

WYDZIAŁ INFORMATYKI

Magdalena KIERUZEL



Rozprawa doktorska

**Metoda wartościowej oceny
ryzyka projektów informatycznych**

Promotor:

Dr hab. inż. Leonard Rozenberg, prof. ZUT

Szczecin, 2012

Spis treści

Wstęp	3
1. Identyfikacja i analiza ryzyka w projektach informatycznych	7
1.1. Istota ryzyka – definicja, podział	7
1.2. Techniki oraz metody zarządzania ryzykiem w projektach informatycznych.	27
1.2.1 Metody eksperckie	27
1.2.2 Metody analizy sieciowej (bez metod kosztowych)	34
1.2.3 Metody czasowo – kosztowe	39
1.2.4 Zarządzanie ryzykiem w przypadku zwinnych metodyk wytwarzania oprogramowania	42
1.3. Przesłanki do opracowania metody wartościowej oceny ryzyka projektów informa- tycznych	44
2. Wartość narażona na ryzyko (VaR)	46
2.1 Metodologia Value at Risk	47
2.2 Kryterium doboru parametrów wartości ryzykowanej	51
2.3 Inne miary wywodzące się z koncepcji Value at Risk	52
2.4 Metody estymacji wartości zagrożonej	54
2.5 Pomiar VaR dla rozkładów innych niż rozkłady normalne	61
2.6 Wady i zalety wartości ryzykowanej	65
3. Metoda wartościowej oceny ryzyka projektów informatycznych	68
3.1 Podstawowe założenia wartościowej metody oceny ryzyka projektów informa- tycznych	68
3.2 Charakterystyka obiektów badawczych	69
3.3 Analiza rozkładu prawdopodobieństwa dla wyznaczonych kategorii zadań projek- towych	77
3.4 Wyznaczanie wartości ryzykowanej, jako wartościowej oceny ryzyka projektu in- formatycznego	86
3.4.1 Metoda wariancji-kowariancji	86
3.4.2 Metoda symulacji Monte Carlo	92
4. Wykorzystanie podejścia Markowitz’a do minimalizacji ryzyka projektu informa- tycznego	96
4.1 Wyznaczenie projektu informatycznego o minimalnym ryzyku	98
4.2 Wyznaczenie projektu informatycznego o minimalnym ryzyku przy zadanej stopie przyrostu pracochłonności	100
Zakończenie i wnioski końcowe	106
Załączniki	111
Literatura	128
Spis rysunków	133
Spis tabel	134

Wstęp

Problematyka realizacji projektów informatycznych wymaga od osób zaangażowanych w ten proces planowania, wykonywania, sprawdzania, monitorowania oraz kontroli wszystkich jego etapów i aspektów. Na etapie przygotowania projektu informatycznego do realizacji konieczne jest oszacowanie zasobów i kosztów związanych z tym zadaniem. Punktem wyjścia jest niewątpliwie określenie struktury zadań, co daje podstawę do wyliczenia nakładów pracy, czasu trwania oraz obciążenia poszczególnych osób zaangażowanych w realizację projektu. Koszt projektu jest istotną informacją przed jego rozpoczęciem, zwłaszcza przy analizie relacji korzyści-koszty, ale również w trakcie realizacji projektu, ze względu na ograniczone możliwości budżetowe każdej organizacji realizującej przedsięwzięcie.

Planowany budżet projektu może ulegać zmianie pod wpływem wielu czynników ryzyka, które skutkować mogą nieplanowanymi (najczęściej nadwyżkowymi) kosztami. Zestaw tych czynników nazywamy zbiorem ryzyk projektu. Ryzyko wpisane jest w każdy rodzaj działalności człowieka, a przed jego skutkiem należy i można się chronić [Jajuga2009]. Sposobem na zabezpieczenie się przed skutkami ryzyka projektu informatycznego jest prowadzenie aktywnego procesu zarządzania ryzykiem. Aktywny proces zarządzania ryzykiem wymaga oceny ryzyka, która w wymiarze wartościowym (finansowym) może stanowić uniwersalne kryterium (miernik) wspomagające proces podejmowania decyzji o sensie i potencjale do dalszej realizacji projektu informatycznego.

Metody zarządzania projektami realizować powinny analizę informacji na temat przebiegu realizacji projektu, jednak stosowane obecnie metody oceny ryzyka nie prowadzą do jednoznacznej (czyli wartościowej) jego prezentacji, mają bowiem wymiar pozakosztowy. Dostarczone informacje w wyniku oceny ryzyk projektu mają charakter opisowy – dodatkowo zależny od wiedzy osób, które dokonują oceny ryzyka projektu i wyrażają to ryzyko najczęściej jako zależność prawdopodobieństwa zajścia określonego ryzyka i wpływu tego ryzyka na projekt.

Analiza literatury przedmiotu pozwoliła ustalić, że często podnoszony jest argument, iż zarządzanie ryzykiem projektu traktowane jest, jako formalność [Flasiński2006] [Chong2001] [Murch2000]. Zarządzanie ryzykiem wynika z przyjętej metodyki realizacji projektu (której składową jest proces zarządzania ryzykiem), choć nie wszystkie metodyki zarządzania projektami zawierają wymóg obecności tego procesu. Najczęściej problem analizy ryzyka jest pomijany, do momentu, gdy się ono nie zmaterializuje.

Występuje wtedy tzw. reaktywne podejście do ryzyka skutkujące wymuszoną reakcją na nie. Wtedy daje ono jednak najczęściej negatywny efekt w wymiarze wartościowym tj. czasowo-kosztowym. Problem staje się szerszy, jeśli okaże się, że podjęte ryzyko przekracza – w kategoriach finansowych – możliwości firmy realizującej projekt.

Głównym powodem zainteresowania problemem oceny ryzyka w wymiarze wartościowym był brak narzędzia, które w sposób jednoznaczny, za pomocą spójnej wartości, wskazywałoby wartość ryzyka w danym okresie w obszarze projektów informatycznych. Informacja ta istotna jest zarówno przy planowaniu realizacji projektu, jak i w trakcie jego realizacji.

Poniższa rozprawa dotyczy wykorzystania miary, jaką jest wartość zagrożona (ang. VaR – Value at Risk) do wspomaganie zarządzania ryzykiem w zakresie wartościowej oceny ryzyka projektów informatycznych. Przy proponowanej ocenie wykorzystywana jest wiedza dostępna wewnątrz organizacji, ale także pochodząca z wcześniej zrealizowanych projektów, co pozwala na pominięcie etapu dodatkowego gromadzenia danych dla oceny ryzyka konkretnego projektu.

Założono, że zastosowanie miary wartości zagrożonej pozwoli na usprawnienie procesu podejmowania decyzji podczas planowania i realizacji projektów informatycznych w porównaniu z subiektywnymi ocenami ekspertów, prezentującymi ryzyko jako związek prawdopodobieństwa oraz skutku jego wystąpienia. Wobec tego możliwe stało się sformułowanie następującej tezy pracy:

Możliwe jest dokonanie wartościowej oceny ryzyka projektów informatycznych, przy wykorzystaniu podejścia Value at Risk dla oceny możliwej do wystąpienia straty w trakcie realizacji projektu informatycznego i w ten sposób uzyska się polepszenie liczbowej reprezentacji ryzyka, jak też otrzymane zostanie narzędzie dla konstrukcji systemu wspomaganie decyzji.

W celu przeprowadzenia dowodu tak postawionej hipotezy badawczej konieczne było zrealizowanie głównego celu pracy, który da się przedstawić jako zadanie, polegające na ...

... opracowaniu metody wartościowej oceny ryzyka projektów informatycznych, na bazie której możliwe będzie wspomaganie decyzji, co do relacji pomiędzy ryzykiem (pojmowanym jako deficyt/strata), a wysokością planowanego wyniku (pojmowanego jako profit/zysk) w projektach informatycznych.

Dysertacja przygotowana została w podziale na cztery rozdziały, jak również zawiera informacje dodatkowe w formie załączników. W rozdziale pierwszym zaprezentowany został problem ryzyka w projektach informatycznych oraz dokonano prezentacji najpopularniejszych obecnie metod dotyczących problemu identyfikacji i analizy ryzyka. Rozdział zawiera

omówienie pojęcia ryzyka, zarządzania ryzykiem, a także podstawowe rodzaje ryzyk projektu informatycznego. Na przykładzie wybranych metodyk zarządzania projektem przedstawiono systemowe podejście do procesu zarządzania ryzykiem. Rozdział kończy sformułowanie podstawowych przesłanek wartościowej oceny ryzyka projektów informatycznych, wykorzystującej dane statystyczne pochodzące z wcześniej zrealizowanych projektów oraz dane bieżące, wynikające z realizowanego projektu, dla którego wartościowa ocena jest tworzona.

W rozdziale drugim przedstawiono syntetycznie sposób pomiaru zagrożenia przy wykorzystaniu wartości ryzykowanej VaR, która stosowana jest głównie przy ocenie ryzyka na rynkach finansowych. Przedstawiono podstawowe definicje wartości zagrożonej, a także sposób interpretacji. Usystematyzowano i opisano metody pomiaru wartości ryzykowanej, a także wskazano warunki dla realizacji poszczególnych metod. Bardziej szczegółowo omówiono metodę wariancji – kowariancji oraz metodę symulacji Monte Carlo. Przedstawiono również inne miary służące kwantyfikacji ryzyka w działalności organizacji, wywodzące się z koncepcji wartości ryzykowanej. Na koniec zaprezentowano podstawowe wady i zalety wynikające z zastosowania wartości ryzykowanej.

W rozdziale trzecim przedstawiono wartościową metodę oceny ryzyka projektu informatycznego. Dla przeprowadzenia eksperymentu badawczego konieczne było pozyskanie danych. Do tego celu została wykorzystana baza projektów software'owych zarejestrowanych na platformie <http://SourceForge.net>.

Źródłem danych, wykorzystywanych w procesie badawczym, było archiwum SRDA (ang. *SourceForge Research Data Archive*) platformy <http://SourceForge.net>, które zawiera repozytorium projektów informatycznych typu FLOSS, przeznaczone do celów badawczych (ang. *A Repository of Free/Libre/Open Source Software Research Data*). Realizacja celu pracy była możliwa dzięki opracowaniu zbioru danych dotyczących projektów informatycznych. W materiale badawczym, na podstawie danych z lutego 2011, wyróżniono 386.328 zarejestrowanych projektów, z czego 34.040 projektów aktywnych. Wśród dostępnych projektów poszukiwano takich, które spełniały zawężone kryterium. Przyjęto, że na projekt ma składać się przynajmniej 10 zadań, wszystkie zadania mają być przypisane do członków zespołu oraz, że można wyróżnić w projekcie przynajmniej 4 role. Przedstawione założenia spełniało 56 projektów pozyskanych z bazy projektów <http://SourceForge.net>. Dla każdego z 56 projektów dokonano podziału zadań projektowych na kategorie: *Wytwarzanie (W)*, *Analiza i projektowanie (P)*, *Zarządzanie (Z)*, *Wdrożenie i wsparcie (S)*. Pozyskane i usystematyzowane dane posłużyły dalej do oceny wartościowej ryzyka projektu informatycznego. Wartościowa ocena

ryzyka została przeprowadzona w oparciu o metodę wariancji – kowariancji oraz symulacji Monte Carlo. Obie metody wykorzystane zostały do oszacowania wartości ryzykowanej dając podobne rezultaty.

W czwartym, ostatnim, rozdziale dysertacji, zaprezentowano metodę doboru odpowiednich kategorii zadań w projekcie informatycznym tak, aby ryzyko projektu w wymiarze wartościowym było minimalne. Punktem wyjścia do rozważań i obliczeń stała się teoria portfelową H. M. Markowitz'a, zaproponowana pierwotnie do optymalizacji inwestycji finansowych. Wykorzystanie teorii portfelowej pozwoliło na wyszukanie takich struktur realizacji projektów informatycznych, w których przy określonej stopie przyrostu pracochłonności w projekcie, ryzyko w wymiarze wartościowym staje się minimalne, lub też takich, w których przy określonym poziomie ryzyka w wymiarze wartościowym przyrost pracochłonności staje się minimalny. Decyzję, co do wyboru odpowiedniego wariantu realizacyjnego pozostawiono decydentom (np. Menadżerowi Projektu) wskazując zbiór tzw. *projektów efektywnych*, a więc takich, dla których nie można wskazać projektów lepszych z punktu widzenia wartości ryzyka lub przyrostu pracochłonności.

Biorąc pod uwagę fakt, że realizacja projektów informatycznych wiąże się często z zaangażowaniem wysokiego budżetu na potrzeby przedsięwzięcia zasadne jest dostarczenie odpowiednim decydentom narzędzia umożliwiającego ocenę w wymiarze wartościowym ryzyka projektu. Zainteresowanie istnieniem metod służących wartościowej ocenie ryzyka projektu może dotyczyć instytucji finansujących projekty informatyczne, jak również zespołów projektowych podejmujących bieżące decyzje w trakcie realizacji zadań projektowych.

Należy podkreślić, że zaprezentowany sposób oceny ryzyka w wymiarze wartościowym, może stanowić uzupełnienie w realizacji projektów informatycznych niezależnie od przyjętej metodyki prowadzenia projektu, stanowiąc uniwersalne rozwiązanie tego ważkiego problemu.

1. Identyfikacja i analiza ryzyka w projektach informatycznych

Pojęcie ryzyka używane jest w sposób tyle uniwersalny, co mało precyzyjny. Interpretacja zależy od adresata i od kontekstu, w którym posługujemy się tym terminem. Według słownika języka polskiego ryzyko to „*prawdopodobieństwo niepowodzenia, porażki; działanie, którego efekt jest niepewny; odważenie się na niebezpieczeństwo*” [Słownik2003]. Według F. Orłowicza ryzyko to „*wyliczona lub oszacowana ewentualność nieosiągnięcia założonych wyników; grożąca podejmującemu decyzję wskutek spełnienia się przewidywanych niebezpieczeństw należących do istoty przedsięwzięcia lub związanych z nim*” [Orłowicz1968]. Istotnym założeniem przy interpretacji pojęcia ryzyka jest jego negatywne znaczenie. Jak podaje L. Osiatyński „*ryzyko ma znaczenie negatywne w sensie ekonomicznym*”, pozytywnym odpowiednikiem ryzyka będzie w tym przypadku szansa [Karmańska2008].

1.1. Istota ryzyka – definicja, podział

Odnosząc powyższe informacje do ryzyka w obszarze projektów informatycznych można przyjąć definicję podaną przez P. Wróblewskiego, który utożsamia ryzyko ze zdarzeniem niepomyślnym dla realizacji działań w projekcie, co w konsekwencji prowadzi do niepożądanego rezultatu [Wróblewski2005]. W aspekcie projektu informatycznego ryzyko może być odnoszone do wszystkiego, co wpływa na nieosiągnięcie celu, który formułowany jest w uzasadnieniu biznesowym [Korcowski2010]. Rozszerzając definicję Wróblewskiego możemy sprecyzować niepożądany rezultat ryzyka i podać za P. Sienkiewiczem, że „*ryzyko projektu oznacza ryzyko niedotrzymania technicznych i/ lub ekonomicznych (finansowych) warunków projektu (przedsięwzięcia)*” [Sienkiewicz2005].

Ryzyko projektu wpływać może na działanie całej organizacji, w której projekt jest realizowany. Powodować to może z kolei różnego rodzaju zakłócenia, począwszy od złego wykorzystania zasobów, po niekorzystne zmiany w bieżącej działalności operacyjnej. Ryzyko projektu jest więc ryzykiem organizacji, w której projekt jest realizowany [Korcowski2010].

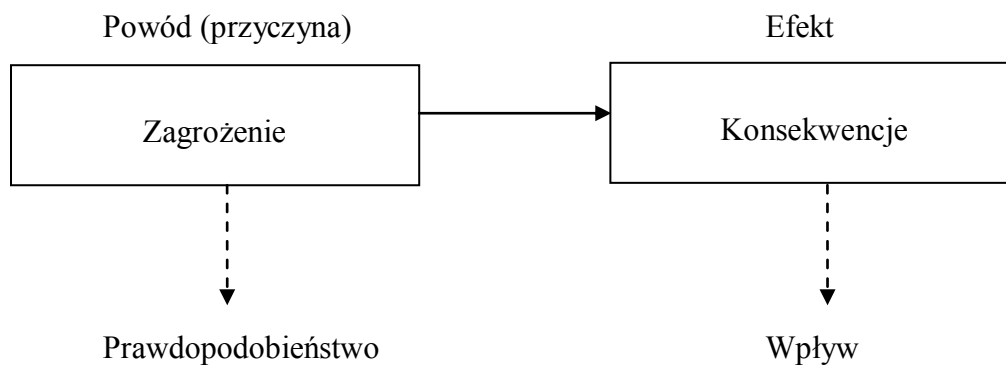
Wielu autorów [Pritchard2002][Karmańska2008][Frączkowski2003] obok definicji ryzyka wprowadza definicję niepewności, która również towarzyszy projektom. Różnica między oboma pojęciami dotyczy możliwości określenia prawdopodobieństwa wystąpienia. W przypadku ryzyka możemy określić prawdopodobieństwo zaistnienia danego zdarzenia (na podstawie rozkładu prawdopodobieństwa wyznaczonego dla danych historycznych, przy założeniu stacjonarności lub ograniczonej niestacjonarności), zaś niepewność odnosimy do sytuacji,

w której nie można określić prawdopodobieństwa wystąpienia danego zdarzenia, jest więc ono nieznane [Pritchard2002].

Jakkolwiek definicje ryzyka mogą się różnić, to istnieje kilka wspólnych cech ryzyka, które odnajdujemy w różnych definicjach precyzujących to pojęcie [Alberts2009]:

- ryzyko wiąże się zawsze z elementem straty (najczęściej ekonomicznej, ale nie tylko),
- to czy ryzyko wystąpi nie jest pewne; określamy jednak prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka,
- aby radzić sobie z ryzykiem (zarządzać nim) należy podejmować decyzje oraz dokonywać wyborów.

Przedstawione powyżej cechy mogą być wykorzystane do stworzenia uniwersalnej definicji pojęcia ryzyka. Należy podkreślić, że większość wyjaśnień koncentruje się na pierwszych dwóch warunkach tj. stracie oraz prawdopodobieństwie. Powodem jest możliwość kwantyfikacji tych cech. Biorąc więc wszystko pod uwagę można przyjąć, że **ryzyko to prawdopodobieństwo wystąpienia straty**. Rozwijając to wyobrażenie możemy stwierdzić, że **ryzyko jest miarą prawdopodobieństwa urzeczywistnienia zagrożenia, które jeśli wystąpi spowoduje określoną wielkość straty**. Zależności pomiędzy miarami ryzyka zostały przedstawione na rysunku:



Rys. 1.1 Komponenty ryzyka

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Alberts2009]

W kontekście przedstawionym na rysunku 1.1 prawdopodobieństwo postrzegane jest jako miara, która określa zagrożenie, natomiast wpływ jest miarą straty, jaka pojawi się w momencie ekspozycji zagrożenia. Podsumowując, główne komponenty ryzyka to: zagrożenie i konsekwencje zagrożenia. Natomiast miary służące kwantyfikacji ryzyka to: prawdopodobieństwo, wpływ oraz ekspozycja na ryzyko.

Istnieje wiele opracowań prezentujących wyniki badań nad ryzykiem w projektach informatycznych. Jednym z czołowych dokumentów są prezentowane przez amerykańską insty-

tucję **Standish Group** Kroniki Chaosu (ang. *The Chaos Chronicles*). Publikowane tam informacje dotyczą powodzenia projektów informatycznych szczególnie w aspekcie czynników warunkujących sukces bądź niepowodzenie. Zawarte w opracowaniach wyniki są przygotowywane cyklicznie. Po raz pierwszy wyniki przedstawione zostały w roku 1995 i mimo dużego dystansu czasowego nadal pozostają aktualne, przynajmniej jeśli chodzi o kluczowe czynniki warunkujące sukces projektów. Badania prowadzone były na dużych, małych oraz średnich firmach, w których realizowane były projekty informatyczne. Wyniki przedstawione w Kronikach Chaosu można pogrupować według następujących kategorii [Waćkowski2007]; [Wróblewski2005]:

- projekty, które ukończono z sukcesem tzn. takie, które mieściły się w założonych ramach czasowych, założonym budżecie oraz spełniały wymagania określone na początku projektu,
- projekty, których realizacja była niepełna, częściowa tzn. takie, w których budżet, czas został przekroczony oraz takie, które nie realizowały założonych na początku projektu wymagań,
- projekty zakończone porażką tzn. takie, które nie zostały ukończone lub zostały przerwane w trakcie trwania projektu.

Zgodnie z danymi za lata 2004 -2009 zauważalny jest wzrost projektów zakończonych sukcesem z 29% w roku 2004 do 32% w roku 2009 [Rubinstein2007][Worthington2009]. Z drugiej strony mamy znaczący spadek projektów zakończonych porażką, czyli takich, które nie zostały ukończone z 53% w roku 2004 do 24% w roku 2009, co stanowi duży postęp w zakresie realizacji projektów informatycznych. Analizując projekty częściowo zrealizowane możemy zauważyć ich znaczący wzrost z 28% w roku 2004 do 44% w roku 2009.

Podstawowe przyczyny prowadzące do niepowodzeń projektów informatycznych to brak jasno sprecyzowanych wymagań dotyczących produktu projektu bądź ich stopniowe dodawanie w trakcie realizacji zadań. Istotną przyczyną porażki jest również brak procesu zarządzania ryzykiem w projekcie.

W pracach Barry'ego W. Boehm'a znaleźć można podstawy precyzujące zarządzanie ryzykiem w projekcie. Boehm przedstawia listę 10 najważniejszych ryzyk z obszaru projektów informatycznych. Należą do nich:

1. ograniczone zasoby ludzkie,
2. nierealistyczny budżet i harmonogram,
3. rozwijanie (wytwarzanie) nieodpowiedniej funkcjonalności systemu,

4. dostarczenie nieodpowiedniego interfejsu użytkownika,
5. ukrywanie problemów występujących w trakcie realizacji projektu,
6. zmiany w obszarze wymagań projektowych w trakcie realizacji zadań w projekcie,
7. błędy podwykonawców dotyczące wykonania elementów systemu,
8. błędy podwykonawców dotyczące niewłaściwego wykonania zadań projektowych,
9. problemy z osiągnięciem odpowiednich wyników w czasie rzeczywistym,
10. przecenienie możliwości nauki (modeli teoretycznych).

Boehm proponuje techniki gromadzenia i analizy informacji pochodzących z realizowanych projektów. Według metodyki Boehm'a zarządzanie ryzykiem jest związane z oceną oraz kontrolą ryzyka. W ramach oceny ryzyka dokonujemy jego identyfikacji, analizy oraz priorytetyzacji. Identyfikacja może być prowadzona za pomocą: **listy potencjalnych zagrożeń** (ang. *risk item checklist*) zawierającej zestaw pytań przygotowanych w ramach nabytych doświadczeń z poprzednich projektów. Zawarte są tu informacje o możliwych zdarzeniach i zjawiskach, które ze względu na specyfikę projektu mogą stanowić zagrożenie. Analiza ryzyka powinna prowadzić do oceny wielkości straty oraz prawdopodobieństwa wystąpienia zidentyfikowanego ryzyka. Dodatkowo analizie podlega badanie wzajemnych interakcji pomiędzy ryzykami projektu. Proponowane w metodyce techniki analizy to między innymi budowa modeli kosztów czy przeprowadzenie analiz sieciowych.

Kolejny krok w metodyce Boehm'a to priorytetyzacja (rangowanie) polegająca na stworzeniu rankingu ryzyk wcześniej zidentyfikowanych i zanalizowanych.

Przy kontroli ryzyka realizujemy: plan zarządzania ryzykiem, przydział konkretnych działań do zidentyfikowanych ryzyk tak, aby je wyeliminować lub ograniczyć. W ramach kontroli dokonujemy monitoringu ryzyk, czyli śledzimy postępy projektu w aspekcie działań rozwiązujących problem ryzyka, wprowadzając korekty do planu wtedy, gdy jest to konieczne.

Lista najważniejszych ryzyk zaproponowana przez Boehm'a dla projektów informatycznych jest jednym z wielu publikowanych rozwiązań z zakresu identyfikacji ryzyka. Obok wspomnianych dziesięciu najważniejszych zagrożeń Boehm'a, można przedstawić propozycję obszarów potencjalnych zagrożeń proponowaną przez Pressmanna. Pressmann precyzuje ryzyka dwojakiego typu:

- ogólne ryzyko (ang. *generic risk*) – odczytywane jako potencjalne zagrożenie dla każdego projektu bez względu na specyfikę produktu,

- ryzyko wynikające ze specyfiki projektu (ang. *produkt-specific risk*)

Identyfikacja ryzyk wymienionych wyżej może być wspomagana utworzeniem listy kontrolnej. Do jej konstrukcji wykorzystujemy siedem podstawowych obszarów, w których ryzyko może wystąpić:

- ryzyko wynikające z rozmiaru produktu projektu (systemu informatycznego) (ang. *produkt size*),
- ryzyko o charakterze biznesowym (ang. *business impact*). Jest to ryzyko związane z ograniczeniami wynikającymi z procesu zarządzania, czy związane z rynkiem, na który trafia produkt projektu (np. produkt, na który nie ma zapotrzebowania lub trudno go sprzedać),
- ryzyko związane z klientem (ang. *customer characteristic*). Ryzyko związane z rozbieżnością, możliwością terminowej komunikacji pomiędzy wytwórcą a klientem.
- ryzyko w obszarze definicji procesu konstrukcji/wdrożenia systemu informatycznego (ang. *process definition*). Ryzyko to jest związane z jakością procesów konstrukcji/wdrożenia systemu oraz tym jak procesy organizacyjne wspomagają ich realizację.
- ryzyko związane ze środowiskiem programistycznym, narzędziami wspomagającymi prowadzenie projektu (ang. *development environment*). Dotyczy ono dostępności oraz jakości narzędzi wykorzystywanych podczas projektu.
- ryzyko niedoświadczenia, nowości (ang. *technology to be built*). Wynikające ze złożoności systemu oraz stopnia skomplikowania rozwiązań technologicznych.
- ryzyko w obszarze zasobów ludzkich (ang. *staff size and experience*). Dotyczące ogólnego przygotowania technicznego inżynierów oprogramowania oraz ich doświadczenia w zakresie realizacji prac projektowych.

Wskazane obszary występowania ryzyk w projekcie informatycznym wspomagają tworzenie list kontrolnych, których forma może być różna. W literaturze występuje wiele list kontrolnych o kompleksowym charakterze [Karolak1996][Carr1993], które dają możliwość identyfikacji ogólnego ryzyka projektu i powinny być wykorzystywane ilekroć analiza i zarządzanie ryzykiem jest w projekcie informatycznym ustanowione. Postulowane jest również wprowadzenie krótkich list z pytaniami, które wstępnie wskażą, czy dany projekt jest zagrożony [Keil1998]. Ocena wstępna może być oparta o następującą listę pytań:

- czy przedstawiciele ze strony wytwórcy oprogramowania (systemu informatycznego) oraz klienta zostali formalnie zobowiązani do wspierania projektu?
- czy lista wymagań dotyczących produktu (systemu informatycznego) została w całości zrozumiana i ustalona przez zespół inżynierów oprogramowania oraz klienta końcowego?
- czy klient został w pełni zaangażowany w przygotowanie listy wymagań względem systemu informatycznego?
- czy oczekiwania końcowego użytkownika są realne?
- czy zakres projektu został ustalony w sposób ostateczny (trwały)?
- czy zespół projektowy dysponuje wystarczającym zestawem umiejętności i zasobów potrzebnych do wytworzenia produktu finalnego?
- czy wymagania, które ma spełnić system zostały wyznaczone w sposób ostateczny (trwały)?
- czy zespół projektowy ma doświadczenie w zakresie technologii, która będzie implementowana w trakcie realizacji projektu?
- czy liczba osób biorących udział w projekcie jest adekwatna do pracy, którą należy wykonać?
- czy wszyscy klienci oraz końcowi użytkownicy wyrazili swoją zgodę odnośnie zakresu oraz wymagań, które ma spełnić budowany system?

Stopień zagrożenia projektu jego niepowodzeniem jest proporcjonalny do ilości negatywnych odpowiedzi udzielonych na wyżej postawione pytania.

Kolejne podejście do problemu ryzyka w projekcie prezentuje w swojej taksonomii Instytut Inżynierii Oprogramowania Uniwersytetu Carnegie Mellon w Pittsburgu (ang. *SEI - Software Engineering Institute*). Taksonomia SEI tworzy ramy dla badania kwestii związanych z rozwojem oprogramowania, określa płaszczyznę dla organizowania zarządzania ryzykiem projektu. W ramach taksonomii postuluje się wykorzystanie kwestionariuszy ryzyka (ang. *TQB – Taxonomy – Based Questionnaire*), jako metody jego identyfikacji. Ryzyko rozwoju oprogramowania w taksonomii SEI jest przedstawione na trzech poziomach zaawansowania: poziom klasy, poziom elementu, poziom atrybutu. Taksonomia zaproponowana przez SEI umożliwi identyfikowanie ryzyka w obszarze trzech klas[Carr1993]:

- Inżynieria produktu (ang. *product engineering*), która wyraża techniczny aspekt projektu

- Środowisko deweloperskie (ang. *development environment*). Klasa związana z metodami, procedurami i narzędziami wykorzystywanymi w trakcie realizacji projektu.
- Ograniczenia programowe (ang. *program constraints*). Ryzyko związane z organizacją, w której prowadzony jest projekt, zawiera czynniki organizacyjne, operacyjne będące poza możliwością kontroli zespołu projektowego.

Na poziomie klasy wyróżnia się elementy wraz z atrybutami taksonomicznymi i właśnie dla atrybutów można definiować stopień ryzyka.



Rys. 1.2 Taksonomia ryzyka wytwarzania oprogramowania wg SEI

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Carr1993]

Listy kontrolne TQB składają się z 194 pytań zadawanych na poziomie atrybutów. TQB są narzędziem kompleksowym, co oznacza, że zawierają pytania adekwatne do wszystkich istotnych etapów cyklu życia oprogramowania. Przy ich zastosowaniu uzyskujemy informację na temat zasięgu ryzyka jego koncentracji oraz wpływie na projekt. Nie zawsze zadawanie wszystkich pytań dla identyfikacji ryzyka jest zasadne. Zwykle zastosowanie list kontrolnych polega na ich dostosowaniu do danego projektu (jego poszczególnych etapów). Dla przykładu, jeśli w projekcie nie występują podwykonawcy to należy pytania dotyczące tego aspektu realizacji projektu usunąć z listy kontrolnej.

<p>Klasa – (A) Inżynieria produktu</p> <p>Element – (2) ang. <i>design</i> (konstrukcja)</p> <p>Atrybut – (d.) ang. <i>performance</i> (wydajność, wykonanie)</p> <p>[czy czas reakcji został określony w sposób rygorystyczny?]</p> <p>[22] czy są jakiegokolwiek problemy z wykonaniem?</p> <ul style="list-style-type: none">• Przepustowością?,• Reakcją w czasie rzeczywistym?,• Czasem odpowiedzi?,• Zapytaniem/dostępem do bazy danych?, <p>[23] czy analiza wydajności została przeprowadzona?</p> <p>(23.a) Jaki jest poziom wiarygodności wyników przeprowadzonej analizy?</p> <p>(23.b) Czy istnieje model wspierający przeprowadzenie konstruowania i implementacji?</p>
--

Rys. 1.3 Przykładowe pytania z kwestionariusza TQB (Taxonomy-Based Questionnaire)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Carr1993]

Listy kontrolne są techniką pomocną przy przygotowawczej identyfikacji ryzyka w projekcie. Charakteryzują się łatwością stosowania i nie wymagają dużych nakładów związanych z ich przygotowaniem. Pomocne jest ich wykorzystywanie zarówno na starcie projektu, jak i po każdym jego etapie po to, aby zidentyfikować nowe czynniki ryzyka charakterystyczne dla bieżącej fazy projektu, które na początku zostały określone na wysokim poziomie abstrakcji.

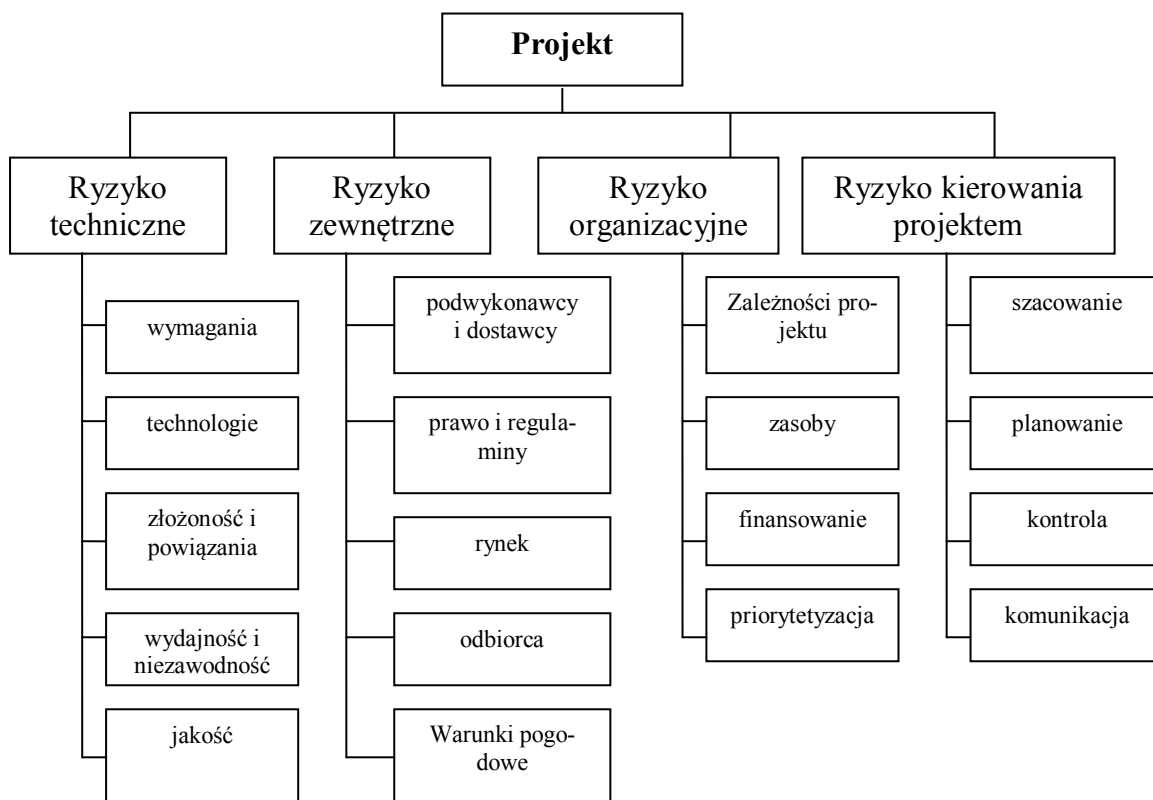
W roku 2000 amerykańska instytucja, pod nazwą Komitet Standardów Instytutu Zarządzania Projektami (ang. *Standards Committee Project Management Institute*) zaproponowała podejście do zarządzania ryzykiem w projekcie oparte na sześciu krokach [Pritchard2002][PMBok2008]. Zaproponowane przez PMI podejście jest dzisiaj częścią *Project Management Body of Knowledge (PMBok)*, czyli standardem dotyczącym zarządzani

projektami, a jako formalny dokument zawiera normy, metody oraz procesy i rozwiązania, które mogą być wykorzystywane w różnych dziedzinach, gdzie zarządzanie projektem jest wykorzystywane. Rozwiązania metodyczne przedstawione przez PMI w PMBoK są zbiorem najlepszych praktyk i stanowią wzorzec w procesie zarządzania ryzykiem.

Istnieje wiele różnych podejść precyzujących, w jakich obszarach możemy poszukiwać ryzyka. Istotne jest, aby stosować taki podział, który będzie adekwatny do danej organizacji realizującej projekt. Podział proponowany przez PMI [Pritchard2002] [PMI1987] w swojej początkowej formie zakładał następujące kategorie ryzyka:

- ryzyko zewnętrzne nieprzewidywalne (ang. *external unpredictable*). W ramach tej kategorii wymienić można kryzys finansowy, zmiany w regulacjach prawnych czy różnego rodzaju wydarzenia o charakterze katastrofy np. trzęsienia ziemi, powódzie,
- ryzyko zewnętrzne przewidywalne (ang. *external predictable*). Ta kategoria ryzyk to między innymi wahania na rynkach finansowych, inflacja, zmienność konkurencji, wielkość popytu na dany produkt, zmiany w uwarunkowaniach podatkowych,
- pozatechniczne ryzyko zewnętrzne (ang. *internal, nontechnical*). Możliwe przyczyny ryzyka w tej kategorii to spóźnione dostawy, zaopatrzenie, brak doświadczenia zespołów projektowych, załóg, brak płynności w spłacie należności,
- ryzyko techniczne (ang. *technical*). Można tutaj wskazać następujące przykłady ryzyk: zmiany w zakresie wymagań jakościowych, występujące ograniczenia w zakresie wydajności czy błędy powstałe w fazie wdrożenia,
- ryzyko prawne (ang. *legal*). Wśród ryzyk z tej kategorii najczęściej przytaczane to zmiany wynikające z działań po stronie rządu, problemy z uzyskaniem licencji, zabezpieczeniem praw autorskich, niedotrzymane kontrakty, czego skutkiem mogą być między innymi pozwy ze strony klienta.

Zaproponowane przez PMI obszary ryzyka ewoluowały w ramach kolejnych opracowań przygotowywanych przez Instytut i tak już od roku 2000 proponowana struktura podziału ryzyk w projekcie jest zgodna z diagramem [PMBoK2008][Pritchard2002]:



Rys. 1.4 Przykład struktury podziału ryzyk.

Źródło: [PMBok2008]

Kategoryzacja ryzyk może przebiegać również według tzw. płaszczyzn ryzyka (ang. *risk facets*), które zakładają następujący podział:

- płaszczyzna techniczna,
- płaszczyzna programowa,
- płaszczyzna obsługowa,
- płaszczyzna kosztowa,
- płaszczyzna harmonogramowa.

Ryzyko techniczne odnosić będziemy do ryzyka, które towarzyszy wytworzeniu nowego produktu w ramach realizacji projektu. Każdy projekt ma zapewnić produkt o określonej wydajności, niezawodności, sprawności itd.

Stąd wymogi stawiane po stronie produktu są naturalnie źródłem potencjalnych ryzyk, a stworzenie kompletnej listy ryzyk technicznych nie jest możliwe, gdyż zależy bezpośrednio od przedmiotu projektu. Wśród najczęściej występujących źródeł generujących ryzyka techniczne wskazać można na: ryzyko dotyczące własności fizycznych produktu, złożoności systemu, technologii użytych w ramach projektu, unikalnych zasobów koniecznych do realizacji celu projektu itd.

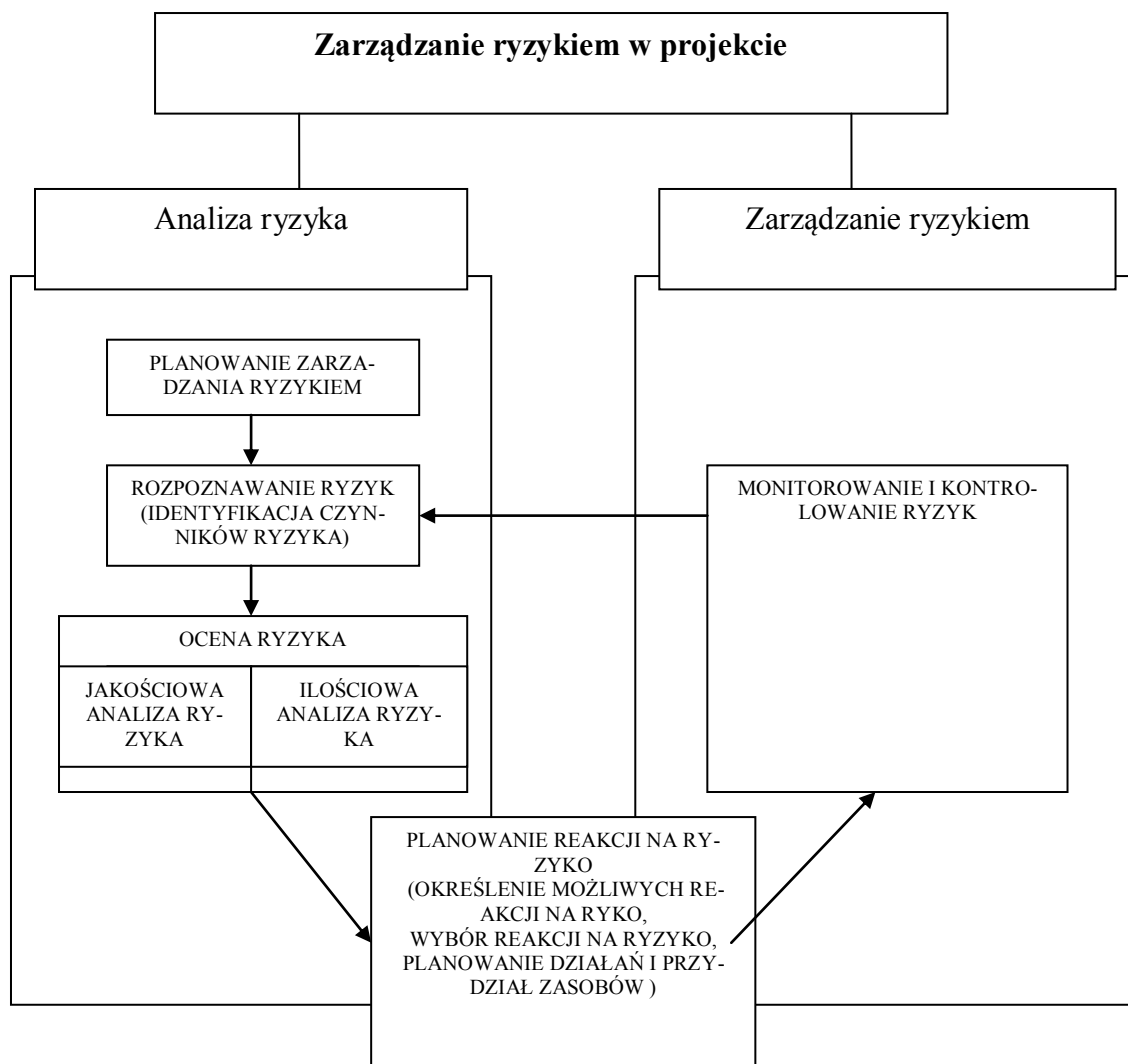
Ryzyko programowe są to działania oraz zasoby, które warunkują realizację projektu, ale które często znajdują się poza możliwością kontroli menedżera zarządzającego projektem. Źródła ryzyka programowego poszukiwać można w ramach wszelkich decyzji wpływających na projekt, które występują na zewnątrz struktury zarządzania projektem na wyższym szczeblu zarządzania. Również wszelkie działania występujące w organizacji, nie będące wynikiem realizacji samego projektu również mogą generować ryzyka z zakresu ryzyk programowych.

