

Leszek Czapiewski, Jacek Mizerka, Tomasz Nowaczyk

Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

ZARZĄDZANIE RYZYKIEM RYNKOWYM W FIRMIE – UJĘCIE MODELOWE

1. Wstęp

Niniejszy artykuł poświęcony jest zagadnieniu zarządzania ryzykiem rynkowym, czyli ryzykiem wynikającym ze zmienności cen rynkowych. Przyjmując, że kryterium podejmowania decyzji w firmie jest wzrost jej wartości, można sobie postawić pytanie o to, czy podjęcie działań ograniczających ryzyko jest zgodne z realizacją tego kryterium. Argumentem na rzecz tezy, że owa zgodność występuje, jest m.in. stwierdzenie, że zarządzanie ryzykiem obniża prawdopodobieństwo wystąpienia trudności finansowych [Smithson, Smith, Wilford 2000, s. 139-142]. Realizacja postulatu obniżenia tego prawdopodobieństwa wymaga podjęcia działań na rzecz obniżenia zmienności wartości firmy. Z kolei obniżenie zmienności wartości firmy nastąpi wtedy, gdy obniży się zmienność jej wyników finansowych. Redukcja zmienności wyników finansowych może nastąpić dzięki zastosowaniu odpowiedniej strategii zarządzania ryzykiem. W artykule przedstawiamy procedurę prowadzącą do opracowania strategii zarządzania ryzykiem. Na potrzeby tej procedury skonstruowany został dynamiczny model symulacyjny łączący w sobie elementy planistyczne (zestawienia finansowe *pro forma*), modele wyceny instrumentów pochodnych oraz generatory liczb losowych o zadanych rozkładach. Dzięki wykorzystaniu w modelu *dekompozycji Cholesky'ego* lub funkcji *copula* możliwe stało się uwzględnienie współzależności czynników ryzyka.

2. Etapy procesu opracowania strategii zarządzania ryzykiem

Opracowanie strategii zarządzania ryzykiem można podzielić na wyraźnie wyodrębnione etapy, z których każdy wykorzystuje swoiste narzędzia i wymaga określonych informacji. Etapy te zostały przedstawione w tab. 1 [Nowaczyk 2006, s. 280-290].

Tabela 1. Etapy prac nad strategią zarządzania ryzykiem w firmie

Etap	Opis
Etap I	opracowanie katalogu nośników ryzyka i horyzontu czasowego procedury zarządzania ryzykiem
Etap II	szacowanie rozkładu prawdopodobieństwa dla zmiennych odzwierciedlających czynniki ryzyka
Etap III	badanie symulacyjne wpływu ryzyka na wyniki finansowe
Etap IV	opracowanie możliwych strategii zabezpieczenia przed ryzykiem
Etap V	badanie symulacyjne wpływu ryzyka na wyniki finansowe przy zastosowaniu poszczególnych możliwych strategii zabezpieczenia przed ryzykiem
Etap VI	wybór strategii zabezpieczenia przed ryzykiem na podstawie rezultatów badania z etapu V

Źródło: na podstawie: [Nowaczyk 2006, s. 286].

Opisy poszczególnych etapów procedury prac nad strategią zarządzania ryzykiem dokonane zostaną na przykładzie hipotetycznej firmy handlowej, która eksportuje ok. 70% towarów. Przyjmijmy, że ok. 55% sprzedaży eksportowej ma miejsce w krajach strefy euro, a ok. 45% w strefie dolarowej. W tym przypadku identyfikacja głównych czynników ryzyka (I etap procedury) nie nastęca wielkich trudności. Za czynniki te można uznać wyrażone w złotych kursy euro i dolara. Współczesna firma musi się liczyć ze wzrastającą zmiennością czynników ryzyka. Zjawisko to wymaga skracanie kroku czasowego w procesie podejmowania decyzji. Dla zasygnalizowania tego zjawiska w procedurze wyboru strategii zabezpieczenia wykorzystany zostanie dynamiczny model symulacyjny. Jednak dla uproszczenia przyjmujemy założenie, że horyzontem czasowym modelu jest jeden rok, a wartości zmiennych losowych odzwierciedlających czynniki ryzyka zmieniają się raz na kwartał. Jako zmienne losowe potraktowane zostaną kwartalne, logarytmiczne stopy wzrostu kursu euro, r_e i dolara, r_s . Kursy walutowe będą się zaś zmieniać stosownie do formuł:

