

Józef Kupczyk

Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu

IDENTYFIKACJA I POMIAR RYZYKA POGODOWEGO W PRZEDSIĘBIORSTWIE

1. Wstęp

Ryzyko w przedsiębiorstwie jest związane z nieprzewidywalnością podejmowanych decyzji oraz występowaniem zdarzeń losowych wpływających na jego funkcjonowanie. Niepodejmowanie działań, mających na celu eliminowanie lub ograniczanie ryzyka, bądź nieumiejętne obchodzenie się z ryzykiem bywają źródłami strat; w skrajnych przypadkach mogą nawet być przyczyną upadku przedsiębiorstwa. Podejmowanie decyzji w przedsiębiorstwie powinno być zatem oparte na rzetelnych informacjach na temat związanego z nimi ryzyka. Poza tym wskazane jest monitorowanie przedsiębiorstwa pod kątem jego narażenia na różne rodzaje ryzyka i podejmowanie stosownych działań, zmierzających do eliminowania bądź ograniczania zidentyfikowanych, istotnych rodzajów ryzyka.

Przedsiębiorstwa narażone są na różne rodzaje ryzyka. Od dawna zarządzają ryzykiem związanym z możliwością utraty majątku trwałego. Coraz częściej zarządzają jego innymi rodzajami, np. niewykluczającymi możliwości poniesienia straty na operacjach finansowych, czy ryzykiem cen swoich produktów.

W późnych latach 90. ubiegłego stulecia, więc stosunkowo niedawno, przedsiębiorstwa, głównie w USA i w Europie Zachodniej, zaczęły zarządzać ryzykiem, którego źródłem jest zmienność warunków pogodowych o niekatastrofalnym charakterze. Od dawna zdawano sobie sprawę z zależności wyników finansowych wielu przedsiębiorstw od stosunkowo niewielkiej zmienności pogody, jednak dopiero niedawno skonstruowano pogodowe instrumenty pochodne (*weather derivatives*), umożliwiające skuteczne zarządzanie ryzykiem powodowanym przez tę zmienność.

Celem referatu jest prezentacja metody identyfikacji i pomiaru tego ryzyka. Rozważane jest zwłaszcza oddziaływanie warunków pogodowych na wielkość sprzedaży w przedsiębiorstwie.

2. Ryzyko, jego identyfikacja i pomiar

Ryzyko jest rozumiane na wiele sposobów. Ważne są zwłaszcza dwie koncepcje. Pierwsza wiąże z pojęciem ryzyka jedynie możliwość poniesienia straty, ryzyko rozumiane jest tutaj negatywnie. Druga mówi o ryzyku jako o możliwości zarówno poniesienia straty, jak i osiągnięcia zysku. W tym przypadku ryzyko jest postrzegane neutralnie i wyróżnia się jego dwa efekty: negatywny i pozytywny. Wszelkie rodzaje ryzyka odpowiadają pierwszej bądź drugiej koncepcji, np. ryzyko katastrof naturalnych – pierwszej, a ryzyko zmiany ceny – drugiej.

Postrzeganie ryzyka ma subiektywny charakter. Wypracowano metody umożliwiające obiektywne i rzetelne obchodzenie się z ryzykiem. W tym kontekście mówi się o zarządzaniu ryzykiem (*risk management*). Definiowane jest ono jako „proces równoważenia korzyści i kosztów zmniejszania ryzyka oraz podejmowania decyzji dotyczących dalszego działania (w tym niepodejmowania żadnych działań)” [Bodie, Merton 2003, s. 366]. Działania w zakresie zarządzania ryzykiem są prowadzone oczywiście z powodu występowania negatywnych efektów ryzyka i dotyczą wszelkich rodzajów ryzyka w danej jednostce (przedsiębiorstwie, gospodarstwie domowym itd.).

