

**Łukasz Wachstiel**

doktorant

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach

lukasz.wachstiel@ue.katowice.pl

# STOCHASTYCZNE MODELOWANIE RYZYKA W USŁUGACH INFORMATYCZNYCH

## Wprowadzenie

Artykuł przedstawia nowe podejście do problemu modelowania ryzyka w usługach informatycznych. W pierwszej części została opisana charakterystyka portfela usług informatycznych, a następnie przedstawiono problem wyceny usług tego rodzaju. Rozważanie tych zagadnień doprowadziło w części drugiej do sformułowania definicji pojęcia ryzyka w usługach informatycznych jako problemu decyzyjnego w warunkach niepewności. Na jej podstawie został zbudowany model oceny ryzyka wykorzystujący koherentną miarę ryzyka CVaR (*Conditional Value-at-Risk*) będącą pewnym uogólnieniem dobrze znanej na rynkach finansowych i ubezpieczeniowych miary wartości zagrożonej VaR (*Value-at-Risk*).

Inspiracją do przeprowadzania badań w tym kierunku była dostrzeżona, m.in. przez R.J. Kauffmana i R. Sougstada [3, s. 17-48], analogia pomiędzy portfelami instrumentów finansowych a portfelami kontraktów usług IT (*Information Technology*), czego konsekwencją jest próba przeniesienia stosowanych do ich modelowania narzędzi oceny ryzyka.

## 1. Portfel usług informatycznych

Na rynkach finansowych portfel inwestycyjny jest najczęściej utożsamiany ze środkami pieniężnymi i instrumentami finansowymi posiadanymi przez inwestora [4]. Ta definicja wskazuje jednoznacznie na właściciela portfela jako podmiotu zarządzającego dokonaną inwestycją. Rozróżnienie pomiędzy właścicielami portfeli usług i inwestycji wyznacza punkt ciężkości w postaci strony odpowiedzialnej za zarządzanie

ryzykiem danego portfela. Dla portfela inwestycyjnego jest nią w przeważającej części inwestor, natomiast dla usług, podmiot je świadczący, czyli w skrócie – usługodawca.

Portfel usług reprezentuje zobowiązania oraz inwestycje poczynione przez dostawcę dla wszystkich obecnych oraz potencjalnych klientów [5, s. 73]. Znajdują się w nim zatem nie tylko zakontraktowane usługi, lecz także oferta przeznaczona dla konkretnej przestrzeni rynkowej (*market space*), której elementami są przyszli klienci. Portfel można przez to utożsamiać ze wszystkimi zasobami odzwierciedlającymi przeszły, teraźniejszy (rzeczywisty) i przyszły (wirtualny) potencjał usługodawcy.

Każdą usługę znajdującą się w portfelu można zaklasyfikować do jednego z następujących zbiorów:

- usługi planowane (*Service Pipeline*),
- katalog usług (*Service Catalogue*),
- usługi wycofane (*Service Retired*) [5, s. 74].

Wszystkie usługi powinny przed oficjalnym wdrożeniem być rozpatrywane jako usługi planowane. Na tym etapie jest przygotowywany tak zwany *business case*, którego podstawowym celem jest uzasadnienie podjęcia decyzji o wprowadzeniu usługi do katalogu. *Business case* jest najczęściej opracowywany w postaci raportu, który ma prezentować odpowiedzi na kilka zasadniczych pytań:

- Jaki jest podstawowy cel biznesowy wprowadzenia usługi?
- Jakie są szacowane zyski i koszty związane z wprowadzeniem usługi?
- Jakie są dostępne opcje (konfiguracje) usługi?
- Jakie ryzyka są związane z usługą? [7, s. 35-36].

Informacje na temat usług, które przestały być częścią katalogu lub są w trakcie wycofywania, powinny być również zachowywane. Jest to jeden z kluczowych elementów budowania wiedzy organizacji, która może zostać wykorzystana w przyszłości, w trakcie tworzenia usług o podobnej charakterystyce.

Najważniejszą część portfela usług stanowi – wspomniany już kilkakrotnie wcześniej – katalog. Zawiera on wszystkie informacje dotyczące usług świadczonych klientom, łącznie z danymi na temat zewnętrznych dostawców (*third-party*) mogących wspierać usługę w różnym stopniu<sup>1</sup>. Z jednej strony jest on wizytówką firmy, z drugiej zaś dostarcza bardzo cennych informacji strategicznych odnośnie jej rzeczywistego potencjału zasobowego. Oprócz standardowego – biznesowego i funkcjonalnego opisu usługi – w katalogu przechowywane są dane o wszystkich komponentach usługi, powiązaniach między nimi oraz procesach i funkcjach umożliwiających pełną realizację łańcucha wartości usługi.