$$euro_{t+1} = euro_t \cdot e^{r_e}, \quad (1)$$

$$usd_{t+1} = usd_t \cdot e^{r_s}. \quad (2)$$

Etap II wymaga dysponowania historycznymi wartościami zmiennych odzwierciedlających czynniki ryzyka. Poważnym utrudnieniem jest konieczność uwzględnienia współzależności między zmiennymi losowymi, z których każda odnosi się do zidentyfikowanego czynnika ryzyka. W ramach tego etapu powinniśmy dokonać identyfikacji wielowymiarowych *de facto* rozkładów zmiennych losowych. Bardzo często jednak nie znamy analitycznej postaci takiego rozkładu. Rozkłady te można przybliżać, wykorzystując funkcję *copula* oraz rozkłady brzegowe wyróżnionych

zmiennych losowych¹. Wobec tego proponujemy, aby zestawić historyczne informacje o kształtowaniu się poszczególnych zmiennych i potraktować te szeregi jako próby pobrane z populacji o konkretnych rozkładach brzegowych. Postać rozkładu brzegowego powinna być zweryfikowana z wykorzystaniem odpowiednich testów statystycznych. Wykorzystując brzegowe rozkłady z próby, należy także oszacować wartości mierników współzależności. Trzeba się liczyć z tym, że w wielu przypadkach nie można mówić o współzależności liniowej. W takiej sytuacji współczynnik korelacji liniowej Pearsona przestaje być adekwatnym miernikiem owej współzależności.

Odnosząc się do naszej hipotetycznej firmy, przyjmijmy, że nie było podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu kwartalnych stóp wzrostu kursu zarówno euro, jak i dolara.

W naszych rozważaniach posłużyliśmy się uproszczonym podejściem. Jako miarę współzależności stóp zwrotu wykorzystaliśmy współczynnik korelacji liniowej Pearsona – ρ . Natomiast dla potrzeb generowania wartości zależnych od siebie zmiennych losowych z dwuwymiarowego rozkładu normalnego wykorzystaliśmy dekompozycję Cholesky’ego. Zastosowanie tej metody w odniesieniu do dwóch zmiennych współzależnych sprowadza się do:

a) wylosowania wartości tych zmiennych n_1, n_2 jako zmiennych niezależnych, z wybranego uprzednio rozkładu (rozkładu normalnego),

b) przekształcenia n_1, n_2 , w wartości zależne z_1, z_2 za pomocą formuł:

$$z_1 = n_1, \quad (3)$$

$$z_2 = \rho n_1 + \sqrt{1 - \rho^2} n_2 \quad (\text{por. [Jaeckel 2002, s. 45-49]}). \quad (4)$$

Jak już wspomnieliśmy, w rozważanym przez nas przypadku zmiennymi współzależnymi są stopy wzrostu kursu euro i dolara. Współczynnik korelacji między stopami wzrostu obu kursów, obliczony na podstawie kwartalnych logarytmicznych stóp wzrostu kursów w okresie luty 1999-marzec 2008, wynosi 0,513.