Proces zarządzania ryzykiem składa się z następujących etapów [Bodie, Merton 2003, s. 371]:

- 1) identyfikacji ryzyka,
- 2) oceny ryzyka,
- 3) doboru metod zarządzania ryzykiem,
- 4) realizacji,
- 5) rewizji.

Identyfikacja ryzyka ma na celu rozpoznanie rodzajów ryzyka, na jakie narażona jest jednostka oraz obszarów ich oddziaływania. Nie ma prostej metody pozwalającej na osiągnięcie tego celu. Wyróżniane są przede wszystkim dwie metody identyfikacji ryzyka. Polegają one na (por. [<http://www.ryzyko...>]):

- badaniu narażenia jednostki na różne znane rodzaje ryzyka,
- określaniu i badaniu zdarzeń, których wystąpienie może powodować straty w jednostce.

Podstawowymi wadami pierwszej metody są niewykrywalność niestandardowych rodzajów ryzyka oraz trudności w określeniu wszystkich możliwych obszarów oddziaływania danego rodzaju ryzyka [<http://www.ryzyko...>]. Stosowanie każdej z metod wymaga bardzo dobrej znajomości jednostki i jej otoczenia.

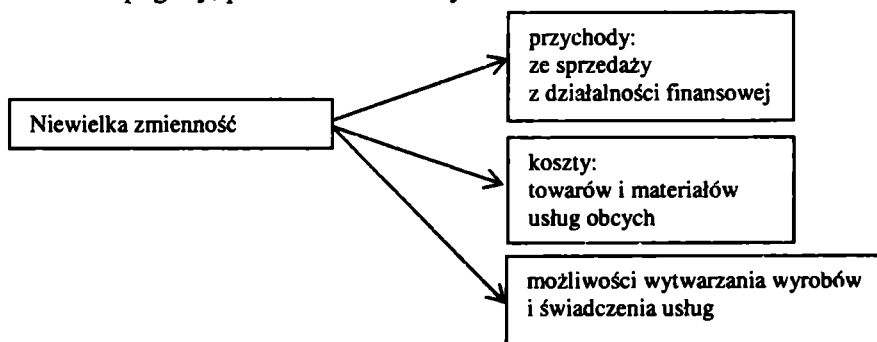
Analiza ryzyka może skupiać się wyłącznie na zmienności danego zjawiska bądź polegać na rozpatrywaniu jego zmienności jako wyniku oddziaływania pewnych czynników (w tym przypadku pozwala na wyjaśnienie przyczyn obserwowanej zmienności). Ocena ryzyka, utożsamiana w tej pracy z pojęciem pomiaru ryzyka, polega więc odpowiednio na zmierzeniu zmienności zjawiska bądź wpływu zmian określonych czynników na zjawisko. Do pomiaru różnych rodzajów ryzyka są stosowane różne miary. Na przykład ryzyko cen towarów można mierzyć za pomocą odchylenia standardowego stopy zwrotu (pierwszy przypadek), a ryzyko instrumentów dłużnych, wrażliwych na zmiany stóp procentowych, za pomocą *duration* (drugi przypadek). W pomiarze całości ryzyka w jednostce wykorzystywana jest koncepcja wartości zagrożonej (*Value at Risk* – VaR).

3. Ryzyko pogodowe, jego identyfikacja i pomiar

Ryzyko pogodowe (*weather risk*) to możliwość wystąpienia innych niż oczekiwane wyniki finansowych z powodu niewielkiej (niekatastrofalnej) zmienności pogody [Cogen]. Efekt oddziaływania ryzyka pogodowego może być zarówno negatywny, jak i pozytywny oraz oznaczać odpowiednio wystąpienie straty bądź zysku w danym okresie, zwykle w odniesieniu do uśrednionego wyniku finansowego z ubiegłych analogicznych okresów w różnych latach.

Niewielka zmienność pogody jest rozpatrywana na poziomie zmian wartości parametrów pogody, tzn. temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, prędkości wiatru, usłonecznienia (tj. liczby godzin słonecznych w ciągu doby) itd.