---

<sup>1</sup> Katalog usług może również zawierać informacje o usługach outsourcowanych udostępnianych przez dostawcę.

Istotną rolą, jaką odgrywa katalog wśród klientów (i niektórych użytkowników) usługi jest przechowywanie i udostępnianie zobowiązań zawartych w kontrakcie na świadczenie usługi, takich jak: ceny wraz ze sposobami i metodami rozliczania usługi, poziomy świadczenia usługi, czas trwania oraz warunki dostarczania usługi. Wymienione parametry kontraktu przekładają się w sposób bezpośredni na czynniki ryzyka wszystkich faz cyklu życia usługi, dlatego często identyfikuje się portfel kontraktu z głównym źródłem ryzyka<sup>2</sup>. W ogólności, jako źródło ryzyka może zostać potraktowane całe portfolio usługi<sup>3</sup>, reprezentujące wszystkie zasoby zaangażowane w poszczególne fazy cyklu życia usługi.

Portfel usług informatycznych jest specyficznym rodzajem portfela przechowującym informacje o usługach wykorzystujących technologie informatyczne w celu dostarczenia wartości klientowi poprzez umożliwienie osiągnięcia założonych przez niego rezultatów bez ponoszenia określonych kosztów i ryzyka [5, s. 71-75]. Technologie informatyczne stanowią połączenie systemów komputerowych i telekomunikacyjnych, które współdziałając ze sobą, tworzą usługi sieciowe [2, s. 68]. Usługi sieciowe zastosowane do aplikacji informatycznych tworzą usługi IT<sup>4</sup>. Często spotykanym przykładem usługi informatycznej są usługi programowe (*software service*), których zadania skupiają się wokół wytworzenia, dostarczenia, wdrożenia i utrzymania produktu programowego (aplikacji informatycznej)<sup>5</sup>. Widać tutaj różnicę pomiędzy usługą a projektem informatycznym, która przejawia się w cyklicznym podejściu do realizowanych zadań i czynności. Projekty informatyczne są z reguły realizowane z pewnym założonym harmonogramem, który w idealnym przypadku jest ciągiem następujących po sobie zdarzeń prowadzących liniowo od startu – początku projektu – do mety – wyznaczonej przez osiągnięcie założonego celu (wytworzenia oprogramowania, wdrożenia rozwiązania u klienta docelowego, przeprowadzenia testów aplikacji itp.). W przypadku usług informatycznych występuje ciągłe, cykliczne i najczęściej nieliniowe powiązanie pomiędzy procesami, których wynikiem jest wytworzenie wartości końcowej.

<sup>2</sup> Nie jest to jednak prawidłowe – w dosłownym sensie – stwierdzenie. Portfel sam w sobie nie jest źródłem ryzyka. Jako źródła ryzyka można jedynie potraktować wymagania dotyczące świadczenia usługi w nim zawarte.

<sup>3</sup> Nazwa ta będzie używana w tekście zamiennie do portfela usług.

<sup>4</sup> Przykładem usługi IT w myśl podanej definicji może być usługa Internetu. Usługa ta wymaga zarówno środowiska sieciowego, jak i aplikacji informatycznej (przeglądarki internetowej) w celu dostarczenia wartości klientowi.

<sup>5</sup> Definicja zaczerpnięta z normy ISO/EIC 90003: 2007: Software engineering – Guidelines for the application of ISO 9001:2000 to computer software.

Metodyka zarządzania usługami informatycznymi ITIL®<sup>6</sup> wyróżnia cztery podstawowe fazy cyklu życia usługi. Są to:

- Strategia (*Service Strategy*),
- Projektowanie (*Service Design*),
- Przekazanie (*Service Transition*),
- Eksploatacja (*Service Operation*).

W szablonie zarządzania usługami IT wyróżnia się także piąty element – ustawiczne doskonalenie usługi (CSI – *Continual Service Improvement*). W rzeczywistości jednak procesy wchodzące w jego skład stanowią integralną część wymienionych czterech faz.