W etapie III proponujemy zastosowanie metody Monte Carlo w odniesieniu do wybranych czynników ryzyka w celu obliczenia wartości takich jego mierników, jak zysk narażony na ryzyko (*Earnings-at-Risk* – EaR) oraz przepływ pieniężny narażony na ryzyko (*Cash Flow at Risk* – CFaR). Zysk narażony na ryzyko (EaR) definiujemy jako wielkość odchylenia od oczekiwanej kwoty zysku netto taką, że prawdopodobieństwo wystąpienia tego odchylenia, bądź odchylenia jeszcze większego, jest równe zadanemu poziomowi tolerancji α . Analogicznie przepływ pieniężny narażony na ryzyko to takie odchylenie od wartości oczekiwanej przepływu pieniężnego, że prawdopodobieństwo wystąpienia tego odchylenia, bądź odchylenia jeszcze

¹ Szerzej o funkcjach *copula* zob. np. [Embrechts, McNeil, Strauman 2002, s. 176-223; Nelsen 2006].

większego, jest równe zadanemu poziomowi tolerancji α . Warunkiem koniecznym realizacji etapu III jest konstrukcja modelu finansowego w postaci zestawień finansowych *pro forma* (rachunku zysków i strat, zestawienia przepływów pieniężnych i bilansu). W odniesieniu do naszej hipotetycznej firmy handlowej realizacja ta przedstawia się następująco: w pierwszym kroku losowane są wartości stóp wzrostu euro i dolara dla danego kwartału, a w konsekwencji wartości obu kursów walutowych w danym kwartale. W następnym kroku na podstawie założeń o ilościach kupowanych i sprzedawanych towarów konstruowany jest rachunek zysków i strat oraz zestawienie przepływów pieniężnych dla danego kwartału. Następnie sporządza się te zestawienia dla całego roku. Wszystkie te kroki są powtarzane odpowiednią liczbę razy (w naszym przypadku było to 5 tys. razy). Wyniki prezentowane są w formie tabeli, w której zestawiono EaR , $CFaR$, wartości oczekiwane zysku netto oraz przepływu pieniężnego, a także odchylenia standardowe tych zmiennych. W wypadku stwierdzenia wysokich wartości EaR i $CFaR$ konieczna staje się realizacja etapu IV procedury.

Etap IV polega na opracowaniu bardziej lub mniej złożonej strategii zabezpieczenia przed ryzykiem. W odniesieniu do hipotetycznej firmy handlowej zaproponowaliśmy rozważenie dwóch strategii. Strategia pierwsza polega na nabyciu odpowiedniej liczby zwykłych (waniliowych) opcji sprzedaży (*plain vanilla put options*). Strategia druga natomiast odwołuje się do opcji barierowych (*barrier options*).

Opcje barierowe wraz z opcjami binarnymi należą do najpopularniejszych opcji egzotycznych stosowanych obecnie na globalnym rynku walutowym (por. [Internet 1]). Po raz pierwszy zadebiutowały na rynku walutowym w latach 80., a instrumentem bazowym był kurs USD/JPY. Opcja barierowa powstaje poprzez dodanie do opcji standardowej elementu konstrukcyjnego, zwanego barierą. Jest to poziom ceny instrumentu bazowego, którego osiągnięcie decyduje o przedterminowym wygaśnięciu opcji lub też o jej aktywacji. O sukcesie opcji barierowych na światowych rynkach instrumentów pochodnych zadecydowała niższa cena niż odpowiadających im opcji waniliowych. Skala tej korzyści może być w znacznym stopniu kształtowana przez samego inwestora – oddalając lub przybliżając poziom bariery do ceny instrumentu bazowego, zmienia on różnicę w cenie opcji standardowej i opcji barierowej. Atrakcyjność cenowa tych opcji jest zatem następstwem warunkowej wypłaty, jaką generują. Poziom bariery ustalany jest w momencie zawierania kontraktu opcyjnego. Opcja z barierą wejścia (*knock-in option*) zaczyna aktywnie istnieć w momencie osiągnięcia bariery przez cenę instrumentu bazowego, a opcja barierowa staje się tym samym opcją standardową – opcja ulega aktywacji. Jeśli bariera zostanie osiągnięta, nabywca opcji może liczyć na otrzymanie wypłaty, jeśli tylko wygasła ona *in-the-money*. W przeciwnym przypadku nabywcy nie przysługuje prawo do wypłaty, niezależnie od tego, czy opcja miała wartość wewnętrzną w dniu wygaśnięcia, czy też nie. W sytuacji gdy zagraża ryzyko spadku ceny instrumentu bazowego, stosuje się opcje z barierą „w dół” (*down*). W tego typu opcjach bariera znajduje się poniżej