Niewielka zmienność pogody może wpływać na wielkość zakupu określonych produktów (wyrobów, usług), towarów i materiałów, np. energii cieplnej czy energii elektrycznej, na ich ceny oraz możliwości produkcyjne, np. w rolnictwie czy energetyce wodnej. Obszary przedsiębiorstwa, na które może mieć wpływ niewielka zmienność pogody, przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Obszary przedsiębiorstwa, na które może wpływać niewielka zmienność pogody

Źródło: opracowanie własne.

Parametry pogody mogą być zatem czynnikiem ryzyka wolumenu, jak i czynnikiem ryzyka cen. Uwidacznia to związek ryzyka pogodowego z tymi rodzajami ryzyka.

Ryzyko pogodowe jest zwykle istotne, gdy niewielka zmienność pogody wpływa na wielkość sprzedaży (zakupu) bądź możliwości produkcyjne. Na wielkość sprzedaży (zakupu) może, poza ceną, wpływać wiele różnych czynników, np. zmienność kursu walutowego w przypadku przedsiębiorstwa eksportowego czy panująca moda. Jednak w wielu przypadkach dominującym czynnikiem są parametry pogody, co pozwala na efektywne zarządzanie ryzykiem wolumenu. Zarządzanie ryzykiem cen jest dobrze opisane i od dawna z powodzeniem stosowane.

Identyfikacja ryzyka pogodowego może polegać na zbadaniu sezonowości sprzedaży, zakupu czynników produkcji bądź ograniczeń w możliwościach produkcyjnych oraz zależności pomiędzy tymi zjawiskami a wartościami parametrów pogody bądź „indeksów” pogodowych (jeżeli są notowane).

Przedmiotem dalszych rozważań jest oddziaływanie rozważanych warunków pogodowych na wielkość sprzedaży.

Ryzyko pogodowe w przedsiębiorstwie można mierzyć za pomocą różnych miar i w odniesieniu do różnych zmiennych, tzn. zysku netto czy określonego wskaźnika.

Wielkość sprzedaży w przedsiębiorstwie w danym okresie można modelować za pomocą funkcji pewnej liczby zmiennych losowych, reprezentujących wpływ określonych czynników na wielkość sprzedaży:

$$Y = g(X_1, X_2, \dots, X_n) + \varepsilon, \quad (1)$$

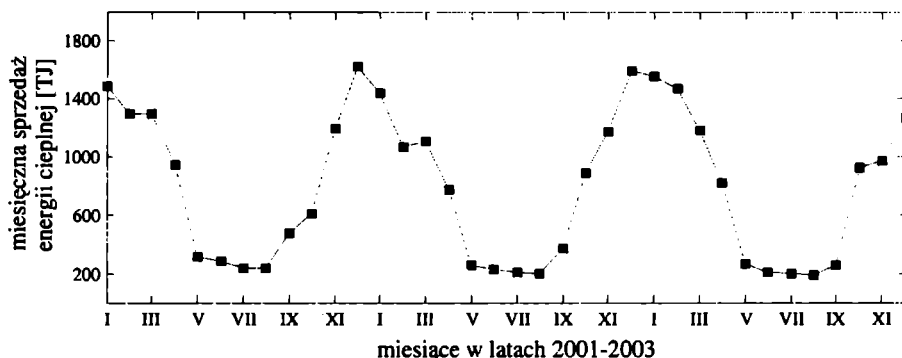
gdzie: Y – wielkość sprzedaży w danym okresie, X_k – k -ta zmienna wpływająca na wielkość sprzedaży, $k = 1, 2, \dots, n$, ε – składnik losowy ($E\varepsilon = 0$, $D^2\varepsilon < \infty$).