Strategicznym elementem portfela usług informatycznym są bieżące kontrakty zawierające informacje o gwarantowanych poziomach świadczonych usług (*service level targets*). Kontrakty są najczęściej formułowane w postaci umów SLA (*Service Level Agreements*), określających oprócz wspomnianych poziomów gwarancji: opis podstawowych atrybutów usługi, czas trwania kontraktu, obowiązki klienta i dostawcy, punkty eskalacji, rodzaje i wysokość kar umownych, procedury i inne regulacje. Zobowiązania umieszczone w kontrakcie tworzą potencjalne źródła ryzyka we wszystkich fazach cyklu życia usługi. W pierwszej kolejności wpływają na fazę projektowania, gdzie jest tworzony model dostarczania usługi klientowi (*design model*). Model ten musi uwzględniać zarówno wymagania klienta sformułowane w odniesieniu do jakości usługi, jak również dostępne aktywa wykonawcy i inne ograniczenia (regulacje prawne, standardy, istniejące zobowiązania itp.). Zagwarantowanie odpowiednich poziomów: dostępności, pojemności, ciągłości i bezpieczeństwa stanowi źródło ryzyka dla fazy eksploatacji usługi. Jeżeli jakkolwiek z wymienionych czynników gwarancji nie zostanie spełniony w stopniu oczekiwanym przez klienta, istnieje poważne zagrożenie wytworzenia wartości końcowej usługi. Dlatego istotną rolę w zarządzaniu ryzykiem odgrywa faza przekazania usług, w której przeprowadzane w końcowym etapie testy, a następnie wdrożenie, są poprzedzone szczegółową analizą zabezpieczonych w fazie projektowania zasobów oraz przygotowaniem planu obejmującego różne scenariusze działania.

## 2. Ekonomiczna wartość usługi

W poprzednim rozdziale zapoczątkowano dyskusję na temat pojęcia tworzenia wartości w zarządzaniu usługami informatycznymi. Na początku zwrócono

---

<sup>6</sup> Więcej informacji o samej metodyce ITIL® można znaleźć na stronie: <http://www.itil-officialsite.com/> (20.10.2013).

uwagę, że jedną z cech wyróżniających usługi jest to, że istnieją dwie główne strony transakcji: klienci (*service clients*) oraz dostawcy (*service providers*). Ze względu na ten podział umiejscowiono ryzyko na szali usługodawcy, gdyż zgodnie z przyjętą definicją, klient dąży do wyeliminowania lub zminimalizowania ponoszonych kosztów i ryzyka związanych z dostarczaniem usługi.

Zatrzymując się dalej przy tym podziale należy zauważyć, że cele osiągnięte poprzez usługę, założone w strategii klienta i dostawcy są różne, chociaż można je sformułować używając tego samego języka – dążenia do maksymalizacji wartości. Kluczową rolę pełni jednak w tej sentencji pojęcie wartości, które nie jest tożsame dla obu stron transakcji.

Usługa tworzy wartość dla klienta, gdy spełnia warunki użyteczności i gwarancji jakości [5, s. 31-34]. Użyteczność jest pojęciem szeroko rozumianym i mogą ją stanowić zarówno nowe funkcjonalności dostarczone poprzez usługę, jak też usunięcie pewnych ograniczeń w obecnie istniejących procesach biznesowych klienta. Gwarancję natomiast rozpatruje się w czterech kategoriach: dostępności, pojemności, ciągłości i bezpieczeństwa usługi [5, s. 35-36], z których wszystkie muszą być spełnione jednocześnie (na poziomie wymaganym przez klienta), aby usługa dostarczała wartości. Maksymalizacja z punktu widzenia usługobiorcy oznacza gwarancję jakości i użyteczności przy jak najniższej cenie.