Ryzyko obsługowe wynika z konieczności obsługi tj. uruchomienia i utrzymania produktów projektu, które rozumiane są jako system, ale i procesy wytworzone i realizowane w projekcie [Pritchard2002].

Ryzyko kosztowe oraz harmonogramowe wiąże się z ryzykiem podniesienia kosztów realizacji projektu i z wydłużeniem terminu dotyczącego dostarczenia produktu (wydłużenie realizacji). Źródłem ryzyk kosztowych oraz harmonogramowych są z jednej strony błędy w oszacowaniu, z drugiej mogą być generowane przez problemy wynikające z materializacji ryzyk technicznych, obsługowych czy programowych. Wreszcie zauważyć należy, że źródłem występowania przekroczeń w kosztach i harmonogramie mogą być braki w opisie dotyczącym produktu projektu, niewiedza w zakresie stosownych metodologii szacowania czy wreszcie brak lub niekompletne dane dotyczące kosztów i harmonogramów w projektach już wcześniej zrealizowanych.

Należy zauważyć, że problemy pojawiające się w trakcie projektu mogą być jednocześnie klasyfikowane w kilku płaszczyznach ryzyka jednocześnie. Płaszczyzny: techniczna, programowa i obsługowa mogą być traktowane jako te, które zawierają tzw. *risk drivers*, czyli nośniki ryzyka stanowiące źródło potencjalnych ryzyk. Natomiast płaszczyzna kosztowa i harmonogramowa określać będą *risk indicators*, czyli wskaźniki ryzyka.

Zarządzanie ryzykiem w metodyce proponowanej w PMBoK polega na realizacji procesów: rozpoznawania i analizy ryzyka, planowania reakcji na ryzyko oraz monitorowania i kontroli ryzyka w projekcie. Dla każdego procesu zostały określone w sposób szczegółowy wkłady i rezultaty, a także zaproponowane zostały techniki i narzędzia wspomagające ich realizację.

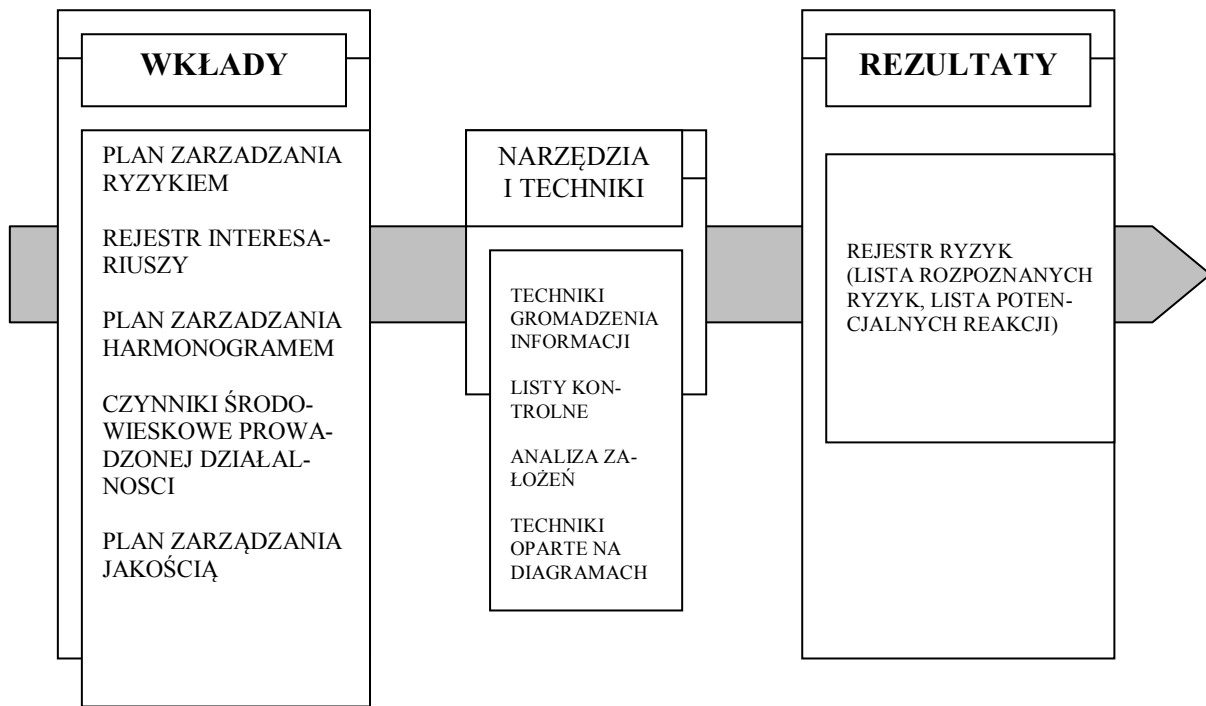


Rys. 1.5. Cykl zarządzania ryzykiem w projekcie.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [PMBok2008] [Korcowski2010]

Rozpoznawanie ryzyk w projekcie (ang. *identify risks*) według standardów PMI jest procesem iteracyjnym, powinno być prowadzone przez cały czas realizacji projektu. Uczestnikami procesu mogą być [PMBok2008]: kierownik projektu, członkowie zespołu projektu, odbiorcy, eksperci, użytkownicy, interesariusze, eksperci z obszaru zarządzania ryzykiem. Na wejściu procesu identyfikacji przydatne są wyniki uzyskane przy planowaniu projektu, stosowany podział na kategorie ryzyka, a także informacje historyczne. Następnie przy użyciu wybranych narzędzi i technik identyfikacji ryzyka dokonuje się oceny każdego ze źródeł informacji podanych na wejściu procesu. Techniki i narzędzia stosowane przy rozpoznawaniu ryzyk są zależne od projektu, jest jednak postulowana przez PMI lista, która wskazuje na najczęściej stosowane rozwiązania w tym zakresie. Wymienić tutaj można [Pritchard2002]: tech-

niki gromadzenia informacji (burza mózgów, technika delficka, ankiety, analizę przyczyn źródłowych), listy kontrolne, analizę założeń czy techniki oparte na diagramach (diagramy przyczynowo skutkowe, schematy blokowe systemu lub procesu, diagramy wpływów).



Rys. 1.6 Wkłady i rezultaty procesu zarządzania ryzykiem w metodyce PMBoK

Źródło: opracowanie własne na podstawie [PMBoK2008]

Wśród wspomnianych technik gromadzenia informacji (ang. *information gathering techniques*) wymieniona została burza mózgów, której celem jest stworzenie listy ryzyk projektu. Podstawą aktywności w tej technice może być kategoryzacja ryzyk proponowana przez PMI w postaci struktury podziału ryzyk (patrz rys. 1.4). Kolejnym krokiem jest klasyfikacja ryzyk według różnych typów wraz z ich opisem. Najczęściej stosowana jest tu dyskusja w ramach „burzy mózgów”, prowadzona pod kierownictwem moderatora, podczas której uczestnicy przedstawiają swoje sugestie.

Listy kontrolne wykorzystywane są, jako narzędzie rozpoznawania ryzyk w oparciu o dane historyczne, czy też dane pochodzące ze zrealizowanych już projektów. Zidentyfikowane ryzyka stanowią najniższy poziom w strukturze podziału ryzyk. Zauważyć należy, że przygotowane zestawienie nie zamyka całości ryzyk, na jakie narażony jest projekt. W konsekwencji prowadzi to do konieczności uzupełnienia listy w trakcie realizacji projektu o ryzyka, które nie zostały zidentyfikowane.

Pomocne w identyfikacji jest zastosowanie technik opartych na diagramach (podejście graficzne). Diagramy przedstawiają przyczyny poszczególnych ryzyk (diagramy przyczynowo-skutkowe, ang. *cause-and-effect diagrams*), pokazują powiązania pomiędzy poszczególnymi elementami systemu (ang. *system flow charts*), a także kolejność zdarzeń.

Na wyjściu procesu rozpoznawania ryzyk powinniśmy otrzymać listę ryzyk (ang. *list of identified risks*), oraz listę potencjalnych reakcji (ang. *list of potential responses*). W przypadku pierwszej listy można zastosować podejście opisowe np.: „... jeśli wystąpi określone zdarzenie/przyczyna to spowoduje ono/ona następujące skutki...”. Druga lista traktowana jest jako wkład do procesu planowania reakcji na ryzyko. Przy określaniu ryzyk mogą już nasunąć się pierwsze spostrzeżenia dotyczące reakcji i ich wyboru odnośnie zidentyfikowanych ryzyk.

PMI w metodyce PMBoK proponuje w ocenie ryzyka przeprowadzenie analizy jakościowej(ang. *qualitative risk analysis*) oraz ilościowej (ang. *quantitative risk analysis*). W przypadku pierwszej analizy prowadzimy ocenę danego ryzyka przez pryzmat prawdopodobieństwa jego wystąpienia oraz wpływu na projekt. Skutki (wpływ) danego ryzyka badamy w odniesieniu do celów projektu, wyznaczonych terminów realizacji projektu, a także kosztów, harmonogramów oraz zakresu i jakości. Analiza jakościowa prowadzi do priorytetyzacji ryzyk, a to w konsekwencji ułatwia planowanie reakcji na ryzyko, ponadto daje podstawę dla przeprowadzenia ilościowej analizy. Proces powinien być powtarzany w trakcie całego cyklu życia projektu po to, aby zachować stały wgląd w zmiany, którym podlegają ryzyka projektu. Podstawą analizy jakościowej jest wspomniane wcześniej prawdopodobieństwo ryzyka (ang. *risk probability*) oraz skutek wystąpienia ryzyka rozumiany jako wpływ (ang. *impact assessment*) ryzyka na cele projektu. Prawdopodobieństwo oraz skutek jest oceniany dla każdego zidentyfikowanego ryzyka. Pomocne są tutaj ankiety, wywiady oraz zebrania w ramach których osoby-eksperti posiadający wiedzę z zakresu zidentyfikowanych ryzyk podejmują decyzję w zakresie ich oceny. Ekspertami mogą być osoby, które pracowały przy podobnych projektach oraz osoby planujące i/lub zarządzające danym projektem.

Konieczne dla oceny jakościowej jest zdefiniowanie różnych poziomów prawdopodobieństwa i skutków wystąpienia ryzyka. Definicja taka jest przygotowywana w procesie planowania zarządzania ryzykiem i może mieć postać opisową jak i liczbową.

Na etapie jakościowej analizy można dokonać prezentacji zbiorczej dotyczącej ryzyk projektu (postrzeganych przez pryzmat prawdopodobieństwa i wpływu na projekt) w postaci tzw. macierzy prawdopodobieństwa i skutków ryzyk (ang. *probability and impact matrix*):

PRAWDOPODOBIENSTWO						
0,90	B. wysokie	0,045	0,09	0,18	0,36	0,72
0,70	Wysokie	0,035	0,07	0,14	0,28	0,56
0,50	Średnie	0,025	0,05	0,10	0,20	0,40
0,30	Niskie	0,015	0,03	0,06	0,12	0,24
0,10	B. niskie	0,005	0,01	0,02	0,04	0,08
		0,05	0,10	0,20	0,40	0,80
		B. mały	Mały	Średni	Duży	B. duży
WPLYW NA CELE PROJEKTU (NP. KOSZT, CZAS, ZAKRES, JAKOŚĆ)						

Tabela 1.1 Macierz prawdopodobieństwa i skutków ryzyk w projekcie dla tolerancji ryzyka 0,18

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [PMBok 2008]

Wyrażenie ryzyka poprzez prawdopodobieństwo i skutki jego wystąpienia sprzyja ocenie pilności ryzyk w projekcie (*ang. risk severity*). Zaprezentowane w macierzy ryzyka można grupować w obszary o „wysokiej istotności”, „średniej istotności” oraz „niskiej istotności”. Ryzyka znajdujące się w obszarze zagrożeń o wysokiej istotności mogą być zakwalifikowane jako wymagające podjęcia natychmiastowych działań. Inna sytuacja ma miejsce w przypadku tych ryzyk, które należą do obszaru niskiej istotności. Tutaj można ograniczyć się wyłącznie do monitorowania ryzyk lub do zwiększenia tzw. rezerwy projektowej (*ang. contingency reserve*).

Kolejnym procesem jest analiza ilościowa ryzyk projektu, polegająca na liczbowej reprezentacji ryzyk w odniesieniu do całościowych celów w projekcie. Analizie podlegają ryzyka, które zaklasyfikowano (na etapie analizy jakościowej), jako te, które w istotny sposób mogą zagrozić osiągnięciu celów projektu. W procesie kwantyfikacji ryzyk PMI postuluje wykorzystanie takich narzędzi i technik, jak:

- ankiety (wywiady) służące rozpoznawaniu wartości prawdopodobieństwa i skutków danego zdarzenia,
- rozkłady prawdopodobieństwa wykorzystywane do modelowania i symulacji,
- analiza wrażliwości wykorzystywana do oceny, które z ryzyk wpływają na projekt w największym stopniu,
- analiza oczekiwanej wartości pieniężnej (EMV – *ang. Expected Monetary Value*) stosowana do określenia prawdopodobieństwa i kosztów rezultatów działań. Taki typ

analizy decyzji przedstawiany jest zwykle w postaci drzewa decyzyjnego i stosowany w analizie sieciowej.

W wyniku przeprowadzonej analizy jakościowej możliwe jest dokonanie aktualizacji rejestru ryzyk. Przeprowadza się probabilistyczną analizę projektu (ang. *probabilistic analysis of the project*) po to, by poznać prawdopodobne wartości harmonogramowe, kosztowe oraz terminy, w których zakończenie projektu jest możliwe. Skutkiem jest możliwość oszacowania rezerw kosztowych i czasowych dla projektu.

Kolejną metodyką, która przedstawia proces zarządzania ryzykiem w projekcie to PRINCE2. PRINCE2 to akronim angielskojęzycznych słów *Project In Controlled Environments* i oznacza projekty w sterowalnych środowiskach. Metodyka wywodzi się od PROMPTII (ang. *Project Resource Organization Management Planning Technique*), która stosowana była w rządowych projektach informatycznych. Obecnie PRINCE2 wykorzystywana jest jako strukturalna metodyka zarządzania różnymi projektami, niekoniecznie informatycznymi, co oznacza, że może być wykorzystywana w projektach wszelkiego typu i w dowolnych środowiskach. Metodyka PRINCE2 związana jest z zarządzaniem projektem i zarządzaniem zasobami, które wykorzystywane są w trakcie prac projektowych. Jednak w trakcie realizacji projektu potrzebne jest często zaangażowanie różnych narzędzi i technik wspomagających zarządzanie projektem. Część z nich jest dobrze opisana i sprawdzona w istniejących rozwiązaniach stąd wyłączone zostały z PRINCE2. Należą do nich między innymi: techniki kierowania ludźmi, techniki planowania, tworzenie i zarządzanie systemem jakości [Prince2 2009].

W trakcie realizacji projektu w oparciu o metodykę PRINCE2 mamy do dyspozycji kompletny zestaw pojęć oraz postępowań, których wykorzystanie stanowi o właściwym przebiegu prac, ważne jest jednak dostosowanie oferowanego zestawu do specyfiki realizowanego projektu. Realizacji poszczególnych procesów wyznaczonych w PRINCE2 służą odpowiednie komponenty i techniki. Jednym z komponentów jest zarządzanie ryzykiem, które zgodnie z metodyką wykorzystywane jest w realizacji każdego z ośmiu oddzielnych procesów zarządzających.

Zarządzanie ryzykiem to proces ciągły składający się z podstawowych kroków, które tworzą cykl zarządzania ryzykiem. Przebieg cyklu zgodnie z metodyką PRINCE2 składa się z:

- identyfikowania zagrożeń,
- oceny zagrożeń,
- określenia możliwych reakcji,

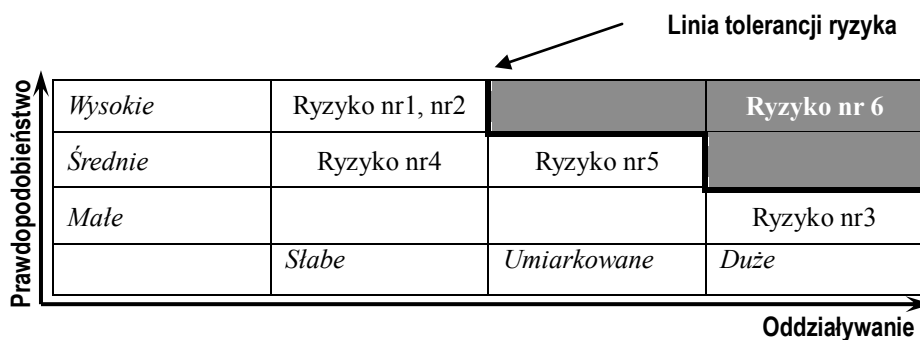
- wyboru reakcji,
- planowania działań i przydziale zasobów,
- monitorowania i raportowania.

Proponowana w metodyce kategoryzacja ryzyk, na które narażony może być projekt stanowi pomoc przy tworzeniu listy potencjalnych ryzyk. Zidentyfikowane obszary, w których możemy poszukiwać zagrożeń to:

- ryzyka strategiczne i handlowe,
- ryzyka ekonomiczne, finansowe,
- ryzyka prawne i wynikające z regulacji prawnych,
- ryzyka organizacyjne, zarządcze, związane z czynnikiem ludzkim,
- ryzyka polityczne,
- ryzyka środowiskowe,
- ryzyka techniczne, eksploatacyjne, infrastrukturalne.

Podobnie jak w metodyce PMBoK ocena ryzyk polega na określeniu prawdopodobieństwa wystąpienia oraz stopnia oddziaływania (wpływu) na projekt. Prawdopodobieństwo rozumiane jest jako oszacowana możliwość zajścia danego zdarzenia, natomiast wpływ to oszacowany skutek zdarzenia. Postuluje się w metodyce szerokie spojrzenie na oddziaływanie zagrożeń mogących wystąpić w projekcie, dobrze, jeżeli są one rozważane pod kątem czasu, kosztów, jakości, zakresu, korzyści, zasobów ludzkich.

Część ryzyk może zostać określona w kategoriach liczbowych (np. ryzyka finansowe), niektóre natomiast wymagają określeń opisowych (np. ryzyko wysokie, średnie, niskie). Dlatego też w metodyce PRINCE2 tworzy się pewnego rodzaju ramy sprzyjające wizualizacji wszystkich ryzyk obecnych w projekcie tak, aby wiedzieć, które z nich mają najwyższy priorytet i wymagają szczególnych działań, ponieważ ich ewentualna realizacja może mieć krytyczny wpływ na powodzenie projektu. Przykładem może być sumaryczny diagram profilu ryzyka (ang. *Summary Risk Profile*) stosowany w metodyce PRINCE2.



Rys. 1.7 Sumaryczny profil ryzyka.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie:[Prince2 2009]

Prócz sumarycznej prezentacji ryzyk w postaci diagramu, w metodyce PRINCE2 tworzony jest dokument, do którego wprowadza się ryzyka zaraz po ich identyfikacji. W Rejestrze Ryzyka zawarte są informacje o wszystkich ryzykach, na jakie narażony jest projekt, oraz informacje odnośnie działań monitorujących, które powinny być prowadzone. Działania te przypisane są konkretnym osobom, które w ten sposób stają się tzw. właścicielem ryzyka. Przykładowy, wypełniony dokument przedstawiono w tabeli:

Element (warstwa)	Lp.	Opis ryzyka (składowe)	Prawdopodobieństwo	Wpływ na projekt	Ocena	Właściciel ryzyka
			P	W	R=P*W	
Zarządzanie projektem	1	Doświadczenie kierownictwa projektu (1-5),	1	5	5	KS
		Zaangażowanie najwyższego kierownictwa (1-5),	3	5	15	Zarząd
			2,00	5,00	10,00	
Personel	2	Dostępność (1-5),	5	5	25	KS
		Zaangażowanie (1-5),	3	5	15	Zarząd
		Nadzór (1-5),	4	3	12	Zarząd
		Jakość (wiedza) (1-5),	2	5	10	Kierownik Działu
		Dyspozycyjność (przydział) (1-5),	5	5	25	KS
		Rotacja (1-5),	4	5	20	Zarząd
Doświadczenie (1-5),	4	4	16	Kierownik Działu		
			3,86	4,57	17,57	
Charakter projektu	3	Prostota (typowość) (1-5),	3	4	12	KS
		Nowatorstwo (5-1),	2	2	4	Przedstawiciel użytkownika
		Uwarunkowania (prawne, audytorskie...) (małe:1-duże:5),	5	5	25	Przedstawiciel użytkownika
		Tolerancje (szerokie:1 – wąskie:5),	5	4	20	KS
Pierwsze podejście (1-5),	3	3	9	Przedstawiciel użytkownika		
			3,60	3,60	14,00	
Dojrzałość	4	Środowisko jakości (jest:1,	2	2	2	KS

Element (warstwa)	Lp.	Opis ryzyka (składowe)	Prawdo	Wpływ na	Ocena	Właściciel ryzyka
			podobie ństwo	projekt	R=P*W	
			P	W	R=P*W	
organizacji		brak:5),				
		Delegowanie uprawnień (1-5),	5	3	15	Zarząd
		Stosowanie opublikowanych standardów zarządczych (1-5),	3	3	9	Zarząd
		Stosowanie znanych, zrozumiałych i opublikowanych standardów wytwarzania (1-5)	4	5	20	
			3,50	3,25	11,50	
Klient i kontrakt	5	Klient wykazuje zrozumienie (1-5),	4	4	16	KS Kierownik Wdrożenia
		Dostosowania u klienta (brak: 1-duże:5),	3	3	9	
		Wcześniejsze kontrakty z klientem (1-5),	4	4	16	KS KP Przedstawiciel użytkownika
		Uzgodniony kontrakt (1-5),	2	3	6	
		Użytkownik przekonany do rozwiązania	4	4	16	
					3,40	
Inni dostawcy	6	Znani i uznani dostawcy (1-5),	3	3	9	KP KS
		Kontrakt z dostawcą (1-5),	3	3	9	
		Oczekiwany znikomy udział dostawcy (1-5),	2	2	4	Kierownik Wdrożenia
					2,67	
Jasność biznesowa	8	Jasne uzasadnienie biznesowe (1-5)	4	5	20	KS
		Pewność eksploatacji produktu projektu u głównej odbiorcy CC CERTUM (wpływ konkurencji)	3	5	15	KS
					3,50	5,00
RAZEM:				27,69	90,50	
Prawdopodobieństwo wystąpienia (P) - skala: 1-5 Wpływ na projekt (W) - skala: 1-5 Ocena R=P*W - skala: 1-25 Prawdopodobieństwo neutralne (PN) - PN = 3 { <1-3) – małe ryzyko, (3-5) - wzrost ryzyka } Za istotne uznane zostały ryzyka, które mają ocenę większą bądź równą 9, lub jedna ze składowych ma wartość 5.						
Przedziały ryzyk						
			Poniżej 3 (poniżej PN)	Niskie		
			3 – 3,4	Umiarkowane		
			3,4 – 4	Wysokie		

Element (warstwa)	Lp.	Opis ryzyka (składowe)	Prawdo- podobie- ństwo	Wpływ na projekt	Ocena	Właściciel ryzyka
			P	W	R=P*W	
			Powyżej 4	Bardzo wyso- kie		
<p>Współczynnik ryzyka dla projektu $P_p = \sum R / \sum W = 90,50 / 27,69 = 3,27$ Projekt charakteryzuje się umiarkowanym ryzykiem.</p>						

Tabela 1.2 Rejestr ryzyka

Źródło: Opracowanie własne

Ryzyko wpisane jest w realizację projektu i może być akceptowane, jeśli mieści się w wyznaczonych granicach tolerancji. Istotna dla jego akceptacji jest również korzyść, jaką możemy uzyskać podejmując określone ryzyko. Korzyść ta musi przynajmniej równoważyć stratę, jaką z tytułu zaistnienia ryzyka możemy ponieść. Nie jest istotne, jaka metodyka zarządzania ryzykiem będzie dedykowana dla tych działań, istotne, aby działania dotyczące zarządzania ryzykiem były systematycznie wykonywane i dokumentowane od początku prac, aż do zakończenia projektu. Podstawowym postulatem jest więc jedynie, aby proces zarządzania ryzykiem w projekcie był prowadzony.

W przedstawionych metodykach zarządzania projektem informatycznym zidentyfikowane ryzyko oceniane było poprzez prawdopodobieństwo i jego wpływ na projekt. Dodatkowym uzupełnieniem tych miar może być stopień wykrywalności ryzyka, który określa istotność ryzyka w projekcie. Stąd dla określenia każdego zidentyfikowanego ryzyka możemy posłużyć się tzw. indeksem wartości prawdopodobieństwa ryzyka (ang. *Risk Probability Number*) [Biniek2010], na który składają się następujące czynniki:

$$RPN = P * W * D \quad (1.1)$$

gdzie:

P – prawdopodobieństwo zaistnienia danego zdarzenia (można przyjąć rangę 1-10),

W – wpływ na projekt (ranga 1-10),

D – stopień wykrywalności ryzyka, im niższa pewność wykrycia tym wyższa ranga (skala 1-10).

Przyjęcie podejścia oceny ryzyka z wykorzystaniem wymienionych wyżej czynników wywodzi się z metody zarządzania jakością FMEA (ang. *Failure Mode and Effect Analysis*). Metoda ta służy ustaleniu związków przyczynowo-skutkowych powstawania wad procesu / produktu, przy jednoczesnym uwzględnieniu podczas analizy czynnika ryzyka.

1.2 Techniki oraz metody zarządzania ryzykiem w projektach informatycznych

Istnieje wiele metod wspomagających proces zarządzania ryzykiem projektu. Ich wykorzystywanie jest związane z realizacją kolejnych etapów procesu tzn. planowaniem ryzyka, identyfikacją ryzyka, klasyfikacją ryzyka oraz monitorowaniem i kontrolowaniem ryzyka [Pritchard2002].

1.2.1 Metody eksperckie

Wiele technik wspomaga jednocześnie kilka etapów procesu zarządzania ryzykiem. Przykładem mogą być listy kontrolne wykorzystywane głównie przy planowaniu zarządzania ryzykiem jak również przy klasyfikacji ryzyka oraz monitorowaniu i kontroli. Dokonując wyboru pomiędzy dostępnymi rozwiązaniami należy wziąć pod uwagę przydatność danej metody w odniesieniu do danego etapu procesu zarządzania ryzykiem w projekcie.

Technika	Proces zarządzania ryzykiem						Faza projektu			
	Planowanie zarządzania ryzykiem	Identyfikacja ryzyka	Klasyfikacja ryzyka	Pomiar ryzyka	Planowanie metod reagowania na ryzyko	Nadzorowanie i kontrola ryzyka	Koncepcja	Opracowanie	Wdrożenie	Zamknięcie
Ankiety eksperckie	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Spotkania planistyczne	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Metodologie zarządzania ryzykiem	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Przeglądy dokumentacji	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Porównanie analogii		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Oceny planu		<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Technika delficka	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Burza mózgów		<input checked="" type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Metoda Crawforda		<input checked="" type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analiza SWOT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Szablony projektu	<input type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Listy kontrolne	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Analiza założeń		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analiza decyzji/oczekiwana wartość pieniężna				<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Szacowanie zależności	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>
Analiza sieciowa		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Technika oceny i przeglądu programu (PERT)		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Inne metody diagramowe			■		□	■	■	□
Systemy oceny	□		■	□	■	■	■	■
Modelowanie ryzyka	■		□		■	■	■	■
Symulacje Monte Carlo				■		■	■	
Czynniki ryzyka	□		■		□	■	■	■
Macierz reagowania na ryzyko	□				■	■	■	□
Nadzorowanie wyników	□					■	■	■
Przeglądy i audyty ryzyka	□						■	■

Tabela 1.3 Zastosowanie technik zarządzania ryzykiem

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Pritchard2002]

■ = Zastosowanie podstawowe

□ = Zastosowanie podrzędne

Wśród wymienionych w tabeli technik wspierających proces zarządzania ryzykiem można wyróżnić techniki oparte o wiedzę ekspertów. Należą do nich: ankiety eksperckie, technika burzy mózgów, technika delficka oraz technika grupy nominalnej.

Ankiety eksperckie

Technika ankiety eksperckiej wymaga znalezienia odpowiednich ekspertów w danej dziedzinie. Następnie zadaje się im przygotowane wcześniej pytania z obszaru będącego specjalizacją ankietowanego eksperta. Podstawowe zastosowanie tej techniki, to identyfikacja ryzyk projektu, jednak ankiety wspomagają także planowanie zarządzania ryzykiem, klasyfikację ryzyka, pomiar oraz planowanie metod reagowania na ryzyko.

Osoby prowadzące wywiady powinny mieć doświadczenie w zakresie danej techniki, dobrze, jeżeli współuczestniczą w wyborze ankietowanych osób, co wpłynąć może na lepszą komunikację pomiędzy ankierem i ekspertem. Wiedzę potrzebną do przeprowadzenia ankiety bardzo często posiada kierownik projektu, chociaż przy obszarach specjalistycznych takich jak projekty informatyczne można posiłkować się osobami z zewnątrz np. zawodowymi analitykami. Wybór odpowiednich ekspertów wymaga szerokiego spojrzenia na problem ryzyk w projekcie, stąd dobrze, jeśli do grona ankietowanych zaliczyć będziemy mogli przedstawicieli dostawców, klienta czy użytkownika. Eksperci ze strony użytkownika mogą być pomocni w identyfikacji ryzyka niespełnienia określonych wymagań stawianych systemowi informatycznemu. Doświadczenie użytkownika może pomóc w określeniu ewentualnych problemów na styku dostawca-klient. Wybór ekspertów z grona dostawców wspomagać będzie analizę ryzyka technicznego związanego z realizacją poszczególnych funkcji. Udział dostawców jest wskazany na etapie oceny zidentyfikowanych ryzyk.

Biorąc pod uwagę, że ankiety wykorzystywane są na różnych etapach procesu zarządzania ryzykiem ich forma powinna uwzględniać cel (etap), któremu ma służyć. Inną formę bę-

dzie miała ankieta stosowana przy identyfikacji ryzyk (tutaj skorzystać możemy z list kontrolnych), a inaczej ta stosowana do oceny prawdopodobieństwa i wpływu ryzyka na projekt. Niezależnie od formy ankiety oraz dziedziny, z której wywiad jest prowadzony, ważne jest, aby znaleźć czas na rozmowę o projekcie jako całości i wysłuchać uwag na temat obszarów, z którymi dany ekspert nie jest dziedzinowo związany. Pozwala to zbudować szerszy obraz potencjalnych ryzyk projektu, poprzez identyfikację niezbyt oczywistych zagrożeń wraz z zależnościami występującymi pomiędzy nimi. Wyniki przeprowadzonych ankiet mogą służyć jedynie identyfikacji ryzyk, ale rzadko zdarza się, aby ekspert przedstawiając zagrożenia projektu nie proponował ewentualnych metod reagowania na ryzyko. Po identyfikacji ryzyk najczęściej określa się prawdopodobieństwo zajścia danego zdarzenia oraz próbuje się oszacować wpływ zdarzenia na powodzenie projektu (najczęściej przez pryzmat kosztów, harmonogramu czy wydajności projektu). Wyniki opracowanych danych przenoszone są do Rejestru Ryzyka. Prowadzenie ankiet wspomaga ciągłą identyfikację ryzyk projektu, jak również monitorowanie czy przewidziane metody reagowania na ryzyka okazały się skuteczne.

Technika delficka

Wykorzystanie tej techniki ma uzasadnienie wtedy, gdy potencjalni eksperci ze względu na obowiązki czy brak czasu nie mogą w sposób bezpośredni służyć wiedzą lub też, gdy konieczne jest pozyskanie większej ilości opinii od ekspertów. Technika delficka polega na uzyskiwaniu bezpośrednich ekspertyz oraz umożliwia ekspertom wzajemne zapoznanie się z opiniami przez nich przedstawionymi (z zachowaniem pełnej anonimowości). Zaleca się, aby prowadzenie techniki odbywało się przynajmniej w trzykrotnym cyklu. Przy pierwszej analizie wyniki otrzymane mogą nie być precyzyjne, stąd biorąc pod uwagę wypowiedzi innych specjalistów, eksperci dokonują korekty swoich ocen. Proces ten powinien być powtarzany tak długo jak istnieje możliwość uściślenia, ujednoczenia otrzymywanych opinii. Po otrzymaniu satysfakcjonujących wyników podaje się je do wiadomości uczestnikom projektu oraz biorącym udział w technice ekspertom, informuje się również gdzie zostaną wykorzystane wyniki. W związku z tym, że technika wspiera etap identyfikacji ryzyk projektu, jej wyniki powinny zostać zawarte w Rejestrze Ryzyka. Wymogi dotyczące stosowania prezentowanej metody można odnieść głównie do osób biorących w niej udział. Z jednej strony potrzebni są eksperci z danej dziedziny, posiadający dogłębną wiedzę potrafiący ocenić skutki zajścia konkretnego zdarzenia w danym projekcie. Dobrze, jeśli ekspert zna organizację, która projekt realizuje. Pomocne jest również współuczestniczenie w realizacji projektu oraz zaintere-

sowanie procesami, które projekt obejmuje. Z drugiej strony potrzebny jest udział moderatora badania, który gromadzi komentarze poszczególnych ekspertów, na temat istotnych dla projektu ryzyk, wykorzystując w tym celu wcześniej przygotowane kwestionariusze. Zaletą techniki delfickiej jest jej obiektywizm, uczestnictwo wielu ekspertów uniemożliwia wpływ pojedynczych osób na rezultaty badania. Technika jest wiarygodna, co związane jest z koniecznością (przynajmniej trzykrotnie powtarza się proces) wielokrotnego przedstawienia opinii po korekcie wynikającej z uwzględnienia komentarzy pozostałych uczestników badania. Oczywiście jest kwestia doboru uczestników metody, to od zaangażowania odpowiednich ekspertów oraz właściwie przygotowanych pytań zależą wyniki otrzymane na wyjściu. Według Turoff'a konieczne w metodzie Delfickiej jest wyodrębnienie trzech indywidualnych grup: grupy decydentów, grupy pracowników oraz grupy respondentów. Grupa decydentów składa się z przedstawicieli sponsora bądź klienta, grupa pracowników odpowiada za przygotowanie kwestionariuszy, zsumowanie wyników otrzymanych oraz przeprojektowanie kwestionariuszy po to, aby kontynuować prowadzenie badań [Turoff2002]. Grupa respondentów proszona jest o udzielenie odpowiedzi zgodnie z przygotowanym kwestionariuszem, osoby z tej grupy nazywane są „czołowymi graczami projektu” (ang. *leading project players*).

Dobrze jest, jeśli zestawy pytań kierowane do respondentów są precyzyjne i przyjmują postać zdań kierowanych do eksperta np. [Korcowski2010] „Jeśli w module X oprogramowania zostanie w trakcie testów wykryty poważny błąd, to jaki czas będzie niezbędny na dokonanie poprawek i ponowne przetestowanie modułu”. Ważne, aby odpowiedzi uzyskane od eksperta opatrzone zostały odpowiednim komentarzem. Ujemną stroną techniki jest niewątpliwie jej czasochłonność. Jednak w sytuacji, gdy czas nie jest kryterium najważniejszym narzędzie to zapewnia wnikliwość metod analizy ilościowej, z której korzystać może kierownik projektu.

Technika burzy mózgów

Burza mózgów została zaproponowana w latach 1950 przez Osborna, jako metoda dająca większą liczbę rozwiązań w krótszym czasie niż wcześniej wykorzystywane metody grupowego rozwiązywania problemów [Chapman1998]. Efektywność metody według Osborna bierze się z dwóch podstawowych założeń. Pierwsze zakłada, że myślenie grupowe jest znacznie bardziej produktywnie od indywidualnego, drugie założenie to unikanie krytycyzmu, co wpływa na pomysłowość. Burza mózgów jest to forma wymiany informacji prowadzona w

sposób zorganizowany i pozbawiona jednocześnie krytycyzmu wobec prezentowanych opinii [Pritchard2002].

Osborn zwraca uwagę, że technika burzy mózgów polegająca na swobodnej prezentacji własnych przemyśleń staje się punktem startu dla przemyśleń pozostałych osób biorących udział w technice. Osborn nazywa to zjawisko „społecznym ułatwieniem” (ang. *social facilitation*), wskazuje również na ocenę wypowiedzi, które są nagradzane natychmiastową współpracą pozostałych członków grupy, poprzez otwartość w wypowiadaniu własnych sugestii. Podstawą burzy mózgów jest „odroczenie oceny” prezentowanych wypowiedzi. Prócz tego Osborn zakłada, że w technice podstawą jest wzajemne zachęcanie do prezentowania jak największej liczby pomysłów. Przy dużej liczbie rozwiązań możemy natrafić na te właściwe. Kolejny i najważniejszy to budowanie pomysłów na informacjach prezentowanych przez pozostałych członków grupy.

Metoda ta może być wykorzystywana przy identyfikacji ryzyk projektu informatycznego, ale także przy planowaniu metod reagowania na zidentyfikowane ryzyka. Co ważne burza mózgów nie wymaga specjalnych nakładów, nie wymaga specjalistycznych umiejętności od osoby prowadzącej, zarówno, jeśli chodzi o prowadzenie spotkań jak i jeśli chodzi o wiedzę z zakresu objętego badaniem. Punktem wyjścia do rozważań jest prezentacja problemu. W przypadku identyfikacji ryzyk na wyjściu możemy otrzymać rodzaje ryzyk, źródła ryzyka, czynniki wyzwalające ryzyko. W przypadku planowania reakcji efektem burzy mózgów mogą być gotowe scenariusze postępowania, gdy ryzyko się zmaterializuje.

Technika grupy nominalnej

Technika grupy nominalnej (ang. *Nominal Group Technique – NGT*) została zaprezentowana w roku 1968 przez A. Delbecq’a. Autor opisuje metodę jako proces rozpoczynający się od pracy grupy składającej się z siedmiu do dziesięciu członków, w której pomysły poszczególnych osób są zapisywane bez poddawania pod dyskusję. Po 5-10 minutach poszczególne pomysły są prezentowane. Przedstawione informacje zapisywane są na tablicy, proces zapisywania kończy się kiedy uczestnicy nie zgłaszają żadnych dodatkowych pomysłów. Następnie każdy indywidualnie dokonuje oceny wypowiedzi poprzez nadanie rang, a w konsekwencji dokonuje się agregacji poszczególnych rankingów. W metodzie grupy nominalnej zgłaszanie pomysłów odbywa się w kolejnych rundach. Aktywizuje to wszystkich uczestników i eliminuje dominację niektórych członków grupy.

Charakterystyka	NGT	Burza mózgów	Technika Delficka
Rozmiar grupy /równość członków w grupie/ dominacja	Równość członków	Dominacja niektórych uczestników grupy	Równość respondentów
Charakterystyka członków grupy /wzajemne oddziaływanie/ cechy osobowości	Kontakt społeczny wewnątrz grupy może wpływać na kształt wypowiedzi. Świadomy, ograniczony udział w grupie (mniejszy niż w przypadku burzy mózgów). Udział wszystkich członków grupy wspierany przez sekwencję kroków wynikających ze stosowanej techniki.	Kontakt społeczny wewnątrz grupy może wpływać na kształt wypowiedzi. Świadomy, ograniczony udział w grupie. Udział poszczególnych członków może być ograniczony (brak zaangażowania, ograniczone możliwości przedstawienia własnej opinii).	Brak wpływu na kształt wypowiedzi spowodowany brakiem kontaktu pomiędzy członkami grupy. Pełny udział bez ograniczeń wynikających z kontaktów wewnątrz grupy.
Problem do rozwiązania / kryteria skuteczności/ wymagany poziom wiedzy	Skuteczność pracy zależna od jasnego wyjaśnienia członkom grupy problemu nad którego rozwiązaniem będą pracować. Wymagane wiedza i umiejętności z dziedziny, której dotyczy rozwiązywany problem.	Skuteczność pracy zależna od jasnego wyjaśnienia członkom grupy problemu nad którego rozwiązaniem będą pracować. Wymagane wiedza i umiejętności z dziedziny, której dotyczy rozwiązywany problem.	Skuteczność pracy niezależnych ekspertów zależna od treści przedstawionego kwestionariusza. Wymagane wiedza i umiejętności z dziedziny, której dotyczy rozwiązywany problem.
Środowisko pracy / normy, metody pracy w grupie/ pozycja lidera grupy	Metoda pracy w grupie o określonej strukturze działań. Silna pozycja lidera grupy. (rola wymagana)	Metoda pracy w grupie o określonej strukturze działań. Silna pozycja lidera grupy. (rola wymagana)	Precyzyjne określony sposób postępowania w ramach stosowanej metody. Brak lidera.

Tabela 1.4 Podsumowanie różnic pomiędzy technikami wspierającymi identyfikację ryzyka w projekcie.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [Chapman 1998]

Stosowanie technik eksperckich wynika często z przekonania, że najlepsze szacunki można uzyskać właśnie od ekspertów z danej dziedziny. Jednak nie zawsze pogląd ten jest właściwy. Punktem wyjścia powinien być tutaj problem leżący u podstaw wyboru metody. W przypadku projektów informatycznych i oceny ryzyka w tych projektach zastosowanie technik eksperckich jest uzasadnione. Projekty informatyczne mają charakter pojedynczych przedsięwzięć (często innowacyjnych), związane są z okolicznościami trudnymi do przewidzenia zarówno, jeśli chodzi o prawdopodobieństwo zajścia jak i wpływ na powodzenie projektu. Trudno tu zastosować zwykłe algorytmy postępowania wspomagane komputerowo, które sprawdzałyby się w przypadku zjawisk o powtarzalnym charakterze oraz stałych przyczynach i skutkach [Korcowski2010]. Jednak decydując się na pomoc ekspertów należy pamiętać, że ich pozyskanie może nie być łatwe. Eksperci powinni być specjalistami w danej dziedzinie, a ich współpraca zależy od zaangażowania dodatkowych osób. W przypadku ankiet eksperckich są to osoby ankietujące, przy technice delfickiej osoba prowadząca grono ekspertów, która musi umieć przygotować odpowiedni kwestionariusz jak również zinterpretować i przetworzyć opinie uzyskane od respondentów.

Kolejnym istotnym elementem, który należy wziąć pod uwagę przy zastosowaniu metod eksperckich jest postać danych źródłowych. Dane źródłowe to zebrane przy wykorzystaniu danej techniki opinie ekspertów. Opinie te charakteryzuje element niepewności stąd przy opisie ilościowym informacji zebranych od ekspertów należy stosować się do reguł rachunku prawdopodobieństwa [Pritchard2002] :

- prawdopodobieństwa wszystkich możliwych zdarzeń muszą sumować się do 1,
- prawdopodobieństwo dowolnego zdarzenia $P(A)$ musi być liczbą zawartą w przedziale $(0 \leq P(A) \leq 1)$,
- prawdopodobieństwo ciągu zdarzeń zależnych jest iloczynem prawdopodobieństwa wystąpienia pierwszego zdarzenia oraz prawdopodobieństwa wystąpienia drugiego zdarzenia przy założeniu, że wystąpi pierwsze zdarzenie $(P(A) \cap P(B|A))$, w tych warunkach zdarzenia tworzące ciąg są od siebie uzależnione,
- jeśli prawdopodobieństwo ciągu zdarzeń jest prostym iloczynem prawdopodobieństw obu zdarzeń $(P(A) \cap P(B))$, wówczas zdarzenia te są od siebie niezależne, nie mają ze sobą nic wspólnego i mogą występować jednocześnie.