Wpływ warunków pogodowych na wielkość sprzedaży może być tutaj uwzględniony poprzez pewną liczbę zmiennych losowych X_k , przyjmujących wartości określonych parametrów pogody. Jeżeli przedsiębiorstwo może określać wielkości wszystkich zmiennych X_k , wtedy może prognozować wielkość sprzedaży po wyznaczeniu postaci funkcji Y . Jednak gdy część zmiennych oznacza wartości parametrów pogody, wtedy trafne prognozowanie nie jest możliwe. Wynika to z niemożności dokładnego długoterminowego prognozowania wartości parametrów pogody, co jest oczywiście przyczyną występowania ryzyka pogodowego. W takim przypadku można wyznaczyć rozkład zmiennej losowej Y i na podstawie przyjętej miary ryzyka, związanej z rozkładem zmiennej losowej, np. odchylenia standardowego, zmierzyć ryzyko wielkości sprzedaży. Oszacowanie rozkładu wielkości sprzedaży pozwala na wyznaczanie prawdopodobieństwa zakresu sprzedaży akceptowalnego przez przedsiębiorstwo. Jeżeli nie jest ono zadowalające, to kolejną czynnością powinien być dobór metod zarządzania ryzykiem.

4. Przykład identyfikacji i pomiaru ryzyka pogodowego

Identyfikację i pomiar ryzyka pogodowego w przedsiębiorstwie zaprezentowano na przykładzie wrocławskiej elektrociepłowni. Wykorzystano do tego celu następujące dane: miesięczne wielkości sprzedaży energii cieplnej miejskiemu przedsiębiorstwu energetyki cieplnej z lat 2001-2003 i średnie dobowe wielkości temperatury powietrza z Wrocławia z lat 1989-2003. Średnią dobową temperaturę powietrza liczone jako średnią z minimalnej i maksymalnej dobowej temperatury powietrza.

Wyniki identyfikacji ryzyka pogodowego przedstawiono na rys. 2. i 3. Na rysunku 2 widoczna jest sezonowość sprzedaży energii cieplnej. Wielkości sprzedaży w miesiącach I-IV i IX-XII różnią się widocznie w kolejnych latach, natomiast w miesiącach V-VIII pozostają na zbliżonym poziomie. W dalszej analizie wykorzystano dane z okresu I-IV, IX-XII odpowiadającego w przybliżeniu sezonowi grzewczemu. Na ten okres przypada zdecydowana większość sprzedaży i w nim ma miejsce oddziaływanie warunków pogodowych. Rysunek 3 dowodzi, że sprzedaż energii cieplnej jest ściśle zależna od odnotowywanej temperatury powietrza. Zależność ta jest bez wątpienia zależnością przyczynowo-skutkową (wyjaśnia przyczyny zmienności wielkości sprzedaży energii cieplnej).