Dla dostawcy usługi maksymalizacja wartości jest pojęciem bardziej złożonym. Wpływa na to przede wszystkim fakt, że usługodawca musi zmierzyć się z problemem dychotomii celów: usługobiorcy i własnych. Trudno bowiem osiągnąć cel w postaci maksymalizacji własnych zysków oferując przy tym najniższą cenę na rynku i wymaganą w umowie jakość. Chcąc zrealizować to strategiczne wyzwanie w pierwszej kolejności należy podjąć decyzję, jaki model wyceny usługi przyjąć. Na gruncie literatury naukowej brakuje obecnie publikacji podejmujących to zagadnienie. Jednym z wyróżniających się, m.in. ze względu na praktyczne zastosowania, podejść, jest model wyceny usługi oparty na stopniu wykorzystania jej zasobów w określonym przedziale czasu (*utility computing services*). Został on rozpowszechniony przez firmę IBM jako alternatywa tradycyjnych, kosztowych metod (np. *cost-plus pricing*), które nie przystawały do specyfiki usług oferowanych przez przedsiębiorstwa informatyczne. Charakterystyczną cechą tego rodzaju usług jest dostarczanie wartości klientowi w optymalnym dla niego stopniu, to znaczy tylko wtedy, kiedy naprawdę tego potrzebuje i w zakresie, który będzie przez niego w pełni wykorzystany. Wymaga to zastosowania innego podejścia do sposobu rozliczania usługi, dostosowanego do zmiennych potrzeb klienta. G.A. Paleologo wymienia dwie główne finansowe korzyści, wynikające z modelu wyceny opartego na mierze użyteczności usługi in-

formatycznej [6, s. 20-31]. Pierwszą można zaliczyć do atutów usługobiorcy, drugą – usługodawcy:

1. Ograniczenie ryzyka: ponoszone koszty są ściśle związane z wypracowanym zyskiem.
2. Ekonomia skali: współdzielona infrastruktura zasobowa pozwala sprostać nagłym, nieoczekiwanym wymaganiom klienta i ograniczyć koszty związane z wdrożeniem nowej usługi.

Zastosowanie przez dostawcę metody wyceny usługi „na żądanie” wymaga przede wszystkim określenia, jakie jej części będą podstawą ustalenia ceny. Należy rozpatrzyć ten problem na przykładzie firmy informatycznej świadczącej usługę hostingu stron internetowych. Usługa ta wymaga wykorzystania podstawowych zasobów w postaci: serwera wraz z przestrzenią dyskową do przechowywania treści stron oraz ich wyświetlania, łącza internetowego, ludzi utrzymujących infrastrukturę i świadczących wsparcie użytkownikom, odpowiednio wyposażonych pomieszczeń itp. Wymienione zasoby będą nazywać jednostkami usługi (*service units*), dzięki którym usługa dostarcza wartości określonym jednostkom biznesowym (*business units*). Jedną z metod wyceny polega na przypisaniu określonej ceny poszczególnym jednostkom. Opcjonalnie można podzielić każdą z jednostek na komponenty, a następnie przyporządkować im ustaloną wartość cenową. W przypadku pierwszej wymienionej jednostki (serwera www) komponenty mogłyby się składać z następujących części: twarde dyski, procesory, pamięć, oprogramowanie itp. Cena za usługę powinna być wtedy proporcjonalna do stopnia wykorzystania jej komponentów przez klienta. W praktyce stosuje się podejście pierwsze, czyli dzieli usługę na jednostki (zbiory komponentów) oraz określa kilka głównych, łatwo mierzalnych atrybutów każdej z nich. Dla jednostki serwera obecnie są wykorzystywanymi przestrzeń dyskowa lub transfer danych.

Następnym krokiem jest obranie miary, przy pomocy której będzie można wyznaczyć ekonomiczną opłacalność inwestycji przy różnych poziomach przyjętej ceny. G.A. Paleologo [6, s. 20-31] proponuje zastosowanie dynamicznej miary NPV (*Net Present Value*) opartej na analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych przy zadanej stopie dyskonta. W pewnej ogólności wolno przyjąć, że realna wartość inwestycji uzyskana za pomocą miary NPV jest różnicą pomiędzy strumieniem wpływów (zysków) oraz strumieniem odpływów kapitału (kosztów) pomniejszoną o założoną przez usługodawcę stopę dyskonta. Zakłada się, iż opłacalność inwestycji wyznacza dodatnia wartość NPV, czyli sytuacja, gdy prognozowane, zdyskontowane w następujących po sobie okresach czasu zyski, przewyższają zdyskontowane, prognozowane koszty. Optymalizacja ekonomicznej wartości usługi z punktu widzenia dostawcy będzie zatem oznaczała maksymalizację wartości oczekiwanej NPV przy założonej stopie zwrotu z inwestycji.

Przedstawione podejście służące maksymalizacji finansowych korzyści wykorzystano przy budowie modelu decyzyjnego dla usługodawcy, który musi wyznaczyć optymalny punkt opłacalności oferowanego kontraktu, biorąc również pod uwagę wymagania stawiane przez klienta. Jest to przedmiotem rozważań ostatniego rozdziału.