ceny instrumentu pierwotnego. Aby opcja została aktywowana, musi dojść do obniżenia ceny aktywów bazowego do poziomu tej bariery.

W ramach etapu IV konieczna jest wycena wartości opcji w celu oszacowania kosztów strategii zabezpieczenia przed ryzykiem zmiany spadku kursu walutowego. Waniliowe opcje sprzedaży wystawione na kurs euro i dolara wyceniono, wykorzystując model Blacka-Scholesa. Zgodnie z tym modelem wartość opcji sprzedaży, $pvan_0$, ustalana jest następująco:

$$pvan_0 = X e^{-r_1 T} N(-d_2) - S_0 e^{-r_2 T} N(-d_1), \quad (5)$$

gdzie: S_0 – wartość instrumentu bazowego w momencie 0,
 X – cena wykonania opcji *put*,
 $N(d_1)$ – wartość dystrybuanty rozkładu normalnego w punkcie d_1 ,
 $N(d_2)$ – wartość dystrybuanty rozkładu normalnego w punkcie d_2 ,
 T – termin wykonania opcji *put*,
 e – podstawa logarytmu naturalnego,
 r_1, r_2 – stopa procentowa, odpowiednio: krajowa, zagraniczna,

przy czym:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + T \cdot \left(r_1 - r_2 + \frac{\sigma^2}{2}\right)}{\sigma \sqrt{T}}, \quad (6)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + T \cdot \left(r_1 - r_2 - \frac{\sigma^2}{2}\right)}{\sigma \sqrt{T}}, \quad (7)$$

gdzie: σ^2 – wariancja wartości instrumentu bazowego,

przy czym: $\sigma^2 = \sigma_t^2 = \text{const.}, \forall t \in (0; T)$.

Z kolei szacowanie wartości opcji barierowej *knock-down-in-put*, $pbar_0$ odbywa się na podstawie następujących formuł:

$$\begin{aligned} pbar_0 = & X e^{-r_1 T} N(-x_1 + \sigma \sqrt{T}) - S_0 e^{r_2 T} N(-x_1) + \\ & + S_0 e^{-r_2 T} \left(\frac{H}{S_0}\right)^{2\lambda} [N(y) - N(y_1)] - \\ & - X e^{r_2 T} \left(\frac{H}{S_0}\right)^{2\lambda-2} [N(y) - \sigma \sqrt{T}] - N(y_1 - \sigma \sqrt{T})], \end{aligned} \quad (8)$$

przy czym:

$$\lambda = \frac{r_1 - r_2 + \frac{\sigma^2}{2}}{\sigma^2}; \quad y = \frac{\ln \frac{H^2}{S_0 X}}{\sigma \sqrt{T}} + \lambda \sigma \sqrt{T}; \quad x_1 = \frac{\ln(\frac{S_0}{H})}{\sigma \sqrt{T}} + \lambda \sigma \sqrt{T};$$

$$y_1 = \frac{\ln(\frac{H}{S_0})}{\sigma \sqrt{T}} + \lambda \sigma \sqrt{T}, \quad (9)$$

gdzie: H – bariera opcji; $H < S_0$.

Dodatkowo przyjęto założenie, że opcje są wystawiane tylko na kwartał. Po zakończeniu danego kwartału, w celu zabezpieczenia na następny okres, konieczny jest zakup nowych opcji, z nowymi cenami wykonania.