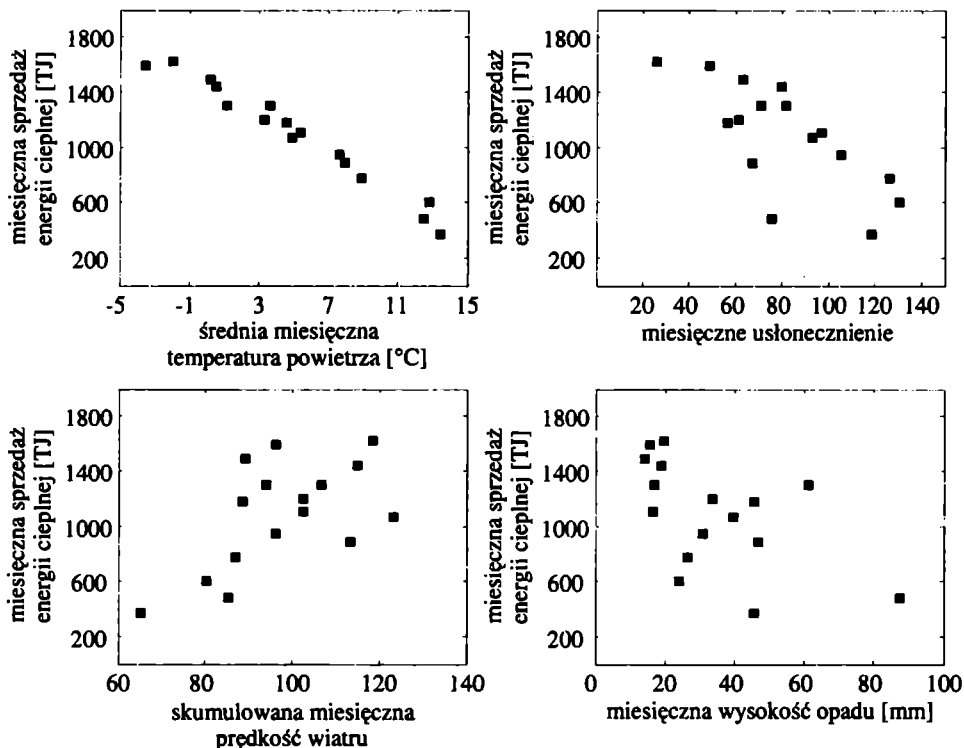
Rys. 2. Miesięczne wielkości energii cieplnej sprzedane miejskiemu przedsiębiorstwu energetyki cieplnej przez elektrociepłownię we Wrocławiu w latach 2001-2003

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Zespołu Elektrociepłowni Wrocławskich KOGENERACJA SA.

Na podstawie obserwacji rys. 3. uznano, że miesięczną wielkość sprzedaży energii cieplnej można opisać następującym równaniem:

$$Y_i = a + bx_i + \varepsilon_i, \quad (2)$$

gdzie: Y_i – wielkość sprzedaży energii cieplnej w i -tym miesiącu, x_i – średnia miesięczna temperatura powietrza w i -tym miesiącu, ε_i – składnik losowy ($E\varepsilon_i = 0$, $D^2\varepsilon_i < \infty$).



Rys. 3. Miesięczne wielkości energii cieplnej sprzedane miejskiemu przedsiębiorstwu energetyki ciepłej przez elektrociepłownię oraz miesięczne wartości wybranych parametrów pogody we Wrocławiu w okresie I-IV, IX-XII 2001 i 2002 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Zespołu Elektrociepłowni Wrocławskich KOGENERACJA SA i Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (dane z Lotniskowego Biura Meteorologicznego we Wrocławiu).

Do estymacji parametrów tego równania wykorzystano wielkości sprzedaży energii cieplnej i średnie wartości temperatury powietrza z miesięcy I-IV, IX-XII w latach 2001 i 2002. Współczynniki a i b wyestymowano metodą najmniejszych kwadratów i otrzymano: $\hat{a} = -72,946$, $\hat{b} = 1454,804$. Błędy standardowe estymatorów $\hat{a}$ i $\hat{b}$ wyniosły odpowiednio 25,008 i 3,495. Estymator odchylenia standardowego składnika losowego wyniósł 70,185, a współczynnik determinacji tej zależności $R^2 = 0,969$.

Wielkość sprzedaży energii cieplnej w ustalonym miesiącu w przyszłości można modelować za pomocą następującej zależności (wartość średniej miesięcznej temperatury powietrza nie jest znana):

$$Y' = a' + b'X' + \varepsilon', \quad (3)$$

gdzie: Y' – wielkość sprzedaży energii cieplnej w ustalonym miesiącu w przyszłości, X' – średnia temperatura powietrza w danym miesiącu, ε' – składnik losowy ($E\varepsilon' = 0$, $D^2\varepsilon' < \infty$).

Jeśli przyjmiemy, że zależność (2) jest prawdziwa dla każdego miesiąca roku, za parametry a' i b' można obrać odpowiednio parametry a i b z tej zależności.