### 3. Model oceny ryzyka

Sformułowanie bezkrytycznej definicji ryzyka jest, jak trafnie zauważa G. Trzpiot, na chwilę obecną „[...] nadzwyczaj skomplikowane, jeżeli nie niemożliwe” [10, s. 9]. Coraz częściej obserwuje się jednak wzrost znaczenia koherentnych i wypukłych miar ryzyka, szczególnie ze względu na dobre właściwości matematyczne i praktyczne zastosowanie. Ich definicje przedstawiają się następująco [1, s. 203-228]:

#### Definicja 1

Niech  $(\Omega, A, P)$  będzie przestrzenią probabilistyczną, a  $V \subset L^0(\Omega, A, P)$  przestrzenią liniową zawierającą stałe. Miarą ryzyka nazywamy odwzorowanie  $R: V \rightarrow \mathbb{R}$  spełniające następujące warunki:

$$X \geq 0 \implies R(X) \leq 0, X \in V; \quad (1)$$

$$R(\lambda X) = \lambda R(X), \lambda \geq 0, X \in V; \quad (2)$$

$$R(X + c) = R(X) - c, X \in V, c \in \mathbb{R}. \quad (3)$$

#### Definicja 2

Koherentną miarą ryzyka nazywamy odwzorowanie  $R: V \rightarrow \mathbb{R}$  spełniające warunki (1), (2) i (3) oraz warunek:

$$R(X + Y) \leq R(X) + R(Y), X, Y \in V. \quad (4)$$

#### Definicja 3

Wypukłą miarą ryzyka nazywamy odwzorowanie  $R: V \rightarrow \mathbb{R}$  spełniające warunki (1), (2) i (3) oraz warunek:

$$R(\lambda X + (1 - \lambda)Y) \leq \lambda R(X) + (1 - \lambda)R(Y), X, Y \in V, \lambda \in [0,1]. \quad (5)$$

W odniesieniu do przedstawionych definicji podjęto próbę wyprowadzenia pojęcia ryzyka w usługach informatycznych jako problemu decyzyjnego w warunkach niepewności.

Przed przystąpieniem do negocjacji kontraktu na świadczenie usługi informacyjnej, menedżerowie muszą zmierzyć się z następującym problemem decyzyjnym: „Jaki przyjąć optymalny poziom świadczenia usługi, tak aby maksymalizować oczekiwane korzyści przy zachowaniu określonej granicy akceptowalnego ryzyka portfela?” [3, s. 17-48]. Najczęściej spotykaną sytuacją jest, gdy dostawca ma do zaoferowania kilka stałych poziomów dla najważniejszych parametrów usługi.

Wobec powyższego przyjęto, że  $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ ,  $\sum_{i=1}^n S_i = 1$ , jest wektorem decyzyjnym oznaczającym zbiór dopuszczalnych alternatyw (decyzyjnych), czyli wszystkich możliwych wyborów poziomów usługi<sup>7</sup>. Decydent musi wziąć pod uwagę nie tylko parametry bieżącego kontraktu, lecz przede wszystkim określić jego wpływ na pozostałe elementy portfela usług. Podjęcie decyzji przez menedżera negocjującego kontrakt jest determinowane funkcją losową  $f(x, \omega)$ , gdzie  $x \in S$ , a  $\omega \in C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ ,  $C_i \in \mathbb{R}_+$ ,  $1 \leq i \leq n$  jest standaryzowanym wektorem kosztów (czynników ryzyka), który nie jest znany w chwili podejmowania decyzji. Dla opracowywanego modelu przyjęto koszt całkowity jako kombinację liniową kosztów o współczynnikach opisujących wartości poziomów kluczowych atrybutów usługi:  $f(x, \omega) = S_1 C_1 + S_2 C_2 + \dots + S_n C_n$ . Zakłada się ponadto, że klient przystępujący do negocjacji posługuje się z góry ustalonymi preferencjami dotyczącymi wartości (pieniężnych), jakie jest w stanie zapłacić za dany poziom (kombinację poziomów) świadczenia usługi. Taka metoda wyceny nazywa się z ang. *Willingness To Pay* (WTP) i oznacza maksymalną sumę (kwotę pieniędzy), jaką jest gotowy (chętny) zapłacić klient za oferowany standard dostarczania usługi.

