna przedsiębiorstwa. Metodyka opracowania projektów inwestycyjnych oraz ich realizacja, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 1999
- [130]. Wellington A.M., The Economic Theory of the Location of Railways, John Wiley and Sons, New York 1887
- [131]. Wiśniewski T., Ocena efektywności inwestycji rzeczowych ze szczególnym uwzględnieniem ryzyka, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin 2008
- [132]. Wiśniewski T., Podstawowe rozwiązania stosowane w wycenie opcji realnych, Rynek kapitałowy. Skuteczne inwestowanie, cz.II, red. Tarczyński T., Wydawnictwo Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2004
- [133]. Wiśniewski T., Poszerzona ocena efektywności inwestycji, Zarządzanie finansami – współczesne tendencje w teorii i praktyce, t.2 red. D. Zarzecki, Wydawnictwo Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2000
- [134]. Wiśniewski T., Wykorzystanie metod symulacyjnych w ocenie ryzyka specyficznego inwestycji rzeczowych, Strategie wartości przedsiębiorstwa. Teoria i praktyka, red. Urbańczyk E., Wydawnictwo Kreos, Szczecin, 2005
- [135]. Wiśniewski T., Różnice w wycenie opcji realnych metodą dmukrotnej symulacji Monte Carlo i zastosowaniem formuły Blacka – Scholesa, Inwestycje finansowe i ubezpieczenia – tendencje światowe a polski rynek, red. Ronka – Chmielowiec W., Jajuka K., Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław 2007
- [136]. Wiśniewski T., Ryzyko projektu inwestycyjnego a ocena jego efektywności, Czas na pieniądź- zarządzanie finansami – zarządzanie ryzykiem i kierowanie wartością, t.1. red.D Zarzecki; Drukarnia Wydawnicza im. W.L. Anczyca SA, Szczecin 2007
- [137]. Wiśniewski T., Wycena złożenia przeciwstawnych opcji realnych metodą dwukrotnej symulacji Monte Carlo, Czas na pieniądź – Zarządzanie finansami – Finansowanie małych i średnich przedsiębiorstw, red. Wiśniewski T., Drukarnia Wydawnicza im. W.L. Anczyca SA, Szczecin 2008
- [138]. Wojewódzka – Król K. (red.), Rozwój infrastruktury transportu, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1999.
- [139]. Wöhe G., Die Handels- und Steuerbilanz, Franz Vahlen Verlag, München, 1999

- [140]. Wroclawska A., Most Vasco da Gamy w Lizbonie, Guy Archambault, murator 7/2006
- [141]. Wrzosek S., Oceny efektywności rzeczowych inwestycji przedsiębiorstw, Sygma, Wrocław 1994
- [142]. Wrzosek S. Kwestie sporne dotyczące rachunku opłacalności inwestycji rzeczowych, Finanse – nowe wyzwania teorii i praktyki, red. S. Wrzosek, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wydawnictwo uniwersytetu ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2011 s.15
- [143]. Zarzecki D., Metody wyceny przedsiębiorstw, Fundacja Rozwoju Rachunkowości w Polsce, Warszawa 1999, s. 67-68
- [144]. Zavadskas E. K., Vaidogas E. R., Multicriteria selection from alternative designs of infrastructure components for accidental situations, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 24(5) 346-358, 2009
- [145]. Ziarkowski R., Opcje rzeczowe oraz ich zastosowanie w formułowaniu i ocenie projektów inwestycyjnych, PRACE NAUKOWE Akademii Ekonomicznej im. Karola Adamięckiego w Katowicach, Katowice 2004.
- [146]. Zelenovic D.M., Flexibility: a condition for effective production systems, International Journal of Production Research, vol. 20, s.319-337, 1982

Normy

- [147]. ISO 15686-5:2017 „Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 5: Life-cycle costing”