Wielkość sprzedaży energii cieplnej w okresie I-IV, IX-XII 2003 r. można zatem wyrazić wzorem:

$$S = \sum_{i=1}^8 Y_i, \quad (4)$$

gdzie: S – wielkość sprzedaży energii cieplnej w okresie I-IV, IX-XII 2003 roku, Y_i – wielkość sprzedaży energii cieplnej w i -tym miesiącu w okresie I-IV, IX-XII 2003 r.

Rozkład zmiennej losowej S oszacowano z wykorzystaniem metody symulacyjnej. Do generowania wielkości średniej dobowej temperatury powietrza w 2003 r. wykorzystano następujący proces stochastyczny [Alaton, Djehiche, Stillberger]:

$$T_t = (T_s - T_s^m) e^{-a(t-s)} + T_s^m + \int_s^t e^{-a(t-\tau)} \sigma_\tau dW_\tau, \quad (5)$$

gdzie: T_t – średnia dobową temperaturę powietrza dla doby t , T_s^m – średnia dobową temperaturę powietrza właściwą dla doby s , σ_t – zmienność średniej dobowej temperatury powietrza właściwa dla doby t , z tym, że

$$\sigma_t = \left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 \text{ w styczniu} \\ \sigma_2 \text{ w lutym} \\ \vdots \\ \sigma_{12} \text{ w grudniu} \end{array} \right\} := \sigma = [\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{12}],$$

a – współczynnik powrotu do średniej, s – doba początkowa.

Estymatorami parametrów a i σ tego procesu są [Alaton, Djehiche, Stillberger]:

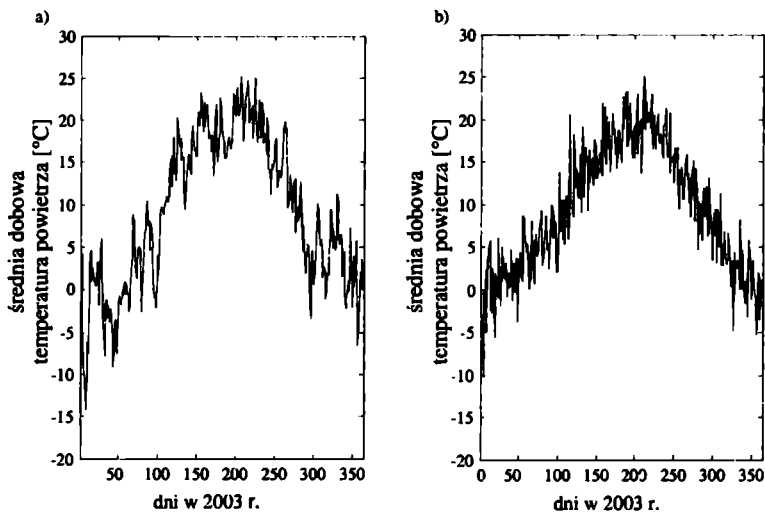
$$\hat{a}_n = -\log \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{T_{i-1}^m - T_{i-1}}{\sigma_{i-1}^2} (T_i - T_i^m)}{\sum_{i=1}^n \frac{T_{i-1}^m - T_{i-1}}{\sigma_{i-1}^2} (T_{i-1} - T_{i-1}^m)} \right),$$

$$\hat{\sigma}_\mu^2 = (1/N_\mu) \sum_{j=0}^{N_\mu-1} (T_{j+1} - T_j)^2,$$

gdzie: n – ilość danych, N_μ – ilość dni w miesiącu μ , $\mu = 1, 2, \dots, 12$.