Należy zreasumować dotychczasowe rozważania wprowadzając do budowanego modelu decyzyjnego funkcję celu. Usługodawca poszukuje optymalnego poziomu świadczenia usług, tak aby maksymalizować własny zysk i zapewnić wymaganą przez klienta gwarancję oraz użyteczność. Funkcję celu zapisuje się zatem w postaci:

$$\max (E(NPV(x, \omega))), x \in S, \omega \in C, \quad (6)$$

$$NPV(x, \omega) = WTP(x) - f(x, \omega), \quad (7)$$

$$NPV(x, \omega) \geq 0. \quad (8)$$

<sup>7</sup> Poziomy usług zostały zestandaryzowane, co nie odbiega od sytuacji spotykanych w rzeczywistości, gdzie zwykle się podawać poziomy świadczenia usługi w procentach (wtedy prosto można to przełożyć na podaną skalę). Ponadto przyjęto założenie, że opisywane poziomy dla poszczególnych parametrów są idealnie substytucyjne, co oznacza, że wymagany przez klienta standard świadczenia usługi może być zagwarantowany poprzez liniową kombinację poszczególnych poziomów sumujących się do wartości 1.



Należy rozważyć teraz dalsze ograniczenia funkcji celu. Pierwsze z nich określa nierówność (8). Z warunku tego wynika natychmiastowo, iż  $E(NPV(x, \omega)) \geq 0 \Rightarrow \max(E(NPV(x, \omega))) \geq 0$ . Osiągnięcie przez menedżera „jakiegoś” zysku jest niestety często niewystarczające. W rzeczywistych sytuacjach ma on za zadanie zawrzeć umowę gwarantującą określony poziom zwrotu z inwestycji trzymając się ustalonego progu bezpieczeństwa<sup>8</sup>. Należy wprowadzić probabilistyczne ograniczenie dla występującego w modelu czynnika losowego – funkcji przyszłych kosztów:

$$Prob(f(x, \omega) \leq \epsilon) \geq \alpha, \quad (9)$$

gdzie:

$\epsilon > 0$  – z góry ustalony próg zmienności kosztów  
wartość  $\alpha \in (0,1)$  – dopuszczalny błąd prognozy.

Wartość  $\epsilon$  spełniająca warunek (9) jest  $\alpha$ -kwantylem funkcji losowej  $f(x, \omega)$ .

Praktycznie, warunek (9) jest formułowany w mniej ogólnej postaci, to znaczy jest poszukiwany dolny  $\alpha$ -kwantyl określający w tym przypadku najmniejszy próg kosztów, jaki trzeba założyć, aby utrzymać prawdopodobieństwo straty na ustalonym poziomie:

$$\min \{\epsilon: Prob(f(x, \omega) \leq \epsilon) \geq \alpha\} = VaR_\alpha(x). \quad (10)$$

Wartość zadana warunkiem (10) jest znaną głównie z rynków finansowych miarą wartości zagrożonej VaR (*Value-at-Risk*). Biorąc pod uwagę warunki (9) i (10) otrzymuje się ograniczenie postaci:

$$VaR_\alpha(x) \leq \epsilon. \quad (11)$$

Z licznych prac dotyczących miary VaR wiadomo, że nie jest to dobra miara ryzyka, czego głównym powodem jest fakt, że nie ma własności podaddytywności. Jest to cecha charakterystyczna dla miary opisującej ryzyko portfela usług informatycznych. Oznacza bowiem, że wprowadzając nowy kontrakt do portfela, usługodawca zmniejsza ogólne ryzyko, co jest po części związane z opisywanym w rozdziale drugim efektem skali. Miara VaR nie daje nam również odpowiedzi na pytanie dotyczące prognozowanych zysków (wielkości rzeczywistych kosztów).

Wracając do celu podstawowego wyrażonego zadaniem optymalizacyjnym (6) oraz uwzględniając omówione probabilistyczne ograniczenia, można zastą-

<sup>8</sup> Wypracowany zysk jest wtedy nazywany premią za ryzyko.

pić warunek  $VaR_\alpha(x) \leq \epsilon$ .  $(VaR_\alpha(x) \leq \epsilon$  warunkową wartością oczekiwaną rozpatrującą średni poziom zysków dla poziom kosztów nie mniejszych niż  $VaR_\alpha(x)$ ):

$$\begin{aligned} WTP(x) &\geq f(x, \omega) + \epsilon \geq f(x, \omega) + VaR_\alpha(x) \Leftrightarrow \\ WTP(x) &\geq f(x, \omega) + VaR_\alpha(x) \Leftrightarrow WTP(x) - f(x, \omega) \geq VaR_\alpha(x) \Leftrightarrow \\ NPV(x, \omega) &\geq VaR_\alpha(x) \Rightarrow \\ E(NPV(x, \omega) | NPV(x, \omega) \geq VaR_\alpha(x)). & \end{aligned} \quad (12)$$