Pozyskana od ekspertów dziedzinowych wiedza ma charakter opisowy, jej przekształcenie do postaci ilościowej jest konieczne wtedy, gdy chcemy prowadzić dalszą analizę w opar-

ciu o modele analizy ryzyka. Modele te wykorzystują wyniki analizy jakościowej przedstawione za pomocą funkcji gęstości prawdopodobieństwa. Funkcja gęstości prawdopodobieństwa jest linią krzywą, gdzie dla różnych wartości zmiennej losowej x funkcja ta przyjmuje różne wartości prawdopodobieństwa. Rozkłady ciągłe prawdopodobieństwa są stosowane w modelowaniu i symulacjach. Prezentują niepewność związaną z czasem trwania poszczególnych działań projektu, czy też prezentują niepewność w aspekcie kosztów lub wymagań technicznych. Przykładem rozkładów ciągłych mogą być rozkład beta, trójkątny, jednostajny, normalny czy logarymiczno-normalny.

1.2.2 Metody analizy sieciowej (bez metod kosztowych)

Realizacja projektu opiera się o wcześniej przygotowaną strukturę zadań i/lub opisy produktów, które projekt ma wytworzyć. Struktura zadań może mieć postać prostej listy bądź też do jej prezentacji użyte mogą zostać metody analizy sieciowej [Korcowski2010]. Do stosowanych metod zaliczyć możemy diagramy sieciowe PERT (ang. *Program Evaluation and Review Technique*), metodę ścieżki krytycznej CPM (ang. *Critical Path Method*), które prezentują poszczególne zadania oraz zależności między nimi. Dodatkowo dostarczają informacji na temat terminów zakończenia projektu, ilustrują zakres projektu, wspomagają zmiany związane z zasobami w czasie, a także wspierają tworzenie scenariuszy ryzyka, na które narażony jest projekt. Umieszczenie na wspólnym schemacie związków pomiędzy zadaniami projektu, ułatwia wychwycenie zagrożeń wynikających z tych zależności.

Zastosowanie diagramów sieciowych wpływa na uniknięcie opóźnień realizacji projektu poprzez badanie zagrożeń wpływających na realizację poszczególnych zadań. Utworzenie diagramów jest możliwe przy zachowaniu pewnych wytycznych. Potrzebne jest odpowiednie zaangażowanie członków zespołu projektowego, określenie właściwego poziomu szczegółowości, zidentyfikowanie działań, które zostaną naniesione na diagram oraz określenie zależności pomiędzy działaniami, a także prognoza czasu ich trwania [Pritchard2002].

W celu zobrazowania wzajemnych zależności należy określić w strukturze działań tzw. elementy terminalne, czyli takie, które nie podlegają dalszej dekompozycji. Następnie należy opisać elementy terminalne za pomocą takich parametrów jak zasoby użyte oraz czas trwania działania. Wtedy możliwe będzie stworzenie sieci zależności pomiędzy poszczególnymi działaniami.

Technika CPM (ang. *Critical Path Method*) oraz PERT przedstawiają działania projektowe w postaci diagramów strzałkowych (ang. *activity on arrow*). W metodzie CPM mierzymy

do wyznaczenia działań, których realizacja opatrzona jest największym ryzykiem niedotrzymania terminu. Działania te umiejscowione są wzdłuż ścieżki krytycznej i ich wykonanie w czasie warunkuje terminowe zakończenie projektu. Zapas czasu dla działań ze ścieżki krytycznej jest równy zeru, a suma czasów tychże działań stanowi najdłuższą możliwą ścieżkę realizacji projektu. Technika CPM należy do grupy deterministycznych technik planowania sieciowego. Jej konstrukcja dotyczy budowy grafu sieciowego obrazującego zależności pomiędzy poszczególnymi działaniami projektu. Graf sieciowy prezentuje czynności za pomocą łuków, natomiast zdarzenia obrazowane są za pomocą węzłów grafu. Technika CPM stosowana jest tam gdzie jesteśmy w stanie określić w sposób deterministyczny czynności projektu oraz czasy ich trwania. W technice wyznaczamy nie tylko czasy trwania poszczególnych czynności, ale również określamy zdarzenia oraz wzajemne pomiędzy nimi zależności. Zdarzenie to określony stan, natomiast czynność to zadanie absorbujące czas i występujące pomiędzy dwoma zdarzeniami. Wykorzystanie techniki CPM w zarządzaniu projektami obejmuje wykonanie następujących kroków [Trocki2004]:

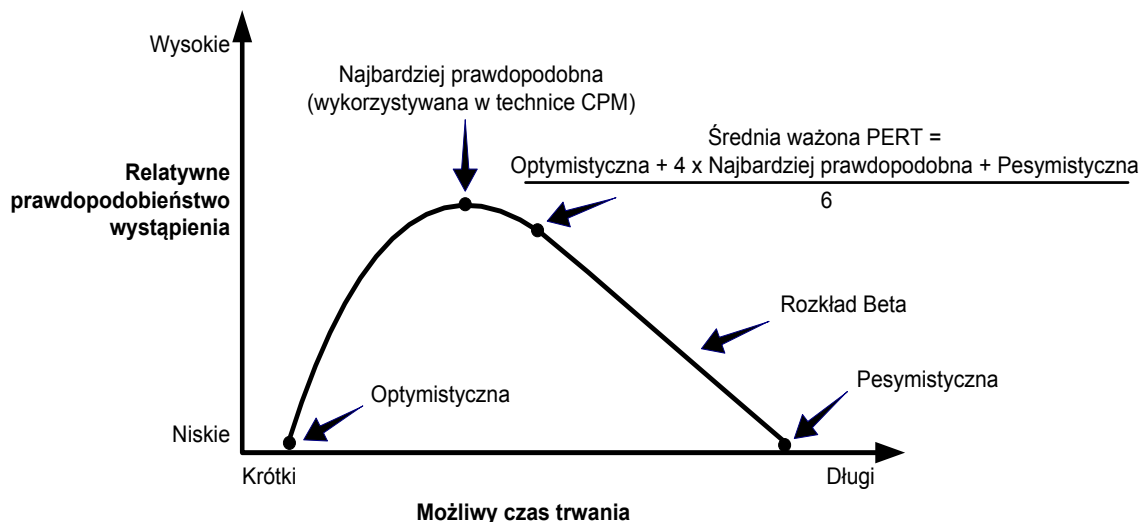
- prezentacja projektu w postaci grafu sieciowego,
- wyznaczenie czasów wykonania poszczególnych czynności projektowych,
- wyznaczenie terminu rozpoczęcia oraz zakończenia projektu,
- wyliczenie dla poszczególnych czynności terminów ich rozpoczęcia oraz zakończenia,
- wyliczenie rezerwy czasowej,
- wyznaczenie ścieżki krytycznej dla projektu – ciągu czynności których łączny czas trwania jest równy terminowi zakończenia całego projektu,
- kontrola czynności leżących na ścieżce krytycznej (są to czynności których nieterminowa realizacja wiąże się z ryzykiem niepowodzenia projektu).

Należy zwrócić uwagę, że zbytnia koncentracja tylko na tych czynnościach, które usytuowane są na ścieżce krytycznej nie jest rozwiązaniem wystarczającym z punktu widzenia zarządzania ryzykiem w projekcie. Również działania o minimalnym zapasie czasu realizacji mogą generować ryzyko niepowodzenia, stąd ich ciągły monitoring w trakcie realizacji projektu jest również konieczny.

Zastosowanie techniki CPM jest możliwe o ile jesteśmy w stanie jednoznacznie wyznaczyć czasy trwania poszczególnych czynności. Wyznaczenie czasów w sposób jednoznaczny może okazać się szacowaniem zbyt optymistycznym lub pesymistycznym. Warto więc szczególnie przy projektach informatycznych posłużyć się technikami sieciowymi bazującymi na

niepewności, w których czas trwania czynności, oraz koszt są traktowane jako parametr zmienny. Przykładem techniki, w której czas trwania czynności jest zmienną losową o rozkładzie beta jest technika PERT (ang. *Program Evaluation and Review Technique*). W technice tej obliczenia dokonywane są w oparciu o parametry rozkładu zmiennej losowej. Otrzymane wyniki powinny zostać dodatkowo wsparte wyznaczeniem odpowiednich prawdopodobieństw. Dla poszczególnych czynności w projekcie wyznaczane są więc najbardziej prawdopodobne, najbardziej pesymistyczne oraz najbardziej optymistyczne czasy realizacji. Wyznaczenie wartości dokonywane jest przez osoby mające wiedzę oraz doświadczenie w zakresie warunków realizacyjnych odnośnie czynności projektowych. Jednak najczęściej technika PERT stosowana jest tam gdzie brak danych historycznych odnośnie harmonogramów realizacji czynności projektowych. To właśnie brak informacji z wcześniej zrealizowanych projektów powoduje trudności w szacowaniu czasów realizacji działań. Łatwiej przyjąć w takiej sytuacji określenie scenariuszy pesymistycznych, optymistycznych oraz prawdopodobnych, szczególnie przy projektach o wysokim stopniu niepewności [Pritchard2002].

W technice PERT na podstawie trzech wartości czasów wyznaczany jest czas oczekiwany dla każdej czynności wchodzącej w skład projektu. Formuła zwana średnią PERT, według której dokonywane są obliczenia, opiera się na statystycznym rozkładzie beta w którym występuje charakterystyczne odchylenie krzywej prawdopodobieństwa w prawo [Trocki2004].



Rys. 1.8 Rozkład szacowanego czasu trwania czynności w projekcie.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Duncan1996] [Korcowski2010]

W tej technice dokonujemy również wyznaczenia odchylenia standardowego będącego prezentacją rozrzutu zmiennej losowej od wartości oczekiwanej [Korcowski2010]. Wyznaczony parametr określa prawdopodobne odchylenie czasu wykonania czynności od wyznaczonego czasu oczekiwanego. Wykorzystanie techniki sieciowej PERT podobnie jak techniki CPM prowadzi do wskazania ścieżki krytycznej, z tym wyjątkiem, że PERT wykorzystuje czasy oczekiwane poszczególnych czynności.

Odbiega to od tradycyjnego modelu przyjętego w technice CPM gdzie ścieżka krytyczna wyznaczana była w oparciu o najbardziej prawdopodobne czasy trwania. Wyznaczona zgodnie z techniką PERT najbardziej czasochłonna ścieżka to zestaw tych czynności, których opóźnienie spowoduje opóźnienie całego projektu. Ścieżka krytyczna wskazuje więc te czynności, które wymagają szczególnej uwagi, jednak nie tylko one mogą generować ryzyko wpływające na realizację projektu. Mogą istnieć również inne przejścia ścieżek, których czasy realizacji są zbliżone, lub obarczone dużym odchyleniem standardowym i wtedy w trakcie prac projektowych ścieżka krytyczna może zmienić swój początkowy układ. Przy analizie PERT na podstawie czasów oczekiwanych wszystkich czynności mamy możliwość wyznaczenia czasu trwania projektu, a w dalszej kolejności prawdopodobieństwa, że badany projekt zakończy się w określonym terminie. Technika wspiera więc wyznaczenie ryzyka związanego z niedotrzymaniem czasu trwania projektu, a jeśli przedstawi się skutki opóźnień za pomocą wymiernych wartości, wtedy możliwe będzie określenie środków (dla konkretnych działań) zabezpieczających projekt przed opóźnieniami.

Wyniki PERT są bardziej pesymistyczne niż te liczone w tradycyjny sposób, ponieważ uwzględniono w nich scenariusz najlepszy i najgorszy. Wpływa to na dokładność techniki gdzie dla każdego działania ustalanych jest kilka wartości, co z kolei przyczynia się do zwiększenia czasu poświęconego na dokonanie szacunków. Można przyjąć, że PERT w szerszym zakresie obejmuje ryzyko wynikające z sieci działań projektowych niż tradycyjne metody sieciowe takie jak CPM. Jednak PERT skupia się głównie na jednym zagadnieniu, jakim jest czas trwania czynności nie wskazując typów ryzyka ich skali, czy też symptomów mogących informować o zagrożeniach dla projektu. Na wyjściu techniki otrzymujemy dane dotyczące harmonogramu oraz czasowej możliwości jego realizacji, co wpływa na ograniczenie ryzyka w zakresie przekroczenia budżetu oraz terminów realizacji projektu. Technika PERT zakłada, że przyjęty na początku układ czynności, ich wzajemne zależności są stałe, przez co mamy do czynienia z siecią, która nie pozwala na elastyczne zmiany w jej układzie w trakcie realizacji projektu.[Pritchard2002] [Trocki2004]. Przy dużych projektach układ zależności w sieci może

ulec dezaktualizacji, a technika PERT nie daje możliwości bieżącego reagowania i zmiany sekwencji działań. Koncentracja na ścieżce krytycznej również ogranicza możliwości pełnego spojrzenia na ryzyko projektu, ponieważ mogą wystąpić sytuacje, w których działania spoza ścieżki, przez swoje znaczne opóźnienia czasowe doprowadzą do niedotrzymania założonych na wstępie terminów zakończenia projektu.

Przykładem stochastycznej techniki sieciowej o charakterze wielowariantowego ustalenia zależności pomiędzy czynnościami w projekcie jest technika GERT (ang. *Graphical Evaluation and Review Technique*). GERT w sposób szczegółowy przedstawia procesy wraz z powtórzeniami, które są niezbędne do realizacji projektu. Występujące w technice GERT sprzężenia zwrotne (zwane również pętlami lub konturami) wskazują, że pewne działania oraz zdarzenia mogą być wykonane wielokrotnie. Dla tych działań podaje się tzw. licznik wskazujący ilość powtórzeń realizacji czynności. Dane wykorzystane w technice odnoszą się do wyznaczenia wszystkich etapów procesu wraz z towarzyszącymi im relacjami. Dodatkowo określa się punkty, w których proces może przybrać alternatywny kierunek realizacji. Zastosowanie GERT wspiera przeprowadzenie zmian w przydziale środków na dane czynności w zależności od sytuacji w projekcie. Możemy dzięki niej wybierać inne niż wcześniej założone drogi realizacji projektu, co jest szczególnie ważne przy występujących zakłóceniach. Zakłócenia w projekcie skutkują koniecznością wyboru alternatywnych czynności, które wpisane do projektu przed jego startem będą wpływać na efektywność jego realizacji. Zastosowanie techniki GERT można podzielić na kilka etapów:

- opis projektu przy wykorzystaniu sieci stochastycznej,
- przydział obciążeń dla poszczególnych łuków sieci ,
- przeprowadzenie odpowiedniej liczby etapów redukujących pierwotną sieć stochastyczną,
- wyznaczenie czasu oraz prawdopodobieństwa realizacji projektu dla przekształconej sieci zastępczej,
- dokonanie ostatecznej analizy oraz oceny otrzymanych wyników (zaakceptowanie wyników lub budowa nowej sieci uwzględniającej inny dobór parametrów ją opisujących).

Diagramy GERT opierają się na podziale procesów towarzyszących realizacji projektu na bardzo szczegółowe elementy składowe. Technika wymaga zastosowania specjalistycznego oprogramowania, często pisanego na zamówienie. Kolejnym kosztem jest zgromadzenie od-

powiedniej ilości danych źródłowych modelu, a także bieżąca aktualizacja danych niezbędnych do wyznaczania prawdopodobieństw (budowa odpowiednich systemów informacji). Zastosowanie techniki GERT wspiera przegląd zależności (w ramach procesów) pod kątem towarzyszącego im ryzyka. Proponowany układ analizowanych procesów może być poddawany modyfikacjom, dokonywana jest również jego optymalizacja. Wyznaczane prawdopodobieństwa są rzeczywistym odzwierciedleniem ryzyka związanego z danym procesem oraz jego powtórzeniami. Możemy więc klasyfikować rozwiązania pod względem prawdopodobieństw ich sukcesu.

Techniki sieciowe są przydatne w identyfikacji i analizie ryzyka jednak bazują głównie na analizie ścieżki krytycznej i czasie trwania projektu pomijając problem dostępności zasobów a także kosztów w projekcie [Korcowski2010]. Wiarygodność metod sieciowych jest zależna od poprawnego przedstawienia zidentyfikowanych działań, których ilość może dochodzić nawet do tysiąca. Nie można przyjąć, że metody sieciowe są narzędziem, które w sposób kompleksowy identyfikuje i analizuje ryzyko projektu, jednak ich połączenie z innymi narzędziami czy technikami wspomaga proces zarządzania ryzykiem projektu.

1.2.3 Metody czasowo – kosztowe

Przy realizacji niektórych projektów może zaistnieć konieczność skrócenia czasów ich trwania. W przypadku projektów, których realizacja ma na celu wytworzenie produktu o innowacyjnym charakterze, może dojść do sytuacji, w której szybsze jego dostarczenie na rynek jest konieczne ze względu na ryzyko wprowadzenia produktu o podobnej funkcjonalności przez konkurencję. Inną sytuacją jest prowadzenie kilku projektów jednocześnie w ramach tzw. programu, co może prowadzić do konieczności przesunięcia zasobów ludzkich do innych projektów. Istotną przyczyną, dla której czas realizacji projektu jest redukowany są koszty pośrednie wynikające z zarządzania projektem oraz wykorzystywaną w trakcie prac infrastrukturą.

Przyspieszenie prac może nastąpić po wcześniejszej analizie możliwości technicznych i technologicznych oraz przy zapewnieniu, że wzrost kosztów wynikających z redukcji czasu będzie minimalizowany. Istotne z punktu widzenia kosztów jest szukanie oszczędności czasu tam gdzie koszty realizacji działań są najniższe.

Metodą, która pozwala na wykonanie symulacji czasowo-kosztowej tak, aby uzyskać krótszy czas projektu przy zapewnieniu najmniejszego możliwego wzrostu kosztów jest metoda CPM-COST. Metoda ta opiera się na wyznaczeniu tzw. gradientu kosztu zadania projek-

towego będącego przyrostem kosztów wykonania zadania spowodowanego skróceniem czasu trwania tego zadania [Flasiński2006]. W formule, według której wyznaczany jest gradient kosztu uwzględniono normalny czas trwania czynności (odpowiadają mu najniższe koszty realizacji czynności) oraz graniczny czas czynności (możliwy przy uwzględnieniu uwarunkowań technicznych i technologicznych).

$$G = \frac{C_{gr} - C_n}{t_n - t_{gr}} \quad (1.2)$$

gdzie:

C_{gr} – koszt graniczny czynności,

C_n – koszt czynności dla normalnego czasu trwania,

t_n – czas normalny czynności, przy którym koszty jej wykonania C_n są najniższe

t_{gr} – graniczny czas czynności (najkrótszy możliwy przy uwzględnieniu uwarunkowań technicznych i technologicznych).

Liczony według powyższej formuły gradient określa przyrost kosztów wykonania czynności na skutek skrócenia czasu wykonania czynności o jednostkę.

Analiza czasowo – kosztowa w metodzie CPM-COST obejmuje wykonanie następujących kroków [Trocki2004][Flasiński2006]:

- zestawiamy czynności krytyczne w projekcie podając ich gradienty kosztów G ,
- dokonujemy eliminacji tych czynności, dla których nie istnieje średni gradient kosztów ($t_n = t_{gr}$),
- skracamy czasy trwania czynności krytycznych rozpoczynając proces od czynności, których gradient kosztów G jest najniższy,
- skracamy czynności o jak największy możliwy czas uwzględniając dwa typy ograniczeń: czas graniczny danej czynności oraz pojawienie się nowej ścieżki krytycznej. Pojawienie się nowej ścieżki krytycznej nastąpi, gdy zniknie zapas czasu w ciągu czynności niekrytycznych,
- dokonujemy skracania czasu o tą samą wielkość na dwóch lub więcej ścieżkach krytycznych,
- kończymy proces gdy wszystkie czynności leżące na którejkolwiek ścieżce krytycznej osiągną czasy graniczne, dalsze skracanie czasu realizacji projektu jest niemożliwe. Uzyskujemy w ten sposób najkrótszy czas realizacji przedsięwzięcia,

- koszty przyspieszenia realizacji projektu będą iloczynem gradientu kosztów G dla danej czynności i liczby jednostek czasu, o które dana czynność krytyczna została skrócona.

Metodę CPM-COST traktować można jako uzupełnienie klasycznej metody CPM. Wykorzystanie metody wymaga oceny parametrów poszczególnych czynności, konstrukcji sieci zależności technologicznych oraz wyznaczenia podstawowych charakterystyk dotyczących realizacji przyszłego projektu. Wszystkie te informacje mogą być podstawą do identyfikacji oraz pomiaru ryzyka w ramach przedsięwzięcia. Pamiętać jednak należy, że metoda CPM-COST opiera się na założeniu liniowej zależności pomiędzy kosztem przyspieszenia czynności, a czasem tego przyspieszenia, a to założenie nie zawsze jest prawdziwe.

Kolejną metodą kosztową jest metoda EMV (ang. *Expected Monetary Value*) zaliczana do technik analizy decyzji. EMV może być wykorzystywana przy zagadnieniach związanych z zarządzaniem budżetem oraz przy pomiarze ryzyka projektu.

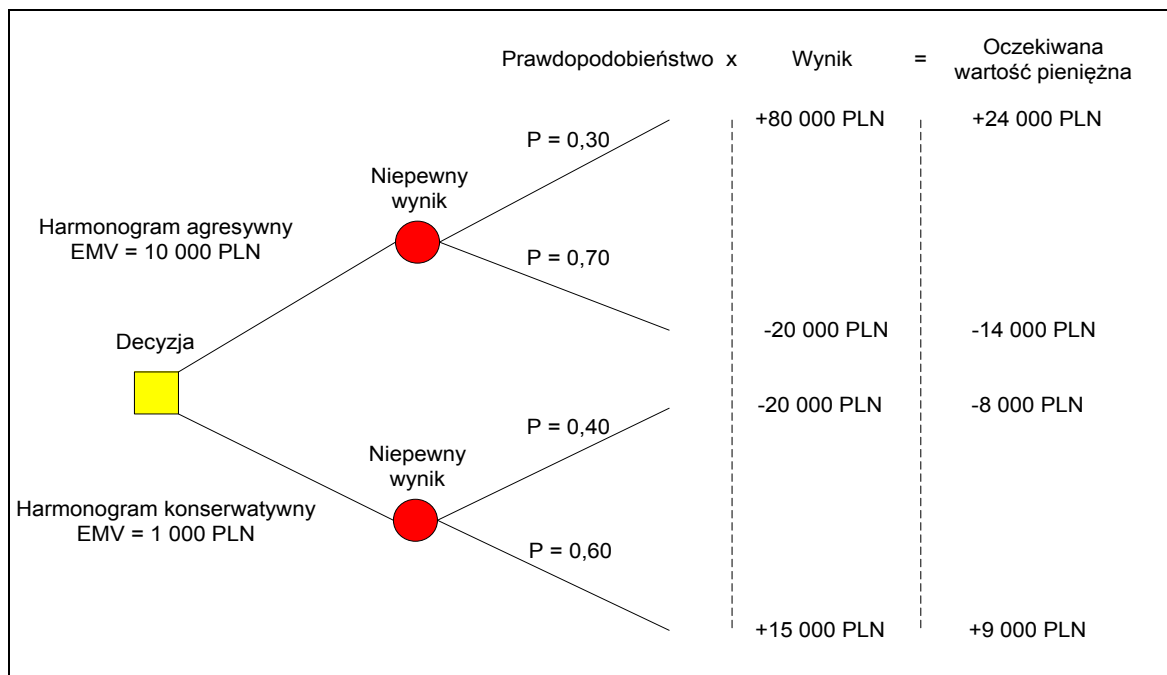
Teoria podejmowania decyzji zakłada, że sytuacje, z którymi mamy do czynienia mogą mieć dwojaki charakter:

- możemy rozważać grupę zdarzeń gdzie decyzje podejmowane będą w warunkach pewności (wtedy stan natury jest nam znany),
- możemy rozważać grupę zdarzeń, w ramach której decyzje będą podejmowane w warunkach niepewności.

Metoda EMV wykorzystywana jest tam gdzie możemy dokonać wysoce prawdopodobnych szacunków dotyczących stanu natury [Pritchard2002]. W teorii podejmowania decyzji operujemy terminem *wypłaty*, którą można zdefiniować jako korzyść uzyskaną, jeśli zaistnieje stan j w przypadku podjęcia decyzji i . Po stronie menedżera projektu występuje wybór decyzji d_i przy stanie natury j wtedy decydent otrzyma wypłatę o wartości w_{ij} .

W przypadku pewności, co do stanu natury podjęcie decyzji sprowadza się do wyboru tej wypłaty, która ma największą wartość. EMV możemy stosować w każdej fazie projektu, jednak zasadne jest jej wykorzystanie szczególnie na początku prac projektowych, kiedy to chcemy podjąć decyzję odnośnie różnych wariantów postępowania (przy jednoczesnym określeniu prawdopodobieństw metod działania). Dane wejściowe konieczne do wykonania obliczeń przy metodzie EMV dotyczą określenia: opcji decyzyjnych, stanów natury dotyczących danej opcji oraz prawdopodobieństwa, że dany stan natury rzeczywiście wystąpi. Podsumowując można stwierdzić, że formuła licząca EMV jest wyrażona iloczynem wypłaty oraz

prawdopodobieństwa wystąpienia wypłaty. Oczekiwaną wartość pieniężną można przedstawić w postaci tabeli lub drzewa decyzyjnego. Należy przy tym uwzględnić wszystkie możliwe scenariusze i dokonać analizy wszystkich możliwych wyników. Przy określaniu prawdopodobieństw dla odpowiednich opcji decyzyjnych (ryzyk) można posłużyć się wiedzą ekspercką. W metodzie istotna jest wiarygodność danych źródłowych, bo to na ich podstawie dokonywane są obliczenia będące podstawą dalszych decyzji.



Rys. 1.9 Przykładowe drzewo decyzyjne

Źródło: opracowanie własne.

Pięniężna wartość oczekiwana daje również możliwość wyrażenia ryzyka projektu w sposób ilościowy. Wiąże się to z policzeniem (oszacowaniem) kosztów oraz prawdopodobieństwa wystąpienia dla każdego ryzyka. Suma wartości dla wszystkich zidentyfikowanych ryzyk będzie wartością pieniężną ryzyka w projekcie. Dodatkowo jeżeli uzupełnić metodę EMV o ewentualne koszty generowane z tytułu reakcji na konkretne ryzyko to można znaleźć (stosując np. analizę Pareto dla ryzyka) efektywny kosztowo sposób zmniejszania zagrożeń [Prywata2010].

1.2.4 Zarządzanie ryzykiem w przypadku zwinnych metodyk wytwarzania oprogramowania

Wymienione wcześniej metodyki zarządzania projektem takie jak PMBoK oraz Prince2 zaliczamy do tzw. klasycznych metodyk. Często następuje ich połączenie (przy realizacji pro-

jektu informatycznego) z metodykami dedykowanymi wytwarzaniu oprogramowania. Do stosowanych klasycznych metodyk wytwarzania oprogramowania zaliczamy RUP (ang. *Rational Unified Process*), której podstawowym założeniem jest realizowanie projektu w cyklach zwanych iteracjami. W ramach danej iteracji może nastąpić realizacja podstawowych elementów kaskadowego przebiegu projektu od analizy przez projektowanie, implementację, testowanie po wdrożenie. Jednak intensywność poszczególnych obszarów zmienia się w kolejnych iteracjach. Założeniem metodyki jest stała ilość czasu przypadająca na iterację, po której ma zostać dostarczony konkretny artefakt. Artefaktem może być specyfikacja wymagań, czy też część systemu, nad którym prowadzone są prace. Wynik iteracji jest prezentowany i przekazywany odbiorcy, tak, aby na bieżąco miał wgląd w realizację postępu projektu. RUP zakłada, że ryzyko projektu przez iteracyjne podejście jest stale identyfikowane i monitorowane. Przyjmuje się, że iteracyjność przy wytwarzaniu oprogramowania jest kluczem do minimalizowania ryzyka. Iteracyjność zapobiega sytuacjom, w których projekt nie spełni zakładanej wizji, a w konsekwencji zamawiający otrzyma nie to, co zostało uzgodnione. W metodyce nie wskazano formalnych podstaw do realizacji procesu zarządzania ryzykiem projektu, które prezentowałyby jak należy ryzyko identyfikować czy oceniać.

Kolejna grupa metodyk, które w ostatnim czasie są wykorzystywane przy projektach informatycznych to metodyki tzw. zwinne (ang. *Agile*). Metodyki zwinne podobnie jak RUP odznaczają się iteracyjnym charakterem wytwarzania oprogramowania. Ponadto zwracają uwagę na konieczność samoorganizowania się wielofunkcyjnych zespołów projektowych oraz zmniejszenie ilości tworzonej dokumentacji projektowej. Zmiana wymagań w trakcie prac projektowych jest traktowana liberalnie, jednak ewentualne zmiany nie powinny wpływać na jakość projektu. Do przykładowych metodyk zwinnych zaliczamy: Scrum, eXtreme Programming, Agile Unified Process oraz inne. Podobnie jak w RUP metodyki zwinne nie zawierają wytycznych dedykowanych procesowi zarządzania ryzykiem, wskazują jednak te elementy realizacji metodyki, które mają ryzyko projektu ograniczać. Jednym z filarów metodyki Scrum jest tzw. Inspekcja rozumiana jako częste przeglądy artefaktów oraz postępów realizacji celu po to, aby wykrywać niepożądane odstępstwa [Schwaber2005]. Korekta ewentualnych odstępstw musi być przeprowadzana jak najszybciej, aby ograniczać kolejne zakłócenia. W Scrumie Inspekcja posługuje się czterema zdarzeniami, są to: Planowanie Sprintu, Codzienny Scrum, Przegląd Sprintu oraz Retrospektywa Sprintu.

Dla Scruma Sprint jest ograniczeniem czasowym, w ramach którego ma zostać wytworzona gotowa do użycia funkcjonalność. Realizacja Sprintu jest ograniczona do miesiąca, w

praktyce stosuje się również okresy krótsze tj. dwutygodniowe. Ważne, aby raz przyjęta czasowa rozpiętość sprintu była przestrzegana w trakcie realizacji całego projektu. Przekraczanie miesięcznych Sprintów jest sprzeczne z założeniem o ograniczaniu ryzyka projektu. Zgodnie z metodyką, jeśli ukończenie zadań sprintu jest zbyt odległe wtedy definicja zakresu może ulec zmianie, a wraz z nią może wzrosnąć ryzyko projektu. Twórcy metodyki uważają, że to właśnie realizacja zadań projektowych w podziale na Sprints ogranicza ryzyko projektu do kosztu pojedynczego miesiąca [Schwaber2005] nie wskazują jednak dodatkowych narzędzi identyfikacji czy oceny ryzyka projektu informatycznego.

1.3 Przesłanki do opracowania metody wartościowej oceny ryzyka projektów informatycznych

Przedstawiona systematyzacja w zakresie wykorzystywanych do oceny ryzyka metod zwraca uwagę na silną zależność od arbitralnej wiedzy osób zaangażowanych w proces oceny (wiedza ekspercka, doświadczenie wykonawców). Wynik oceny jest odzwierciedleniem indywidualnego spojrzenia na dane zagrożenie. Metodyki zarządzania projektami informatycznymi kwantyfikują ryzyko wykorzystując jedynie wartości prawdopodobieństwa oraz wpływu zagrożeń na cele projektu. Inne z rodziny tzw. zwinnych metodyk zarządzania projektem informatycznym nie zawierają procesu zarządzania ryzykiem, a co za tym idzie nie precyzują, w jaki sposób ryzyko miałyby być oceniane. Najczęściej prezentacja zagrożeń projektu jest przedstawiana w postaci macierzy prawdopodobieństwa oraz skutków, co może być wykorzystane do sklasyfikowania ryzyka w ujęciu jakościowym. Taka prezentacja może dawać podstawę do określenia wagi (dotkliwości) ryzyka umożliwiając ich klasyfikację i jednocześnie ustalenie priorytetu dla procesu zarządzania ryzykami. Nie daje jednak informacji w wymiarze wartościowym, co do wpływu poszczególnych ryzyk na cele projektu w tym na koszty projektowe.

Metody oceny ryzyka projektu takie jak drzewa decyzyjne czy metoda wartości oczekiwanej dają wprawdzie pewne przybliżenie wartości ryzyka w wymiarze kosztowym, jednak często wykorzystują do estymacji ryzyka jedynie wartości pochodzące z ocenianego projektu. Stąd można stwierdzić, że analiza statystyczna danych historycznych mogłaby znacząco wpłynąć na jakość estymacji ryzyka w wymiarze finansowym, dając miarę zrozumiałą dla wszystkich zainteresowanych realizacją projektu.

Brak jednej spójnej metody służącej wartościowej ocenie zagrożenia dla całego projektu jest podstawową przesłanką do opracowania tego rodzaju rozwiązania. Istotne jest znalezienie

odpowiedzi jak dużo w wymiarze kosztowym możemy stracić na realizacji danego projektu w dowolnej jego fazie. Oczywiście jest potrzeba posiadania takiej wiedzy jeszcze na etapie planowania. Tutaj dysponujemy już strukturą zadaniową projektu, która może stanowić punkt wyjścia do szacowania przyszłej straty. Na podstawie struktury zadaniowej projektu oraz danych historycznych pochodzących ze zrealizowanych już projektów informatycznych możliwa jest wartościowa ocena ryzyka projektu.

Dla kierownictwa organizacji metoda do oceny wartościowej ryzyka projektu może stanowić podstawę dla realizacji procesu zarządzania ryzykiem. W oparciu o wartość prognozowanej straty oraz zysku wypracowanego w ramach realizacji projektu można podjąć decyzję o realizacji działań projektowych ich kontynuacji lub o odstąpieniu od projektu. Strategia dotycząca postępowania w ramach ujawnionego ryzyka w wymiarze wartościowym, powinna być ustalana wewnątrz organizacji realizującej projekt. Metoda wartościowej oceny ryzyka może być szczególnie przydatna w spełnianiu roli Kierownika Projektu, jako osoby odpowiedzialnej za ocenę i ciągłą kontrolę poziomu ryzyka projektu.

Informacja dotycząca potencjalnej straty w wymiarze wartościowym może stanowić podstawę do szacowania budżetu ryzyka dla następnego etapu projektu informatycznego. Budżet ryzyka nie powinien być jednak traktowany, jako dodatkowe pieniądze w dyspozycji Kierownika Projektu, jego wykorzystanie powinno być uzależnione od przyjętej strategii zarządzania ryzykiem w projekcie określającej mechanizm dostępu do tego budżetu.

2. Wartość narażona na ryzyko (VaR)

Dla zarządzania i pomiaru ryzyka w instytucjach finansowych ogromne znaczenie ma rok 1973, kiedy przedstawiony został model Blacka-Scholesa dotyczący wyceny opcji finansowych. Kolejnym ważnym krokiem stała się koncepcja wyceny opcji dla zmiennej dyskretnej opublikowana w roku 1979 w postaci modelu Coxa-Rossa-Rubinsteina [Pera2008].

W latach 70 i 80 – tych instytucje finansowe i ubezpieczeniowe prowadziły prace nad metodą wewnętrznego pomiaru ryzyka w aspekcie działalności całej instytucji. Stosowane rozwiązania wspierały zarządzanie ryzykiem, ale brakowało spójnej metodologii, która umożliwiłaby kompleksowy pomiar ryzyka w odniesieniu do całego przedsiębiorstwa. Tu właśnie swoje początki ma koncepcja zaproponowana przez JPMorgan (jedno z największych przedsiębiorstw finansowych świata, lidera w zakresie bankowości inwestycyjnej), który opublikował metodologię zarządzania ryzykiem RiskMetrics.

W metodologii wykorzystane zostały: analiza portfolio, prognozowanie odchyłeń standardowych oraz korelacja pomiędzy stopami zwrotu z różnych instrumentów finansowych. Agregatem dla wyznaczonych wartości był miernik VaR (wartość narażona na ryzyko, wartość ryzykowana, ang. *Value at Risk*), który przedstawia maksymalną stratę, jaką z pewnym prawdopodobieństwem można odnotować w kolejnym dniu operacyjnym.

Korzystanie z tej koncepcji pomiaru ryzyka okazało się być złożone, wymagało przeprowadzenia wielu pomiarów, zebrania i przygotowania zestawu danych, przyjęcia określonych założeń statystycznych, czy wreszcie opracowania systemów, które wspomagałyby estymację. Rozwój oprogramowania informatycznego w dziedzinie pomiaru ryzyka znacznie wspomógł możliwości korzystania z metodologii zaproponowanej przez JP Morgan. W roku 1994 za pośrednictwem Internetu została przekazana do ogólnego stosowania uproszczona wersja metodyki RiskMetrics, która stanowiła wzorzec dla przygotowania własnych systemów pomiaru ryzyka w różnych organizacjach [Morgan1996].

Od tego momentu VaR stała się jedną z popularnych metod pomiaru ryzyka rynkowego. Jej udział rozszerzył się również do szacowania innych rodzajów ryzyk. VaR znalazło też zastosowanie w pomiarze ryzyka kredytowego, ryzyka płynności oraz ryzyka operacyjnego. Wartość ryzykowana stała się podstawą do analizy ryzyka przedsiębiorstwa, jest wykorzystywana w miarach zagrożenia takich jak [Kuziak2003]: **EaR** (ang. *Earnings at Risk*), **EPSaR** (ang. *Earnings Per Share at Risk*), **CFaR** (ang. *Cash Flow at Risk*), **CCFaR** (ang. *Credit Cash Flow at Risk*) oraz **LaR** (ang. *Liquidity at Risk*).

Główną przesłanką przemawiającą za stosowaniem wartości ryzykowanej jest jej uniwersalność. Można stosować VaR do wszystkich produktów będących przedmiotem obrotu. Można wykorzystać oszacowania wynikające z wartości ryzykowanej do porównywania ryzyka występującego w różnych obszarach działalności. W związku z tym, że otrzymane wartości mogą być liczone dla dowolnych produktów, możliwe jest szacowanie ryzyka dla różnych operacji handlowych. VaR prezentowany jest za pomocą jednej liczby będącej odzwierciedleniem potencjalnej straty (w ramach pojedynczego produktu lub obszaru działalności).

2.1 Metodologia Value at Risk

Sposób pomiaru ryzyka wykorzystujący podejście Value at Risk został rozwinięty głównie ze względu na wewnętrzne potrzeby informacyjne przedsiębiorstwa [Karmańska2008]. VaR jest powszechnie raportowaną miarą ryzyka, która uznawana jest obecnie za najbardziej znany miernik, którego zastosowanie wynika z wielu międzynarodowych norm i przepisów.

Metodologia Value at Risk [Bałamut2002] została wprowadzona do standardów międzynarodowych w zakresie nadzoru bankowego. W roku 1993 na mocy Dyrektywy UE przyjęto stosowanie VaR dla oceny ryzyka pozycji walutowych. Natomiast w roku 1996 Bazylejski Komitet Nadzoru Bankowego w poprawce do przyjętych standardów kapitałowych ze względu na ponoszone ryzyka, pozwolił na stosowanie modeli wewnętrznych do oceny ryzyka rynkowego, czyli właśnie metodologii VaR. Przyjęto w poprawce, że warunkiem stosowania metodologii dla pomiaru ekspozycji na ryzyko jest spełnienie wymagań dotyczących między innymi odpowiednich standardów jakościowych, specyfikacji czynników ryzyka, odpowiednich parametrów statystycznych. Zwrócono uwagę na konieczność posiadania przez instytucję odrębnej komórki kontrolującej ryzyko. Wymagane jest prowadzenie tzw. *back-testingu* polegającego na weryfikacji *ex-post* modelu, czy wreszcie angażowanie najwyższego szczebla kierownictwa w proces monitorowania ryzyka, integrację modelu z procesem zarządzania ryzykiem oraz stworzenie odpowiedniego systemu dokumentacji i regularnego audytu w zakresie wykorzystywanego rozwiązania.

Przytoczone wydarzenia wskazują, że metodologia VaR jest akceptowana oraz ze względu na ujednoczone procedury powszechnie wykorzystywana. Value at Risk w świecie finansów uważana jest za miarę służącą do wyrażenia maksymalnej potencjalnej zmiany wartości portfela. Zmiana ta określana jest w aspekcie potencjalnej straty. Według P. Besta wartość narażona na ryzyko jest to miara statystyczna, która szacuje maksymalną stratę, jaka może wystąpić przy założonym poziomie ufności.

Pełną definicję wartości ryzykowanej można podać za A.Langner, VaR to „maksymalna oczekiwana wartość straty, która może wystąpić w normalnych warunkach rynkowych, w określonym czasie i z określonym prawdopodobieństwem”.

Przyjęcie powyższej definicji pozwala stwierdzić, że VaR prezentuje pomiar straty (limit straty), która jest wynikiem urzeczywistnienia się ryzyka rynkowego. Taka wiedza jest potrzebna przy określaniu kapitału zapasowego (rezerwowego) dla danej instytucji. Kapitał ten powinien być odłożony po to, aby zabezpieczyć poniesione straty, które nastąpią, jako wynik realizacji ryzyka. Wartość wyliczona dzięki metodologii VaR powinna wystarczyć na zabezpieczenie się przed zaistniałym ryzykiem.

Okresy, dla których wyliczana jest wartość ryzykowana są zależne od preferencji danej instytucji. Część firm preferuje wyznaczenie potencjalnej straty na najbliższy dzień, inne natomiast wyznaczają VaR dla dłuższych przedziałów czasowych. Wartość ryzykowana jest limitem straty w zadanym przedziale czasowym (najczęściej jest to 1 dzień), który to limit może zostać przekroczony zgodnie z przyjętym poziomem ufności (p). W pracy banków rekomenduje się codzienną kalkulację VaR z poziomem ufności 0,99. Dodatkowo obserwacje powinny być prowadzone, co najmniej 1 rok oraz uaktualniane nie rzadziej, niż co 3 miesiące. W praktyce przyjmuje się różne poziomy ufności w granicach od 0,90 do 0,99, dla przykładu Citibank sugeruje poziom 94,5%, Bank of America – 95%, zaś Chemical & Chase – 97,5%.