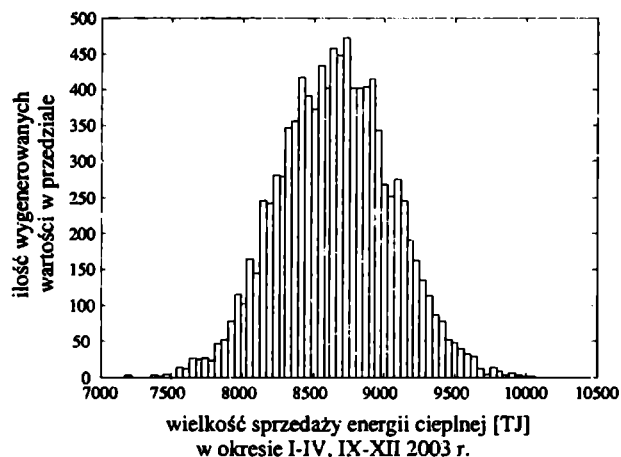
W wyniku estymacji tych parametrów ze średnich dobowych wielkości temperatury powietrza z 2002 r. otrzymano: $\hat{a} = 0.241$,

$$\hat{\sigma} = [4,422, 2,206, 2,357, 2,320, 2,157, 2,443, \\ 1,905, 2,633, 2,183, 2,715, 2,663, 3,256]$$



Rys. 4. a) średnia dobowa temperatura powietrza odnotowywana we Wrocławiu w 2003 r.,
b) przykładowa trajektoria procesu (5)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (dane z Lotniskowego Biura Meteorologicznego we Wrocławiu).



Rys. 5. Histogram wygenerowanych wartości zmiennej losowej S ($h \approx 3,486s/(10000)^{1/3} \approx 64$ (por. [Gajek, Kałużka 2000, s. 97])). $s_{\min} = 7174,590$, $s_{\max} = 10063,595$)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Zespołu Elektrociepłowni Wrocławskich KOGENERACJA SA i Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (dane z Lotniskowego Biura Meteorologicznego we Wrocławiu).

Za T_r^m przyjęto średnią ze średnich dobowych wielkości temperatury powietrza z lat 1989-2002 (uznano, że wykorzystywane dane z czterastoletniego okresu nie dadzą możliwości estymacji trendu w kształtowaniu się temperatury powietrza wynikającego z odnotowywanego globalnego ocieplenia oraz efektu „miejskiej wyspy ciepła”).

Następnie wygenerowano 10 000 trajektorii procesu stochastycznego danego równaniem (5). Przykładowa trajektoria tego procesu modelującego średnią dobową temperaturę powietrza w 2003 r. we Wrocławiu oraz odnotowana temperatura powietrza w 2003 r. pokazane zostały na rys. 4. Z wygenerowanych danych wyliczono 10000 średnich wielkości temperatury powietrza dla każdego miesiąca z okresu I-IV, IX-XII. Na ich podstawie oraz z wykorzystaniem wzorów (3) i (4) wyliczono 10 000 wielkości zmiennej losowej S . Histogram otrzymanych wielkości przedstawiono na rys. 5.

Średnia z wygenerowanych wartości wynosi $\bar{s} = (1/10000) \sum_{i=1}^{10000} s_i = 8657,171$ [TJ], a odchylenie standardowe $s = (1/10000) \sum_{i=1}^{10000} (s_i - \bar{s})^2 = 395,121$ [TJ]. Można je traktować jako oszacowanie wartości oczekiwanej μ i odchylenia standardowego σ zmiennej losowej S . Prawdopodobieństwa przyjęcia przez S wartości z przedziałów sigmowych zawiera tab. 1.

Tabela 1. Oszacowane długości przedziałów sigmowych oraz prawdopodobieństwa przyjęcia przez zmienną losową S wartości do nich należących

Przedział sigmowy	Oszacowana długość	Oszacowane prawdopodobieństwo
$(\mu - \sigma, \mu + \sigma)$	(8262,050, 9052,292)	0,672
$(\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma)$	(7866,929, 9447,414)	0,956
$(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$	(7471,807, 9842,535)	0,998

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Zespołu Elektrociepłowni Wrocławskich KOGENERACJA SA i Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (dane z Lotniskowego Biura Meteorologicznego we Wrocławiu).