W etapie V raz jeszcze stosujemy symulację jako metodę badania, tyle tylko, że tym razem badamy konsekwencje zastosowania określonych strategii zabezpieczenia przed ryzykiem.

Istotnymi elementami rachunku zysków i strat oraz zestawienia przepływów pieniężnych z punktu widzenia wyboru strategii zarządzania ryzykiem stają się teraz przychody i koszty finansowe. W przychodach finansowych ujęte są korzyści z tytułu zastosowania zabezpieczenia w postaci instrumentu pochodnego (np. różnica między ceną wykonania a aktualną ceną rynkową, gdy opcja sprzedaży w momencie wygaśnięcia kontraktu jest opcją w cenie (*option in the money*)). W kosztach finansowych ujmuje się straty z tytułu zastosowania zabezpieczeń w postaci kontraktów terminowych (np. straty wynikające z zajęcia pozycji krótkiej, gdy wygrywa pozycja długa) lub kwoty wynikające z przemnożenia liczby zakupionych opcji przez ich ceny.

Wyniki etapu V stanowią podstawę do wyboru strategii zabezpieczenia przed ryzykiem.

3. Przykładowe wyniki

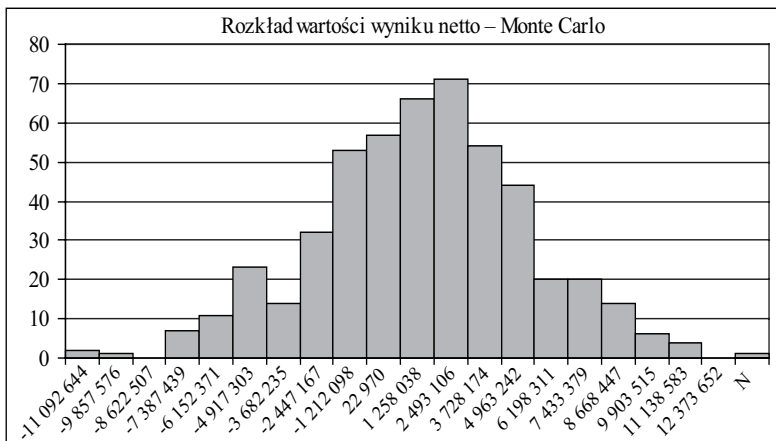
Wyniki badania wpływu wyodrębnionych czynników ryzyka na wyniki finansowe (etap III) zostały zestawione w tab. 2. Uzupełnieniem rezultatów przedstawionych w tabeli są wykresy rozkładu wyniku finansowego netto oraz przepływu pieniężnego.

Konsekwencje finansowe zastosowania strategii zabezpieczenia (etap V) zostały zestawione w kolejnych tabelach, odpowiednio: w tab. 3 – konsekwencje zastosowania opcji waniliowej, a w tab. 4 – opcji barierowej. Uzupełnieniem rezultatów przedstawionych w tabelach są wykresy rozkładu wyniku finansowego netto oraz przepływu pieniężnego dla obu strategii.