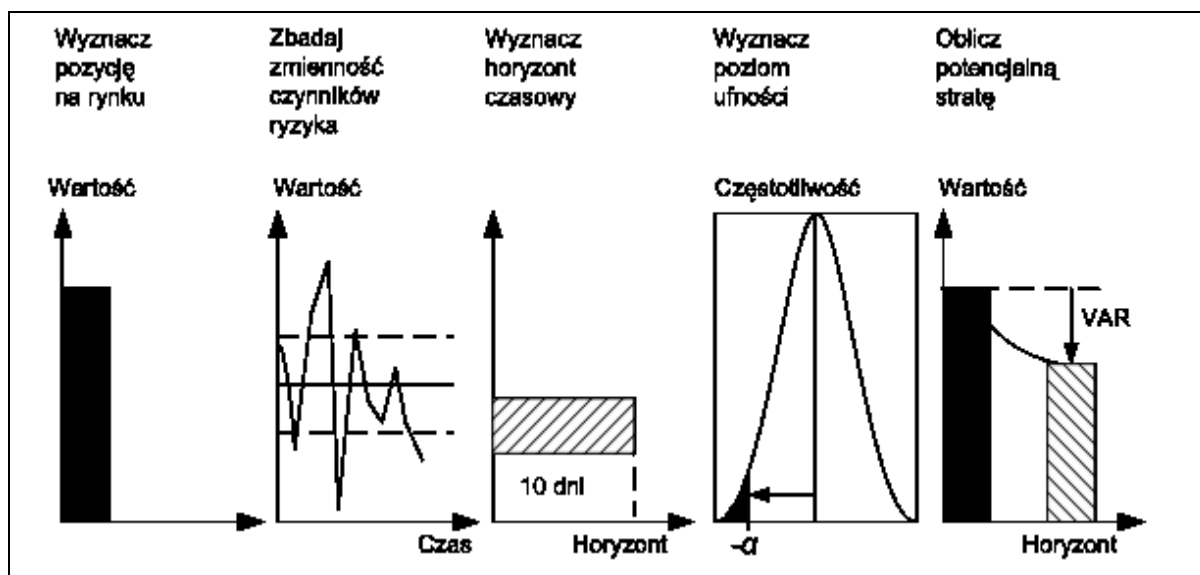
Podsumowując, przy definiowaniu wartości narażonej na ryzyko, istotne jest określenie parametrów:

- Poziomu tolerancji (nazywanego również poziomem ufności, istotności),
- Horyzontu czasu (okres przetrzymania).

Poziom tolerancji przedstawia zakładane prawdopodobieństwo wystąpienia straty. Jeżeli przyjmiemy 0,99 poziom ufności to będzie to oznaczać, że instytucja np. bank może oczekiwać starty na portfelu produktów większej niż wyznaczona z VaR przez około 1% czasu. Horyzont czasu prezentuje, w jakim przedziale dana strata może nastąpić. Jeżeli przyjmiemy poziom ufności na poziomie 0,99 oraz horyzont czasu na poziomie 1 dnia, natomiast wyliczony VaR przyjmie wartość 1mln zł wtedy ryzyko utraty w ciągu jednego dnia kwoty większej lub równej 1mln zł jest równe 0,01. Prezentowany przykład można odnieść do portfela produktów będących w dyspozycji banku. VaR możemy liczyć dla całego portfela, ale również dla poszczególnych jego składowych. Jak wynika z praktyki, VaR liczony dla portfela wykazuje wartość mniejszą niż ta liczona jako suma VaR dla pojedynczych pozycji. Biorąc pod uwagę główne elementy składowe wartości ryzykowanej można przyjąć [Pera2008], że VaR jest

funkcją czasu oraz poziomu prawdopodobieństwa. Istnieje zależność pomiędzy poziomem tolerancji oraz wartością VaR. Im niższy poziom ufności tym większej wartości ryzykowanej możemy się spodziewać. Ta ujemna zależność nie potwierdza się przy horyzoncie czasowym, tutaj im dłuższy okres przetrzymania tym większa wartość VaR.

Kalkulację VaR można przedstawić za pomocą następującego schematu:



Rys. 2.1 Schemat szacowania wartości ryzykowanej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Jorion2007]

Konstrukcja wartości narażonej na ryzyko może zostać wyrażona za pomocą następujących równań [Kuziak2003][Bałamut2002][Langner2007]:

$$P(W \leq W_0 - \text{VaR}) = \alpha \quad (2.1)$$

gdzie:

W_0 – obecna wartość portfela (instrumentu finansowego, projektu, produktu),

W – wartość portfela (instrumentu, projektu, produktu) na końcu okresu (zmienna losowa),

α - poziom tolerancji (poziom istotności)

Należy zauważyć, że VaR jest to funkcja odpowiedniego kwantyla rozkładu wartości. Przyjmijmy W_α , jako kwantyl rozkładu wartości odpowiadający zadanemu prawdopodobieństwu. Otrzymamy wtedy:

$$P(W \leq W_\alpha) = \alpha \quad (2.2)$$

w konsekwencji wyznaczamy:

$$W_\alpha = W_0 - \text{VaR} \quad (2.3)$$

Przyjmując, że R_α to kwantyl rozkładu stóp zwrotu odpowiadający zadanemu prawdopodobieństwu otrzymujemy:

$$P(R \leq R_\alpha) = \alpha \quad (2.4)$$

Stosując formułę dotyczącą stopy zwrotu przy kapitalizacji okresowej:

$$R_\alpha = \frac{W_\alpha - W_0}{W_0} \quad (2.5)$$

w wyniku przekształceń otrzymujemy:

$$\text{VaR} = -R_\alpha W_0 \quad (2.6)$$

VaR można również wyznaczyć na podstawie funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa przyszłych wartości portfela $f(w)$ [Langner2007]. Wówczas, przyjmując zadany przedział tolerancji (ufności), poszukujemy najgorszej realizacji wartości portfela W_α , takiej przy której:

a) prawdopodobieństwo osiągnięcia wartości większej jest równe $1-\alpha$ [Langner2007]:

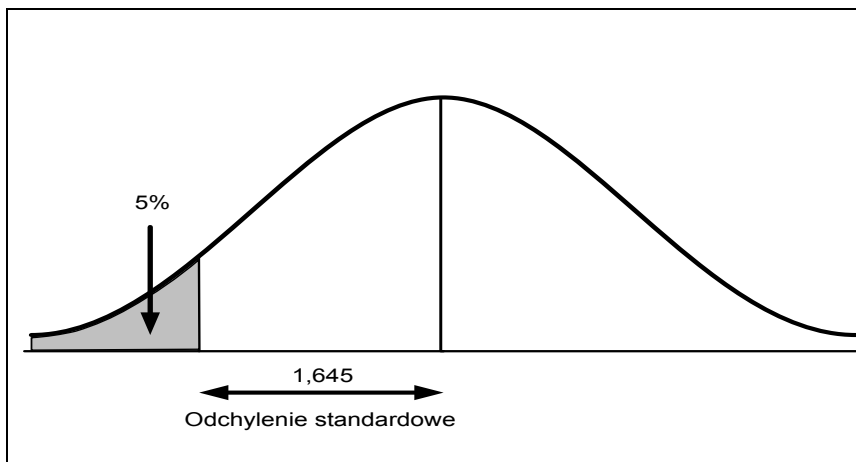
$$1 - \alpha = \int_{W^\alpha}^{\infty} f(w)dw \quad (2.7)$$

b) albo też prawdopodobieństwo osiągnięcia wartości mniejszej niż W_α jest równe α :

$$p = P(w \leq W^\alpha) = \alpha \quad (2.8)$$

$$\alpha = \int_{-\infty}^{W^\alpha} f(w)dw \quad (2.9)$$

Obszar pod wykresem funkcji gęstości nad przedziałem $(-\infty, W_\alpha)$ wynosi α . Natomiast W_α jest wartością, dla której przekroczenie wystąpi z określonym - zadany prawdopodobieństwem.



Rys. 2.2 Graficzna prezentacja VaR

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Butler2001]

Wyznaczanie wartości narażonej na ryzyko jest prostsze przy założeniu, że rozkład funkcji gęstości jest normalny. Do obliczenia VaR potrzebujemy wówczas wartości parametrów zwrotu i zmienności badanego portfela, a także wielkości α zależnej od przyjętego poziomu ufności.

Przyjęcie przedziału ufności na poziomie 95% oznacza, że chcemy osiągnąć wartość 5% z lewej strony wykresu (patrz rysunek 2.2). Przy wyliczaniu wartości ryzykowanej interesuje nas potencjalna strata, a nie ewentualny zysk, stąd rozważamy tylko te procentowe zmiany (np. spadek cen akcji), które nie mieszczą się w obszarze określonym przez wielokrotność przyjętego odchylenia standardowego. Tak rozpatrywany przedział ufności określany jest jednostronnym. Zgodnie z danymi umieszczonymi w tablicach statystycznych rozkładu normalnego zmienna, która ma osiągnąć dolny poziom przedziału ufności 5% jest przynajmniej 1,645 odchylenia standardowego poniżej średniej.

2.2 Kryterium doboru parametrów wartości ryzykowanej

Definicja Value at Risk wskazuje na dwa wspomniane wcześniej parametry, tj. horyzont projektu (w oryginale inwestycji) oraz poziom tolerancji. Wybór tychże parametrów ma arbitralny charakter, jednak bardzo istotny z punktu widzenia wyników otrzymywanych przy kalkulacji VaR.

Wybór okresu, dla którego wyliczana jest wartość ryzykowana powinien być zależny od płynności rynku, na którym notowane są składowe portfela. Jest istotne, aby w wyznaczonym horyzoncie czasu (przy normalnych warunkach rynkowych) możliwe było zamknięcie wszystkich pozycji otwartych. Krótki okres czasu, jedno- lub dwu-dniowy jest możliwy do przyjęcia, jeśli nie wpłynie to na wartość instrumentu, w przeciwnym razie należy rozważyć dłuższy horyzont czasu (dla rynków mało płynnych lub poza obrotem publicznym).

Krótki okres czasu bywa uzasadniony również ze względu na aktualność danych wykorzystywanych do kalkulacji VaR, odległe czasowo informacje mogą w znaczny sposób zniekształcać wartość ryzykowną. Za stosowaniem horyzontów krótszych przemawiać może również założenie o tym, że rozkłady stóp zwrotu mają rozkład normalny. Założenie to nie zawsze odzwierciedla rzeczywistość, szczególnie, gdy składowymi portfela są instrumenty typu opcyjnego. W tej sytuacji przyjęcie krótkiego okresu czasu dla obliczeń VaR będzie dokładniejsze przy zastosowaniu przybliżenia rozkładem normalnym.

Kolejnym ważnym elementem rozważań nad długością okresu stosowaną przy wartości ryzykowanej jest specyfika instrumentów wchodzących w skład portfela, które podlegają

zmianie. W długim okresie można założyć ich większą zmienność skutkującą tym, że wyliczony VaR będzie opisem ryzyka dla zupełnie innej sytuacji rynkowej.

Biorąc pod uwagę wymienione wyżej kryteria preferowane jest wyznaczanie, co najwyżej kilkudniowego okresu dla kalkulacji VaR dla rynków finansowych. Zalecenia dla banków komercyjnych, to wyznaczać wartość ryzykowaną dla jednego dnia, Komitet Bazylejski sugeruje 10 dni natomiast w kalkulacjach dla funduszy inwestycyjnych stosowany jest okres jednego miesiąca [Jorion1997].

Kolejny istotny parametr wykorzystywany przy wyznaczaniu ryzyka metodą Value at Risk to poziom tolerancji. Jego wartość zależna jest od przeznaczenia otrzymanej wartości ryzykowanej. Istnieją przynajmniej trzy sytuacje wskazujące na przeznaczenie VaR, może on służyć raportowaniu zarządowi o narażeniu na ryzyko, wyznaczaniu adekwatności kapitałowej lub też mieć zastosowanie przy tzw. *back testingu* - sprawdzeniu poprawności stosowanego modelu VaR. Jak wspomniano już wcześniej im niższa wartość poziomu tolerancji tym większa wartość ryzyka, jednak należy zauważyć, że do kalkulacji VaR stosowany jest również poziom ufności odzwierciedlający prawdopodobieństwo przeciwne do poziomu tolerancji ($1-\alpha$). Wówczas interpretacja jest inna, im wyższy poziom ufności, tym większej wartości ryzykowanej możemy się spodziewać.

Zainteresowanie po stronie wyznaczania VaR odnosi się również do określenia, jaka część kapitału powinna stanowić rezerwę zabezpieczającą przed ewentualnym ryzykiem rynkowym. W tym przypadku stosowana powinna być niska wartość poziomu tolerancji, chociaż oczywistym jest również tzw. apetyt na ryzyko występujący po stronie decydentów. Jeżeli jego poziom jest stosunkowo niski wtedy wartość poziomu tolerancji również będzie niska [Dowd1998]. W przypadku instytucji bankowych wybór jest jednak ograniczony i zależny od instytucji nadzorczych. Komitet Bazylejski określa z góry poziom ufności - 0,99 przy wyznaczaniu Value at Risk i ta wartość musi być przestrzegana.

2.3 Inne miary wywodzące się z koncepcji Value at Risk

VaR jest wielkością starty odwołującą się w sposób bezpośredni do wartości rynkowej. To podejście jest zasadne w odniesieniu do przedsiębiorstwa, a dodatkowo wiąże zarządzanie ryzykiem z zarządzaniem wartością. Tam gdzie pomiar wartości przedsiębiorstwa jest ograniczony można przyjąć do kalkulacji ryzyka dane wynikające ze sprawozdań finansowych.

W ten sposób modyfikowana wartość ryzykowana VaR przyjmuje jedną z dwóch form [Kuziak2003][Jajuga2004]:

1. zysku zagrożonego EaR (ang. Earnings at Risk),
2. przepływu pieniężnego zagrożonego CFaR (ang. Cash Flow at Risk).

EaR wyraża górną wielkość, o którą może zostać zmniejszony zysk netto przedsiębiorstwa w stosunku do planowanej wartości (przy uwzględnieniu zadanego poziomu tolerancji). Formalny zapis zysku zagrożonego można wyrazić wzorem [Jajuga2004]:

$$P(E \leq E_0 - EaR) = \alpha \quad (2.10)$$

gdzie:

E – zysk netto w rozpatrywanym okresie (wyrażony w postaci zmiennej losowej),

E_0 – zaplanowany zysk netto przedsiębiorstwa,

α – poziom tolerancji.

CFaR wyraża górną wielkość, o którą może zostać zmniejszony przepływ pieniężny w stosunku do planowanej wartości, dla rozpatrywanego okresu. Zapis formalny dla CFaR przyjmuje postać:

$$P(CF \leq CF_0 - CfaR) = \alpha \quad (2.11)$$

gdzie:

CF – przepływ pieniężny w danym okresie czasu (wyrażony w postaci zmiennej losowej),

CF_0 – planowany przepływ pieniężny w danym okresie czasu,

α – poziom tolerancji.

Przyjmuje się, że większą wiarygodnością może cieszyć się wyliczenie ryzyka w oparciu o CFaR. Podyktowane jest to krytyką zysku netto, jako wartości nieprzydatnej, podlegającej częstym manipulacjom - wygładzaniu zysku netto (ang. *earnings smoothing*).

W odniesieniu do prezentowanej wartości ryzykowanej VaR wskazać można kilka różnic względem CFaR i EaR. Podstawowym wyróżnikiem jest tutaj okres - horyzont czasowy, w przypadku VaR wynoszący nawet 1 dzień, natomiast EaR i CFaR dotyczą okresów dłuższych, zgodnych z przedstawianiem sprawozdania finansowego (w praktyce – 1 miesiąc, 1 rok). Dodatkowym elementem różnicującym jest tzw. punkt odniesienia, w przypadku VaR wyliczona zostaje wartość w oparciu o dane obecne (np. obecna wartość aktywów), natomiast przy CFaR i EaR mamy do czynienia z planowanym zyskiem netto oraz przepływem pieniężnym.

2.4 Metody estymacji wartości zagrożonej

Wybór modelu szacowania wartości narażonej na ryzyko jest istotnym problemem praktycznym. Bazylejski Komitet Nadzoru Bankowego nie narzuca bankom modelu, który ma być stosowany przy kalkulacji VaR. Dostępne wyniki badań wskazują, że trudno wyróżnić jedną, najlepszą w każdej sytuacji metodę. Zdarza się, że wartości VaR wyliczone różnymi metodami przedstawią różne wyniki. Każda z metod obliczeń ma swoją własną charakterystykę pozwalającą na jej stosowanie w określonych warunkach rynkowych. Często wyborem najbardziej korzystnym będzie zastosowanie kilku metod obliczeń po to, aby decyzje podjęte na podstawie wartości ryzykowanej były możliwie najbardziej trafne.

Przy wyznaczaniu VaR mamy do czynienia z prognozą (prognozujemy wartość kwantyla dystrybuanty strat), co wiąże się z koniecznością budowy modelu matematycznego. Zastosowanie ma tutaj kilka metod należących do następujących klas [Bałamut2002]:

- metody parametryczne,
- metody nieparametryczne,
- metody symulacyjne,
- metody analityczne.

W modelach zaliczanych do parametrycznych dokonujemy założeń odnośnie klasy rozkładów, do których należą zwroty z czynników ryzyka i na tej podstawie estymujemy nieznanne parametry rozkładów. Stanowi to różnicę w stosunku do modeli nieparametrycznych gdzie nie dokonujemy założeń odnośnie klasy rozkładu.

Modele symulacyjne wymagają przygotowania pewnego zestawu zmian czynników ryzyka, czyli przedstawienia różnych scenariuszy, dla których później wyliczana jest wartość ryzykowana. Scenariusze użyte do symulacji mogą być generowane losowo (metoda Monte Carlo) lub też przy wykorzystaniu (o ile są dostępne) danych historycznych (metoda symulacji historycznej).

Metoda symulacji historycznej. Wyznaczenie VaR w metodzie symulacji historycznej opiera się na obserwacji danych z przeszłości np. za okres 200 lub 250 dni [Kuziak2003]. Analizie są poddawane wartości wybranych zmiennych np. stopy zwrotu, ceny akcji. Ilość obserwacji jest równa ilości danych, które zostały przeanalizowane. Na tej podstawie wygenerowany zostaje historyczny rozkład np. stóp zwrotu. Kwantyl takiego rozkładu jest podstawą do wyliczenia VaR bezpośrednio ze wzorów (2.2) oraz (2.3). Metoda symulacji historycznej jest często uznawana za korzystniejszą niż inne metody głównie dlatego, że odzwierciedla rzeczywiste

zachowanie rynku. Symulacja historyczna dla portfela aktywów może zostać przeprowadzona na dwa sposoby. Jeden z nich polega na rewaluacji portfela z wykorzystaniem określonych cen z przeszłości [Best2000]. Kolejnym krokiem jest wyliczenie wartości portfela dla każdego dnia i na tej podstawie wygenerowany zostaje rozkład empiryczny. Na koniec odczytujemy z tablic statystycznych VaR, jako percentyl odpowiadający zadanemu poziomowi ufności. Drugim podejściem jest zastosowanie historii procentowych zmian cen do wartości i składu dzisiejszego portfela. Przy zastosowaniu tej metody należy [Best2000]:

- Stworzyć procentowy szereg zmian cen dla walorów,
- Zastosować zmiany cen do portfela po to, aby wyznaczyć historyczny szereg zmian wartości portfela,
- Następnie uporządkować rosnąco wartości portfela,
- Wyznaczyć VaR portfela jako percentyl dla przyjętego poziomu tolerancji.

Przy zastosowaniu symulacji historycznej ważne jest przyjęcie odpowiedniej długości szeregow czasowych oraz upewnienie się, że prowadzona metoda będzie możliwa do realizacji tzn., że istnieją dane historyczne, na podstawie których dokonywać będziemy szacowania VaR.

Metoda wariancji-kowariancji.

Ze względu na prosty sposób obliczeń najczęściej stosowaną jest metoda wariancji-kowariancji. Wykorzystujemy tutaj współczynnik zmienności w postaci odchylenia standardowego. Jest to możliwe dzięki przyjętemu założeniu, że procentowe zmiany np. cen na rynkach finansowych mają rozkład normalny. Odchylenie standardowe liczymy według wzoru:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^T (x_i - \bar{x})^2}{T-1}} \quad (2.12)$$

gdzie:

x_i – stopa zwrotu i-tego aktywów,

\bar{x} – przeciętna stopa zwrotu,

T – liczba okresów uwzględnianych przy wyznaczeniu VaR.

Chcąc wyliczyć potencjalną stratę dla pojedynczego aktywum można posłużyć się wzorem [Best2000]:

$$\text{VaR}(i) = V(i) \cdot P(i) \quad (2.13)$$

gdzie:

$V(i)$ – zmienność (w naszym przypadku wartość odchylenia standardowego dla pojedynczego aktywum),

$P(i)$ – wartość pojedynczego aktywum.

Wyznaczając VaR za pomocą wzoru (2.13) należy przyjąć założenie, co do rozkładu prawdopodobieństwa naszych obserwacji. Zakładając, że jest to rozkład normalny wzór (2.13) uzupełnimy o wartość dystrybuanty odczytanej z tablic rozkładu normalnego standaryzowanego i w wyniku tego otrzymujemy [Majerowska2005]:

$$\text{VaR}(i) = c \cdot \sigma(i) \cdot P(i) \quad (2.14)$$

gdzie:

c – percentyl rozkładu normalnego zależny od poziomu ufności,

$\sigma(i)$ – zmienność – wartość odchylenia standardowego,

$P(i)$ – wartość waloru, czyli wielkość ekspozycji na ryzyko.

Poziom ufności	C
$(1 - \alpha) = 68,27\%$	1,00
$(1 - \alpha) = 90,00\%$	1,28
$(1 - \alpha) = 95,00\%$	1,65
$(1 - \alpha) = 95,45\%$	2,00
$(1 - \alpha) = 99,00\%$	2,33
$(1 - \alpha) = 99,73\%$	3,00

Tabela 2.1 Percentyl rozkładu normalnego zależny od poziomu ufności

Źródło: Opracowanie własne.

Prezentowany sposób waluacji ryzyka odnosił się do pojedynczego aktywum. W praktyce możemy wyznaczyć wartość narażoną na ryzyko dla dowolnej ilości aktywów korzystając z teorii portfelowej H. Markowitza zgodnie z którą odchylenie standardowe portfela wyznacza się w następujący sposób [Dowd1998]:

$$\sigma_p^2 = \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & \dots & w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \rho_{1,2} & \dots & \rho_{1,n} \\ \rho_{2,1} & 1 & \dots & \rho_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{n,1} & \rho_{n,2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

gdzie:

σ_p^2 - wariancja portfela,

w_i - udział wartości instrumentu i w wartości całego portfela,

σ_i - odchylenie standardowe instrumentu i ,
 $\rho_{i,j}$ - współczynnik korelacji pomiędzy instrumentami i oraz j ,
 n - liczba instrumentów w portfelu.

Przedstawiony powyżej wzór można zapisać:

$$\sigma_p^2 = w\sigma C\sigma w^T \quad (2.16)$$

gdzie:

w – wektor udziału poszczególnych instrumentów w wartości całego portfela,

σ - macierz odchyleń standardowych,

C – macierz korelacji.

Dokonując odpowiednich podstawień: za $\sigma C\sigma$ macierz wariancji-kowariancji Σ , otrzymujemy VaR dla portfela instrumentów finansowych:

$$\text{VaR}_p = \alpha(w\Sigma w^T)^{1/2} W_0 \quad (2.17)$$

Ryzyko portfela instrumentów może być wyznaczone w oparciu o wartość ryzykowaną dla poszczególnych jego składników oraz korelacji między nimi, czyli:

$$\text{VaR}_p = (\text{VaR} * C * \text{VaR}^T)^{1/2} \quad (2.18)$$

gdzie:

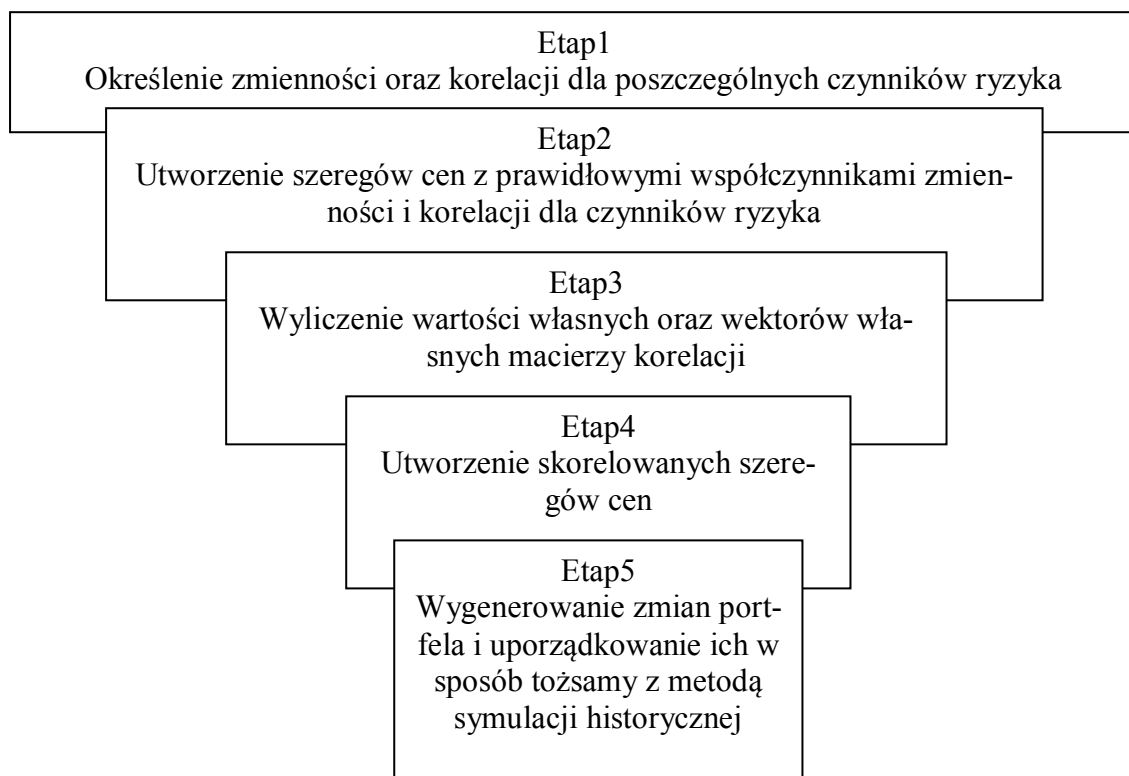
VaR – wektor VaR dla poszczególnych instrumentów.

Przedstawione powyżej rozważania znalazły już należne im miejsce w praktyce rynku akcji. Metoda może być z powodzeniem stosowana także do waluacji ryzyka w projektach informatycznych. Przyjęte w metodzie założenie o normalności rozkładu daje wystarczającą precyzję w szacowaniu VaR. Pozwala również przyjąć w obliczeniach łatwe w stosowaniu miary takie jak odchylenie standardowe. Jak pokazuje praktyka założenie o normalności rozkładu nie wpływa istotnie na precyzję w szacowaniu wartości ryzykowanej.

Metoda symulacji Monte Carlo.

Zastosowanie symulacji historycznej dla wyliczenia VAR jest możliwe, jeśli dysponujemy odpowiednią ilością danych z przeszłych okresów. W przeciwnym wypadku zastosowanie metody jest trudne, a rozwiązaniem problemu może być wykorzystanie symulacji Monte Carlo. Innym argumentem jest pogląd, że dane historyczne stosowane do wyliczeń VaR są zbyt ograniczonym zestawem zdarzeń [Best2000]. Podstawą szacowania wartości narażonej na ryzyko w metodzie Monte Carlo jest przyjęcie modelu hipotetycznego, za pomocą którego rzeczywistość kształtowania się zdarzeń byłaby najlepiej odwzorowana [Kuziak2003]. Za pojedyncze zdarzenie przyjmuje się np. zestaw zmian cen aktywów w portfelu dla danego dnia.

Do analizy przyjmuje się dużą ilość sztucznie generowanych zdarzeń. Liczba zdarzeń jest generowana z liczb losowych i dopiero takie zdarzenia są wprowadzane do modelu [Pera2008]. Losowość towarzyszy generowaniu zdarzeń w modelu i stąd może wynikać zarzut, że zdarzenia wykorzystane do szacowania VaR nie odzwierciedlają rzeczywistości. Można jednak ograniczyć to zastrzeżenie, jeśli użyjemy w symulacji odpowiednio dużej liczby zdarzeń. W metodzie symulacji Monte Carlo podobnie jak przy podejściu wariacji-kowariancji stosuje się założenie o normalności rozkładu. Prezentacja poszczególnych etapów metody jest przedstawiona na rysunku 2.3.



Rys. 2.3 Etapy wyznaczania VaR w metodzie Monte Carlo

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Best2000][Pera2008]

Początkowym etapem dla metody Monte Carlo jest wyliczenie współczynnika zmienności oraz korelacji dla każdego czynnika ryzyka. Jeśli nie ma możliwości oszacowania tychże współczynników, wtedy wykorzystać można informacje dostępne dla podobnych zmiennych [Pera2008]. Elementem kolejnym jest wyznaczenie trajektorii ruchu cen [Bałamut2000], związane będzie to z wygenerowaniem dla poszczególnych aktywów różnorodnych zmian cen (liczb losowych), a następnie przekształcenie szeregu zmian cen w zestaw zmian o rozkładzie normalnym. Problem generowania liczb losowych o rozkładzie normalnym można rozwiązać w oparciu o twierdzenie, według którego jeżeli y ma rozkład z dystrybuantą F , to

$F(y)$ ma rozkład jednostajny w przedziale $[0,1]$. Zatem $y = F^{-1}(\eta)$, gdzie η jest zmienną losową o rozkładzie jednostajnym $U_{[0;1]}$.

Liczby losowe są przekształcane w rozkład normalny stosując funkcję odwrotną dystrybuanty dla każdej realizacji (liczby). Mając wyznaczoną funkcję odwrotną dystrybuanty zakładamy rozkład normalny standaryzowany o wartości oczekiwanej równej zero i odchyleniu standardowym równym jeden [Pera2008].

Kolejnym problemem do rozwiązania jest generowanie zmiennych normalnych o określonej macierzy wariancji – kowariancji. Dostępne mogą być tutaj trzy drogi postępowania: dekompozycja Cholesky’ego, algorytm wartości własnych oraz algorytm wartości osobliwych. Rozkład Cholesky’ego jest najczęściej stosowaną metodą do generowania dowolnej liczby zmiennych skorelowanych na podstawie losowych zmiennych niezależnych. W rozwiązaniu tym szukamy rozkładu macierzy korelacji R takiego, który pozwoli otrzymać [Guzowska1999]

$$R = A^T A \quad (2.19)$$

gdzie:

A – górno określona macierz trójkątna.

Wyliczenie macierzy korelacji R sprowadza się do wyznaczenia dolno określonej trójkątnej macierzy A , zgodnie z następującym schematem:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}, \quad (2.20)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, \quad A^T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ 0 & a_{22} & a_{23} \\ 0 & 0 & a_{33} \end{bmatrix}$$

otrzymujemy:

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}^2 & a_{11}a_{21} & a_{11}a_{31} \\ a_{11}a_{21} & a_{21}^2 + a_{22}^2 & a_{21}a_{31} + a_{32}a_{22} \\ a_{11}a_{31} & a_{21}a_{31} + a_{32}a_{22} & a_{31}^2 + a_{32}^2 + a_{33}^2 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Ostatecznie porównując elementy macierzy z prawej strony (macierz A) z odpowiednimi elementami macierzy z lewej strony równania (macierz R) możemy wyznaczyć:

$$R = A^T A \quad (2.22)$$

$$a_{ii} = \left(r_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} a_{ik}^2 \right)^{1/2} \quad (2.23)$$

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ii}} \left(r_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} a_{ik} a_{jk} \right)^{1/2} \quad j=i+1, i+2, \dots, N \quad (2.24)$$

Skorelowane zmiany cen aktywów można również wyznaczyć wykorzystując wektory własne oraz wartości własne. Jedną z technik, która może mieć zastosowanie do utworzenia wektorów własnych i wartości własnych jest metoda Jacobiego. Wektory własne „opisują, jak zmiany cen grupy czynników ryzyka przesuwają się w stosunku do siebie” [Best2000]. Wartości własne przypisują odpowiednią wagę każdemu wektorowi własnemu [Pera2008]. Wykorzystując wektory własne i wartości własne możemy wyznaczyć równanie będące podstawą do wyznaczenia szeregów skorelowanych losowych zmian cen:

$$x_k = \sum_{i=1}^Z \sqrt{\lambda_i} \cdot x_k^* \cdot v_{ki} \cdot \sigma_k, \quad (2.25)$$

gdzie:

x_k – skorelowana losowa zmiana ceny dla elementu k o rozkładzie normalnym i współczynniku zmienności dla tego elementu,

$\sqrt{\lambda_i}$ - pierwiastek kwadratowy wartości własnej dla i -tego elementu,

x_k^* – zmiana losowa z szeregu o rozkładzie normalnym,

v_{ki} – k -ty element wektora własnego dla i -tego elementu,

σ_k - współczynnik zmienności k -tego elementu.

Kolejny etap metody to wprowadzenie do portfela wygenerowanych zdarzeń i odczytanie straty (VaR) dla odpowiedniego percentyla z szeregu zmian wartości portfela.

Za zaletę stosowania metody Monte Carlo można uznać jej znaczną dokładność, co jest wprost proporcjonalne do ilości wygenerowanych obserwacji.[Jajuga2000]. Wyniki otrzymane przy zastosowaniu podejścia wykorzystującego metodę Monte Carlo będą zbliżone do tych otrzymanych przy metodzie wariancji-kowariancji. Należy zauważyć, że wartość VaR podczas każdej kolejnej symulacji będzie przyjmować różny poziom, co jest związane z przeprowadzaniem za każdym razem nowego losowania. Ta cecha utrudnia odpowiednie określenie wartości zagrożonej, jednak problem ten może być rozwiązany dzięki zastosowaniu dużej ilości zdarzeń. Przy małej ilości zdarzeń wyniki otrzymane mogą być niedoszacowane lub przeszacowane w stosunku do rzeczywistej wartości ryzykowanej [Pera2008].

2.5 Pomiar VaR dla rozkładów innych niż rozkłady normalny

Wyznaczanie VaR odbywa się najczęściej w oparciu o założenie o normalności rozkładów dla instrumentów wchodzących w skład portfela (metoda kowariancji oraz Monte Carlo). Jednak zdarza się, że są to rozkłady charakteryzujące się tzw. „grubymi ogonami” [Best2000] [Jajuga2000]. Grube ogony to zdarzenia nietypowe np. zmiany cen aktywów sięgające kilku odchyłeń standardowych. W związku z tym mamy sytuację, w której odpowiedni kwantyl takiego rozkładu jest określony na poziomie niższym niż ten sam kwantyl dla przybliżenia rozkładem normalnym. W wyniku przyjęcia założenia o normalności rozkładu (przy rzeczywistym rozkładzie z grubymi ogonami) otrzymamy niedoszacowany VaR, a w konsekwencji ryzyko wyznaczone nie będzie odzwierciedlało rzeczywistego zagrożenia.

Stosowanie założenia o normalności rozkładu ułatwia kwantyfikację zmienności na wymaganym poziomie ufności [Best2000]. Rozkład normalny opisany jest przez dwa łatwe do wyestymowania parametry tj. odchylenie standardowe oraz średnią, dodatkowo cechą ważną jest to, że zmienne o rozkładzie normalnym nieskorelowane ze sobą będą także odznaczały się statystyczną niezależnością. Założenie o niezależności skutkuje tym, że zmiana ceny papieru wartościowego w danym dniu nie jest zależna od zmiany ceny zanotowanej w dniu poprzednim. Przybliżenie danych rozkładem normalnym powoduje przyjęcie założenia dla obserwowanych danych, że z tym samym prawdopodobieństwem oczekiwać można zmian zarówno w górę jak i w dół (np. dla cen aktywów). Wynika to z faktu symetryczności rozkładu normalnego względem wartości przeciętnej.

Wspomniane wcześniej odstępstwa rzeczywistego kształtowania się danych w postaci tzw. grubych ogonów są tylko jednym z przykładów. W praktyce mamy również do czynienia z efektem skupiania danych, skośnością rozkładów czy długoterminową zależnością danych.

Grube ogony są jedną z charakterystyk odnoszących się do danych finansowych wskazującą na wysoką względem rozkładu normalnego częstotliwość występowania znacznych zmian cen. Modelowanie rozkładu zwrotów, oznacza w tym przypadku, że prawdopodobieństwo $P(y_i > y)$ (lub $P(y_i < -y)$ dla lewego ogona dystrybuanty) jest dla $y \rightarrow \infty$ większe, niż w przypadku rozkładu normalnego [Bałamut2002].

Skrajne zmiany cen, jako zdarzenia ekstremalne wpływają na ryzyko, lecz przy założeniu o rozkładzie normalnym praktycznie nie występują, co w efekcie prowadzi do zaniżania wartości ryzykowanej. Odpowiedzią na ten problem jest wykorzystanie następujących rozkładów: t-Studenta, α -stabilne jak również zastosowanie dwóch rozkładów normalnych

[Jorion1996]. Przyjęcie rozkładu t-Studenta skutkuje definicją funkcji gęstości w postaci [Jorion2007]:

$$f(x) = \frac{\Gamma[(n+1)/2]}{\Gamma(n/2)} \frac{1}{\sqrt{n\pi}} \frac{1}{(1+x^2/n)^{(n+1)/2}} \quad (2.26)$$

gdzie:

$\Gamma(\cdot)$ - jest funkcją gamma,

n – stopnie swobody.

W przypadku dużej liczby stopni swobody można uznać rozkład za zbliżony do normalnego, natomiast mała liczba stopni swobody skutkuje pojawieniem się grubych ogonów i skupieniem danych wokół średniej. Zdarzenia ekstremalne są uwzględniane w rozkładzie t-Studenta, więc jego wykorzystanie przy szacowaniu ryzyka ma uzasadnienie.

Dla poradzenia sobie z sytuacją występowania tzw. „grubych ogonów” można wykorzystać kombinację dwóch rozkładów normalnych. Przy założeniu, że jeden z nich odznacza się większym odchyleniem standardowym. Przy tym rozwiązaniu należy wykonać szereg dodatkowych obliczeń dotyczących określenia parametrów dla dwóch rozkładów, a także prawdopodobieństwa występowania wyznaczonych rozkładów normalnych.

Podjęciem do szacowania wartości ryzykowanej na podstawie obserwacji charakteryzujących się tzw. „grubymi ogonami” jest teoria wartości ekstremalnych (ang. *Extreme Value Theory – EVT*) [Jajuga2000][Pera2008]. Jej wykorzystanie prowadzi do wyznaczenia VaR w sposób pośredni.

Ryzyko odnośnie rozkładu przyjętego modelu jest tutaj ograniczone faktem, że nie jest wymagany konkretny rozkład np. stóp zwrotu. Nie wyliczamy tu bezpośrednio kwantyla rozkładu stóp zwrotu, ale dążymy do wyznaczenia wartości ekstremalnej rozkładu, co służyć ma określeniu maksymalnej straty. Przedstawiany tu sposób wyznaczania VaR pochodzi z teorii wartości ekstremalnych w ramach, której obowiązuje twierdzenie, że maksimum zbioru zmiennych losowych (mogą to być stopy zwrotu) ma rozkład graniczny należący do klasy uogólnionych rozkładów wartości ekstremalnych (ang. *Generalized Extreme Value Distributions*), których postać jest znana [Jajuga2000][Langner2007].

Zależnie od wartości dystrybuanty uogólnionego rozkładu wartości ekstremalnej, w metodzie EVT wykorzystać możemy rozkłady: Frécheta (prawostronnie skośny), Weibulla (lewostronnie skośny) oraz Gumbela (symetryczny). Rozkład Gumbela odnosi się do rozkładów o tzw. „lekkich ogonach”. Zliczyć tutaj możemy rozkład normalny, log-normalny czy też rodzinę rozkładów gamma [Bałamut2002].

Rozkład Weibulla odnosiemy natomiast do rozkładów, w których zjawisko „ogona” nie występuje, a są one określone na przedziale ograniczonym. Przykładem może być tu rozkład jednostajny czy rozkład beta. Dla wyznaczenia maksymalnej straty możemy posłużyć się wzorem [Kuziak2003]:

$$y = \mu - \frac{\sigma}{\xi} \left[1 - [-\ln(1 - \alpha)]^{-\xi} \right] \quad (2.27)$$

gdzie:

y – kwantyl,

μ, σ, ξ - parametry rozkładu.

Oszacowanie parametrów rozkładu może zostać przeprowadzone w oparciu o metodę największej wiarygodności [Byström2001]. Parametr ξ odpowiada za „grubość” ogonów rozkładu. Im większa jest wartość bezwzględna tego parametru tym więcej wartości ekstremalnych możemy się spodziewać. Teoria wartości ekstremalnych zastosowanie znalazła w szacowaniu ryzyka ubezpieczeniowego, jak i wykorzystywana jest w ramach zjawisk występujących na rynkach finansowych.

Wykorzystując do wyliczeń wartości ryzykowanej jedynie obserwacje pochodzące z ogona rozkładu możemy wyjść na przeciw założeniu, że VaR dotyczy sytuacji ekstremalnych, a więc do jego określenia najlepiej posłużą tego typu dane. Według McNeila obserwacje pochodzące z ogona rozkładu mogą być przybliżone za pomocą uogólnionych rozkładów Pareto [Jajuga2000][Langner2007].

Uogólniony rozkład Pareto o parametrach $\xi, \beta > 0$ definiuje się, jako rozkład o dystrybuancie:

$$G_{\xi, \beta}(y) = 1 - e^{-y/\beta} \quad \text{dla } \xi = 0 \quad (2.28)$$

oraz o dystrybuancie:

$$G_{\xi, \beta}(y) = 1 - (1 + \xi y / \beta)^{-1/\xi} \quad \text{dla } \xi \neq 0 \quad (2.29)$$

Estymacja VaR w metodzie opartej na wartościach pochodzących z ogona rozkładu wymaga połączenia metody największej wiarygodności dla uogólnionego rozkładu Pareto z klasyczną metodą określenia udziału obserwacji z ogona w ogólnej liczbie obserwacji [Kuziak2003]. Wartość ryzykowana dla zadanego poziomu tolerancji (ufności) wyznaczana jest na podstawie wzoru [McNeil1999]:

$$\text{VaR} = u + \frac{\beta}{\xi} \left(\left(\frac{n}{N_u} (1 - \alpha) \right)^{-\xi} - 1 \right), \quad (2.30)$$

gdzie:

u – przyjęty próg dla wyboru obserwacji pochodzących z ogona rozkładu,

N_u – liczba obserwacji pochodzących z ogona (powyżej progu),

ξ, β - szacowane metodą największej wiarygodności parametry uogólnionego rozkładu Pareto.

Przy stosowaniu wzoru (2.30) występuje konieczność wyboru, co do wartości progu u . Problem, na jaki napotykamy, wiąże się z faktem, że większość obserwacji dotyczących np. stóp zwrotu znajduje się w przedziale 0 do u . Jeżeli wartość graniczna zostanie przekroczona pojawi się trudność w postaci niewielkiej liczby obserwacji wykorzystanych do szacowania uogólnionego rozkładu Pareto.

Kolejnym sposobem wyznaczania VaR, opartym na rozkładach różnych od normalnego jest podejście polegające na szacowaniu kwantyla dowolnego rozkładu. Można tu zauważyć pewne podobieństwo do metody wariancji-kowariancji z tą różnicą, że nie występuje zawężenie do rozkładu normalnego. Na podstawie danych historycznych staramy się określić parametry rozkładu dla dostępnych obserwacji, a w dalszej kolejności dążymy do wyznaczenia percentyla oraz VaR.