Strony internetowe

- [148]. Ahmada A., Olympic Stadium. The most sustainable stadium yet, www.olympicstadium.wordpress.com, dostęp: 09.2021
- [149]. Batham A., London Stadium (Olympic Stadium), [www.London Stadium \(Olympic Stadium\) – Stadiony.net](http://www.LondonStadium(OlympicStadium)–Stadiony.net), dostęp: 09.2019
- [150]. Brazylia: Stadion narodowy biurowcem i zajezdnią autobusową, [www.Brazylia: Stadion narodowy biurowcem i zajezdnią autobusową – Stadiony.net](http://www.Brazylia:Stadionnarodowybiurowcemizajezdniąautobusową–Stadiony.net), dostęp: 01.2022
- [151]. Brunet J.M, Most 25 kwietnia, www.wikipedia.org/wiki/Most_25_Kwietnia.pl, dostęp: 09.019
- [152]. BVN, ANZ Stadium, [www.Design: ANZ Stadium – StadiumDB.com](http://www.Design:ANZStadium–StadiumDB.com), dostęp: 09.2019
- [153]. Ford H., Sapporo Dome, www.wikipedia.org/wiki/Sapporo_Dome.pl, dostęp: 09.2019
- [154]. Gdak Ł., Autostradą A2 pojedziemy inaczej. Będzie zmiana w organizacji ruchu na obwodnicy A2. Wszystko z powodu rozbudowy i powstania trzeciego pasa, www.gloswielkopolski.pl/autostrada-a2-pojedziemy-inaczej-bedzie-zmiana-w-organizacji-ruchu-na-obwodnicy-a2-wszystko-z-powodu-rozbudowy-i-powstania/ar/c1-14532807, dostęp: 01.2022
- [155]. Guertzen, Brazylia: Maracanã zmieni nazwę, honorując wielkiego Pelé, [www.Brazylia: Maracanã zmieni nazwę, honorując wielkiego Pelé – Stadiony.net](http://www.Brazylia:Maracanãzmieninazwę,honorującwielkiegoPelé–Stadiony.net), dostęp: 01.2022

- [156]. Isanberg I., What happened to the Olympic Stadium in Atlanta?, www.quora.com/What-happened-to-the-Olympic-Stadium-in-Atlanta.com, dostęp: 01.2022
- [157]. Kinori, Sapporo Dome, www.wikipedia.org/wiki/Sapporo_Dome.pl, dostęp: 09.2019
- [158]. Kolahi A., Erection engineering analysis of a replacement roof for the London Olympic Stadium, www.lusas.com/case/civil/london_olympic_stadium_roof.com, dostęp: 09.2019
- [159]. Sumner E., Londyn 2012 Basketball Arena / Wilkinson Eyre Architects, www.archdaily.com/255557/london-2012-basketball-arena-wilkinson-eyre-architects, dostęp: 03.2022
- [160]. SZUBIN – ŻNIN – OTWARCIE DRUGIEJ JEZDNI, www.bydgoszczwbudowie.pl/2020/10/s5-szubin-znin-otwarcie-drugiej-jezdni/, dostęp: 03.2022
- [161]. Tarasiewicz M., London Aquatics Centre, www.trendu.pl/trendy/london-aquatics-centre.pl, dostęp: 01.2020
- [162]. Tatar C., Londyn: London Stadium wprowadza nowe udogodnienia, w tym płatności bezgotówkowe, [www.Londyn: London Stadium wprowadza nowe udogodnienia, w tym płatności bezgotówkowe – Stadiony.net](http://www.Londyn:LondonStadiumwprowadzainowemuodgodnienia,wtympłatnościbezgotówkowe-Stadiony.net), dostęp: 01.2022
- [163]. Warby W., Most Vasco da Gamy łączący północną i południową część Portugalii, www.budowle.pl/budowla/most-vasco-da-gama.pl, dostęp: 10.2019ost N, Anna Kubica 25 kwietnia w Lizbonie, www.magiaportugalii.wordpress.com/2018/08/02/most-25-kwietnia-w-lizbonie/, dostęp: 01.2022
- [164]. Yoshihito M., Sapporo Dome (Hiroba), [www. Sapporo Dome \(Hiroba\) – Stadiony.net](http://www.Stadiony.net), dostęp: 10.2019
- [165]. www.kiliw.pan.pl
- [166]. mapy.geoportal.gov.pl

Inne

- [167]. Biluety cen obiektów budowlanych (BCO), cz.II obiekty Inżynieryjne, 2021 Sekoncebud
- [168]. Leksykon naukowo – techniczny, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1984
- [169]. Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla powiatu poznańskiego na lata 2014 – 2025, Biuro Inżynierii Transportu Pracownie Projektowe sp.j., Poznań 2014
- [170]. Synteza wyników GPR 2020/21 na zamiejskich sieci dróg krajowych, Warszawa, październik 2021, GDDKiA
- [171]. Wytyczne poszerzenia jezdni o dodatkowe pasy ruchu w zależności od przewidywanego natężenia ruchu drogowego, Wymagania techniczne, wzorce i standardy, 2017
- [172]. Wykonywanie przez Generalną Dyрекcyję Dróg Krajowych i Autostrad zadań związanych z utrzymaniem i remontami dróg - Informacja o wynikach kontroli, Najwyższa Izba Kontroli (NIK), Łódź 2015

Elastyczne planowanie obiektów infrastruktury eksploatowanych w zmiennym otoczeniu

Praca doktorska z dziedziny: budownictwa i inżynierii przedsięwzięć budowlanych,
napisana pod kierunkiem: dr hab. inż. Jerzego Paślowskiego, 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), niezetelności 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 wykorzystwały 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 umożliwiającą 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.

**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.

1st 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.

2nd 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.

3rd 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.

4th 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.

5th 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.

6th 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).

7th 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.