Tabela 2. Wpływ czynników ryzyka na wyniki finansowe

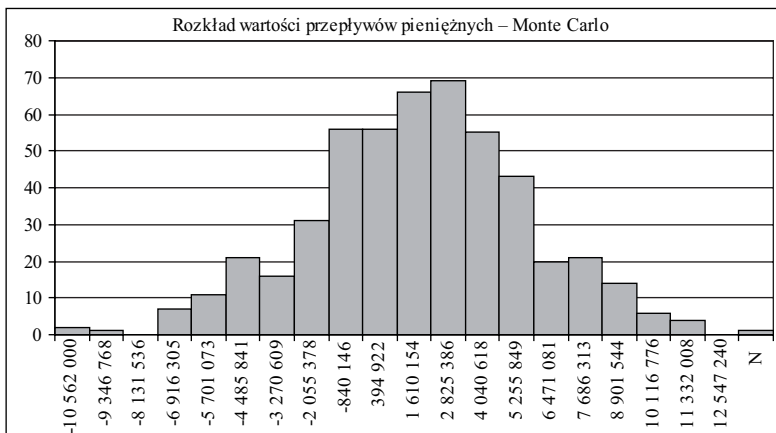
Symulacja nr: 1			
POZIOM ZABEZPIECZEŃ:		EaR	6 098 402
		EaR% – EaR/ <i>E(net profit)</i>	952,13%
FORWARD EUR	0%	<i>E(net profit)</i>	640 504
WANILIOWA EUR	0%	<i>sd(net profit)</i>	3 705 205
BARIEROWA EUR	0%	CFaR	5 954 845
AZJATYCKA EUR	0%	CFaR% – CFaR/ <i>E(cash flow)</i>	593,98%
WANILIOWA USD	0%	<i>E(cash flow)</i>	1 002 538
BARIEROWA USD	0%	<i>sd(cash flow)</i>	3 645 695

Źródło: obliczenia własne.



Rys. 1. Rozkład wyniku finansowego netto; brak zabezpieczeń

Źródło: obliczenia własne.



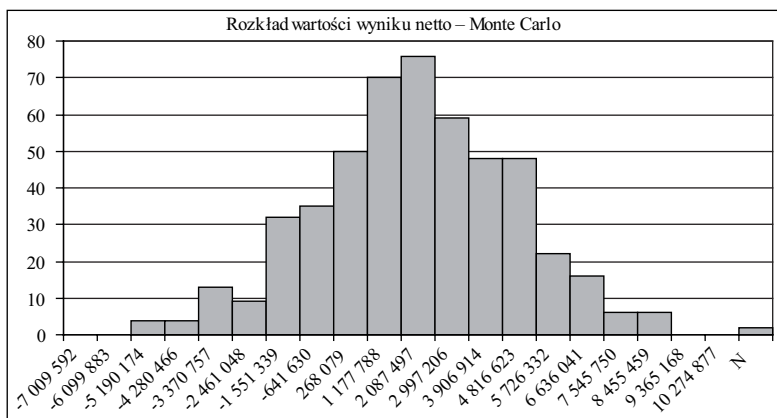
Rys. 2. Rozkład przepływów pieniężnych; brak zabezpieczeń

Źródło: obliczenia własne.

Tabela 3. Konsekwencje strategii z wykorzystaniem opcji waniliowej

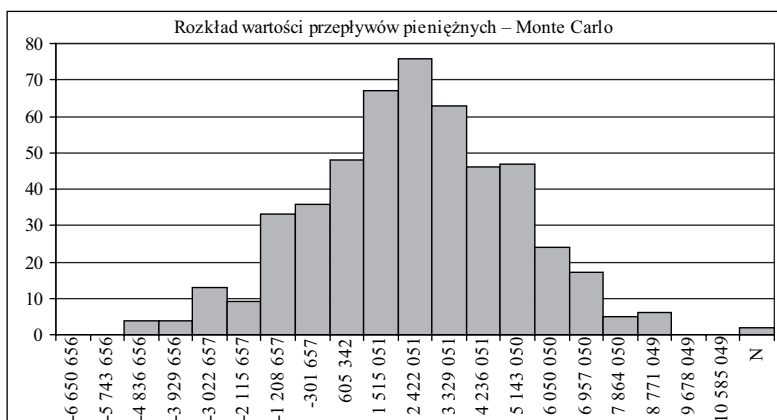
Symulacja nr: 2			
POZIOM ZABEZPIECZEŃ:		EaR	4 313 040
		$EaR\% - EaR/E(\text{net profit})$	264,18%
FORWARD EUR	0%	$E(\text{net profit})$	1 632 642
WANILIOWA EUR	100%	$sd(\text{net profit})$	2 729 127
BARIEROWA EUR	0%	CFaR	4 309 633
AZJATYCKA EUR	0%	$CFaR\% - CFaR/E(\text{cash flow})$	218,92%
WANILIOWA USD	100%	$E(\text{cash flow})$	1 968 551
BARIEROWA USD	0%	$sd(\text{cash flow})$	2 720 999

Źródło: obliczenia własne.