Nazwa metody	Opis	Ograniczenia
Metoda wariancji-kowariancji	Metoda prosta w zastosowaniu, wymaga określenia średniej oraz wariancji dla wyliczenia VaR. Pozwala na wyliczenie ryzyka dla pojedynczego instrumentu finansowego oraz dla całego portfela	Dla obserwacji dających się przybliżyć rozkładem normalnym.
Metoda symulacji historycznej	VaR odpowiada kwantylowi rozkładu dla przyjętego poziomu tolerancji. Metoda pozwala na uwzględnienie skośności, skupiania danych wokół średniej oraz grubych ogonów.	Dla obserwacji z określonego przedziału czasowego w przeszłości. Wymaga jednorodnych danych historycznych. Brak założeń wskazujących na teoretyczny rozkład stóp zwrotu.
Symulacja Monte Carlo	Uwzględnia zmienność wariancji w czasie, a także zjawisko grubych ogonów w rozkładach stóp zwrotu.	Wymaga przyjęcia określonego rozkładu teoretycznego. Metoda stosowana przy ograniczo-

Nazwa metody	Opis	Ograniczenia
	Charakteryzuje się dużą dokładnością przy szacowaniu VaR.	nej dostępności danych. Występuje zależność otrzymanych wyników od przyjętego modelu kształtowania się stóp zwrotu.
Metoda wyznaczania kwantyla dowolnego rozkładu.	Stosowana w przypadku obserwacji dających się przybliżyć innym rozkładem niż rozkład normalny.	Wymaga oszacowania parametrów rozkładu na podstawie danych z przeszłości. Problem ze statystycznym wnioskowaniem dla rozkładów zaliczanych do rodziny rozkładów stabilnych.
Teoria wartości ekstremalnych.	Metoda zmierzająca do wyznaczenia wartości ekstremalnej rozkładu, a w konsekwencji określenia maksymalnej straty (VaR). Pozwala na uwzględnienie sytuacji nietypowych.	Występuje problem z oszacowaniem parametrów rozkładu maksymalnej straty.
Metoda wykorzystująca obserwacje pochodzące z ogona rozkładu.	Wykorzystuje do oszacowań VaR obserwacje znajdujące się na końcu „ogona” rozkładu.	Wykorzystanie tylko danych z ogona rozkładu wpływa na statystyczną jakość obliczeń. Dodatkowym problemem jest przyjęcie określonej wartości prognozy – u .

Tabela. 2.2 Porównanie metod szacowania VaR

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Kuziak2003][Jorion2007]

2.6 Wady i zalety wartości ryzykowanej

Podstawową zaletą przemawiającą za zasadnością stosowania VaR jest możliwość wykorzystania tej miary do liczenia ryzyka w obszarze różnych produktów będących w obrocie. Można przyjąć, że daje to podstawę do porównywania ryzyka w różnych obszarach działalności. Sens metodologii VaR jest stosunkowo czytelny, a interpretacja otrzymanych wyników prosta. Uzyskujemy jedną wartość, która odzwierciedla ryzyko w aspekcie danego produktu, portfela produktów bądź wszystkich transakcji. Wspomniana czytelność wartości ryzykowanej, skutkuje tym, że niezależnie od poziomu wiedzy z zakresu statystyki czy modelowania ekonometrycznego, można w sposób prosty przedstawić interpretację uzyskanych wyników. Odpowiedź na pytanie ile możemy stracić np. w ciągu najbliższych n dni w ramach założonego przedziału ufności nie sprawia kłopotu po wyliczeniu wartości ryzykowanej. Podstawowa lista zalet oraz wad w zakresie stosowania VaR jest następująca [Pera2008][Kuziak2003]:

Zalety:

- *Uniwersalność, jako podstawa metody*; nie jest istotny obszar ryzyka, który badamy, czy jest to pojedyncze aktywum czy ich zestaw, jak również rodzaj ryzyka z którym mamy do czynienia nie jest elementem ograniczającym. Oczywiście metody wykorzystywane do kalkulacji wartości ryzykowanej różną się, ale wynikiem ich zastosowania jest zawsze jedna miara. Ta własność może być wykorzystana do wzajemnego porównywania wyników uzyskanych z zastosowania różnych podejść.
- *Łatwa interpretacja*; VaR odzwierciedla poziom straty maksymalnej, która jest wyrażona w jednostkach pieniężnych. Informacja ta jest podstawą do określenia poziomu rezerwy zabezpieczającej przed poniesieniem ewentualnych strat. Wyniki uzyskane dzięki VaR umożliwiają adekwatne oszacowanie zabezpieczenia do prognozowanego poziomu ryzyka.
- *Prostota formy*; zaletą wykorzystania VaR jest uzyskanie na wyjściu jednej liczby określającej poziom straty.
- *Określenie prawdopodobieństwa straty*; wyznaczenie poziomu zagrożenia jest ważne, ale równie ważne jest określenie, z jakim prawdopodobieństwem potencjalna strata może wystąpić. Dzięki przyjętemu na wstępie poziomowi ufności, otrzymujemy w wyniku obliczeń stratę, przy danym prawdopodobieństwie. Inne klasyczne miary ryzyka takie jak zmienność czy wrażliwość nie dają w wyniku ich zastosowania określenia, z jakim prawdopodobieństwem dane ryzyko może zaistnieć.
- *Możliwość porównania ryzyka między różnymi produktami, obszarami działalności*.
- *Popularyzacja*; dzięki swojej konstrukcji i uniwersalności metodologia stała się szeroko stosowanym podejściem. Odzwierciedleniem jej popularności jest szeroka rzesza instytucji stosujących VaR w analizie ryzyka. Nie bez znaczenia jest upowszechnienie założeń metodologii zarządzania ryzykiem rynkowym z wykorzystaniem systemu Risk Metrics (1994), oraz późniejszych systemów CreditMetrics (1997) czy Corporate Metrics (1999) przez J.P Morgan. Dodatkowo popularyzację rozwiązania wspiera rekomendacja Grupy Trzydziestu (ang. *Group of Thirty*) Komitetu Bazylejskiego do Spraw Nadzoru Bankowego, oraz w Polsce Generalnego Inspektoratu Nadzoru Bankowego [Kuziak2003].

Wady:

- *Brak określenia o ile wartość straty może zostać przekroczona;* metodologia nie daje podstaw do odpowiedzi na pytanie jak duże mogą być rozmiary straty, gdy wartość wynikająca z VaR zostanie przekroczona.
- *Przyjęcie założenia o normalności rozkładu badanego zjawiska;* większość modeli przyjmuje założenie o normalność rozkładu, a więc VaR mierzy ryzyko wtedy, gdy rynek zachowuje się normalnie. Posługiwanie się założeniem o normalności rozkładu pozwala uprościć obliczenia. Przyjmując dany poziom ufności, kwantyfikacji ryzyka dokonujemy poprzez *pomnożenie jednego odchylenia standardowego wartości współczynnika zmienności przez wymagany czynnik* [Best2000].
- *Zależność otrzymanych wyników od wyboru metody estymacji;* wartości otrzymane w wyniku kalkulacji z zastosowaniem metodologii VaR są zależne od wybranej metody. Istnieje zależność skutkująca dokładnością pomiaru w zależności od sposobu dokonywanych obliczeń. Ważne jest przy tym, aby do określenia wartości ryzykowanej użyć metody adekwatnej do sytuacji, w której dokonujemy pomiaru ryzyka.
- *Ograniczona precyzja w dokonywanym oszacowaniu;* wyniki uzyskane przy zastosowaniu jednej z metod liczenia VaR będą miały charakter szacunkowy, stanowiąc przybliżenie oczekiwanej rzeczywistości.

Wyznaczenie wartości ryzykowanej, jako jednej miary ukazującej potencjalne ryzyko sprzyja wykorzystaniu tego narzędzia w procesie raportowania tj. ciągłego informowania zarządu, kierownictwa o całkowitej ekspozycji instytucji na ryzyko. Przyjmuje się, że wykorzystanie VaR jest skierowane głównie tam gdzie mamy do czynienia z różnymi rodzajami ryzyka i tam gdzie wymagane jest scentralizowane zarządzanie ryzykiem.

Zastosowanie wartości ryzykowanej ma na celu próbę przewidzenia przyszłości, nie ma jednak gwarancji, że tworzone prognozy sprawdzą się. VaR stanowi dostępne narzędzie, natomiast wybór metod jej wyznaczania zależy od doświadczenia oraz wiedzy osób odpowiedzialnych za proces zarządzania ryzykiem w danej instytucji (projekcie).

3. Metoda wartościowej oceny ryzyka projektów informatycznych

Fundamentalną przesłanką do opracowania wartościowej metody oceny ryzyka projektów informatycznych jest możliwość prezentacji nowej metody, która pozwoli *ex-ante* określić maksymalną stratę, która może wystąpić w trakcie realizacji określonego projektu, bądź grupy projektów realizowanych w organizacji.

3.1 Podstawowe założenia wartościowej metody oceny ryzyka projektów informatycznych

W prezentowanej pracy przyjęto, że sukcesem zakończy się taki projekt, w którym wartość maksymalnej straty oraz kosztów projektu będzie niższa od zysku oraz kosztów projektu. Na etapie definiowania zakresu, zadań oraz ilości roboczogodzin przewidzianych na realizację całego projektu, możliwe jest wyznaczenie maksymalnej wartości ryzykowanej, a w konsekwencji przygotowanie odpowiedniej rezerwy kapitałowej. W dysertacji wskaźnik ryzyka rozpatrywany jest w wymiarze finansowym, a więc jest ściśle określone liczbowo.

Nie rozpatruje się sposobów przeciwdziałania ryzykom mogącym urzeczywistnić się w trakcie realizacji poszczególnych etapów projektu informatycznego, bowiem kluczowe jest wskazanie maksymalnej straty w wymiarze wartościowym (finansowym), która może wystąpić w przypadku urzeczywistnienia się wszystkich zidentyfikowanych ryzyk projektu.

W prezentowanej pracy za podstawę dla wyznaczenia maksymalnej straty w projekcie przyjęto takie składowe projektu jak ilość zadań w projekcie oraz role przydzielone do określonych zadań projektowych. Na podstawie ról przydzielonych do zadań projektowych przyjęto kategoryzację poszczególnych zadań według podziału na następujące klasy pojęć:

- **Wytwarzanie (W)**
- **Analiza i projektowanie (P)**
- **Zarządzanie (Z)**
- **Wdrożenie i wsparcie (S)**

Formułowanie poszczególnych kategorii wynika bezpośrednio z cech charakterystycznych dla projektów informatycznych, jak i z charakteru danych wykorzystywanych w eksperymentach badawczych. Co za tym idzie przyjęto, że identyfikacja poszczególnych zadań jest możliwa dzięki rolom do nich przypisanym.

Opracowanie metody wartościowej oceny ryzyka projektów informatycznych zgodnej z przyjętą w dysertacji definicją zostało podzielone na następujące etapy:

Etap 1 – wybór projektów informatycznych, jako obiektów składowych bazy badawczej. Przyjęcie określonego zbioru projektów informatycznych dokonano według zawężonego kryterium wyboru. Platforma <http://SourceForge.net> obejmuje swoim zasięgiem ogromną liczbę projektów, ale większość z nich to projekty małe bądź bardzo małe, na które składa się jedno lub dwa zadania. Opracowane kryterium wymagało uzyskania próby badawczej, na podstawie której możliwe było przeprowadzenie analizy strukturalnej pracochłonności projektów informatycznych, a więc bazy badawczej, obejmującej projekty duże i bardzo duże,

Etap 2 – wyznaczenie rozkładów prawdopodobieństwa dla projektów informatycznych tworzących bazę badawczą; przedstawiona w dysertacji metoda wartościowej oceny ryzyka bazuje na analizie statycznej. Znajomość rozkładów prawdopodobieństwa materiału badawczego wymagana jest w kolejnych etapach, w których zostanie obliczona wartość narażona na ryzyko,

Etap 3 – wyznaczenie wartości ryzykowanej dla poszczególnych kategorii zadań projektu informatycznego. Na podstawie danych historycznych wyznaczono stopy przyrostu oraz zmienność pracochłonności¹ poszczególnych kategorii zadań, co pozwoliło obliczyć wartość narażoną na ryzyko dla tych kategorii.

Etap 4 – wyznaczenie wartości ryzykowanej dla projektu. W dysertacji przyjęto założenie, że zadania w obrębie jednej kategorii w ujęciu finansowym są wzajemnie niezależne, w przeciwieństwie do zadań przydzielonych do różnych kategorii. Traktując skorelowane kategorie zadań jako portfel, wykorzystano teorię Harry'ego Markowitza w celu wyznaczenia wartości narażonej na ryzyko dla całego projektu.

3.2 Charakterystyka obiektów badawczych

Źródłem danych wykorzystywanych w procesie badawczym było archiwum SRDA (ang. *SourceForge Research Data Archive*) platformy <http://SourceForge.net>, które zawiera repozytorium projektów informatycznych typu FLOSS, przeznaczone do celów badawczych (ang. *A Repository of Free/Libre/Open Source Software Research Data*). SourceForge.net jest jedną z największych platform umożliwiających zarządzanie projektami informatycznymi kategorii

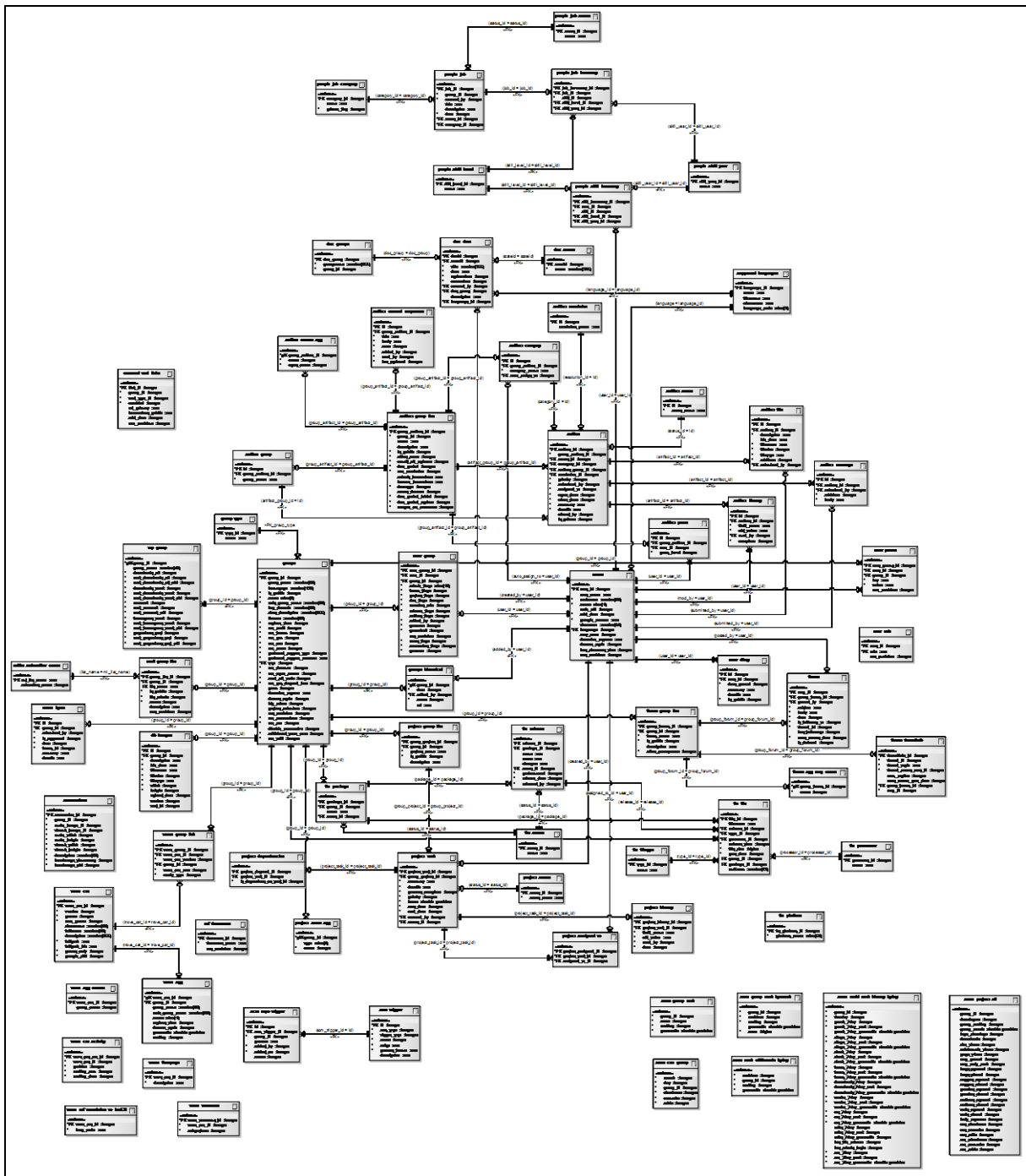
¹ Pracochłonność - ilość pracy która jest potrzebna, aby wykonać określone zadanie w projekcie; pracochłonność jest odwrotnością wydajności pracy [LEKSYKON2001].

open source. Zarejestrowanych jest na niej ponad 300.000 projektów oraz prawie 3,5 mln użytkowników [SourceForge.net 2011]. Dane z platformy SourceForge.net są przekazywane w postaci zrzutów bazodanowych do archiwum SRDA z wyłączeniem danych osobowych, danych dotyczących funkcjonowania strony SourceForge.net oraz danych, które nie mogą być przekazane ze względów licencyjnych i ze względów bezpieczeństwa. Zakres informacji udostępnianych w archiwum SRDA jest ogromny. Każdego miesiąca przekazywane są informacje dotyczące projektów, zadań, użytkowników, danych statystycznych opisujących funkcjonowanie platformy SourceForge.net (np. liczba wejść na stronę, liczba pobranych artefaktów itd.) oraz danych historyczny (np. informacje o projektach nieaktywnych). Miesięczny przyrost informacji wynosi ok. 30 GB [Christley2005]. Tak ogromny zakres zobrazować może złożoność bazy danych archiwum SRDA opartej o RDBMS (ang. *Relational Database Management System*) PostgreSQL, na którą składa się ponad 100 tabel. Na rysunku 3.1 przedstawiono schemat tej bazy danych.

Pozyskanie danych do celów badawczych zrealizowane zostało przy pomocy zapytań SQL do bazy danych SRDA. W przeważającej większości były to zapytania złożone do wielu tabel, zawierające funkcje agregujące. Szczegółowy wykaz tych zapytań znajduje się w załączniku nr 1.

Zebrany materiał badawczy został podzielony na następujące kategorie informacji:

- *Dane dotyczące złożoności projektu* – liczba zadań składających się na projekt;
- *Dane dotyczące wielkości projektu w czasie* – czas trwania projektu i czas trwania poszczególnych zadań składających się na projekt;
- *Dane dotyczące pełnionej roli w procesie wytwarzania* – liczba różnych ról pełnionych w projekcie przez osoby uczestniczące w realizacji projektu;
- *Dane związane z udziałem w procesie realizacji* – liczba osób uczestniczących w realizacji projektu oraz realizacji poszczególnych zadań składających się na projekt.

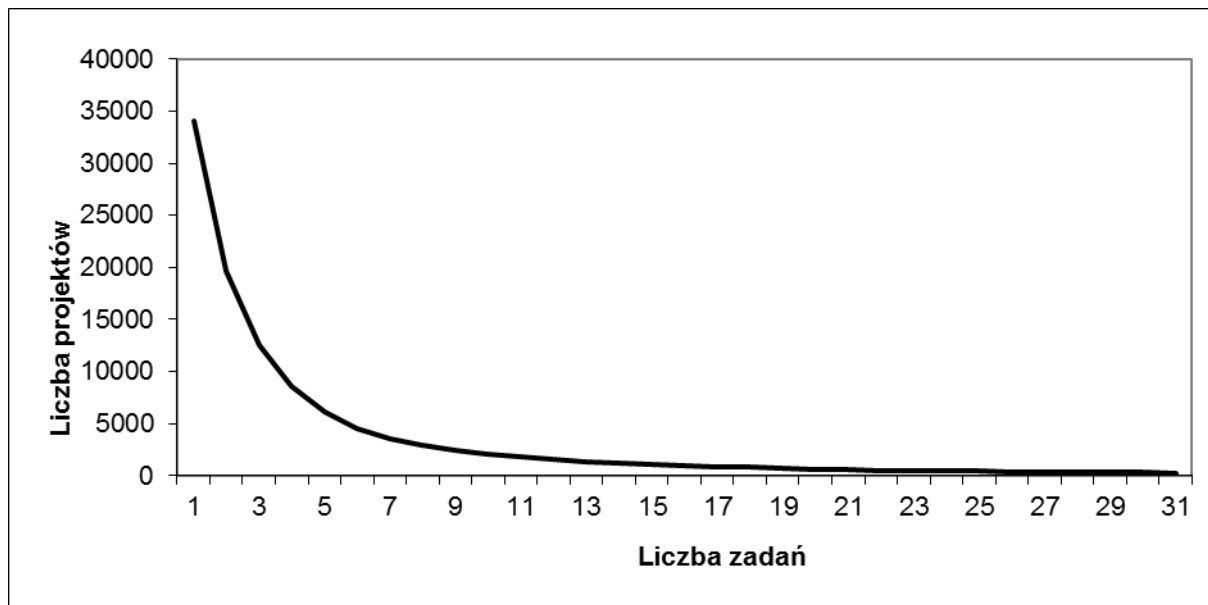


Rys. 3.1 Schemat bazy danych SRDA

Źródło: Opracowanie własne.

W materiale badawczym, na podstawie danych według stanu z lutego 2011, wyróżniono 386.328 zarejestrowanych projektów, z czego 34.040 projektów aktywnych. Liczba projektów aktywnych posiadających, co najmniej jedno zadanie wynosi 19.713 co stanowi 58% liczebności projektów aktywnych i 5% wszystkich projektów. Natomiast maksymalna liczba zadań w projekcie wynosi 550. W materiale badawczym występuje tylko jeden taki projekt. Na ry-

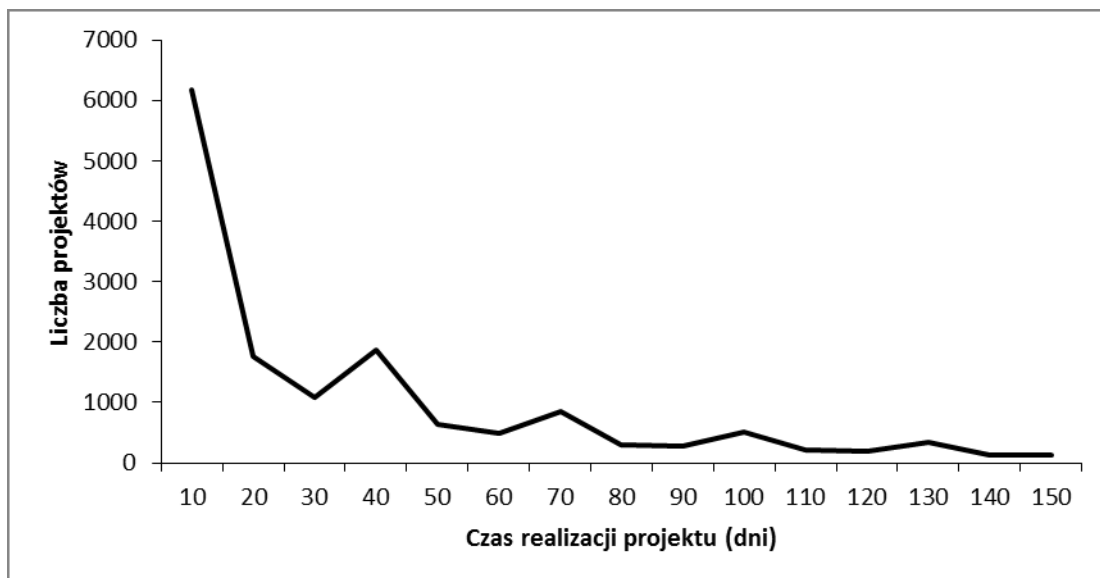
rysunku 3.2 przedstawiono zależność pomiędzy liczbą projektów a liczbą zadań składających się na projekt. Przy projektach prostych, złożonych z małej liczby zadań odnotowano znaczący spadek liczebności próbek, np. 34 040 w stosunku do 19.713, co stanowi 42% spadek, a w przypadku projektów bardziej złożonych, o co najmniej 20 i 21 zadań spadek maleje do 8,2%.



Rys. 3.2 Liczba projektów w stosunku do liczby zadań w projekcie.

Źródło: Opracowanie własne.

Analizując dane dotyczące wielkości projektu w czasie wyróżniono 6.173 projekty, których czas realizacji nie przekracza 10 dni, co stanowi 31% udział wśród projektów, dla których zostały zdefiniowane zadania. Maksymalny czas realizacji projektu wynosi 5.216 dni. Tak długim czasem realizacji charakteryzował się jeden projekt. Na rysunku 3.3 przedstawiono liczbę projektów w zależności od ich czasu realizacji.



Rys. 3.3 Liczba projektów w zależności od czasu realizacji.

Źródło: opracowanie własne.

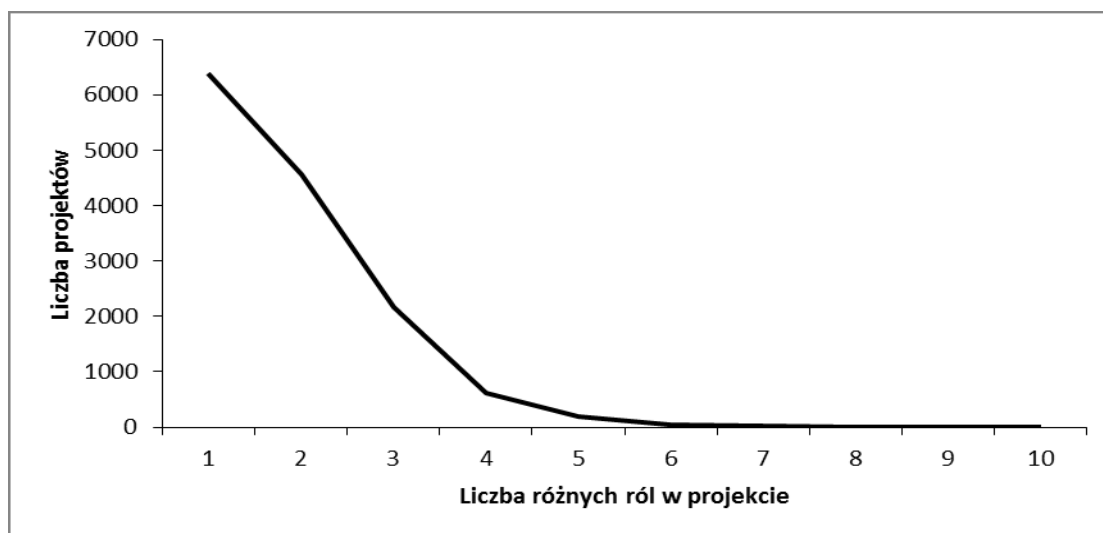
W bazie danych <http://SourceForge.net> zdefiniowanych zostało 29 ról i funkcji, które można przypisać uczestnikowi projektu. Najliczniejszą grupę stanowią deweloperzy, których udział w projektach informatycznych stanowił 33,12% oraz kierownicy projektów 28,16%. Najmniej liczną grupę stanowili analitycy wsparcia technicznego (udział w jednym projekcie). Wyróżniono także role, które nie zostały obsadzone przez żadną osobę: inżynier kompilacji i dyrektor ds. marketingu. W tabeli 3.1 znajduje się zestawienie udziałów najbardziej popularnych ról i funkcji przydzielanych osobom uczestniczącym w procesie wytwarzania systemów informatycznych.

Rola / pełniona funkcja	Udział
Developer	33,12%
Project Manager	28,16%
Advisor/Mentor/Consultant	1,49%
Web Designer	1,23%
Graphic/Other Designer	1,00%
Unix Admin	0,89%
Tester	0,75%
Analysis / Design	0,73%
Doc Writer	0,61%
Translator (I18N/L10N)	0,42%
Packager (.rpm, .deb etc)	0,41%
Porter (Cross Platform Devel.)	0,41%
Requirements Engineering	0,34%

Tabela 3.1 Udział najbardziej popularnych ról i funkcji w projektach informatycznych.

Źródło: Opracowanie własne.

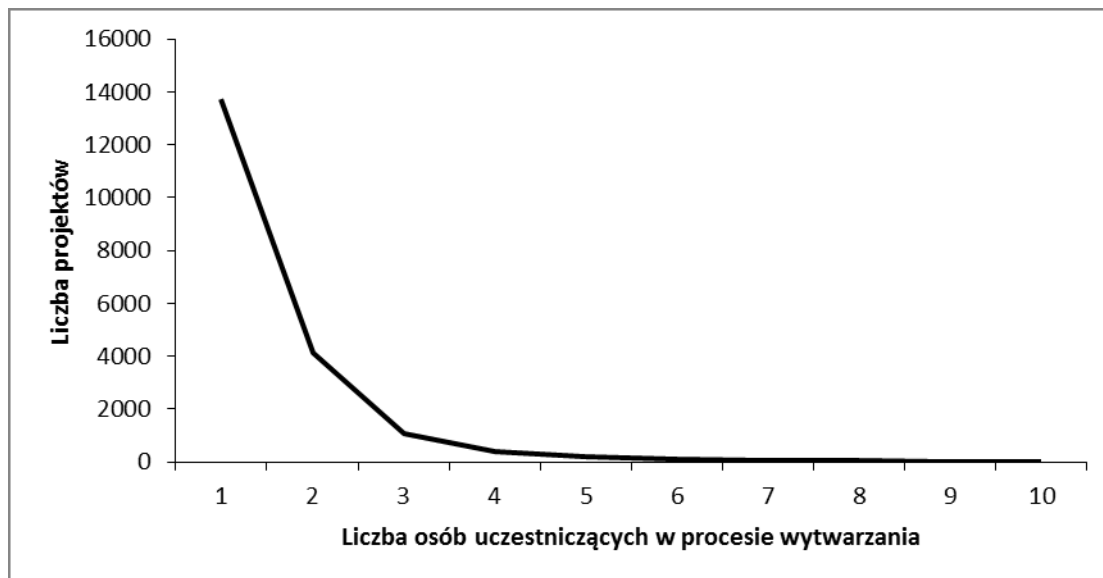
Maksymalna liczba różnych ról i funkcji, które przypisane są do osób realizujących projekt informatyczny wynosi 9. Tylko jeden projekt posiadał taką liczbę ról wśród członków swojego zespołu. Największy udział wśród badanych projektów stanowiły te, którym przypisano jedną lub dwie różne role do osób uczestniczących w procesie ich wytwarzania. Procentowy ich udział to odpowiednio: 32,40% i 23,12%. Na rysunku 3.4 przedstawiono zależność liczby projektów w badanej próbie od liczby wyróżnionych w nich ról i funkcji osób.



Rys. 3.4 Liczba projektów w zależności od różnych ról członków zespołu.

Źródło: opracowanie własne.

W materiale badawczym znaczącą większość stanowią projekty jedno- lub dwu-osobowe, które łącznie stanowią 90% projektów informatycznych. Projekty, do których przypisanych jest 10 i więcej osób to zaledwie 0,13%. Na rysunku 3.5 przedstawiono zależność liczebności projektów informatycznych w stosunku do osób uczestniczących w procesie wytwarzania.



Rys. 3.5 Liczba projektów w zależności od liczby osób przypisanych do projektu.

Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie przeprowadzonej analizy materiału badawczego, z dostępnego zbioru projektów informatycznych, zarządzanych na platformie <http://SourceForge.net> wyodrębniono projekty o następujących charakterystykach:

- na pojedynczy projekt składa się co najmniej 10 zadań,
- wszystkie zadania w projekcie przypisane są do poszczególnych osób (członków zespołu),
- w projekcie można wyróżnić co najmniej 4 role.

Spośród projektów informatycznych tworzących bazę badawczą *wyróżniono 56 projektów posiadających powyższe cechy*. Próba ta w dalszej części pracy posłużyła do wyznaczenia wartościowej oceny ryzyka projektów informatycznych. Aby do nich przystąpić konieczne było określenie struktury badanych projektów. W tym celu zdefiniowane role na platformie <http://SourceForge.net> zostały pogrupowane na 4 kategorie:

- **Wytwarzanie** – Developer, Tester, Cross Platform Developer, All-Hands Person, No specific role.

- **Analiza i projektowanie** Other Designer, Analysis / Design, Advisor / Mentor / Consultant, Requirements Engineering, Web Designer, User Interface Designer,
- **Zarządzanie** – Project Manager.
- **Wdrożenie i wsparcie** – Unix Admin, Doc Writer, Support Manager, Editorial / Content Writer, Packager, Distributor / Promoter, Support Technician.

Zgodnie z powyższym podziałem, dla każdego z 56 projektów, dokonano kategoryzacji zadań wg ról osób do nich przypisanych. W każdej kategorii zsumowano czasy realizacji zadań, co pozwoliło określić strukturę każdego projektu, czyli procentowy udział danej kategorii w całym projekcie. Tabela 3.2 przedstawia przykładowe struktury projektów informatycznych.

Id projektu	Wytwarzanie	Analiza i projektowanie	Zarządzanie	Wdrożenie i wsparcie
1363	69%	14%	17%	0%
22323	11%	4%	81%	4%
27581	2%	56%	7%	35%
45129	77%	11%	12%	0%
54659	38%	0%	52%	10%
56282	50%	45%	5%	0%

Tabela 3.2 Struktura przykładowych projektów.

Źródło: opracowanie własne.

Po wyznaczeniu struktury każdego z projektów określono przeciętną strukturę projektu, na podstawie średniej ważonej. Za wagę przyjęto sumaryczną pracochłonność projektu informatycznego. Średnio ważona struktura wyrażona jest następującymi wartościami:

- Wytwarzanie: 54%
- Analiza i projektowanie: 11%
- Zarządzanie: 31%
- Wdrożenie i wsparcie: 4%

Wyznaczenie średniej struktury projektu pozwoliło na wyznaczenie odchylenia od tej struktury pojedynczego projektu informatycznego, a to z kolei pozwoliło na zbadanie rozkładu prawdopodobieństwa dla każdej kategorii zadań.

Id projektu	Δ Wytwarzanie	Δ Analiza i projektowanie	Δ Zarządzanie	Δ Wdrożenie i wsparcie
1363	-15,2848	-3,1733	14,7098	3,7482
22323	42,5292	6,9616	-49,3050	-0,1857
27581	52,3836	-45,1959	24,0894	-31,2772

Id projektu	Δ Wytwarzanie	Δ Analiza i projektowanie	Δ Zarządzanie	Δ Wdrożenie i wsparcie
45129	-22,7122	-0,2556	19,2196	3,7482
54659	15,9755	10,8955	-20,8490	-6,0219
56282	3,9065	-33,9763	26,3216	3,7482

Tabela 3.3 Przykładowe odchylenia od przeciętnej struktury

Źródło: Opracowanie własne

3.3 Analiza rozkładu prawdopodobieństwa dla wyznaczonych kategorii zadań projektowych

W procesie wyznaczania zmienności i innych miar pozycyjnych struktury realizacyjnej projektów informatycznych zdefiniowanych w próbie badawczej posłużono się zasadami rachunku prawdopodobieństwa. Przeprowadzono więc testy zgodności dla popularnych rozkładów. W poniższym rozdziale zostaną przedstawione wyniki testów badające zgodność rozkładu empirycznego poszczególnych prób z rozkładem normalnym. Ze względu na fakt, że kategorie *Analiza i Projektowanie* oraz *Wdrożenie i wsparcie* zawierały małą liczbę danych, w stosunku do nich przeprowadzono *resampling* w celu zachowania względnej równości próbek w stosunku do zbiorów *Wytwarzanie* oraz *Zarządzanie*.

Badanie normalności rozkładu każdej z obserwacji przeprowadzono w dwóch krokach:

1. Ocena normalności rozkładu z wykorzystaniem wykresu prawdopodobieństwa.
2. Przeprowadzenie testów zgodności dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ według algorytmów testów:
 - a. Kołmogorowa-Smirnowa.
 - b. Andersona-Darlina.
 - c. Chi-kwadrat.
 - d. Shapiro-Wilka.

Weryfikacji podlegały następujące hipotezy statystyczne:

Hipoteza H_0 : rozkład badanej zmiennej jest normalny.

Hipoteza alternatywna H_1 : rozkład badanej zmiennej nie jest normalny.

Ocena normalności rozkładu z wykorzystaniem wykresu prawdopodobieństwa polega na wzrokowej weryfikacji położenia punktów empirycznych. Jeżeli układają się one wzdłuż linii określającej dystrybuantę teoretyczną, to brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 mó-

więcej o normalności rozkładu. W przeciwnym przypadku H_0 jest odrzucana na korzyść H_1 , czyli badany rozkład nie jest normalny.

Konstrukcja testów zgodności polega na wprowadzeniu miary odległości rozkładu. Najczęściej używaną miarą odległości pomiędzy rozkładami jest miara oparta na porównaniu dystrybuant rozkładu empirycznego $F_n(x)$ i rozkładu teoretycznego $F(x)$ następującej postaci [Domański1990]:

$$\delta = \sup_x |F_n(x) - F(x)| \quad (3.1)$$

Dla każdego testu wyliczana jest wartość jego statystyki, która jest następnie porównywana z wartością graniczną w odpowiednim obszarze krytycznym (np. w teście Chi-kwadrat obszarem krytycznym jest obszar prawostronny).

Test Kołmogorowa-Smirnowa (λ Kołmogorowa) jest realizowany w sposób następujący. Dla każdej wartości z obserwacji x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) należy wyznaczyć dystrybuantę empiryczną $F_n(x)$ według wzoru:

$$F_n = \begin{cases} 0, & \text{dla } x \leq x_{(1)} \\ \frac{i}{n}, & \text{dla } x_{(i)} < x \leq x_{(i+1)} \quad (i = 1, 2, \dots, n-1) \\ 1, & \text{dla } x > x_{(n)} \end{cases} \quad (3.2)$$

Z hipotetycznego rozkładu (w naszym przypadku normalnego) należy znaleźć wartość dystrybuanty teoretycznej $F(x)$ dla każdego x_i . Następnie należy obliczyć statystykę:

$$\lambda = D_n \sqrt{n} \quad (3.3)$$

gdzie:

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)| \quad (3.4)$$

Z tablic rozkładu λ -Kołmogorowa odczytuje się wartość graniczną λ_α dla przyjętego poziomu istotności α . Jeżeli zostaje spełniona nierówność $\lambda \geq \lambda_\alpha$, to hipotezę H_0 należy odrzucić, zaś w przeciwnym przypadku nie ma podstaw jej odrzucenia.

Test Andersona-Darlinga jest modyfikacją testu Cramera-von Misesa. Sprawdzianem tego testu jest statystyka określona wzorem:

$$A = \frac{-\sum_{i=1}^n (2i-1) \{ \ln F(x_i) + \ln(1-F(x_{n+1-i})) \}}{n} - n \quad (3.5)$$

Obszar krytyczny dla tego testu budowany jest prawostronnie, co oznacza, że jeżeli wartość wyliczonej statystyki jest większa od wartości granicznej ($A \geq A_\alpha$), to hipotezę H_0 należy odrzucić.

Dla testu Chi-kwadrat obserwację należy podzielić na r rozłącznych klas o liczebnościach n_i , przy założeniu, że $n_1 + n_2 + \dots + n_r$. Następnie należy obliczyć prawdopodobieństwo p_i , że

zmienna losowa o dystrybucji $F(\mathbf{x})$ przyjmie wartości należące do i -tej klasy (dla $i = 1, 2, \dots$), przy czym $p_1 + p_2 + \dots + p_r = 1$. Teraz już wystarczy obliczyć statystykę:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad (3.6)$$

Wyliczoną wartość porównujemy z wartością graniczną odczytaną z tablic dla poziomu istotności α i stopniach swobody $(r - 1 - 1)$, gdzie 1 jest liczbą parametrów rozkładu (dla rozkładu normalnego $1 = 2$). Jeżeli $\chi^2 \geq \chi_{\alpha}^2$ to hipotezę H_0 należy odrzucić. Należy jednakże pamiętać, że ze względu na asymptotyczny rozkład statystyki liczebność poszczególnych klas nie może być mniejsza niż 10, a liczba klas 5, czyli wielkość obserwacji nie może być mniejsza niż 50 (w naszym przypadku wynosi 56).

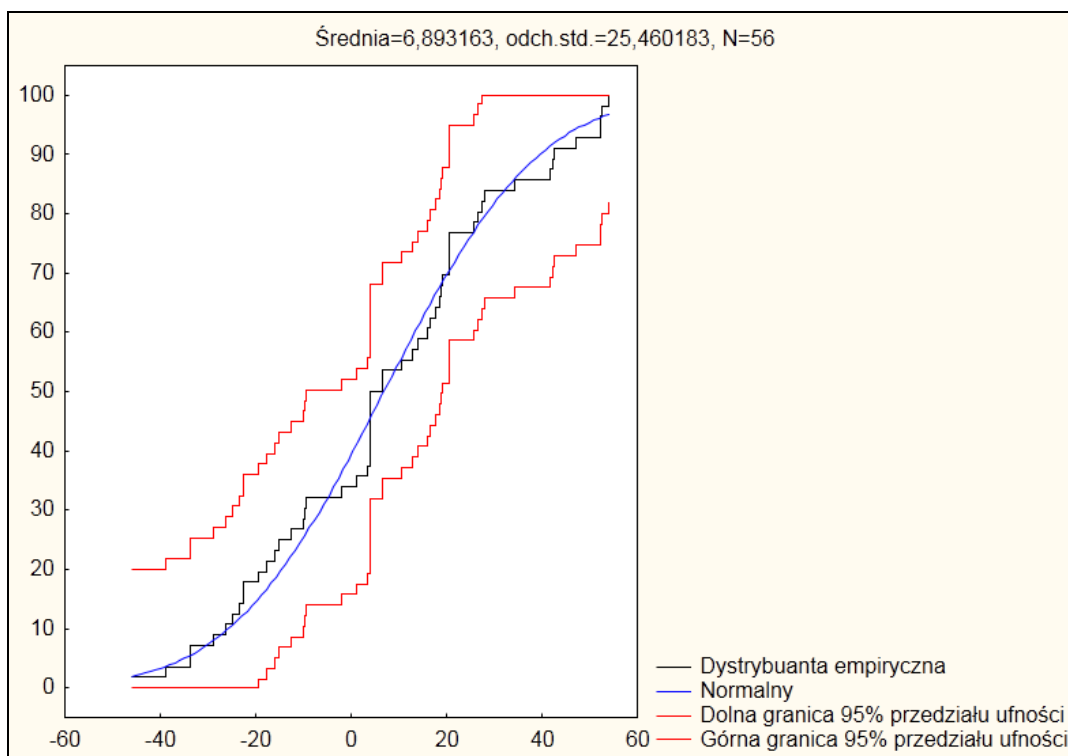
Często stosowanym testem normalności rozkładu prawdopodobieństwa jest test Shapiro-Wilka, dla którego statystyka wyrażona jest wzorem:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.7)$$

W przypadku tego testu, jeżeli wyliczona wartość statystyki jest mniejsza od granicznej, czyli $W \leq W(\alpha)$, to hipotezę H_0 należy odrzucić.