Oszacowanie rozkładu wielkości sprzedaży pozwala na dokonanie oceny ryzyka pogodowego. Na przykład, jeżeli przedsiębiorstwo nie jest w stanie zaakceptować wielkości sprzedaży w 2003 r. poniżej dolnej wartości przedziału jednosigmowego, może poszukać partnera chętnego do przejęcia tego ryzyka. Przedmiotem umowy może być wówczas instrument pochodny, którego instrument podstawowy zależy od odnotowywanej wielkości temperatury powietrza. Wybór najkorzystniejszej z dostępnych metod zarządzania ryzykiem odbywa się w ramach kolejnego etapu procesu zarządzania ryzykiem.

5. Podsumowanie

Warunki pogodowe wpływają na wyniki finansowe wielu przedsiębiorstw, m.in. z branży energetycznej, turystycznej czy budowlanej. Działania mające na celu eliminowanie bądź ograniczanie tego, jak i innych rodzajów ryzyka w przedsiębiorstwie służą poprawie wyników finansowych, sprzyjają realizacji planów inwestycyjnych i, w szerszej perspektywie, wzrostowi wartości przedsiębiorstwa,

odpowiadają oczekiwaniom właścicieli i wierzycieli, zyskują uznanie inwestorów oraz korzystnie wpływają na ocenianie przedsiębiorstwa przez agencje ratingowe.

Przedstawione metody identyfikacji i pomiaru ryzyka pogodowego (jeśli parametry pogody są czynnikami ryzyka wolumenu) są proste koncepcyjnie, niemniej wymaga dysponowania odpowiednimi danymi meteorologicznymi oraz porównywalnymi wielkościami sprzedaży.

Wykorzystanie danych dobowych w przedstawionym przykładzie dałoby z pewnością dokładniejsze wyniki. Jednak ogólnie przedsiębiorstwa mogą nie prowadzić tak dokładnych statystyk działalności, dlatego wykorzystanie danych miesięcznych można uznać za reprezentatywne. Głębszej analizy wymaga bez wątpienia kwestia wyboru modelu służącego do generowania wartości parametrów pogody.

Literatura

- Alaton P., Djehiche B., Stillberger D., *On Modelling and Pricing Weather Derivatives*, http://www.energyforum.net/downloads/reports/fat_1.pdf.
- Bodie Z., Merton R.C., *Finanse*, PWE, Warszawa 2003.
- Cogen J., *What is Weather Risk*, <http://www.retailenergy.com/articles/weather.htm>.
- Dittmann P., *Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Metody i ich zastosowanie*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2004.
- Gabrusiewicz W., *Podstawy analizy finansowej*, PWE, Warszawa 2002.
- Gajek L., Kałuszką M., *Wnioskowanie statystyczne. Modele i metody*, WN-T, Warszawa 2000.
- Jajuga K., *Nowe tendencje w zarządzaniu ryzykiem finansowym*, „Rynek Terminowy” 1999, nr 5.
- Jajuga K., Kuziak K., Markowski P., *Inwestycje finansowe*, AE, Wrocław 1998.
- Janicki A., Izydorczyk A., *Komputerowe metody w modelowaniu stochastycznym*, WN-T, Wrocław 2001.
- Rokita P., *Koncepcja wartości zagrożonej (VaR) w analizie ryzyka inwestycji banków na rynku polskim*, AE, Wrocław 2004 (rozprawa doktorska). <http://www.ryzyko.pl>.

IDENTIFICATION AND MEASUREMENT OF WEATHER RISK IN A FIRM

Summary

Earnings of many firms depend on weather conditions, for example observed temperature, precipitation, wind speed etc. In these situations it can be said that firms are exposed to weather risk. This paper presents a method for identification and measurement of this risk in a firm, especially the impact of weather conditions on the volume of sales is considered.