Rys. 3. Rozkład wyniku finansowego netto; zabezpieczenie – opcja waniliowa

Źródło: obliczenia własne.



Rys. 4. Rozkład przepływów pieniężnych; zabezpieczenie – opcja waniliowa

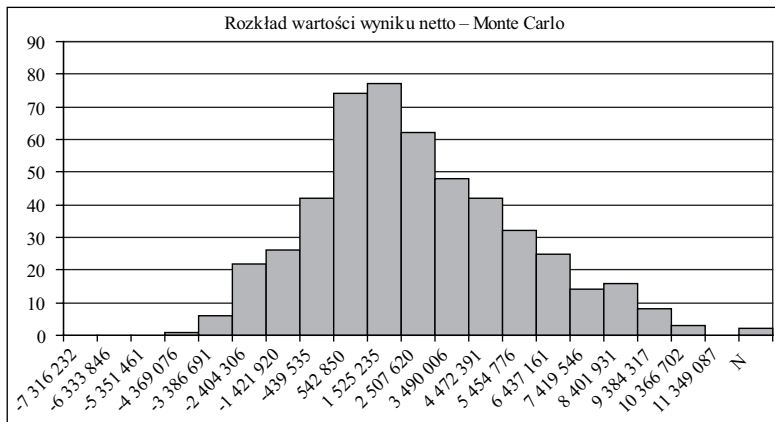
Źródło: obliczenia własne.

Tabela 4. Konsekwencje strategii z wykorzystaniem opcji barierowej

Symulacja nr: 3

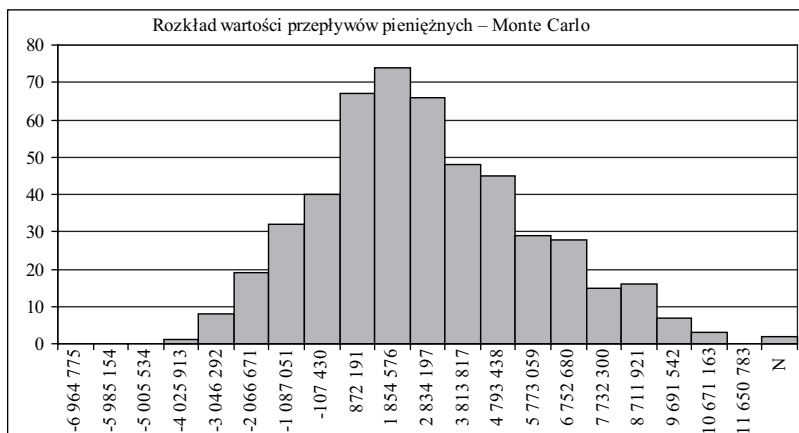
POZIOM ZABEZPIECZEŃ:		EaR	4 271 066
		EaR% – EaR/E(<i>net profit</i>)	211,81%
FORWARD EUR	0%	E(<i>net profit</i>)	2 016 428
WANILIOWA EUR	0%	sd(<i>net profit</i>)	2 947 156
BARIEROWA EUR	100%	CFaR	4 173 859
AZJATYCKA EUR	0%	CFaR% – CFaR/E(<i>cash flow</i>)	178,04%
WANILIOWA USD	0%	E(<i>cash flow</i>)	2 344 386
BARIEROWA USD	100%	sd(<i>cash flow</i>)	2 938 862

Źródło: obliczenia własne.



Rys. 5. Rozkład wyniku finansowego netto; zabezpieczenie – opcja barierowa

Źródło: obliczenia własne.