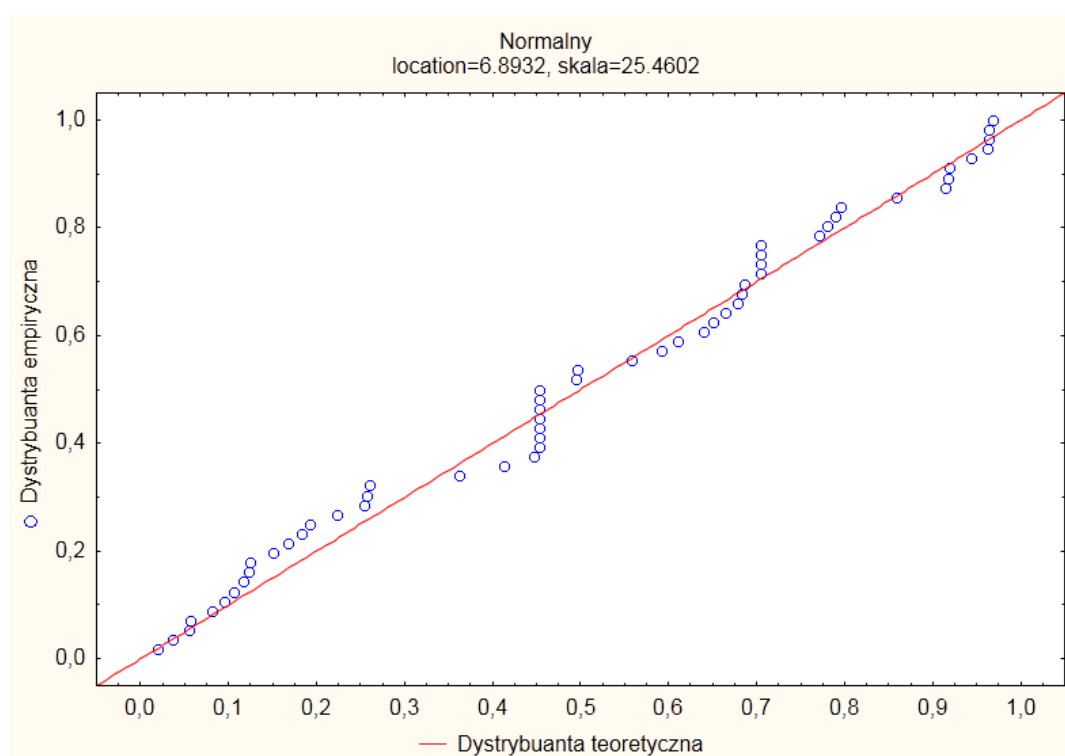
Obecnie testy zgodności są wykonywane przez oprogramowanie komputerowe, w których w celu ułatwienia interpretacji wyników wprowadzono pojęcie prawdopodobieństwa wyniku. Jest ono interpretowane w ten sposób, że hipotezę H_0 należy odrzucić, jeżeli jest ono mniejsze od ustalonego poziomu istotności.

Badanie rozkładu prawdopodobieństwa dla próby Wytwarzanie



Rys. 3.6 Wykres dystrybuanty empirycznej dla kategorii Wytwarzanie.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.7 Wykres typu P-P dla kategorii: Wytwarzanie.

Źródło: opracowanie własne

Dla kategorii *Wytwarzanie* na wykresie prawdopodobieństwa punkty empiryczne rozkładają się wzdłuż linii określającej dystrybuantę rozkładu normalnego. Podobnie sprawa wygląda na rysunku dystrybuanty empirycznej. Zatem z obserwacji wykresów nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 .

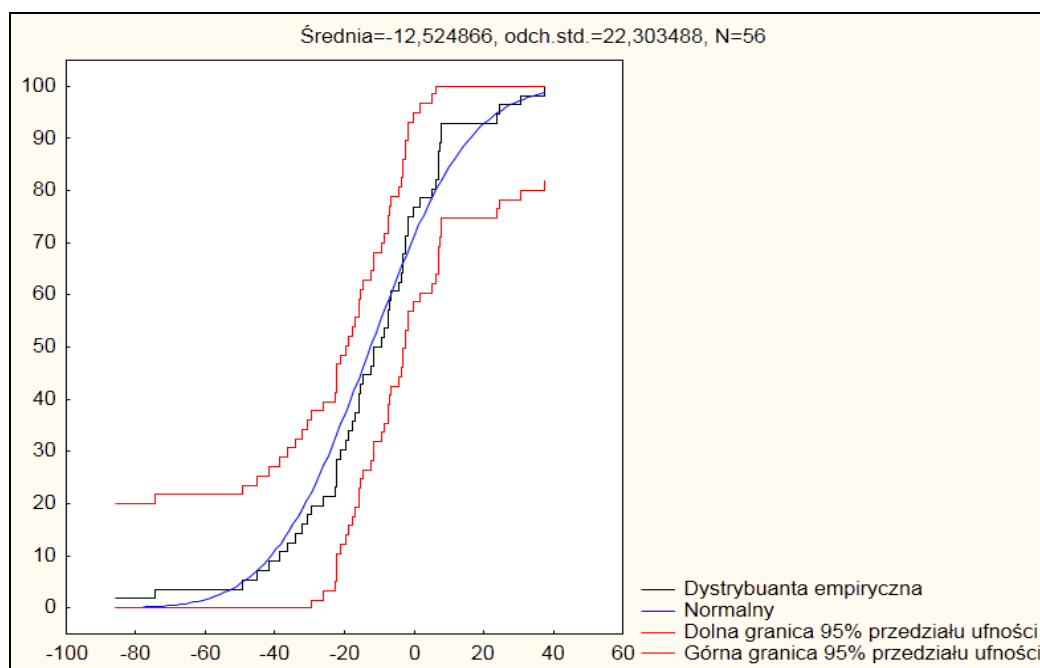
Rodzaj testu							
Kolmogorowa-Smirnowa		Andersona-Darlinga		Chi-kwadrat		Shapiro-Wilka	
λ	p	A	p	χ^2	P	W	P
0,08919	0,73072	0,39081	0,85742	2,92559	0,40324	0,97478	0,28800

Tabela 3.4 Wyniki testów zgodności dla kategorii: Wytwarzanie.

Źródło: opracowanie własne.

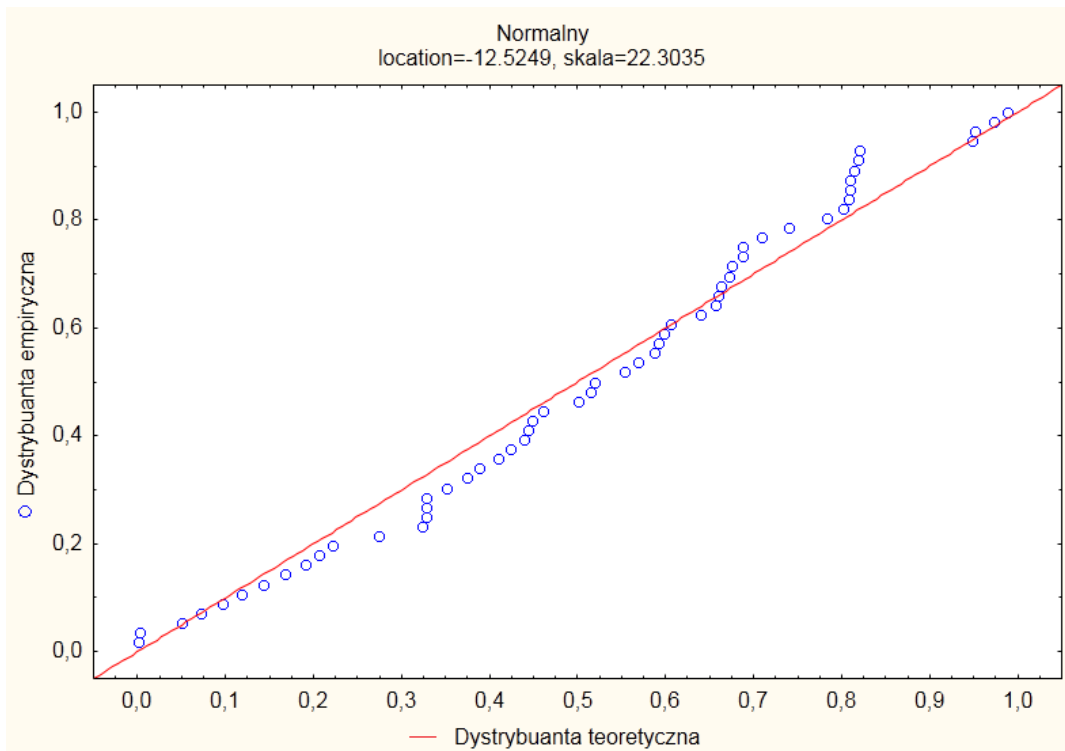
We wszystkich testach zgodności prawdopodobieństwo p jest większe od poziomu istotności $\alpha = 0,05$, co oznacza, że nie ma podstaw do odrzucenia H_0 . Zatem przyjąć należy, że dane w próbie badawczej *Wytwarzanie*, posiadają rozkład normalny.

Badanie rozkładu prawdopodobieństwa dla próby: **Analiza i projektowanie**



Rys. 3.8 Wykres dystrybuanty empirycznej dla kategorii: Analiza i projektowanie.

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3.9 Wykres typu P-P dla kategorii: Analiza i projektowanie.

Źródło: opracowanie własne

Dla danych z kategorii *Analiza i projektowanie*, na wykresie prawdopodobieństwa punkty empiryczne rozkładają się wzdłuż linii określającej dystrybuantę rozkładu normalnego. Podobnie sprawa wygląda na rysunku dystrybuanty empirycznej. Zatem z obserwacji wykresów nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 .

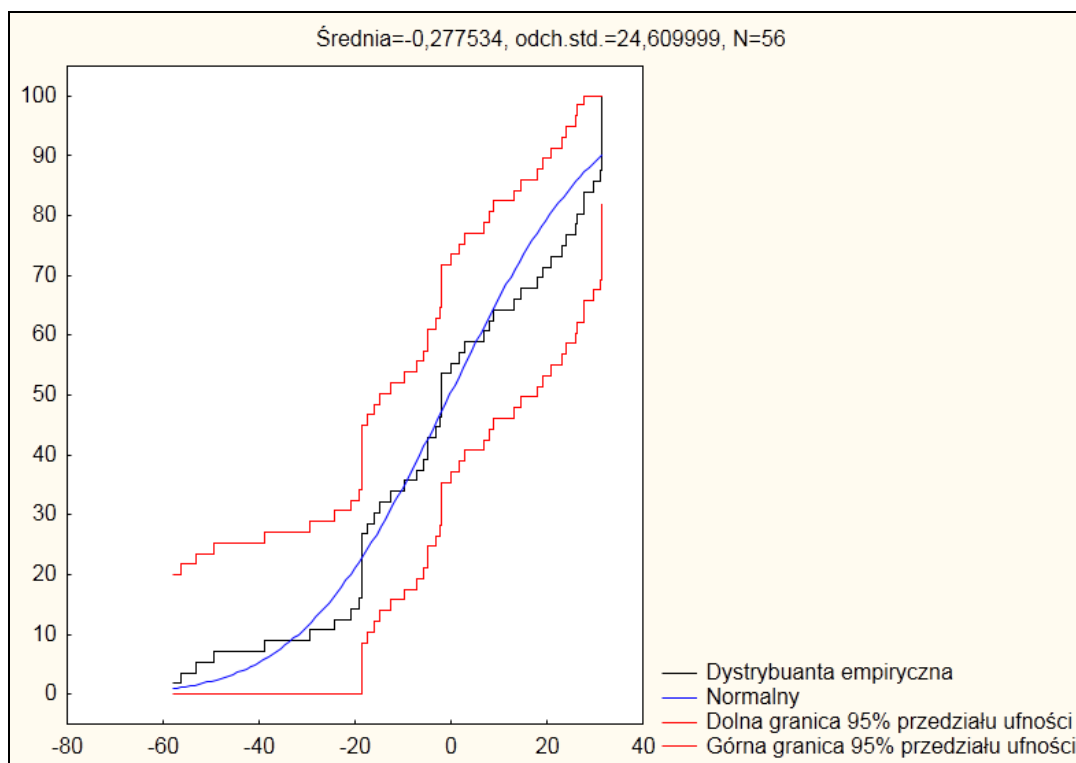
Rodzaj testu							
Kolmogorowa-Smirnowa		Andersona-Darlinga		Chi-kwadrat		Shapiro-Wilka	
λ	p	A	p	χ^2	P	W	P
0,10940	0,48062	0,73119	0,53263	2,34821	0,67200	0,95319	0,29580

Tabela 3.5 Wyniki testów zgodności dla kategorii: Analiza i projektowanie.

Źródło: opracowanie własne.

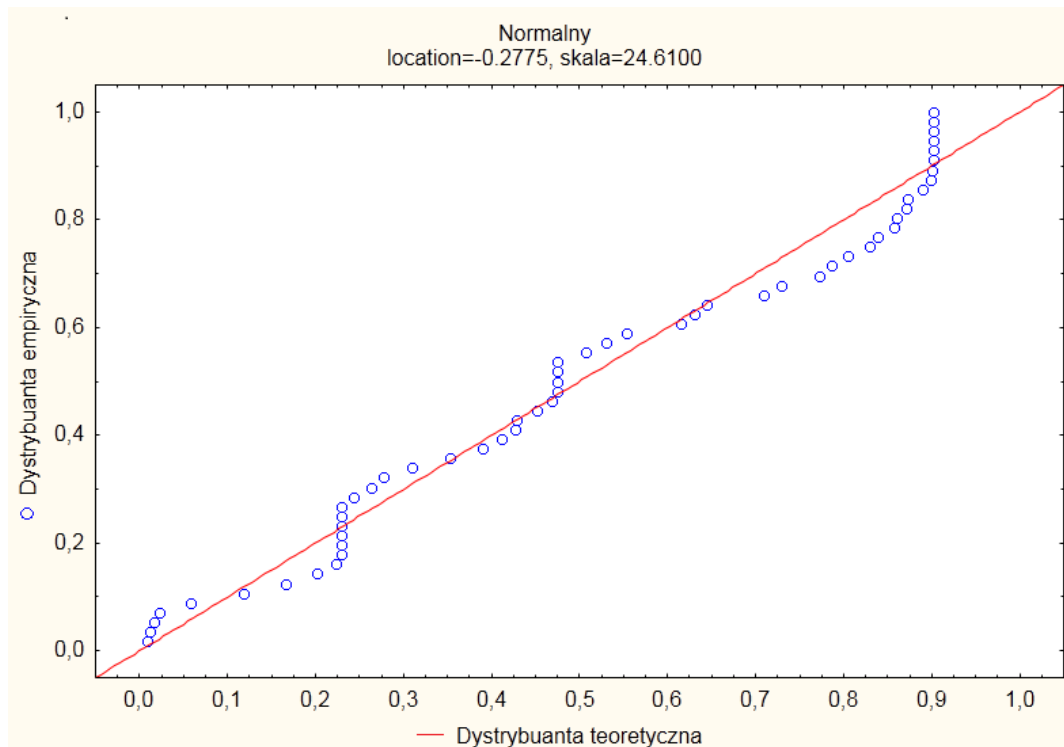
We wszystkich testach zgodności prawdopodobieństwo p jest większe od poziomu istotności $\alpha = 0,05$, co oznacza, że nie ma podstaw do odrzucenia H_0 . Zatem można przyjąć, że dane w próbie *Analiza i projektowanie*, posiadają rozkład normalny.

Badanie rozkładu prawdopodobieństwa dla próby: Zarządzanie



Rys. 3.10 Wykres dystrybuanty empirycznej dla kategorii Zarządzanie

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.11 Wykres typu P-P dla kategorii: Zarządzanie.

Źródło: opracowanie własne.

Dla danych z kategorii *Zarządzanie*, na wykresie prawdopodobieństwa punkty empiryczne rozkładają się wzdłuż linii określającej dystrybuantę rozkładu normalnego. Podobnie sprawa wygląda na rysunku dystrybuanty empirycznej. Zatem z obserwacji wykresów nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 .

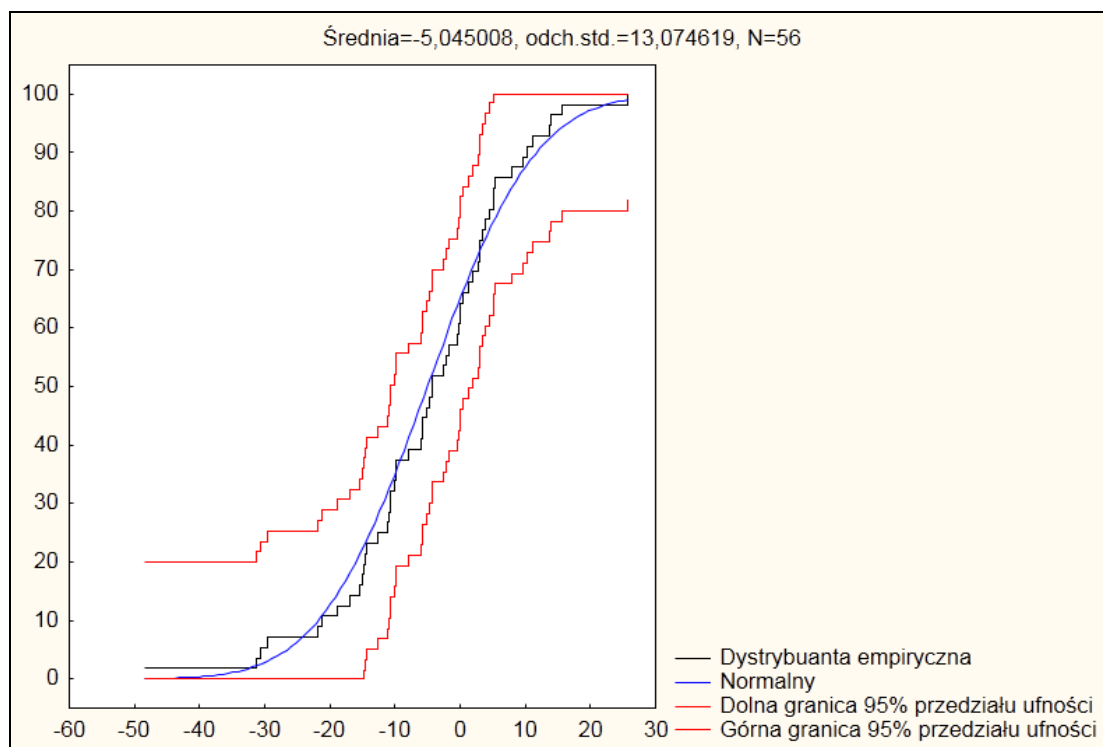
Rodzaj testu							
Kolmogorowa-Smirnowa		Andersona-Darlinga		Chi-kwadrat		Shapiro-Wilka	
λ	p	A	p	χ^2	P	W	P
0,09866	0,61145	0,98699	0,36373	6,35714	0,09546	0,93074	0,08319

Tabela 3.6 Wyniki testów zgodności dla kategorii: Zarządzanie.

Źródło: opracowanie własne.

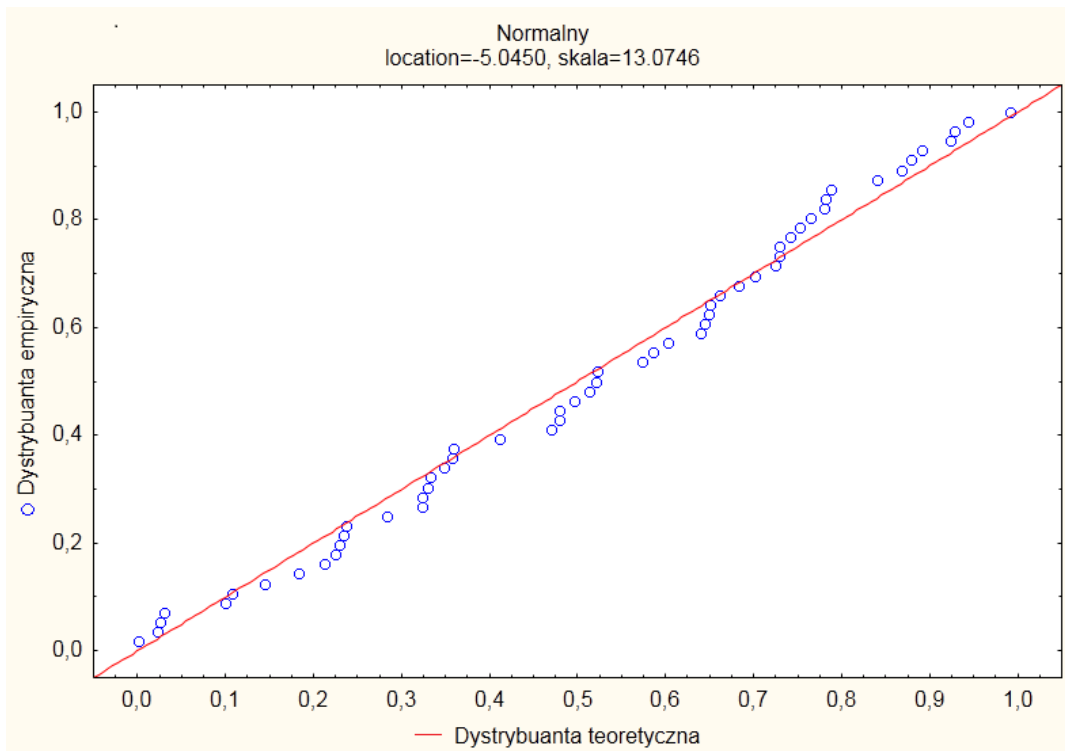
We wszystkich testach zgodności prawdopodobieństwo p jest większe od poziomu istotności $\alpha = 0,05$, co oznacza, że nie ma podstaw do odrzucenia H_0 . Zatem przyjąć można, że dane w próbie *Zarządzanie*, posiadają rozkład normalny.

Badanie rozkładu prawdopodobieństwa dla próby: **Wdrożenie i wsparcie**



Rys. 3.12 Wykres dystrybuanty empirycznej dla kategorii: Wdrożenie i wsparcie.

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3.13 Wykres typu P-P dla kategorii: Wdrożenie i wsparcie.

Źródło: opracowanie własne.

Dla danych z kategorii *Wdrożenie i wsparcie*, na wykresie prawdopodobieństwa punkty empiryczne rozkładają się wzdłuż linii określającej dystrybuantę rozkładu normalnego. Podobnie sprawa wygląda na rysunku dystrybuanty empirycznej. Zatem z obserwacji wykresów nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 .

Rodzaj testu							
Kolmogorowa-Smirnowa		Andersona-Darlinga		Chi-kwadrat		Shapiro-Wilka	
λ	p	A	p	χ^2	P	W	P
0,07736	0,86512	0,46177	0,78539	7,38988	0,28629	0,97003	0,17628

Tabela 3.7 Wyniki testów zgodności dla kategorii: Wdrożenie i wsparcie.

Źródło: opracowanie własne.

We wszystkich testach zgodności prawdopodobieństwo p jest większe od poziomu istotności $\alpha = 0,05$, co oznacza, że nie ma podstaw do odrzucenia H_0 . Zatem można przyjąć, że dane w próbie *Wdrożenie i wsparcie*, posiadają rozkład normalny.

3.4 Wyznaczanie wartości ryzykowanej, jako wartościowej oceny ryzyka projektu informatycznego

Otrzymane wyniki testów, prezentowane w poprzednim podrozdziale, potwierdzające normalny rozkład prawdopodobieństwa odchylenia od wartości średnioważonej struktury projektu informatycznego, umożliwiły zastosowanie metody wariancji-kowariancji dla wyznaczenia wartości ryzykowanej projektu VaR. Drugą metodą, którą zastosowano do osiągnięcia podobnego celu jest metoda symulacji Monte Carlo, przy czym obie metody zostały opisane w rozdziale 2 pracy. Należy podkreślić, że o ile metoda wariancji-kowariancji jest zależna od charakteru rozkładu, to metoda Monte-Carlo nie jest od rodzaju rozkładu zależna. Jak to zostało dalej wykazane, wyniki uzyskane oboma metodami są zbieżne, więc stanowi to kolejne potwierdzenie poprawności prowadzonych wywodów.

3.4.1 Metoda wariancji-kowariancji

Wartość narażona na ryzyko jest wyrażana jako iloczyn zmienności, wartości aktywum oraz percentyla rozkładu normalnego zależnego od zadanego poziomu ufności, co przedstawia poniższy wzór:

$$VaR(i) = c \cdot \sigma(i) \cdot V(i) \quad (3.8)$$

gdzie:

c – percentyl rozkładu normalnego dla wskazanego poziomu ufności,

$\sigma(i)$ – zmienność i - tego aktywum, czyli jego odchylenie standardowe,

$V(i)$ – wartość i - tego aktywum.

Zmienność aktywum jest wyliczana na podstawie odchylenia standardowego stóp zwrotu, które są wyznaczane w oparciu o dane historyczne.

W przypadku projektu informatycznego, szczególnie projektu, który jest w początkowej fazie swej realizacji, występuje deficyt danych historycznych o zachodzących w nim zmianach. Dlatego, podobnie jak w przypadku rynku finansowego, należy posilkiwać się danymi historycznymi aktywów o podobnym charakterze, co w przypadku naszych rozważań oznacza konieczność wykorzystania danych charakterystycznych dla innych projektów informatycznych, dla których takimi danymi historycznymi dysponujemy. Jeśli założyć choćby ograniczoną stacjonarność procesów realizacyjnych, uzyskane dane powinny być wartościowe dla wspomaganie decyzji.

Dane dotyczące projektów informatycznych, znajdujące się w archiwum SRDA, umożliwiają zbadanie pracochłonności z początku oraz z końca realizacji projektu. Dzięki temu dla każdego projektu z wybranej próbki badawczej, wyliczono stopy przyrostu pracochłonności w horyzoncie czasowym wynoszącym jeden miesiąc zgodnie ze wzorem:

$$r_{ki} = \left(\frac{V_{ki0} - V_{ki}}{V_{ki}} \right) / M_i \quad (3.9)$$

gdzie:

$k \in \{W, P, Z, S\}$ – indeks (jeden z czterech) określający kategorię zadań w projekcie, dla której liczona jest stopa przyrostu pracochłonności,

$i = (1, 2, \dots, n)$ – numer kolejnego projektu z próby badawczej,

V_{ki0} – rzeczywista pracochłonność na koniec realizacji i - tego projektu dla kategorii k ,

V_{ki} – planowana pracochłonność z początku realizacji i - tego projektu dla kategorii k ,

M_i – czas realizacji i - tego projektu wyrażony liczbą miesięcy.

Id projektu	Miesięczna stopa przyrostu pracochłonności				
	Cały projekt	W	P	Z	S
15387	11,68%	10,26%	0%	17,55%	0%
45389	23,48%	-1,27%	149,37%	2,03%	0%
54134	12,21%	59,79%	0%	19,69%	-32,71%
56282	49,38%	70,39%	60,33%	-9,22%	0,00%

Tabela 3.8 Stopy przyrostu pracochłonności dla przykładowych projektów

Źródło: opracowanie własne.

Stopy przyrostu pracochłonności zostały wyliczone z uwzględnieniem struktury projektu, czyli w podziale na kategorie zadań. Powstały zbiór obserwacji stóp przyrostu pracochłonności posłużył do wyliczenia zmienności w ujęciu kategorii zadań dla przeciętnej struktury projektu zgodnie ze wzorem:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_{ki} - \bar{r}_k)^2}{n - 1}} \quad (3.10)$$

gdzie:

$k \in \{W, P, Z, S\}$ – indeks (jeden z czterech) określający kategorię zadań w projekcie,

$i = (1, 2, \dots, n)$ – numer kolejnego projektu z próby badawczej,

r_{ki} – wartość stopy przyrostu pracochłonności dla kategorii k , w i - tym projekcie,

\bar{r}_k – średnia arytmetyczna z wartości stóp przyrostu pracochłonności dla kategorii k .

Zmienność pracochłonności projektu dla miesięcznego horyzontu czasowego				
Cały projekt	W	P	Z	S
25,21%	33,58%	39,69%	53,39%	35,33%

Tabela 3.9 Zmienność pracochłonności wyliczona na podstawie danych historycznych.

Źródło: opracowanie własne

Po wyznaczeniu zmienności dla poszczególnych kategorii zadań w projekcie informatycznym wyliczono wartość narażoną na ryzyko dla miesięcznego horyzontu czasowego i poziomu ufności 95% zgodnie ze wzorem:

$$VaR_{ki} = c \cdot \sigma_k \cdot V_{ki} \quad (3.11)$$

gdzie:

$k \in \{W, P, Z, S\}$ – indeks (jeden z czterech) określający kategorię zadań w projekcie,

$i = (1, 2, \dots, n)$ – numer projektu z próby badawczej,

VaR_{ki} – wartość narażona na ryzyko dla kategorii k , w i -tym projekcie,

c – percentyl rozkładu normalnego dla wskazanego poziomu ufności,

σ_k – zmienność pracochłonności w kategorii k ,

i_{ki} – wartość kategorii k , w i -tym projekcie, wyrażona poprzez pracochłonność.

Id projektu	W [osobodni]		P [osobodni]		Z [osobodni]		S [osobodni]	
	Wartość	VaR	Wartość	VaR	Wartość	VaR	Wartość	VaR
1363	3302,50	1824,07	671,50	438,35	799,00	701,63	0,00	0,00
10531	338,33	186,87	338,33	220,86	338,33	297,10	0,00	0,00
22323	415,50	229,49	143,67	93,78	2949,17	2589,77	143,67	83,48
23846	761,00	420,32	0,00	0,00	10081,00	8852,50	426,00	247,54
27581	6,00	3,31	221,00	144,27	29,00	25,47	138,00	80,19
32205	675,00	372,82	0,00	0,00	328,00	288,03	335,00	194,67
39127	2475,67	1367,39	0,00	0,00	2475,67	2173,98	1700,67	988,24
56226	118,00	65,18	0,00	0,00	155,00	136,11	62,00	36,03

Tabela 3.10 Wartość narażona na ryzyko dla poszczególnych kategorii zadań wybranych projektów dla miesięcznego horyzontu czasu oraz poziomie ufności 95%

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie wartości narażonej na ryzyko dla jednego miesiąca można wyznaczyć VaR dla dalszego horyzontu czasowego. Analogicznie jak na rynku finansowym zastosowano skalowanie pierwiastkiem długości badanego okresu, co przedstawia poniższy wzór:

$$VaR_{ki}(t) = \sqrt{\Delta t} \cdot VaR_{ki} = \sqrt{\Delta t} \cdot c \cdot \sigma_k \cdot V_{ki} \quad (3.12)$$

gdzie:

Δt – horyzont czasu, dla którego badana jest wartość narażona na ryzyko.

Id projektu	Czas realizacji projektu	W [osobodni]		P [osobodni]		Z [osobodni]		S [osobodni]	
	Miesiące	Wartość	VaR	Wartość	VaR	Wartość	VaR	Wartość	VaR
1363	16,73	3302,50	7461,83	671,50	1793,17	799,00	2870,20	0,00	0,00
10531	7,10	338,33	497,98	338,33	588,56	338,33	791,73	0,00	0,00
22323	24,56	415,50	1137,30	143,67	464,76	2949,17	12834,13	143,67	413,72
23846	50,63	761,00	2990,81	0,00	0,00	10081,00	62989,87	426,00	1761,40
27581	1,41	6,00	3,94	221,00	171,53	29,00	30,28	138,00	95,35
32205	21,63	675,00	1734,05	0,00	0,00	328,00	1339,66	335,00	905,41
39127	58,29	2475,67	10439,76	0,00	0,00	2475,67	16597,90	1700,67	7545,05
56226	1,32	118,00	76,59	0,00	0,00	155,00	159,94	62,00	42,34

Tabela 3.11 Wartość narażona na ryzyko dla poszczególnych kategorii zadań wybranych projektów dla całego okresu realizacji projektu.

Źródło: opracowanie własne.

W rozprawie przyjęto założenie, że zadania w obrębie jednej kategorii, w ujęciu kosztowym wyrażonym przy pomocy pracochłonności, są wzajemnie niezależne. Jednakże zadania pomiędzy różnymi kategoriami są ze sobą skorelowane, co oznacza, że poszczególne kategorie zadań w projekcie informatycznym są wzajemnie zależne.

Aby obliczyć wartość narażoną na ryzyko dla całego projektu skorzystano z metody wariancji-kowariancji, zgodnie z którą VaR_{PR} portfela wyrażony (po przekształceniach) jest wzorem:

$$VaR_{PR} = \sqrt{VaR \cdot C \cdot VaR^T} \quad (3.13)$$

gdzie:

VaR – wektor wartości narażonych na ryzyko dla poszczególnych instrumentów,

C – macierz korelacji instrumentów wchodzących w skład portfela,

VaR^T – wektor VaR transponowany.

W przypadku projektu informatycznego wektor VaR oraz macierz korelacji C będą następującej postaci:

$$VaR = [VaR_W, VaR_P, VaR_Z, VaR_S] \quad (3.14)$$

gdzie:

VaR_W – wartość narażona na ryzyko dla kategorii *Wytwarzanie*,

VaR_P – wartość narażona na ryzyko dla kategorii *Analiza i projektowanie*,

VaR_Z – wartość narażona na ryzyko dla kategorii *Zarządzanie*,

VaR_S – wartość narażona na ryzyko dla kategorii *Wdrożenie i wsparcie*,

$$C = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{WP} & \rho_{WZ} & \rho_{WS} \\ \rho_{WP} & 1 & \rho_{PZ} & \rho_{PS} \\ \rho_{WZ} & \rho_{PZ} & 1 & \rho_{ZS} \\ \rho_{WS} & \rho_{PS} & \rho_{ZS} & 1 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

gdzie:

ρ_{WP} – współczynnik korelacji pomiędzy kategorią *Wytwarzanie* oraz *Analiza i projektowanie*,

ρ_{WZ} – współczynnik korelacji pomiędzy kategorią *Wytwarzanie* oraz *Zarządzanie*,

ρ_{WS} – współczynnik korelacji pomiędzy kategorią *Wytwarzanie* oraz *Wdrożenie i wsparcie*,

ρ_{PZ} – współczynnik korelacji pomiędzy kategorią *Analiza i projektowanie* oraz *Zarządzanie*,

ρ_{PS} – współczynnik korelacji pomiędzy kategorią *Analiza i projektowanie* oraz *Wdrożenie i wsparcie*,

ρ_{ZS} – współczynnik korelacji pomiędzy kategorią *Zarządzanie* oraz *Wdrożenie i wsparcie*.

Współczynniki korelacji wyznaczono zgodnie ze wzorami:

$$\rho_{WP} = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}} \quad (3.16)$$

$$\rho_{WZ} = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})(z_i - \bar{z})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}} \quad (3.17)$$

$$\rho_{WS} = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})(s_i - \bar{s})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2}} \quad (3.18)$$

$$\rho_{PZ} = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})(z_i - \bar{z})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}} \quad (3.19)$$

$$\rho_{PS} = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})(s_i - \bar{s})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2}} \quad (3.20)$$

$$\rho_{ZS} = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})(s_i - \bar{s})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2}} \quad (3.21)$$

gdzie:

w_i – udział kategorii *Wytwarzanie* w *i* - tym projekcie informatycznym,

\bar{w} – udział kategorii *Wytwarzanie* w przeciętnym projekcie informatycznym,

p_i – udział kategorii *Analiza i projektowanie* w *i* - tym projekcie informatycznym,

\bar{p} – udział kategorii *Analiza i projektowanie* w przeciętnym projekcie informatycznym,

z_i – udział kategorii *Zarządzanie* w *i* - tym projekcie informatycznym,

\bar{z} – udział kategorii *Zarządzanie* w przeciętnym projekcie informatycznym,

s_i – udział kategorii *Wdrożenie i wsparcie* w *i* - tym projekcie informatycznym,

\bar{s} – udział kategorii *Wdrożenie i wsparcie* w przeciętnym projekcie informatycznym.

Uwzględniając powyższy wektor wartości narażonych na ryzyko oraz macierz korelacji otrzymujemy wzór na wyznaczenia VaR_{PR} dla projektu informatycznego w następującej postaci:

$$VaR_{PR} = \sqrt{[VaR_W, VaR_P, VaR_Z, VaR_S] \cdot \begin{bmatrix} 1 & \rho_{WP} & \rho_{WZ} & \rho_{WS} \\ \rho_{WP} & 1 & \rho_{PZ} & \rho_{PS} \\ \rho_{WZ} & \rho_{PZ} & 1 & \rho_{ZS} \\ \rho_{WS} & \rho_{PS} & \rho_{ZS} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} VaR_W \\ VaR_P \\ VaR_Z \\ VaR_S \end{bmatrix}} \quad (3.22)$$

Macierz korelacji poszczególnych kategorii zadań, podobnie jak ich zmienność, została wyznaczona dla przeciętnej struktury projektu. W poprzednim podrozdziale wyznaczono strukturę każdego projektu z próby badawczej. Dane o strukturach poszczególnych projektów potraktowano jako obserwacje dla przeciętnej struktury projektu, co pozwoliło na wyliczenie wartości macierzy korelacji, która przedstawia się następująco:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & -0,41016 & -0,53383 & -0,35832 \\ -0,41016 & 1 & -0,46140 & -0,05119 \\ -0,53383 & -0,46140 & 1 & -0,00758 \\ -0,35832 & -0,05119 & -0,00758 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Po wyznaczeniu macierzy korelacji oraz zbioru wektorów VaR wyznaczono wartości narażone na ryzyko dla poszczególnych projektów zgodnie z teorią portfelową.

Id projektu	Pracochłonność projektu [osobodni]	VaR_{PR} [osobodni]
1363	4773	1305,966
10531	1015	135,223
22323	3652	2425,123
23846	11268	8632,747
27581	394	150,413

32205	1338	303,880
39127	6652	1843,309
56226	335	113,330

Tabela 3.12 Wartość narażona na ryzyko dla przykładowych projektów, jako VaR portfela kategorii dla jednego miesiąca i poziomu ufności 95%, wyznaczona przy pomocy metody wariancji-kowariancji.

Źródło: opracowanie własne.

3.4.2. Metoda wykorzystująca symulację Monte Carlo

Podstawą symulacji stochastycznej, jaką jest metoda Monte Carlo, jest przyjęcie modelu hipotetycznego, odwzorowującego rzeczywistość kształtowania się zdarzeń. Do analizy przyjmuje się dużą liczbę zdarzeń, które są generowane na podstawie liczb losowych generowanych przez komputer. Podobnie jak w metodzie wariancji-kowariancji podstawą wyliczenia wartości narażonej na ryzyko jest wyznaczenie zmienności. W poprzednim podrozdziale została wyznaczona zmienność dla poszczególnych kategorii zadań.

Kolejnym elementem metody Monte Carlo jest wyznaczenie trajektorii ruchu wartości zmiennych losowych, czyli w przypadku niniejszej dysertacji, ruchu pracochłonności poszczególnych kategorii w projekcie informatycznym. Proces ten odbywa się poprzez generowanie liczb losowych, które następnie są przekształcane w rozkład normalny stosując funkcję odwrotną dystrybuanty dla każdej realizacji (liczby). Mając wyznaczoną funkcję odwrotną dystrybuanty zakładamy rozkład normalny standaryzowany o wartości oczekiwanej równej zero i odchyleniu standardowym równym jeden.

Wygenerowane liczby losowe z uwzględnieniem rozkładu normalnego, zmienność oraz wartość danej kategorii zadań są wykorzystywane do wyliczania możliwych zmian pracochłonności danej kategorii.

$$V_{ki}(l) = l \cdot \sigma_k \cdot V_{ki} \quad (3.24)$$

gdzie:

$k \in \{W, P, Z, S\}$ – indeks (jeden z czterech) określający kategorię zadań w projekcie,

$i = (1, 2, \dots, n)$ – numer projektu z próby badawczej,

$V_{ki}(l)$ – wygenerowana wartość dla danej liczby losowej, dla kategorii k , w i – tym projekcie,

l – wygenerowana liczba losowa w rozkładzie normalnym,

σ_k – zmienność dla kategorii k ,

V_{ki} – wartość pracochłonności dla kategorii k , w i – tym projekcie.

Wygenerowane wartości utworzą próbę, na bazie której można wyznaczyć wartość narażoną na ryzyko przy zadanym poziomie ufności, poprzez odczytanie odpowiedniego percentyla (np. dla poziomu 95% dla 10.000 prób, należy wybrać pięćsetną z najniższych wartości).

Id projektu	W [osobodni]		P [osobodni]		Z [osobodni]		S [osobodni]	
	Wartość	VaR	Wartość	VaR	Wartość	VaR	Wartość	VaR
1363	3302,50	1822,73	671,50	439,68	799,00	692,14	0,00	0,00
10531	338,33	188,78	338,33	220,76	338,33	289,67	0,00	0,00
22323	415,50	236,72	143,67	97,19	2949,17	2554,58	143,67	84,46
23846	761,00	425,39	0,00	0,00	10081,00	8884,25	426,00	247,13
27581	6,00	3,37	221,00	147,06	29,00	25,25	138,00	79,73
32205	675,00	380,07	0,00	0,00	328,00	287,13	335,00	195,01
39127	2475,67	1394,38	0,00	0,00	2475,67	2214,82	1700,67	962,73
56226	118,00	65,19	0,00	0,00	155,00	134,36	62,00	35,31

Tabela 3.13 Wartość narażona na ryzyko dla poszczególnych kategorii zadań wybranych projektów dla miesięcznego horyzontu czasu oraz poziomie ufności 95% wyznaczona przy pomocy symulacji Monte Carlo dla 10 000 prób.

Źródło: Obliczenia i opracowanie własne.

W przypadku zastosowania metody Monte Carlo do wyznaczenia wartości ryzykowanej dla całego projektu należy rozwiązać problem generowania zmiennych losowych zależnych. Metody wektorów i wartości własnych oraz dekompozycji Cholesky'ego rozwiązują ten problem poprzez określenie tego typu zmiennych jako funkcji zmiennych niezależnych z uwzględnieniem korelacji.

Rozkład Cholesky'ego jest najczęściej stosowaną metodą, ze względów obliczeniowych. Do wyznaczenia wielowymiarowej zmiennej losowej skorelowanej wykorzystywana jest macierz trójkątna, co znacznie skraca proces obliczeń.

Dekompozycja Cholesky'ego polega na wyznaczeniu rozkładu macierzy korelacji, który spełnia następujący warunek:

$$C = A^T \cdot A \quad (3.25)$$

gdzie:

C – macierz korelacji,

A – macierz trójkątna górna.

Wówczas zmienna losowa uwzględniająca korelację przedstawia się w następujący sposób:

$$Y = A^T \cdot X \quad (3.26)$$

gdzie:

Y – wielowymiarowa zmienna losowa uwzględniająca macierz korelacji,

X – wielowymiarowa zmienna losowa niezależna.