Podsumowując, otrzymuje się problem decyzyjny z funkcją celu postaci:

$$\max (E(NPV(x, \omega))), x \in S, \omega \in C, \quad (13)$$

oraz probabilistycznym ograniczeniem:

$$E(NPV(x, \omega) | NPV(x, \omega) \geq VaR_\alpha(x)) = CVaR_\alpha(x). \quad (14)$$

## Podsumowanie

Otrzymane w efekcie końcowym zadanie optymalizacyjne dane warunkami (13) i (14) nie jest trudne do analitycznego rozwiązania. R.T. Rockafellar i S. Uryasev [8, s. 21-42] pokazali, że zamiast miary CVaR (*Conditional Value-at-Risk*), opisanej probabilistycznym ograniczeniem (14) można użyć pewnej szczególnej liniowej funkcji, której minimalizacja prowadzi do miary CVaR [8, s. 21-42], [9, s. 270-294]. Przypominając, że rozpatrywana funkcja losowa  $f(x, \omega)$  jest również liniowa, zadanie (13)-(14) sprowadza się do klasy zadań programowania wypukłego, szczególnie faworyzowanych podczas obliczeń numerycznych.

Trudno jednoznacznie ocenić, czy dana miary ryzyka jest optymalna dla rozważanej klasy problemów. Jest to jedynie wstęp do badań empirycznych, które mogą opierać się na danych historycznych z umów SLA, będących w posiadaniu każdej firmy usługowej. Do jej najważniejszych atutów wypada zaliczyć prostotę narzędzia, jakim może posłużyć się każdy menedżer przystępujący do negocjacji kontraktu na świadczenie usługi informatycznej. Trzeba również wskazać pewne ograniczenia wynikające z przyjętej, charakterystycznej postaci funkcji kosztów.

Konkludując za G. Trzpiot: czasem lepsze jest używanie teorii mającej pewne wady niż „nieuzasadnione żonglowanie liczbami” [10, s. 11].

## Literatura

- [1] Artzner P., Delbaen F., Eber J.-M., Heath D., *Coherent Measure of Risk*, „Mathematical Finance” 1999, Vol. 9.
- [2] Bilski E., Kosmulska-Bochenek E., *Systemy i usługi informatyczne. Cykl życia, procesy i zarządzanie w normach ISO*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009.
- [3] Kauffman R.J., Sougstad R., *Risk Management of Contract Portfolios in IT Services: The Profit-at-Risk Approach*, „Journal of Management Information Systems” 2008, Vol. 25, No. 1.
- [4] Słownik rynku finansowego, Komisja Nadzoru Finansowego, <http://www.knf.gov.pl/slownik.html> (17.08.2013).
- [5] *ITIL® Service Strategy*, Office of Government Commerce, TSO (The Stationary Office), Great Britain 2007.
- [6] Paleologo G.A., *Price-at-Risk: A Methodology for Pricing Utility Computing Services*, „IBM Systems Journal” 2004, Vol. 43, No. 1.
- [7] Pratt M.K., *7 Steps to a Business Case*, „Computerworld” 10 October 2005, No. 41.
- [8] Rockafellar R.T., Uryasev S., *Optimization of Conditional Value-at-Risk*, „Journal of Risk” 2000, Vol. 2, No. 3.
- [9] Sarykalin S., Serraino G., Uryasev S., *Value-at-Risk vs. Conditional Value-at-Risk in Risk Management and Optimization*, Tutorials in Operations Research, Inform, Catonsville, MD 2008.
- [10] Trzpiot G., *Wybrane modele oceny ryzyka. Podejście nieklasyczne*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Katowice 2008.

## STOCHASTIC RISK MODELLING IN IT SERVICES

### Summary

The new approach to risk modelling in IT services has been introduced in the paper. The primary idea was to use financial and insurance risk measures and apply them to IT services portfolio contracts. This conception has led to formulate new definition of risk in IT services which has been proposed in the second part of the paper. The last section presents a stochastic IT services risk model which is built as an optimization, decision problem.