Rys. 6. Rozkład przepływów pieniężnych; zabezpieczenie – opcja barierowa

Źródło: obliczenia własne.

- Przedstawione wyniki pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:
- Zarówno EaR, jak i CFaR oraz odchylenia standardowe zysku netto i przepływów pieniężnych są znacznie wyższe w sytuacji, gdy firma nie stosuje żadnej strategii zabezpieczania przed ryzykiem spadku kursów walutowych; można zatem stwierdzić, że w wypadku hipotetycznej firmy handlowej aktywne zarządzanie ryzykiem, mające na celu zabezpieczenie przed spadkiem kursów walutowych, prowadzi do redukcji zmienności wyników finansowych.
 - Wartości oczekiwane wyniku finansowego netto i przepływu pieniężnego są znacznie niższe w sytuacji braku stosowania jakiejkolwiek strategii chroniącej przed spadkiem kursów; wynik ten jest argumentem na rzecz tezy, że zarządzanie ryzykiem prowadzi do wzrostu wartości firmy.
 - Porównując wyniki uzyskane dzięki zastosowaniu opcji waniliowych oraz barierowych, należy stwierdzić, że nieco lepsze wyniki (niższą zmienność wyników, wyższe wartości oczekiwane wyniku finansowego netto i przepływu pieniężnego) firma osiąga, gdy stosowane są opcje barierowe. Można więc, w ramach etapu VI, doradzić firmie stosowanie zabezpieczeń przed spadkiem kursów walutowych w postaci opcji barierowych.

4. Kierunki dalszych badań

Wydaje się, że wyniki uzyskane dzięki zastosowaniu procedury zarządzania ryzykiem z wykorzystaniem modelu symulacyjnego są na tyle obiecujące, że skłania to do podjęcia kolejnych badań nad strategiami zarządzania ryzykiem. Rysują się następujące propozycje badawcze:

- a) uwzględnienie w modelu symulacyjnym kolejnych modeli biznesowych,
- b) rozszerzenie zestawu czynników ryzyka w ramach modeli biznesowych,
- c) opracowanie modeli wyceny różnych egzotycznych instrumentów pochodnych,
- d) opracowanie złożonych strategii zabezpieczających przed ryzykiem.

Literatura

- Embrechts P.B., McNeil A., Strauman D., *Correlation and Dependence in Risk Management: Properties and Pitfalls* [w:] M.A.H. Dempster (red.), *Risk Management*, Cambridge University Press, 2002.
- Jaeckel P., *Monte Carlo methods in finance*, Jon Wiley & Sons, Ltd. 2002,
- Nelsen R.B., *An Introduction to Copulas*, Springer 2006.
- Nowaczyk T., *Wybór strategii zarządzania ryzykiem rynkowym w przedsiębiorstwie*, [w:] P. Szczepankowski (red.), *Problemy zarządzania finansami we współczesnych przedsiębiorstwach*, Wizja Press&IT, Warszawa 2006.
- Smithson C.W., Smith C.W. Jr., Wilford D.S., *Zarządzanie ryzykiem finansowym*, Dom Wydawniczy ABC, Kraków 2000.

Źródła internetowe

[1] www.inwestycje.pl.

RISK MANAGEMENT IN A FIRM – SIMULATION MODEL

Summary

Assuming that risk management can influence the value of a firm we present a procedure leading to the preparation of a risk management strategy. For the purpose of this strategy a dynamic simulation model has been prepared. The model contains elements of a financial plan and derivatives valuation models. In order to assess the value of variables reflecting risk factors, the Monte Carlo method has been used. Using the Monte Carlo method we took into account the interdependencies between variables. For the purpose of risk measurement we used such methods as earnings at risk (EaR) and cash flow at risk (CFaR). The results of simulation experiments can be helpful in the process of choosing financial instruments for hedging .

Keywords: strategy of risk management, simulation model, Monte Carlo method, Earnings at Risk, Cash Flow at Risk.