W przypadku metody Monte Carlo zmienną X uzyskuje się w analogiczny sposób jak opisano powyżej. W przypadku niniejszej dysertacji dla każdej kategorii zadań wylosowano liczbę losową z przedziału $[0, 1]$, dla których wyznaczane są następnie wartości z funkcji odwrotnej dystrybuanty rozkładu normalnego standaryzowanego. Zatem, aby wyznaczyć zmienną Y należy wyznaczyć macierz A . Poniżej przedstawiono wyliczone wartości na podstawie macierzy korelacji C .

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -0,41016 & -0,53383 & -0,35832 \\ 0 & 0,91201 & -0,74599 & -0,21727 \\ 0 & 0 & 0,39816 & -0,90653 \\ 0 & 0 & 0 & 0,05099 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Po wyznaczeniu danych niezbędnych do generowania zmiennych losowych skorelowanych, analogicznie jak w przypadku pojedynczej kategorii uzyskano próbę wygenerowanych wartości projektu informatycznego, a wartość ryzykowaną przy zadanym poziomie ufności wyznaczono poprzez odczytanie odpowiedniego percentyla.

Id projektu	Pracochłonność projektu [osobodni]	VaR _{PR} [osobodni]
1363	4773	1291,215
10531	1015	134,326
22323	3652	2449,882
23846	11268	8665,431
27581	394	151,331
32205	1338	300,794
39127	6652	1835,733
56226	335	111,277

Tabela 3.14 Wartość narażona na ryzyko dla przykładowych projektów, jako VaR portfela kategorii dla jednego miesiąca i poziomu ufności 95%, wyznaczona przy pomocy metody Monte-Carlo dla 10.000 prób.

Źródło: Obliczenia i opracowanie własne.

W niniejszym rozdziale, do wyznaczenia wartości ryzykowanej projektu informatycznego, przedstawiono zastosowanie metod wariancji-kowariancji oraz symulacji Monte Carlo, u podstaw których leży zmienność poszczególnych kategorii zadań oraz korelacja między nimi.

Na potrzeby niniejszej rozprawy posłużono się danymi pochodzącymi z archiwum SRDA, która zawiera informacje o projektach zarządzanych w oparciu o platformę <http://SourceForge.net>. Jednakże w przypadku przedsiębiorstw zajmujących się wytwarzaniem oprogramowania, zmienność oraz korelacja kategorii zadań mogłyby być wyznaczone na podstawie danych historycznych o projektach realizowanych przez te podmioty, co w większym stopniu odzwierciedlałoby stan procesu zarządzania projektami informatycznymi w tych przedsiębiorstwach.

Organizacje, które nie posiadałyby danych, na podstawie których można by było wyznaczyć zmienność i korelację poszczególnych kategorii zadań, mogłyby skorzystać z wartości przedstawionych w niniejszej dysertacji. Wówczas przystępując do realizacji projektu informatycznego, wartość ryzykowaną wyznaczałyby w oparciu o dane pochodzące z SourceForge.net. Jednakże w trakcie realizacji projektu informatycznego, zmienność oraz korelacja powinny być korygowane poprzez uwzględnienie zmian w nim zachodzących, co będzie się przekładać na coraz wierniejszy obraz procesu zarządzania projektami informatycznymi w danej firmie.

4. Wykorzystanie podejścia Markowitz'a do minimalizacji ryzyka projektu informatycznego

Teoria portfelowa Markowitz'a sprowadza się do tworzenia tzw. portfeli efektywnych, czyli takich, które maksymalizują dochód przy zadanym ryzyku i minimalizują ryzyko przy zadanym dochodzie. W przypadku projektów informatycznych, traktowanych jako portfele kategorii zadań, badanych w ujęciu kosztowym, podejście to sprowadza się do wyznaczenia projektu informatycznego o minimalnym ryzyku i koszcie, czyli wyznaczeniu minimalnej wartości ryzykowanej.

W poprzednim rozdziale, dla poszczególnych kategorii zadań, zostały wyznaczone stopy przyrostu pracochłonności, zmienność oraz współczynniki korelacji. Elementy te oraz udziały poszczególnych kategorii będą niezbędne do wyznaczenia oczekiwanych stóp przyrostu pracochłonności oraz zmienności, dla projektów informatycznych wchodzących w skład próby badawczej.

Oczekiwane stopy przyrostu pracochłonności poszczególnych projektów informatycznych wyznaczono według wzoru (4.1). Jak łatwo zauważyć jest to średnia ważona stóp przyrostu pracochłonności poszczególnych kategorii, przy czym wagami są udziały kategorii w projekcie informatycznym.

$$r_{PR} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot r_i \quad (4.1)$$

gdzie:

r_{PR} – oczekiwana stopa przyrostu pracochłonności projektu informatycznego,

w_i – udział pracochłonności poszczególnych kategorii zadań w projekcie, dla których spełnio-

ny jest warunek $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

r_i – stopa przyrostu pracochłonności poszczególnych kategorii zadań.

Kolejne indeksy i oznaczają odpowiednio kategorie W, P, Z, S , czyli $n = 4$.

Zmienność poszczególnych projektów informatycznych wyznaczono według wzoru (4.2). Jest ona zależna od zmienności kategorii zadań składających się na projekt oraz korelacji między nimi. W przypadku próby badawczej projektów pochodzących z platformy <http://SourceForge.net> korelacja pomiędzy kategoriami jest ujemna. Z teorii Markowitz'a wy-

nika, że zmienność, czyli ryzyko projektu informatycznego powinno być znacząco mniejsza niż ryzyko poszczególnych kategorii, co wynika ze wzoru:

$$\sigma_{PR} = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n w_i w_j \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}} \quad (4.2)$$

gdzie:

σ_{PR} – zmienność projektu informatycznego,

σ_i – zmienność poszczególnych kategorii zadań,

ρ_{ij} – współczynniki korelacji pomiędzy poszczególnymi kategoriami zadań, w naszym przypadku ujemne, czyli zmniejszające wypadkową zmienność, a więc zmniejszające ryzyko realizacji projektu.

Na rysunku 4.1 przedstawiono wyliczone wartości zgodnie z powyższymi wzorami dla projektów informatycznych z próby badawczej. Kolorem brązowym zaznaczono poszczególne projekty, natomiast niebieskim hipotetyczne projekty informatyczne złożone tylko z jednej kategorii zadań.

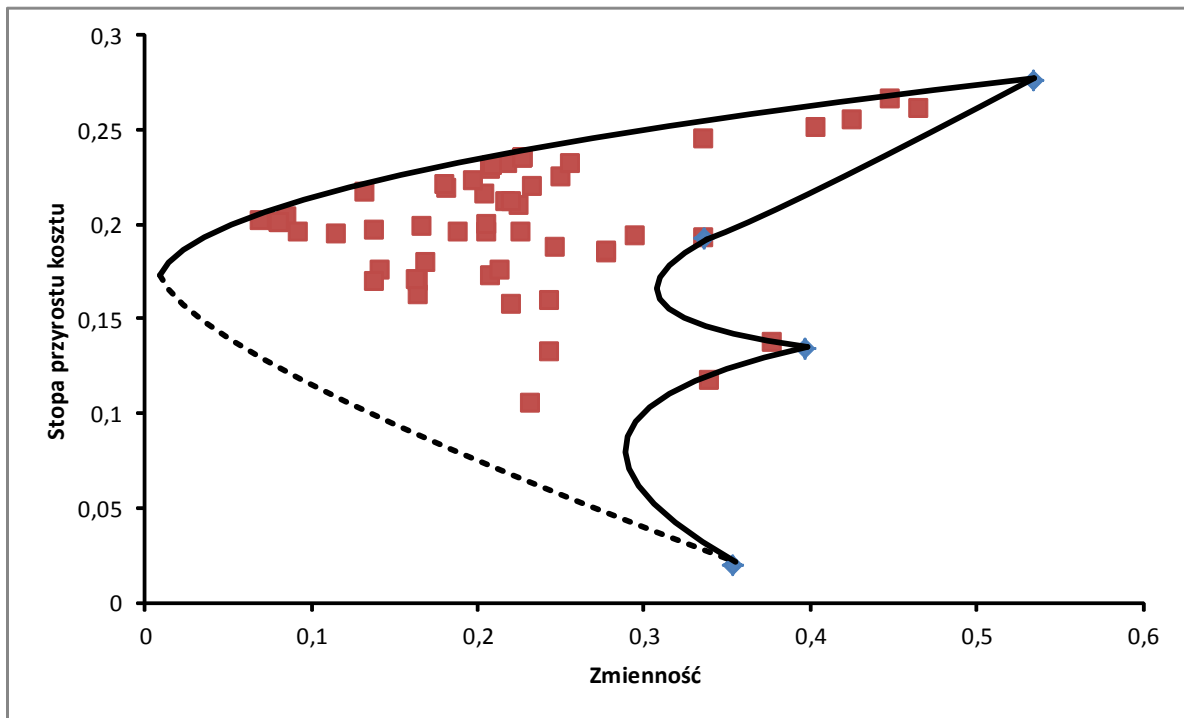
Biorąc pod uwagę wszystkie możliwe wartości udziałów poszczególnych kategorii zadań otrzymano pewną figurę. Figura ta, jej wnętrze oraz zaznaczony brzeg, określa wszystkie możliwe wartości oczekiwanej stopy przyrostu pracochłonności i zmienności projektu informatycznego, które mogą wystąpić przy różnych udziałach poszczególnych kategorii. Określana jest ona mianem zbioru możliwości (ang. *opportunity set*).

Na rysunku linią przerywaną zaznaczono podzbiór projektów informatycznych o minimalnej wartości ryzykowanej. Podzbiór określający te projekty informatyczne, dla których nie można wskazać projektów lepszych, nazywa się granicą efektywną (ang. *efficient frontier*) lub zbiorem efektywnym (*efficient set*). Projekty informatyczne wchodzące w skład tego zbioru, to projekty, które:

- mają minimalną zmienność przy zadanej stopie przyrostu pracochłonności,
- mają minimalną stopę przyrostu pracochłonności przy zadanej zmienności.

Z powyższych rozważań wynika, że Kierownik Projektu powinien tak prowadzić projekt, aby znajdował się on w zbiorze efektywnym lub co najmniej dążył do tego zbioru. W zależności od apetytu na ryzyko, kierownik skłaniający się ku bezpieczniejszym rozwiązaniom będzie dążył do projektów znajdujących się w lewej części zbioru efektywnego, natomiast kie-

rownik mający skłonność do ryzykowania będzie prowadził projekt informatyczny w kierunku prawej części zbioru efektywnego.



Rys. 4.1 Zbiór możliwości projektu informatycznego.

Źródło: opracowanie własne.

Do wyznaczenia zbioru efektywnego niezbędne jest zastosowanie metod optymalizacyjnych, np. programowania matematycznego. Z reguły problem ten jest rozwiązywany przy pomocy metod programowania kwadratowego, które są dostępne w specjalistycznym oprogramowaniu. W przypadku wyznaczenia projektu informatycznego o minimalnym ryzyku lub projektu o minimalnym ryzyku przy zadanej stopie przyrostu pracochłonności skorzystano z rozwiązania uzyskanego przez zastosowanie mnożników Lagrange'a.

4.1 Wyznaczenie projektu informatycznego o minimalnym ryzyku

W rozwiązaniu tego problemu poszukiwana jest minimalna zmienność projektu informatycznego bez względu na stopę przyrostu pracochłonności tego projektu. Udział poszczególnych kategorii zadań w poszukiwanym projekcie informatycznym określony jest wzorem:

$$w^* = C^{-1} \times I \quad (4.3)$$

gdzie:

w^* – wektor $n+1$ – elementowy, przy czym pierwsze n elementów to udziały poszczególnych kategorii zadań w projekcie, a ostatni element to mnożnik Lagrange'a λ ,

C – macierz kwadratowa o wymiarze $n+1$, której elementy określone są następująco:

$$\begin{aligned} c_{ii} &= 2\sigma_i^2, & i &= 1, \dots, n, \\ c_{ij} &= 2\sigma_i\sigma_j\rho_{ij}, & i, j &= 1, \dots, n, \quad i \neq j \\ c_{i,n+1} &= c_{n+1,i} = 1 & i &= 1, \dots, n, \\ c_{n+1,n+1} &= 0 \end{aligned} \quad (4.4)$$

C^{-1} – macierz odwrotna do macierzy C ,

I – wektor $n+1$ – elementowy, przy czym pierwsze n elementów jest równe 0 , a ostatni element jest równy 1 .

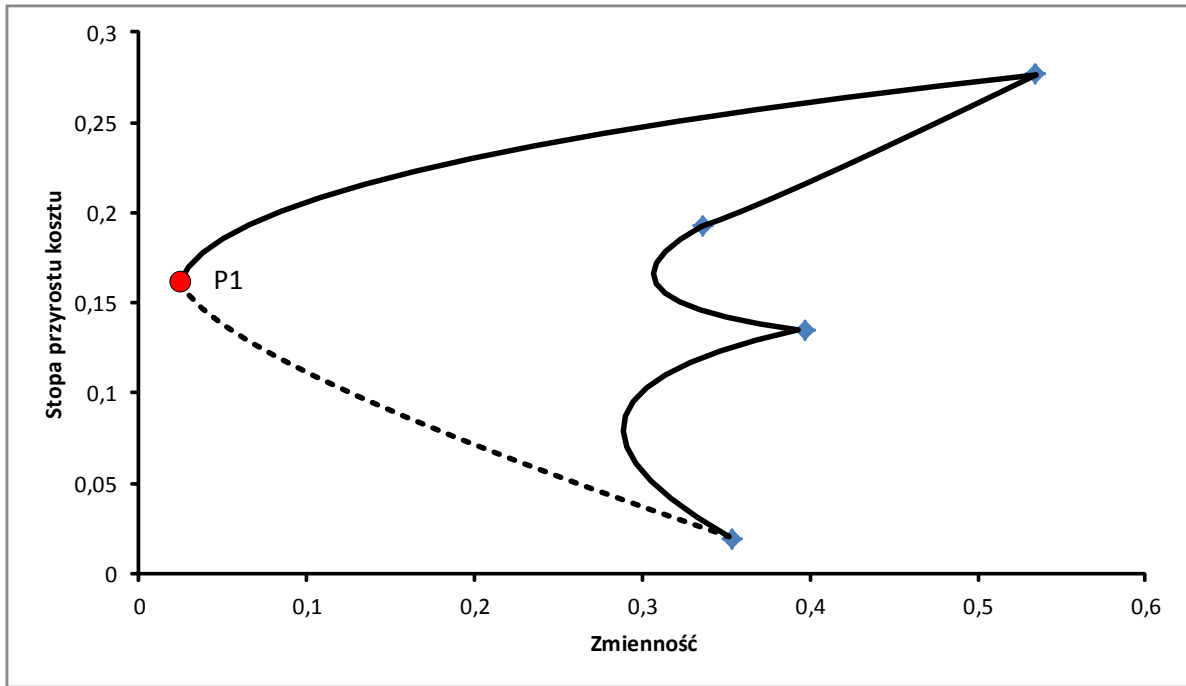
W poprzednim rozdziale zostały wyznaczone współczynniki korelacji oraz zmienność poszczególnych kategorii zadań na podstawie danych historycznych projektów informatycznych zarządzanych na platformie <http://SourceForge.net>. Po podstawieniu tych wartości do wzoru (4.4) otrzymano wektor udziałów poszczególnych kategorii zadań dla projektu informatycznego o minimalnym ryzyku.

$$\begin{bmatrix} 2,221 & -1,192 & -0,290 & -0,739 & 0,355 \\ -1,192 & 2,343 & 0,009 & -1,159 & 0,222 \\ -0,290 & 0,009 & 1,262 & -0,980 & 0,224 \\ -0,739 & -1,159 & -0,980 & 2,879 & 0,199 \\ 0,355 & 0,222 & 0,224 & 0,199 & -0,016 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,355 \\ 0,222 \\ 0,224 \\ 0,199 \\ -0,016 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Z powyższych obliczeń wynika, że projekt informatyczny o minimalnym ryzyku to taki, w którym udziały poszczególnych kategorii zadań wynoszą odpowiednio (dla wyznaczonych wcześniej zmienności i macierzy korelacji):

- Wytwarzanie 35,5%,
- Projektowanie i analiza 22,2%,
- Zarządzanie 22,4%,
- Wdrożenie i wsparcie 19,9%.

Zmienność takiego projektu wynosi: 3%, a oczekiwana stopa przyrostu pracochłonności: 16,4%. Na poniższym rysunku projekt ten oznaczony jest P1. Jak widać jest to projekt bezpieczny, co okupione zostaje jednak wysoką stopą przyrostu pracochłonności.



Rys. 4.2 Projekt informatyczny o minimalnym ryzyku.

Źródło: Obliczenia i opracowanie własne

4.2 Wyznaczenie projektu informatycznego o minimalnym ryzyku przy zadanej stopie przyrostu pracochłonności

Kierownik projektu z apetytem na ryzyko będzie dążył do zmniejszenia stopy przyrostu pracochłonności kosztem zwiększenia ryzyka projektu, czyli zmienności projektu. Udział poszczególnych kategorii zadań w poszukiwanym projekcie informatycznym określony jest wzorem:

$$w^{**} = D^{-1} \cdot I_0 \quad (4.6)$$

gdzie:

w^{**} – wektor $n+2$ – elementowy, przy czym pierwsze n elementów to udziały poszczególnych kategorii zadań w projekcie, natomiast dwa ostatnie elementy to mnożniki Lagrange'a λ i μ ,

C – macierz kwadratowa stopnia $n + 2$, której elementy określone są następująco:

$$\begin{aligned} d_{ii} &= 2\sigma_i^2, & i &= 1, \dots, n, \\ d_{ij} &= 2\sigma_i\sigma_j\rho_{ij}, & i, j &= 1, \dots, n, \quad i \neq j \\ d_{i,n+1} &= d_{n+1,i} = 1, & i &= 1, \dots, n, \\ d_{i,n+2} &= d_{n+2,i} = r_i, & i &= 1, \dots, n, \\ d_{n+1,n+1} &= d_{n+1,n+2} = d_{n+2,n+1} = d_{n+2,n+2} = 0 \end{aligned} \quad (4.7)$$

D^{-1} – macierz odwrotna do macierzy D ,

I_0 – wektor $n+2$, przy czym pierwsze n elementów jest równe 0 , a przedostatni element jest równy 1 , zaś ostatni jest równy zadanej stopie przyrostu pracochłonności portfela.

Przy rozwiązaniu problemu wyznaczenia projektu informatycznego o minimalnym ryzyku przy zadanej stopie przyrostu pracochłonności niezbędna jest znajomość stóp przyrostu pracochłonności poszczególnych kategorii. W poprzednim rozdziale zostały one wyznaczone na podstawie danych historycznych.

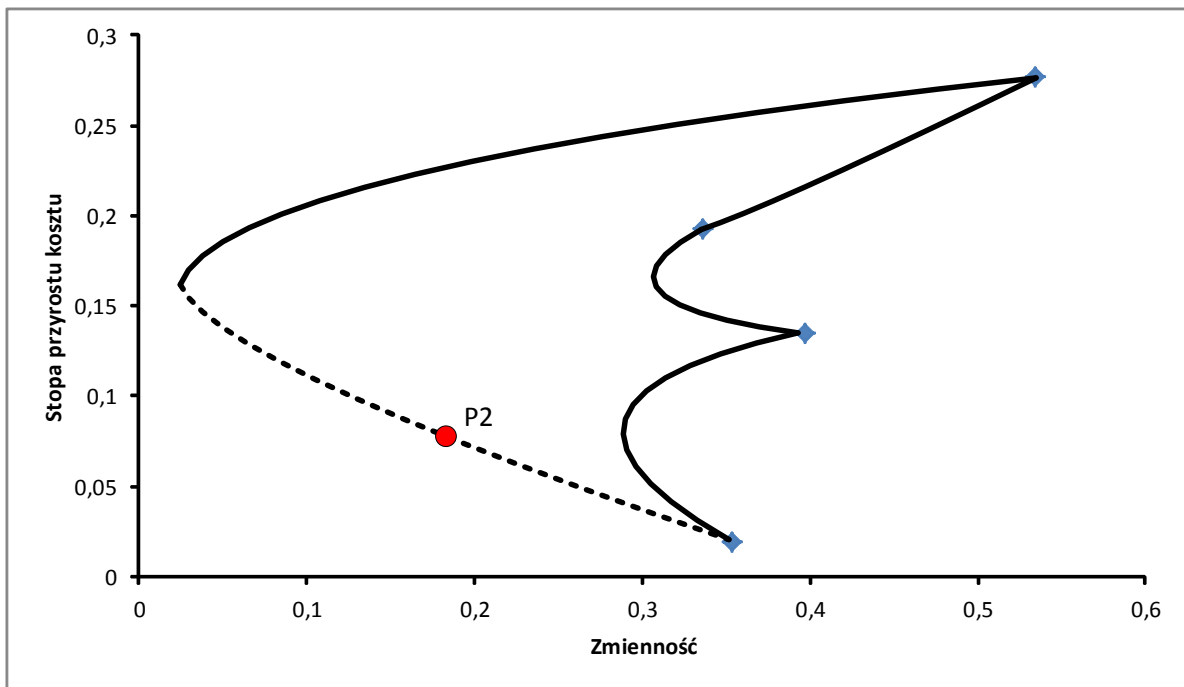
Poniżej zostały przedstawione obliczenia dla projektu o oczekiwanej stopie przyrostu pracochłonności wynoszącej 8%.

$$\begin{bmatrix} 1,946 & -1,296 & -0,729 & 0,080 & 0,094 & 1,595 \\ -1,296 & 2,303 & -0,158 & -0,849 & 0,122 & 0,605 \\ -0,729 & -0,158 & 0,561 & 0,326 & -0,194 & 2,547 \\ 0,080 & -0,849 & 0,326 & 0,443 & 0,977 & -4,747 \\ 0,094 & 0,122 & -0,194 & 0,977 & -0,264 & 1,517 \\ 1,595 & 0,605 & 2,547 & -4,747 & 1,517 & -9,253 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0,08 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,221 \\ 0,171 \\ 0,010 \\ 0,598 \\ -0,143 \\ 0,777 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Projekt informatyczny o minimalnym ryzyku, przy zadanej stopie przyrostu pracochłonności równej 8% to taki projekt, w którym udziały poszczególnych kategorii wynoszą odpowiednio:

- Wytwarzanie 22,1%,
- Projektowanie i analiza 17,1%,
- Zarządzanie 1%,
- Wdrożenie i wsparcie 59,8%.

Zmienność dla takiego projektu wynosi 19,3%. Na poniższym rysunku projekt ten zaznaczony jest punktem P2. Jak łatwo zauważyć z powyższych obliczeń, zmienność projektu informatycznego wzrosła znacznie bardziej w stosunku do obniżenia stopy przyrostu pracochłonności projektu.



Rys. 4.3 Projekt o minimalnym ryzyku dla stopy przyrostu pracochłonności 8%.

Źródło: Obliczenia i opracowanie własne

Zakładając, że całkowita pracochłonność projektu informatycznego P1 jest taka sama jak projektu P2 i wynosi np. 4773, wówczas wartość narażona na ryzyko dla miesięcznego horyzontu czasowego oraz poziomu ufności 95% wynosi odpowiednio 384 i 1526,12. Jak więc widać projekt P2 jest znacząco bardziej ryzykowny niż P1.

Pamiętać jednak należy, że w przypadku pierwszego projektu oczekiwana stopa wzrostu pracochłonności wynosi 16,4%, a w przypadku drugiego 8%. Oznacza to, że zakładane koszty projektów P1 i P2 zwiększą się odpowiednio o 782,5 i 381.84, co w tym przypadku stawia pierwszy projekt w gorszym świetle. Projekt P1 jest więc projektem bezpiecznym o małym ryzyku, jednak zakładany poziom przyrostu kosztów (wynikający z danych historycznych) jest znaczący. Natomiast projekt P2 jest projektem bardziej ryzykownym, ale z mniejszym, zakładanym poziomem przyrostu kosztów. Kierownik projektu, który jest skłonny do podejmowania ryzyka może wybrać projekt P2, który w sprzyjających okolicznościach może wypaść korzystniej niż projekt P1, czyli jego realizacja może pochłonąć mniej kosztów.

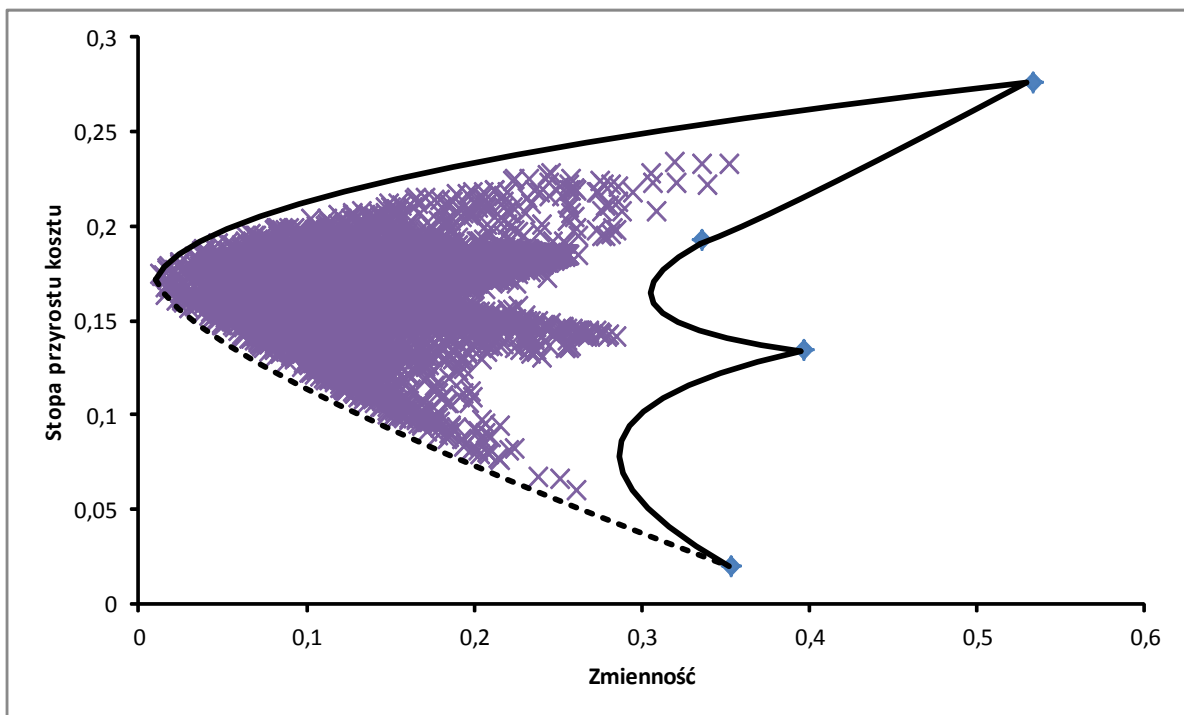
Kierownik projektu, zarządzając projektem informatycznym, zazwyczaj wykorzystuje do tego celu jedną z powszechnie stosowanych metodyk formalnych (np. *Rational Unified Process*) lub zwinnych (np. *Scrum*), które zakładają określony poziom poszczególnych kategorii zadań w projekcie. Zatem należy nałożyć dodatkowe warunki na problemy opisane powyżej dotyczące wyznaczania projektów informatycznych o minimalnym ryzyku.

W takim przypadku należy rozważyć problem wyznaczenia zbioru efektywnego projektów informatycznych, których kategorie zadań będą spełniały warunek minimalnego udziału wskazanego przez kierownika projektu.

Posługując się metodą symulacji Monte Carlo wyznaczono zbiór możliwości ograniczony do projektów informatycznych, w których poszczególne kategorie zadań spełniają postawione warunki minimalnego udziału.

Na poniższym rysunku przedstawiono w sposób graficzny przykładowe rozwiązanie obrazujące zbiór możliwości projektów informatycznych, które spełniają warunki minimalnego udziału poszczególnych kategorii zadań w sposób następujący:

- Wywarzanie 10%,
- Analiza i projektowanie 5%,
- Zarządzanie 5%,
- Wdrożenie i wsparcie 5%.



Rys. 4.4 Wygenerowane projekty informatyczne spełniające warunek minimalnego udziału dla poszczególnych kategorii zadań.

Źródło: Obliczenia i opracowanie własne.

Na podstawie otrzymanych danych w wyniku symulacji, został wyznaczony zbiór efektywnych projektów informatycznych będący dolną granicą zbioru możliwości. Wygenerowane hipotetyczne projekty informatyczne stanowią drogowskaz dla kierownika projektu określając strukturę projektu, do jakiej powinien on dążyć w celu minimalizacji ryzyka i stopy przyrostu pracochłonności. Oczywiście rozłożenie ciężaru pomiędzy zmiennością i stopą przyrostu pracochłonności zależy od apetytu na ryzyko, jaki wykazuje kierownik projektu, w zależności od swoich umiejętności oraz warunków, w jakich prowadzonych jest projekt.

Stopa przyrostu pracochłonności	Zmienność	W	P	Z	S
16,67%	0,90%	37,04%	25,97%	20,72%	16,26%
16,85%	0,88%	38,02%	25,89%	20,81%	15,28%
16,57%	1,30%	34,70%	27,44%	21,28%	16,59%
16,51%	1,46%	37,60%	24,97%	20,18%	17,25%
16,75%	1,25%	38,35%	25,16%	20,53%	15,96%
16,25%	1,87%	35,44%	25,04%	20,60%	18,92%
16,72%	1,66%	37,45%	28,60%	19,50%	14,45%
16,59%	1,97%	39,36%	25,15%	19,24%	16,25%

Tabela 4.1 Wybrane, bezpieczne projekty ze zbioru efektywnego z nałożonym warunkiem minimalnego udziału poszczególnych kategorii, otrzymane w wyniku symulacji Monte Carlo.

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4.1 przedstawia strukturę wybranych projektów otrzymanych w wyniku symulacji Monte Carlo, wchodzących w skład zbioru efektywnego, które spełniają postawiony warunek o minimalnym udziale poszczególnych kategorii, oraz których ryzyko nie przekracza 5%, co obrazuje lewą stronę zbioru efektywnego.

Stopa przyrostu pracochłonności	Zmienność	W	P	Z	S
8,50%	18,55%	18,73%	17,64%	5,01%	58,62%
8,56%	18,84%	22,37%	11,29%	5,63%	60,71%
8,69%	18,85%	26,03%	8,25%	5,02%	60,70%
8,73%	18,84%	23,19%	9,36%	6,58%	60,87%
8,76%	18,95%	11,50%	24,77%	7,68%	56,05%

Stopa przyrostu pracochłonności	Zmienność	W	P	Z	S
8,79%	18,08%	20,03%	15,77%	6,07%	58,12%
8,89%	18,20%	14,10%	25,26%	6,22%	54,42%

Tabela 4.2 Wybrane, ryzykowne projekty ze zbioru efektywnego z nałożonym warunkiem minimalnego udziału poszczególnych kategorii, otrzymane w wyniku symulacji Monte Carlo

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4.2 przedstawia z kolei strukturę projektów informatycznych, obrazujących prawą stronę zbioru efektywnego, powstałego w wyniku symulacji, których stopa przyrostu pracochłonności nie przekracza 8%, a zmienność, czyli ryzyko 19%.

Zakończenie i wnioski końcowe

Zaproponowana i zaprezentowana w rozprawie metoda wartościowej oceny ryzyka projektów informatycznych stanowi nowe podejście do oceny ryzyka projektów informatycznych. Poprzez wykorzystanie koncepcji wartości ryzykowanej VaR, udało się uzyskać algorytm obiektywnej informacji o poziomie ryzyka planowanego bądź realizowanego projektu informatycznego. Opracowana metoda wykorzystuje skomplikowany algorytm obliczeniowy, który wykorzystuje kategoryzację zadań projektowych. W pracy zaproponowano także kategoryzację zadań pracochłonności poszczególnych kategorii zadań projektowych z obszarów *Wytwarzania (W)*, *Analizy i projektowania (P)*, *Zarządzania (Z)*, *Wdrożenia i wsparcia (S)*. Estymacja wartościowej oceny ryzyka wymaga z jednej strony danych pochodzących z realizowanego projektu, z drugiej zaś – danych historycznych. Dane historyczne na potrzeby dysertacji zostały pozyskane, przygotowane i opracowane w oparciu o projekty dostępne na platformie <http://SourceForge.net>.

Zadaniem przedstawionej w dysertacji metody wartościowej oceny ryzyka projektu jest wspomaganie procesów podejmowania decyzji przy planowaniu i realizacji przedsięwzięcia informatycznego. Biorąc pod uwagę negatywny wpływ subiektywizmu towarzyszącego sposobom oceny ryzyka projektu, wykazano, że wartościowa ocena stanowić może metodę obiektywną, czyli pozbawioną podstawowych wad dotychczas stosowanych metod.

Obiektywizm metody wynika z faktu wykorzystywania kryterium wartości ryzykowanej, którą daje się wyliczyć obiektywnie. Do konstrukcji algorytmu nie są wykorzystywane żadne informacje wynikające z subiektywnej oceny decydentów projektu. Metoda daje podstawy do stworzenia systemu automatycznego wspomaganie decyzji (ang. *Decision Support System*) poprzez wykorzystanie obiektywnej wartości ryzyka nie wskazując jednak, jakie decyzje w wyniku otrzymanych wartości mają zostać podjęte.

Oczywistym jest fakt, że ryzyko każdego projektu jest ryzykiem organizacji odpowiedzialnej za jego realizację. Zaproponowana metoda wartościowej oceny ryzyka projektu wspiera proces zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie, wskazując poziom wymagań dotyczących wydolności kapitałowej i struktury projektu. Nie bez znaczenia jest również wykorzystanie wartościowej metody oceny ryzyka projektu informatycznego do ograniczania ekspozycji przedsiębiorstwa na ryzyko w obszarze realizowanych równolegle kilku projektów informatycznych.

Dodatkowym, ale bardzo ciekawym, elementem pracy jest zaprezentowany w rozdziale czwartym algorytm minimalizacji ryzyka projektu informatycznego przygotowany w oparciu o teorię portfelową Markowitz'a. W ramach jej zastosowania możliwe jest optymalizowanie ekspozycji na ryzyko projektu informatycznego poprzez świadomy dobór struktury. Wybór projektu o zadanym poziomie ryzyka wynika z decyzji osób zaangażowanych w projekt, jednak powinien być on ograniczony tzw. granicą efektywną. W dysertacji projekty informatyczne zostały poddane analizie w ujęciu kosztowym poprzez wyznaczenie wartościowej oceny ryzyka. Projekty potraktowano jako zbiory aktywności składające się z opisanych w trzecim rozdziale kategorii zadań. Takie podejście pozwoliło wyznaczyć projekty informatyczne o minimalnym ryzyku i minimalnym koszcie realizacji, co sprowadziło się do wyznaczenia minimalnej wartości ryzykowanej z wykorzystaniem metody mnożników Lagrange'a.

Opracowanie metody wartościowej oceny ryzyka projektu informatycznego w oparciu o koncepcję wartości ryzykowanej VaR oraz racjonalizacja ryzyka projektu w wymiarze wartościowym, stanowi nowe i niespotykane dotychczas w literaturze rozwiązanie z zakresu systemów wyznaczania wartości ryzyka projektu informatycznego. Oba podejścia stosowane były dotychczas w obszarze finansów z dużym powodzeniem, w celu zapewnienia stabilności działania wielu instytucji.

Zaproponowana w dysertacji metoda wartościowej oceny ryzyka projektu informatycznego ma na celu stworzenie teoretycznych podstaw do ograniczania ryzyka ponoszonego przez instytucje realizujące projekty informatyczne. Dzięki zastosowaniu proponowanej metody można uzyskać wiedzę na temat całkowitej ekspozycji na ryzyko w wymiarze wartościowym, czyli wiedzę obiektywną. Odnosząc to do możliwości finansowych organizacji realizującej projekt informatyczny, otrzymywana jest odpowiedź na pytanie, czy na realizację określonego projektu organizacja jest przygotowana, a więc czy ryzyko oceniane w wymiarze wartościowym organizacja może przyjąć.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz ich analizy udowodniona została hipoteza postawiona w dysertacji, która zakładała, że:

Możliwe jest dokonanie wartościowej oceny ryzyka projektów informatycznych, przy wykorzystaniu podejścia Value at Risk dla oceny możliwej do wystąpienia straty w trakcie realizacji projektu informatycznego i w ten sposób uzyska się polepszenie liczbowej reprezentacji ryzyka, jak też otrzymane zostanie narzędzie dla konstrukcji systemu wspomagania decyzji.

Wykorzystana w rozprawie baza projektów informatycznych pozyskana z platformy <http://SourceForge.net> pozwala na przeprowadzenie procesu diagnostycznego, w wyniku którego otrzymana została struktura tzw. średniego projektu informatycznego, będącego podstawą do dalszych analiz. Baza projektów informatycznych może zostać z powodzeniem wykorzystana do oceny ryzyka w organizacji realizującej projekty informatyczne, chociaż rozwiązaniem lepszym, wydaje się być utworzenie własnej bazy projektów i ich analiza w oparciu o przedstawiony w pracy sposób postępowania.

Ze względu na rozkład prawdopodobieństwa danych pozyskanych z platformy <http://SourceForge.net> w dysertacji do oceny wartościowej ryzyka projektu informatycznego zastosowano metodę wariacji-kowariancji oraz metodę Monte Carlo. Należy zauważyć, że dobór metod zależy od charakteru danych, na podstawie których dokonywana jest ocena i nie zawsze wykorzystanie każdej z metod jest możliwe. W dysertacji wskazano też na inne możliwe rozwiązania estymacji wartości ryzykowanej, będącej podstawą do wyznaczenia wartościowej oceny ryzyka projektu informatycznego. Ich szeroki opis znaleźć można w ogromnej dzisiaj literaturze przedmiotu, na uwagę zasługują publikacje P.Besta [Best2000] czy C. Butlera [Butler2001]. Ich głębszą lekturę pozostawia się zainteresowanym, prowadzącym wartościową analizę ryzyka na potrzeby własnych projektów informatycznych i nie tylko informatycznych, bowiem należy podkreślić, że prezentowana metoda może być stosowana do innych rodzajów projektów.

Wartością dodatkową dysertacji jest analiza repozytorium projektów informatycznych przeznaczonych do celów badawczych zarejestrowanych na platformie <http://SourceForge.net>. Proces pozyskiwania wiedzy z archiwum SRDA, wymagał opracowania narzędzia bazodanowego dla ponad 300.000 projektów. Wszystkie zapytania do bazy danych PostgreSQL miały charakter autorski i nie zostały wcześniej opracowane ani wykorzystane na potrzeby jakiegokolwiek innych analiz. W wyniku zapytań otrzymano informację między innymi na temat zawartości oraz zależności pomiędzy tabelami tworzącymi bazę danych <http://SourceForge.net>.

Metoda wartościowej oceny ryzyka projektu informatycznego może być skutecznie wykorzystywana w pracy przy projektach informatycznych, szczególnie w pracy Kierownika Projektu odpowiedzialnego za proces zarządzania jego ryzykiem. Zastosowanie metody w praktyce może dawać podstawę do podjęcia zasadniczych decyzji w ramach realizacji projektu. Oszacowana wartość ryzyka uzyskana dzięki zastosowanej metodzie jest miarą spójną, a przy okazji łatwą do prezentacji, przez co w sposób czytelny przedstawia Zarządowi, Komitetowi Sterującemu lub innym organom decyzyjnym (w projekcie lub organizacji) poziom ry-

zyka, na które narażony jest projekt. Zastosowanie metody wartościowej oceny ryzyka nie jest aktywnością wymagającą znacznych nakładów inwestycyjnych. Informacje pozyskane dzięki zastosowaniu metody w znaczny sposób polepszają prezentację wartościowej oceny ryzyka w projekcie, wspomagając proces zarządzania ryzykiem w obszarze oceny, monitoringu oraz kontroli ryzyka.

W pracy zostały zaprezentowane opracowania oraz nowe rozwiązania, które wzbogacają wiedzę informatyczną, a w szczególności:

- określono strukturę średnioważoną pracochłonności projektu informatycznego według zaproponowanej kategoryzacji zadań projektowych,
- przedstawiono liczbową identyfikację ryzyka w obszarze zadań projektu informatycznego,
- zidentyfikowano projekt informatyczny, jako kompozycję portfelową w obszarze kategorii zadań,
- opracowano metodę wartościowej oceny ryzyka projektu informatycznego wykorzystującą podejście VaR,
- zaproponowano nową metodę poszukiwania projektów informatycznych o minimalnym ryzyku niepowodzenia.

Na potrzeby metody wartościowej oceny ryzyka projektu informatycznego zostały zaadoptowane następujące elementy pochodzące z różnych obszarów nauki i różnych źródeł:

- metoda VaR (ang. Value at Risk) stosowana do wyliczenia wartości ryzykowanej portfela aktywów finansowych,
- metoda wariancji-kowariancji wykorzystywana do wyznaczania VaR dla danych o normalnym rozkładzie prawdopodobieństwa,
- metoda Monte Carlo wykorzystywana do wyznaczania wartości ryzykowanej,
- teoria portfelowa Markowitz'a wykorzystywana przy wyborze portfeli efektywnych.

Prezentowana rozprawa z całą pewnością nie wyczerpuje wszystkich potrzeb i możliwości zmniejszenia ryzyka prowadzenia projektów informatycznych, jak też nie wskazuje, jakie decyzje należy podjąć w ramach ujawnionego w sposób wartościowy ryzyka, ale daje wystarczające podstawy teoretyczne do prac, zmierzających do zrealizowania praktycznego systemu wspomagania decyzji dotyczących obszaru ryzyka w prowadzeniu projektu informatycznego, poprzez umożliwienie budowy bazy wiedzy o ryzykach projektów informatycznych. Temat

ten wydaje się być na tyle interesujący, że będzie poddany analizie w trakcie dalszych badań i rozważań.

Załączniki

Załącznik nr 1. Zapytania SQL wykorzystywane na etapie pozyskiwania danych

Liczba zadań w podprojekcie.

```
SELECT    t2.group_project_id, COUNT(t1.project_task_id)
FROM      sf0211.project_task t1, sf0211.project_group_list t2
WHERE     t1.group_project_id = t2.group_project_id GROUP BY
          t2.group_project_id ORDER BY t2.group_project_id
```

Liczba zadań w projektach.

```
SELECT    t2.group_id, COUNT(t1.project_task_id)
FROM      sf0211.project_task t1, sf0211.project_group_list t2
WHERE     t1.group_project_id = t2.group_project_id GROUP BY
          t2.group_id ORDER BY t2.group_id
```

Czas realizacji projektu.

```
SELECT    t1.project_task_id, (MAX(t1.end_date) -
                               MIN(t1.start_date))/86400 +1
FROM      sf0211.project_task t1
WHERE     true GROUP BY t1.project_task_id ORDER BY
          t1.project_task_id
```

Liczba osób przypisanych do projektu.

```
SELECT    t1.group_project_id,
          COUNT(DISTINCT(t2.assigned_to_id))
FROM      sf0211.project_task t1, sf0211.project_assigned_to
          t2
WHERE     t2.project_task_id = t1.project_task_id GROUP BY
          t1.group_project_id
```

Liczba projektów, na które składa się co najmniej jedno zadanie.

```
SELECT    COUNT(*)
FROM      (SELECT t1.group_project_id as pt_group_id,
                COUNT(distinct(t1.project_task_id)) as pt_count1
           FROM sf0211.project_task t1 WHERE true GROUP BY
                t1.group_project_id) as pt
WHERE     pt.pt_count1 >= 1
```

Liczba projektów, do których zostały przypisane co najmniej dwie osoby.

```
SELECT    COUNT(*)
FROM      (SELECT t1.group_project_id,
                COUNT(DISTINCT(t2.assigned_to_id)) as u_count FROM
                sf0211.project_task t1, sf0211.project_assigned_to t2
           WHERE t2.project_task_id = t1.project_task_id GROUP
                BY t1.group_project_id) as u
WHERE     u_count = 2
```

Liczba projektów, do których została przypisana co najmniej jedna rola.

```
SELECT    COUNT(*)
```

```

FROM      (SELECT t1.group_project_id,
COUNT(DISTINCT(t4.member_role)) as r_count FROM
sf0211.project_task t1, sf0211.project_assigned_to
t2, sf0211.project_group_list t3, sf0211.user_group
t4 WHERE t2.project_task_id = t1.project_task_id AND
t3.group_project_id = t1.group_project_id AND
t4.user_id = t2.assigned_to_id GROUP BY
t1.group_project_id ORDER BY t1.group_project_id) as
r
WHERE     r.r_count = 1

```

Liczba projektów trwających do 10 dni.

```

SELECT    COUNT(*)
FROM      (SELECT t1.group_project_id, ((MAX(t1.end_date) -
MIN(t1.start_date))/86400 +1) as p_time FROM
sf0211.project_task t1 WHERE true GROUP BY
t1.group_project_id ORDER BY t1.group_project_id) as
p
WHERE     p.p_time <= 10

```

Liczba projektów, w których uczestniczy(ł) *Developer*. Zapytanie to było powtórzone dla pozostałych ról zdefiniowanych na platformie SourceForge.net.

```

SELECT    COUNT(DISTINCT(t1.group_project_id))
FROM      sf0211.project_task t1, sf0211.project_assigned_to
t2, sf0211.user_group t3
WHERE     t3.member_role = 1 AND t3.user_id = t2.assigned_to_id
AND t2.project_task_id = t1.project_task_id

```

Liczba różnych ról w projekcie.

```

SELECT    t1.group_project_id, COUNT(DISTINCT(t4.member_role))
FROM      sf0211.project_task t1, sf0211.project_assigned_to
t2, sf0211.project_group_list t3, sf0211.user_group
t4
WHERE     t2.project_task_id = t1.project_task_id AND
t3.group_project_id = t1.group_project_id AND
t4.user_id = t2.assigned_to_id GROUP BY
t1.group_project_id ORDER BY t1.group_project_id

```

Zdefiniowane role na platformie SourceForge.net.

```

SELECT    * FROM sf0810.people_job_category

```

Informacje o zadaniach projektowych.

```

SELECT    t1.group_project_id, t1.project_task_id,
t1.start_date, t1.end_date, t2.assigned_to_id,
t3.member_role
FROM      sf0211.project_task t1, sf0211.project_assigned_to
t2, sf0211.user_group t3
WHERE     t2.project_task_id = t1.project_task_id AND
t2.assigned_to_id = t3.user_id AND t2.assigned_to_id

```



```

<> '100' ORDER BY t1.group_project_id,
t1.project_task_id, t2.assigned_to_id

```

Informacje o zadaniach projektowych – dane historyczne dla wybranych projektów. Zapytanie to było powtórzone dla pozostałych projektów z próby badawczej z uwzględnieniem daty rozpoczęcia projektu, co implikowało konieczność sięgnięcia do innych danych archiwalnych (np. sf1204 – grudzień 2004).

```

SELECT      t1.group_project_id, t1.project_task_id,
            t1.start_date, t1.end_date, t2.assigned_to_id,
            t3.member_role
FROM        sf0508.project_task t1, sf0508.project_assigned_to
            t2, sf0508.user_group t3
WHERE       t2.project_task_id = t1.project_task_id AND
            t2.assigned_to_id = t3.user_id AND
            t1.group_project_id IN (56226, 56282) ORDER BY
            t1.group_project_id, t1.project_task_id

```

Lista projektów, z których każdy złożony jest z co najmniej 10 zadań oraz w każdym uczestniczą co najmniej 4 role.

```

SELECT      *
FROM        (SELECT t1.group_project_id,
count(distinct(t4.member_role)) as ttt_count FROM
sf0211.project_task t1, sf0211.project_assigned_to
t2, sf0211.project_group_list t3, sf0211.user_group
t4, (SELECT t1.group_project_id as tt_group_id,
count(distinct(t1.project_task_id)) as tt_count1,
count(distinct(t2.project_task_id)) as tt_count2 FROM
sf0211.project_task t1, sf0211.project_assigned_to t2
WHERE t2.project_task_id = t1.project_task_id AND
t2.assigned_to_id <> 100 GROUP BY
t1.group_project_id) as tt WHERE tt.tt_count1 >= 10
AND t1.group_project_id = tt.tt_group_id AND
t2.project_task_id = t1.project_task_id AND
t3.group_project_id = t1.group_project_id AND
t4.user_id = t2.assigned_to_id GROUP BY
t1.group_project_id) as ttt
WHERE       ttt.ttt_count >=4

```

Załącznik nr 2. Charakterystyka obiektów badawczych

Liczba zadań	Liczba projektów
0	34040
1	19713
2	12555
3	8629
4	6134
5	4568
6	3565
7	2893
8	2454
9	2076
10	1801
11	1543
12	1344
13	1171
14	1044
15	941
16	852
17	772
18	703
19	631
20	572
21	525
22	483
23	442
24	410
25	378
26	349
27	328
28	312
29	293
30	279

Tabela Z2.1 Liczba projektów w stosunku do liczby zadań w projekcie.

Źródło: Opracowanie własne.

Czas realizacji projektu (dni)	Liczba projektów
10	6173
20	1765
30	1076
40	1871
50	648
60	498
70	842
80	302
90	280
100	511
110	221
120	191
130	341
140	135
150	127

Tabela Z2.2 Liczba projektów w stosunku do czasu realizacji projektu.

Źródło: Opracowanie własne.

Rola / pełniona funkcja	Udział
Developer	33,12%
Project Manager	28,16%
Advisor/Mentor/Consultant	1,49%
Web Designer	1,23%
Graphic/Other Designer	1,00%
Unix Admin	0,89%
Tester	0,75%
Analysis / Design	0,73%
Doc Writer	0,61%
Translator (I18N/L10N)	0,42%
Packager (.rpm, .deb etc)	0,41%
Porter (Cross Platform Devel.)	0,41%
Requirements Engineering	0,34%
Support Manager	0,25%
Content Management	0,23%
Editorial/Content Writer	0,20%
User Interface (UI) Designer	0,16%
Support Technician	0,16%
Distributor/Promoter	0,11%
DBA (Database Administrator)	0,05%
Director of Operations	0,02%

Systems Programmer/Analyst	0,02%
Researcher	0,01%
Sr. Customer Support Manager	0,01%
Technical Support Analyst	0,01%
Build Engineer	0,00%
VP of Media Operations	0,00%

Tabela Z2.3 Udział ról i funkcji w projektach informatycznych.

Źródło: Opracowanie własne.

Liczba różnych ról w projekcie	Liczba projektów
1	6387
2	4558
3	2176
4	619
5	198
6	48
7	20
8	6
9	1
10	0

Tabela Z2.4 Liczba projektów w zależności od różnych ról członków zespołu.

Źródło: opracowanie własne.

Liczba osób w projekcie	Liczba projektów
1	13704
2	4136
3	1093
4	372
5	178
6	96
7	56
8	33
9	19
10	26

Tabela Z2.5 Liczba projektów w zależności od liczby osób przypisanych do projektu.

Źródło: Opracowanie własne.

Id projektu	Wytwarzanie	Analiza i projektowanie	Zarządzanie	Wdrożenie i wsparcie
1363	69%	14%	17%	0%
4044	80%	9%	11%	0%

10531	33%	33%	33%	0%
10773	1%	14%	84%	0%
11903	50%	0%	50%	0%
12266	40%	60%	0%	0%
12268	47%	47%	5%	0%
12479	56%	0%	44%	0%
13452	100%	0%	0%	0%
15387	72%	0%	28%	0%
15786	50%	0%	50%	0%
15787	50%	0%	50%	0%
15983	35%	31%	35%	0%
17955	63%	3%	34%	0%
19385	2%	97%	2%	0%
20144	76%	0%	24%	0%
21776	73%	13%	13%	0%
22323	11%	4%	81%	4%
22458	88%	13%	0%	0%
22783	36%	0%	56%	8%
23846	7%	0%	89%	4%
23909	12%	0%	88%	0%
24526	53%	0%	47%	0%
27581	2%	56%	7%	35%
27661	41%	18%	41%	0%
27835	43%	27%	30%	0%
28145	33%	33%	33%	0%
28416	50%	42%	8%	0%
28455	33%	33%	33%	0%
31216	27%	23%	50%	0%
32205	50%	0%	25%	25%
32457	83%	13%	4%	0%
32856	66%	34%	0%	0%
32984	12%	0%	36%	52%
33283	47%	4%	49%	0%
34305	93%	4%	4%	0%
34586	35%	0%	50%	15%
34914	77%	0%	23%	0%
35773	27%	27%	39%	4%
35781	88%	12%	0%	0%
36262	64%	18%	18%	0%
36702	20%	20%	61%	0%
38990	50%	0%	50%	0%
39127	37%	0%	37%	26%
40817	0%	85%	0%	15%
45129	77%	11%	12%	0%

45389	28%	41%	31%	0%
49103	33%	0%	33%	33%
49550	26%	0%	70%	4%
52379	79%	3%	0%	18%
54134	64%	0%	36%	0%
54468	70%	30%	0%	0%
54659	38%	0%	52%	10%
56226	35%	0%	46%	19%
56282	50%	45%	5%	0%
57213	50%	0%	50%	0%

Tabela Z2.6 Struktura projektów z próbki badawczej.

Źródło: opracowanie własne.

Id projektu	Δ Wytwarzanie	Δ Analiza i projektowanie	Δ Zarządzanie	Δ Wdrożenie i wsparcie
1363	-15,2848	-3,1733	14,7098	3,7482
4044	-26,3965	1,8046	20,8438	3,7482
10531	20,5732	-22,4379	-1,8835	3,7482
10773	52,6643	-3,3902	-53,0222	3,7482
11903	3,9065	10,8955	-18,5502	3,7482
12266	14,0514	-49,2495	31,4498	3,7482
12268	6,5358	-36,3449	26,0609	3,7482
12479	-2,1057	10,8955	-12,5380	3,7482
13452	-46,0935	10,8955	31,4498	3,7482
15387	-17,6423	10,8955	2,9986	3,7482
15786	3,9065	10,8955	-18,5502	3,7482
15787	3,9065	10,8955	-18,5502	3,7482
15983	19,1881	-19,6678	-3,2686	3,7482
17955	-9,4268	7,9325	-2,2539	3,7482
19385	52,2581	-85,8078	29,8015	3,7482
20144	-22,4446	10,8090	7,8873	3,7482
21776	-19,4268	-2,4379	18,1165	3,7482
22323	42,5292	6,9616	-49,3050	-0,1857
22458	-33,5935	-1,6045	31,4498	3,7482
22783	17,6565	10,8955	-24,1752	-4,3768
23846	47,1528	10,8955	-58,0159	-0,0324
23909	41,6893	10,8955	-56,3330	3,7482
24526	1,2749	10,8955	-15,9186	3,7482
27581	52,3836	-45,1959	24,0894	-31,2772
27661	12,8391	-6,9697	-9,6176	3,7482
27835	10,5631	-15,9314	1,6200	3,7482
28145	20,5732	-22,4379	-1,8835	3,7482
28416	3,9065	-30,8477	23,1929	3,7482

28455	20,5732	-22,4379	-1,8835	3,7482
31216	26,5255	-11,7236	-18,5502	3,7482
32205	3,4581	10,8955	6,9356	-21,2891
32457	-28,7858	-2,5661	27,6037	3,7482
32856	-12,4714	-22,7266	31,4498	3,7482
32984	42,2713	10,8955	-4,8185	-48,3482
33283	6,6573	7,0120	-17,4175	3,7482
34305	-38,8250	7,3785	27,6983	3,7482
34586	18,9763	10,8955	-19,0492	-10,8226
34914	-23,5009	10,8955	8,8572	3,7482
35773	27,3147	-15,6963	-7,1270	-0,3716
35781	-33,6438	-1,5825	31,3933	3,7482
36262	-9,6890	-7,3068	13,2476	3,7482
36702	34,3226	-8,6885	-29,3823	3,7482
38990	3,9065	10,8955	-18,5502	3,7482
39127	16,6896	10,8955	-5,7671	-21,8180
40817	53,9065	-74,3332	31,4498	-11,0231
45129	-22,7122	-0,2556	19,2196	3,7482
45389	25,7533	-29,6451	0,1435	3,7482
49103	20,5732	10,8955	-1,8835	-29,5851
49550	27,9806	10,8955	-38,9206	0,0445
52379	-24,8845	7,8217	31,4498	-14,3870
54134	-9,9285	10,8955	-4,7152	3,7482
54468	-16,0652	-18,8496	31,1665	3,7482
54659	15,9755	10,8955	-20,8490	-6,0219
56226	18,6826	10,8955	-14,8188	-14,7592
56282	3,9065	-33,9763	26,3216	3,7482
57213	3,9065	10,8955	-18,5502	3,7482

Tabela Z2.7 Przykładowe odchylenia od przeciętnej struktury.

Źródło: Opracowanie własne.

Załącznik nr 3. Dane historyczne dotyczące projektów informatycznych z próby, na podstawie których wyznaczono stopy przyrostu pracochłonności oraz zmienność pracochłonności projektu informatycznego

Id. projektu	Czas realizacji projektu [dni]		Rzeczywisty czas realizacji projektu [miesiące]
	planowany	rzeczywisty	
1363	450	509	16,73
11903	561	1319	43,36
15387	395	2843	93,47
22323	138	747	24,56
23909	40	156	5,13
27661	656	1202	39,52
36262	183	284	9,34
38990	19	186	6,12
39127	161	1773	58,29
40817	423	423	13,91
45129	27	27	0,89
45389	32	56	1,84
49103	78	78	2,56
49550	8	102	3,35
52379	51	379	12,46
54134	93	93	3,06
54468	31	334	10,98
54659	26	26	0,85
56226	31	42	1,38
56282	17	110	3,62

Tabela Z3.1 Czas realizacji projektów informatycznych: planowany oraz rzeczywisty uzyskany na podstawie danych historycznych.

Źródło: Opracowanie własne.

Id. projektu	Planowana pracochłonność [osobodni]				
	Suma	W	P	Z	S
1363	5329,00	4858,00	0,00	93,00	378,00
11903	2411,00	1205,50	0,00	1205,50	0,00
15387	439,00	353,50	0,00	85,50	0,00
22323	1588,00	405,00	0,00	1183,00	0,00
23909	108,00	65,00	0,00	43,00	0,00
27661	1846,00	304,67	304,67	1236,67	0,00
36262	459,00	135,00	0,00	324,00	0,00
38990	9,00	9,00	0,00	0,00	0,00
39127	560,00	456,50	0,00	103,50	0,00
40817	2471,00	0,00	2106,00	0,00	365,00

45129	139,00	133,00	0,00	6,00	0,00
45389	155,00	64,00	24,00	67,00	0,00
49103	96,00	32,00	0,00	32,00	32,00
49550	10,00	4,00	0,00	6,00	0,00
52379	93,00	78,00	15,00	0,00	0,00
54134	150,00	46,50	0,00	46,50	57,00
54468	62,00	31,00	0,00	31,00	0,00
54659	174,00	66,00	0,00	91,00	17,00
56226	286,00	0,00	0,00	158,00	128,00
56282	14,00	5,50	5,50	3,00	0,00

Tabela Z3.2 Planowana pracochłonność projektów informatycznych oraz poszczególnych kategorii zadań.

Źródło: Opracowanie własne.

Id. projektu	Rzeczywista pracochłonność [osobodni]				
	Suma	W	P	Z	S
1363	4773,00	3302,50	671,50	799,00	0,00
11903	5361,00	2680,50	0,00	2680,50	0,00
15387	5230,00	3742,00	0,00	1488,00	0,00
22323	3652,00	415,50	143,67	2949,17	143,67
23909	221,00	27,00	0,00	194,00	0,00
27661	5340,00	2193,00	954,00	2193,00	0,00
36262	890,00	566,00	162,00	162,00	0,00
38990	12,00	6,00	0,00	6,00	0,00
39127	6652,00	2475,67	0,00	2475,67	1700,67
40817	2471,00	0,00	2106,00	0,00	365,00
45129	139,00	106,50	15,50	17,00	0,00
45389	222,00	62,50	90,00	69,50	0,00
49103	360,00	120,00	0,00	120,00	120,00
49550	18,00	4,67	0,00	12,67	0,67
52379	488,00	384,50	15,00	0,00	88,50
54134	206,00	131,50	0,00	74,50	0,00
54468	353,00	247,00	105,00	1,00	0,00
54659	174,00	66,00	0,00	91,00	17,00
56226	335,00	118,00	0,00	155,00	62,00
56282	39,00	19,50	17,50	2,00	0,00

Tabela Z3.3 Rzeczywista pracochłonność projektów informatycznych oraz poszczególnych kategorii zadań.

Źródło: Opracowanie własne.

Id. projektu	Miesięczna stopa przyrostu pracochłonności				
	Suma	W	P	Z	S
1363	-0,62%	-1,91%		45,36%	-5,98%
11903	2,82%	2,82%	0,00%	2,82%	0,00%
15387	11,68%	10,26%	0,00%	17,55%	0,00%

22323	5,29%	0,11%	0,00%	6,08%	
23909	20,40%	-11,40%	0,00%	68,47%	0,00%
27661	4,79%	15,68%	5,39%	1,96%	0,00%
36262	10,06%	34,19%		-5,36%	0,00%
38990	5,45%	-5,45%	0,00%		0,00%
39127	18,66%	7,59%	0,00%	39,32%	
40817	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
45129	0,00%	-22,45%		206,53%	0,00%
45389	23,48%	-1,27%	149,37%	2,03%	0,00%
49103	107,24%	107,24%	0,00%	107,24%	107,24%
49550	23,86%	4,97%	0,00%	33,13%	
52379	34,09%	31,54%	0,00%	0,00%	
54134	12,21%	59,79%	0,00%	19,69%	-32,71%
54468	42,74%	63,45%		-8,81%	0,00%
54659	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
56226	12,41%		0,00%	-1,38%	-37,34%
56282	49,38%	70,39%	60,33%	-9,22%	0,00%

Tabela Z3.4 Miesięczna stopa przyrostu pracochłonności projektów informatycznych oraz poszczególnych kategorii zadań.

Źródło: Opracowanie własne.

Załącznik nr 4. Skrypty programu R wykorzystane do generowania wartości ryzykownej

Funkcja wyliczająca VaR dla wskazanej kategorii przy pomocy metody Monte Carlo.

```
category.var <- function(work, volatility, period, repetition,
confidence) {
  if (work == 0) {
    0
  } else {
    results <- rep(0, repetition)
    for(i in 1:repetition) {
      results[i] <- work + work*rnorm(1, mean = 0,
sd = 1)*volatility*sqrt(period)
    }
    results.sorted <- sort(results, decreasing = TRUE)
    idx <- repetition*(confidence)
    abs(results.sorted[idx] - work)
  }
}
```

Funkcja wyliczająca VaR poszczególnych kategorii dla projektów informatycznych z próby badawczej.

```
categories.var <- function(period, repetition, confidence) {
  size <- length(res.sample[,1])
  result <- array(rep(NA, 4*size), dim=c(size, 4))
  for(i in 1:4) {
    for(j in 1:size) {
      result[j,i] <- category.var(res.wpzs[j,i],
res.volatility[1,i],
period, repetition, confidence)
    }
  }
  result
}
```

Funkcja wyliczająca VaR dla wskazanego projektu informatycznego z wykorzystaniem metody Monte Carlo i dekompozycji Cholesky'ego.

```
cholesky.var <- function(v, period, repetition, confidence) {
  results <- array(rep(0, 4*repetition), dim=c(repetition,
4))
  rpres <- rep(0, repetition)
  vsum = sum(v)
  for(i in 1:repetition) {
    x <- rnorm(4, mean = 0, sd = 1)
    y <- t(res.cholesky)%*%x
    for(j in 1:4) {
      results[i,j] <- y[j,1]*res.volatility[j] *
sqrt(period)
    }
  }
}
```

```

    rpres[i] <- vsum + (v[1]*results[i,1] +
      v[2]*results[i,2] + v[3]*results[i,3] +
      v[4]*results[i,4])
  }
  rpres.sorted <- sort(rpres, decreasing=TRUE)
  idx = repetition*(confidence)
  abs(rpres.sorted[idx] - vsum)
}

```

Funkcja wyliczająca VaR dla projektów informatycznych z próby badawczej.

```

cholesky.vars <- function(period, repetition, confidence) {
  size = length(res.sample[,1])
  result = c(1:size)
  for(j in 1:size) {
    result[j] = cholesky.var(res.wpzs[j,], period, repetition, confidence)
  }
  result
}

```

Załącznik nr 5. Porównanie metod wariancji-kowariancji oraz symulacji Monte Carlo z dekompozycją Cholesky’ego

Id projektu	W [osobodni]		P [osobodni]		Z [osobodni]		S [osobodni]	
	WK	MC	WK	MC	WK	MC	WK	MC
1363	1824,07	1824,51	438,35	443,59	701,63	718,00	0,00	0,00
4044	14,64	14,36	1,96	1,94	3,07	3,07	0,00	0,00
10531	186,87	189,59	220,86	222,27	297,10	291,14	0,00	0,00
10773	1,10	1,11	15,01	14,84	119,43	118,33	0,00	0,00
11903	1480,52	1477,02	0,00	0,00	2353,85	2308,98	0,00	0,00
12266	60,76	61,83	108,36	110,68	0,00	0,00	0,00	0,00
12268	200,68	195,98	236,53	234,80	36,30	36,25	0,00	0,00
12479	1821,59	1801,46	0,00	0,00	2274,38	2257,56	0,00	0,00
13452	58,55	57,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15387	2066,82	2058,15	0,00	0,00	1306,67	1302,68	0,00	0,00
15786	276,99	271,17	0,00	0,00	440,39	447,64	0,00	0,00
15787	540,73	525,77	0,00	0,00	859,70	838,16	0,00	0,00
15983	276,90	277,03	288,10	288,21	440,24	440,60	0,00	0,00
17955	47,22	47,34	2,61	2,57	39,96	39,31	0,00	0,00
19385	0,83	0,82	57,45	58,37	1,32	1,34	0,00	0,00
20144	325,14	323,62	0,44	0,44	159,53	158,99	0,00	0,00
21776	6,08	6,17	1,31	1,31	1,76	1,78	0,00	0,00
22323	229,49	230,69	93,78	95,30	2589,77	2582,62	83,48	83,87
22458	81,19	82,55	13,71	13,62	0,00	0,00	0,00	0,00
22783	16,02	15,84	0,00	0,00	39,08	38,60	3,78	3,83
23846	420,32	412,05	0,00	0,00	8852,50	8853,00	247,54	248,33
23909	14,91	15,02	0,00	0,00	170,36	171,71	0,00	0,00
24526	55,23	56,05	0,00	0,00	79,03	78,94	0,00	0,00
27581	3,31	3,31	144,27	143,35	25,47	25,03	80,19	80,02
27661	1211,26	1198,10	622,76	611,04	1925,76	1917,70	0,00	0,00
27835	159,44	158,85	116,63	117,00	174,46	175,43	0,00	0,00
28145	63,70	66,18	75,29	76,27	101,28	99,61	0,00	0,00
28416	60,20	58,82	59,40	60,46	15,81	15,96	0,00	0,00
28455	99,79	98,60	117,94	117,18	158,65	159,13	0,00	0,00
31216	6,35	6,40	6,20	6,30	18,44	18,79	0,00	0,00
32205	372,82	366,10	0,00	0,00	288,03	282,85	194,67	195,34
32457	23,75	23,57	4,57	4,53	1,76	1,76	0,00	0,00
32856	444,35	444,08	266,01	269,21	0,00	0,00	0,00	0,00
32984	30,65	29,63	0,00	0,00	151,92	151,42	144,40	140,02
33283	80,64	79,34	7,83	7,88	132,60	129,94	0,00	0,00
34305	436,89	437,60	19,58	19,51	28,10	27,98	0,00	0,00
34586	32,22	32,07	0,00	0,00	74,06	74,09	14,14	14,21
34914	57,72	57,40	0,00	0,00	26,78	26,94	0,00	0,00
35773	39,22	39,75	46,35	46,07	100,11	99,28	6,39	6,49

35781	13699,47	13990,11	2302,38	2282,67	0,00	0,00	0,00	0,00
36262	312,62	316,10	105,75	105,17	142,26	141,04	0,00	0,00
36702	75,39	75,77	89,11	87,84	372,33	380,40	0,00	0,00
38990	3,31	3,32	0,00	0,00	5,27	5,21	0,00	0,00
39127	1367,39	1383,61	0,00	0,00	2173,98	2158,57	988,24	1004,21
40817	0,00	0,00	1374,77	1405,56	0,00	0,00	212,10	215,19
45129	58,82	58,66	10,12	10,06	14,93	15,04	0,00	0,00
45389	34,52	34,27	58,75	57,68	61,03	61,23	0,00	0,00
49103	66,28	66,18	0,00	0,00	105,38	102,54	69,73	70,32
49550	2,58	2,56	0,00	0,00	11,12	11,28	0,39	0,38
52379	212,37	211,15	9,79	9,77	0,00	0,00	51,43	50,99
54134	72,63	73,18	0,00	0,00	65,42	65,42	0,00	0,00
54468	136,43	137,59	68,54	69,04	0,88	0,88	0,00	0,00
54659	36,45	35,82	0,00	0,00	79,91	79,39	9,88	10,10
56226	65,18	66,38	0,00	0,00	136,11	136,56	36,03	36,79
56282	10,77	11,03	11,42	11,55	1,76	1,75	0,00	0,00
57213	3,31	3,39	0,00	0,00	5,27	5,29	0,00	0,00

Tabela Z6.1 Wartość narażona na ryzyko dla poszczególnych kategorii zadań projektów informatycznych dla miesięcznego horyzontu czasu oraz poziomie ufności 95%.

Źródło: Opracowanie własne.

Id projektu	VaR_{PR} wariancji-kowariancji [osobodni]	VaR_{PR} Monte Carlo [osobodni]
1363	1305,966	1320,408
4044	12,265	12,245
10531	135,223	135,495
10773	112,607	113,090
11903	2002,962	2016,913
12266	100,165	99,837
12268	207,119	209,218
12479	2016,857	1989,640
13452	58,547	58,152
15387	1759,484	1744,533
15786	374,738	372,235
15787	731,543	729,114
15983	202,126	201,818
17955	40,267	40,184
19385	56,501	55,982
20144	274,967	277,543
21776	4,657	4,599
22323	2425,123	2452,883
22458	76,597	76,281
22783	32,924	32,993

23846	8632,747	8433,594
23909	162,887	163,766
24526	68,090	68,794
27581	150,413	149,075
27661	1160,879	1151,120
27835	75,705	76,411
28145	46,096	45,885
28416	50,862	50,902
28455	72,208	71,907
31216	12,489	12,552
32205	303,880	306,073
32457	21,144	20,811
32856	413,818	412,978
32984	190,771	186,281
33283	106,084	105,510
34305	414,024	408,741
34586	61,907	61,881
34914	48,972	49,976
35773	59,706	59,699
35781	12926,812	13080,163
36262	201,663	201,231
36702	293,526	295,825
38990	4,483	4,348
39127	1843,309	1867,035
40817	1380,262	1395,473
45129	47,119	47,311
45389	33,856	33,519
49103	97,361	98,515
49550	9,956	9,791
52379	195,597	199,228
54134	66,949	65,826
54468	124,325	123,527
54659	66,573	66,209
56226	113,330	114,594
56282	10,486	10,498
57213	4,483	4,472

Tabela Z6.2 Wartość narażona na ryzyko projektów informatycznych dla miesięcznego horyzontu czasu oraz poziomie ufności 95%.

Źródło: Opracowanie własne.

Literatura

- [Alberts 2009] Ch. J. Alberts, A. J. Dorofee: A Framework for Categorizing Key Drivers of Risk. Technical Report CMU/SEI-2009-TR-007, CarnegieMellon Kwiecień 2009.
- [Bałamut2002] T.Bałamut: Metody estymacji Value at Risk, Materiały i Studia NBP, Zeszyt 147, Warszawa 2002.
- [Best2000] P.Best: Wartość narażona na ryzyko. Obliczanie i wdrażanie modelu VAR. Kraków 2000.
- [Biniek2010] Z. Biniek, Wybrane elementy zarządzania projektem informatycznym, Warszawa 2010.
- [Butler2001] C. Butler: Tajniki Value at Risk. Praktyczny podręcznik zastosowań metody VAR. Warszawa 2001, wyd. Liber.
- [Byström2001] Byström, Managing Extreme Market Risk using Extreme Value Theory, Department of Economics, Lund University, 2001.
- [Carr1993] Carr M., Konda S., Monarch I., Ulrich. C., “Taxonomy-Based Risk Identification”, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University Pittsburg, Pennsylvania 1993.
- [Chapman1998] R. J. Chapman, The effectiveness of working group risk identification and assessment techniques, International Journal of Project Management Vol. 16, No. 6, 1998.
- [Chong2001] Y.Chong, E. Brown, Zarządzanie ryzykiem projektu, Oficyna ekonomiczna, Kraków 2001.
- [Christley2005] Collection of Activity Data for SourceForge Projects, Scott Christley and Greg Madey, Technical Report: TR-2005-15, Dept. of Computer Science and Engineering, University of Notre Dame, October 10, 2005.
- [Domański1990] C. Domański, Testy statystyczne, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1990.
- [Dowd1998] K. Dowd: Beyond Value at Risk. The New science of risk management. Wiley, Chichester 1998.

- [Duncan1996] Duncan W. : A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Project Management Institute , 1996.
- [Flasiński2006] M.Flasiński: Zarządzanie projektami informatycznymi, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- [Frączkowski2003] K.Frączkowski: Zarządzanie projektem informatycznym, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [Guzowska1999] M.Guzowska, J.Maliszewski, Wykorzystanie metody Monte Carlo do pomiaru ryzyka portfela walutowego w banku komercyjnym, Zeszyty naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 233, Metody Ilościowe, prace Katedry Ekonometrii i Statystyki nr 7. Szczecin 1999.
- [Jajuga2000] K.Jajuga, K.Kuziak, D.Papla, Ryzyko rynkowe polskiego rynku akcji – Value at Risk i inne metody pomiaru, Rynek kapitałowy, skuteczne inwestowanie. Materiały konferencyjne nr 53. Redaktor naukowy W.Tarczyński, 2000.
- [Jajuga2004] K.Jajuga : Zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie i instytucji finansowej – metody ilościowe a wyzwania praktyki. Zeszyty naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 394, prace Katedry Ekonometrii i Statystyki nr 15 2004.
- [Jorion1996] P.Jorion, Philippe. Measuring the risk in value at risk. Financial Analysts Journal; Nov/Dec 1996; 52, 6; ABI/INFORM Global.
- [Jorion1997] Jorion, P., Value at Risk: The New Benchmark for Controlling Market Risk, Irwin Professional. Illinois 1997.
- [Jorion2007] Jorion, P. Value at Risk: The new benchmark for managing risk, third edition, McGraw-Hill 2007.
- [Kalinowski2007] M.Kalinowski: Zarządzanie ryzykiem walutowym w przedsiębiorstwie, Warszawa 2007 wyd. Cedetu.
- [Karmańska2008] A. Karmańska: Ryzyko w rachunkowości, Wydawnictwo Diffin, Warszawa 2008.
- [Karolak1996] Karolak, D.W., Software Engineering Risk Management, IEEE Computer Society Press, 1996.

- [Keil1998] Keil M. "A framework for identifying Software Project Risks" CACM, vol.41, no.11, November 1998, str76-83.
- [Kieruzel2010] „Zarządzanie i pomiar ryzyka w projekcie informatycznym” Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą nr 28, Bydgoszcz 2010.
- [Kieruzel2010] „Pomiar i kontrola ryzyka projektu informatycznego” (współautor: Dr hab. inż. Leonard Rozenberg, prof. ZUT) E-gospodarka W Polsce Stan Obecny I Perspektywy Rozwoju” Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr558, seria Ekonomiczne Problemy Usług, Szczecin 2010.
- [Kieruzel2010] „Pomiar ryzyka IT w przedsiębiorstwie”(współautor: Dr hab. inż. Leonard Rozenberg, prof. ZUT) Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą nr 28, Bydgoszcz 2010.
- [Kieruzel2011] "Zarządzanie ryzykiem w projekcie informatycznym" Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 651 Ekonomiczne problemy usług nr 68 , Szczecin 2011.
- [Kot2007] Statystyka. Podręcznik dla studiów ekonomicznych, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2007.
- [Korczowski2010] A.Korczowski: Zarządzanie ryzykiem w projektach informatycznych. Teoria i praktyka, Helion 2010.
- [Kukuła2000] Kukuła K., Badania operacyjne w przykładach i zadaniach. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2000.
- [Kuziak2003] K.Kuziak: Koncepcja wartości zagrożonej, StatSoft 2003, <http://www.statsoft.pl/czytelnia/finanse/pdf/kuziak.pdf> (strona dostępna w dniu 3.12.11).
- [Langner2007] A.Langner : Creditmetrics a portfel kredytów zagrożonych. Warszawa 2007 wyd. Cedetu.
- [Leksykon2001] Leksykon Naukowo – Techniczny, Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Warszawa 2001.
- [Majerowska2005] E.Majerowska: Wartość narażona na ryzyko a ryzyko inwestowania w akcyjne fundusze inwestycyjne, Zeszyty nau-

- kowe Nr 415, Prace Katedry Ekonometrii i Statystyki Nr. 16, Metody ilościowe w ekonomii, Wydawnictwo naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2005.
- [McNeil1999] A. McNeil, Extreme Value Theory for Risk Managers, maszynopis, ETHZ, Zurich 1999.
- [Morgan1996] J.P.Morgan/Reuters, RiskMetrics—Technical Document, Fourth Edition, New York, December 17, 1996.
- [Murch2000] Murch R. Project Management: Best Practices for IT Professionals. Prentice Hall PTR, 2000.
- [Oderfeld1990] J. Oderfeld, Statystyczne podstawy prac doświadczalnych, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1990.
- [Orłowicz 1968] F.Orłowicz, Ryzyko gospodarcze a prawo karne, „Nowe Prawo” nr3/1968.
- [Pera2008] K. Pera: Koncepcja VaR (value at risk) w pomiarze ryzyka surowcowego projektu inwestycyjnego, Gospodarka Surowcami Mineralnymi. Tom 24 Zeszyt4/4 2008.
- [PMBok2008] PMBoK Guide Fourth Edition 2008. Project Management Institute, 2008
- [PMI1987] Project Management Institute Standards Committee, A Guide to the Project Management Body of Knowledge, Project Management Institute, Inc., Upper Darby, Pa.,1987.
- [Pressmann2001] R.S. Pressmann: Software Engineering: A Practitioner's Approach, Mc Graw-Hill, 5th edition, 2001, ISBN: 0-07-709677-0 (Chapter6).
- [Prince2 2009] Prince2TM - Managing Successful Project with PRINCE2, TSO, Londyn 2009.
- [Pritchard2002] C.L. Pritchard: Zarządzanie ryzykiem w projektach. Teoria i praktyka. WIG-PRESS Warszawa 2002.
- [Prywata2010] M.Prywata, Zarządzanie ryzykiem w małych projektach, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Warszawa 2010.

- [Rubinstein 2007] Rubinstein: Standish Group Report: There's Less Development Chaos Today. Software Development Times, March 1, 2007.
- [Schwaber2005] K. Schwaber Sprawne zarządzanie projektami metodą Scrum, Wydawnictwo Promise, Warszawa 2005
- [Sienkiewicz2005] P.Sienkiewicz: Analiza ryzyka w zarządzaniu projektami systemów.
www.witu.mil.pl/www/biuletyn/zeszyty/20050095p/9.pdf
- [Słownik2003] Uniwersalny słownik języka polskiego, t.3, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, s.1108;
- [SourceForge.net2011] SourceForge (2011). <http://www.sourceforge.net>.
- [Tarczyński2001] W. Tarczyński, M. Mojsiewicz, Zarządzanie ryzykiem, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.
- [Trocki2004] Trocki M., Grucza B., Ogonek K., Zarządzanie projektami, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne 2004.
- [Turoff2002] M.Turoff, A.Linstone, The Delphi Method: Techniques and Applications Volume: 18, Issue: 3, Publisher: Addison-Wesley Publishing Co. Inc., Technometrics 2002.
- [Waćkowski 2007] K. Waćkowski, J. Chmielewski: Wspomaganie zarządzania projektami informatycznymi. Poradnik Menedżerów, Wydawnictwo Helion 2007.
- [Worthington2009] Worthington D.: Imagination, process failures doom software projects www.sdtimes.com, listopad 2009.
- [Wróblewski2005] P.Wróblewski, Zarządzanie projektami informatycznymi, Wydawnictwo Helion 2005.
- [Zemke2009] J. Zemke, Ryzyka zarządzania organizacją gospodarczą, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2009.

Spis rysunków

Rys. 1.1 Komponenty ryzyka.....	8
Rys. 1.2 Taksonomia ryzyka wytwarzania oprogramowania wg SEI	13
Rys. 1.3 Przykładowe pytania z kwestionariusza TQB (Taxonomy-Based Questionnaire).....	14
Rys. 1.4 Przykład struktury podziału ryzyk	16
Rys. 1.5 Cykl zarządzania ryzykiem w projekcie.	18
Rys. 1.6 Wkłady i rezultaty procesu zarządzania ryzykiem w metodyce PMBoK.....	19
Rys. 1.7 Sumaryczny profil ryzyka.	24
Rys. 1.8 Rozkład szacowanego czasu trwania czynności w projekcie.	36
Rys. 1.9 Przykładowe drzewo decyzyjne	42
Rys. 2.1 Schemat szacowania wartości ryzykowanej.....	49
Rys. 2.2 Graficzna prezentacja VaR	50
Rys. 2.3 Etapy wyznaczania VaR w metodzie Monte Carlo.....	58
Rys. 3.1 Schemat bazy danych SRDA.....	71
Rys. 3.2 Liczba projektów w stosunku do liczby zadań w projekcie.	72
Rys. 3.3 Liczba projektów w zależności od czasu realizacji	73
Rys. 3.4 Liczba projektów w zależności od różnych ról członków zespołu.....	74
Rys. 3.5 Liczba projektów w zależności od liczby osób przypisanych do projektu	75
Rys. 3.6 Wykres dystrybuanty empirycznej dla kategorii Wytwarzanie	80
Rys. 3.7 Wykres typu P-P dla kategorii: Wytwarzanie	80
Rys. 3.8 Wykres dystrybuanty empirycznej dla kategorii: Analiza i projektowanie.....	81
Rys. 3.9 Wykres typu P-P dla kategorii: Analiza i projektowanie	82
Rys. 3.10 Wykres dystrybuanty empirycznej dla kategorii Zarządzanie.....	83
Rys. 3.11 Wykres typu P-P dla kategorii: Zarządzanie.....	83
Rys. 3.12 Wykres dystrybuanty empirycznej dla kategorii: Wdrożenie i wsparcie	84
Rys. 3.13 Wykres typu P-P dla kategorii: Wdrożenie i wsparcie	85
Rys. 4.1 Zbiór możliwości projektu informatycznego	98
Rys. 4.2 Projekt informatyczny o minimalnym ryzyku.....	100
Rys. 4.3 Projekt o minimalnym ryzyku dla stopy przyrostu pracochłonności 8%	102
Rys. 4.4 Wygenerowane projekty informatyczne spełniające warunek minimalnego udziału dla poszczególnych kategorii zadań	103

Spis tabel

Tabela 1.1 Macierz prawdopodobieństwa i skutków ryzyk w projekcie dla tolerancji ryzyka 0,18	21
Tabela 1.2 Rejestr ryzyka.....	26
Tabela 1.3 Zastosowanie technik zarządzania ryzykiem	28
Tabela 1.4 Podsumowanie różnic pomiędzy technikami wspierającymi identyfikację ryzyka w projekcie.....	32
Tabela 2.1 Percentyl rozkładu normalnego zależny od poziomu ufności	56
Tabela 2.2 Porównanie metod szacowania VaR.....	65
Tabela 3.1 Udział najbardziej popularnych ról i funkcji w projektach informatycznych	74
Tabela 3.2 Struktura przykładowych projektów	76
Tabela 3.3 Przykładowe odchylenia od przeciętnej struktury	77
Tabela 3.4 Wyniki testów zgodności dla kategorii: Wytwarzanie.....	81
Tabela 3.5 Wyniki testów zgodności dla kategorii: Analiza i projektowanie	82
Tabela 3.6 Wyniki testów zgodności dla kategorii: Zarządzanie	84
Tabela 3.7 Wyniki testów zgodności dla kategorii: Wdrożenie i wsparcie	85
Tabela 3.8 Stopy przyrostu pracochłonności dla przykładowych projektów	87
Tabela 3.9 Zmienność pracochłonności wyliczona na podstawie danych historycznych	88
Tabela 3.10 Wartość narażona na ryzyko dla poszczególnych kategorii zadań wybranych projektów dla miesięcznego horyzontu czasu oraz poziomie ufności 95%.....	88
Tabela 3.11 Wartość narażona na ryzyko dla poszczególnych kategorii zadań wybranych projektów dla całego okresu realizacji projektu.....	89
Tabela 3.12 Wartość narażona na ryzyko dla przykładowych projektów, jako VaR portfela kategorii dla jednego miesiąca i poziomu ufności 95%, wyznaczona przy pomocy metody wariancji-kowariancji.....	92
Tabela 3.13 Wartość narażona na ryzyko dla poszczególnych kategorii zadań wybranych projektów dla miesięcznego horyzontu czasu oraz poziomie ufności 95% wyznaczona przy pomocy symulacji Monte Carlo dla 10 000 prób.....	93
Tabela 3.14 Wartość narażona na ryzyko dla przykładowych projektów, jako VaR portfela kategorii dla jednego miesiąca i poziomu ufności 95%, wyznaczona przy pomocy metody Monte-Carlo dla 10.000 prób	94
Tabela 4.1 Wybrane, bezpieczne projekty ze zbioru efektywnego z nałożonym warunkiem minimalnego udziału poszczególnych kategorii, otrzymane w wyniku symulacji Monte Carlo	104
Tabela 4.2 Wybrane, ryzykowne projekty ze zbioru efektywnego z nałożonym warunkiem minimalnego udziału poszczególnych kategorii, otrzymane w wyniku symulacji Monte Carlo	105