

Paweł Prenzena

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach
Wydział Ekonomii
Katedra Metod Statystyczno-Matematycznych w Ekonomii
pawel.prenzena@edu.uekat.pl

METODA CREDITMETRICS A POMIAR RYZYKA PORTFELA KREDYTOWEGO

Streszczenie: Artykuł prezentuje metodę CreditMetrics jako najbardziej uniwersalne narzędzie do pomiaru ryzyka kredytowego. Model ten wykorzystuje koncepcję wartości zagrożonej i umożliwia oszacowanie największej możliwej straty, która może być poniesiona na konkretnym kredycie lub portfelu kredytów dla danego poziomu ufności. W części empirycznej artykułu zbadano ryzyko hipotetycznego portfela kredytów udziałowych spółkom notowanym na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie i posiadających rating agencji Moody's z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo. W wyniku symulacji otrzymano histogram przyszłych wartości portfela kredytowego, którego kształt potwierdził, że rozkład przyszłych wartości portfela kredytów posiada gruby ogon i jest lewostronnie skośny. Zgodnie z symulacją w najbardziej prawdopodobnym scenariuszu wszystkie spółki wchodzące w skład rozważanego portfela zachowują swój aktualny rating kredytowy na koniec rozpatrywanego okresu.

Słowa kluczowe: ryzyko kredytowe, CreditMetrics, wartość zagrożona.

Wprowadzenie

Ryzyko w sferze transakcji finansowych występuje zarówno przy udzielaniu kredytu, zaciąganiu pożyczki, a najwyraźniej w transakcjach inwestycyjnych na rynku kapitałowym. Biorąc pod uwagę generowane przez to ryzyko liczne bankructwa oraz problemy z dotrzymaniem zobowiązań finansowych przez wiele instytucji, podmiotów gospodarczych i krajów na całym świecie, a także coraz bardziej wzmożoną konkurencję przy udzielaniu kredytów i pożyczek, powstaje potrzeba stosowania adekwatnych technik pomiaru ryzyka niewypłacalności poszczególnych podmiotów, składającego się na ryzyko kredytowe. Asymetryczny rozkład strat o grubych ogonach (wskazujących na możliwość wystąpienia pewnej ilości zdarzeń ekstremalnych) – charakterystyczny dla portfela kredytów – oraz korelacje pomiędzy wartościami aktywów poszczególnych

kredytobiorców w długim horyzoncie czasowym związanym z ryzykiem kredytowym powodują, że ryzyko to jest dużo bardziej złożone i trudniejsze do oszacowania niż ryzyko rynkowe, co z kolei sprawia, że wiele zagadnień i problemów związanych z ryzykiem kredytowym może być rozwiązanych tylko z użyciem technik symulacyjnych. Szybki rozwój technologii komputerowej i zwiększenie mocy obliczeniowej komputerów daje jednak możliwość radykalnego skrócenia czasu potrzebnego na bardzo zaawansowane i wielokrotnie powtarzane obliczenia. Dzięki temu złożone problemy inżynierii finansowej, skomplikowane i czasochłonne jeszcze parę lat temu, dzisiaj mogą być szybko i sprawnie rozwiązywane przy użyciu technik symulacyjnych. Ma to szczególne znaczenie dla nowoczesnych modeli pomiaru ryzyka kredytowego (wykorzystujących często procesy stochastyczne i przetwarzających ogromne obszary danych), które mogą być coraz łatwiej implementowane.

Jedną z metod pomiaru ryzyka kredytowego zasługujących na szczególną uwagę jest bazująca na koncepcji wartości zagrożonej metoda CreditMetrics, która może być stosowana do szacowania ryzyka pojedynczego kredytu, jak i portfela kredytów.

Głównym celem artykułu jest przedstawienie modelu CreditMetrics jako uniwersalnego narzędzia pomiaru ryzyka kredytowego. W artykule model ten został zaprezentowany na tle innych metod stosowanych do szacowania ryzyka kredytowego. Możliwości metody CreditMetrics zostały przedstawione w części empirycznej, w której model banku J.P. Morgan wykorzystany został do pomiaru ryzyka kredytowego na przykładzie hipotetycznego portfela złożonego z kredytów udzielonych spółkom notowanym na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie.

1. Wybrane modele pomiaru ryzyka kredytowego – ujęcie ogólne

Wśród modeli pomiaru ryzyka kredytowego możemy wyróżnić dwie zasadnicze grupy: modele strukturalne oraz modele zredukowane (zwane również modelami intensywności).

Modele strukturalne uwzględniają finansową strukturę głównie ze względu na wartość aktywów netto określonego przedsiębiorstwa lub instytucji finansowej. Im wartość aktywów netto jest bliższa zero, tym ryzyko kredytowe określonego podmiotu jest większe. Pierwowzorem modeli strukturalnych był model zaprezentowany przez Roberta Mertona w 1974 roku, który następnie znalazł praktyczne zastosowanie w modelu opracowanym przez firmę Moody's-KMV [Jajuga, 2007, s. 150].

W przypadku modeli zredukowanej postaci analizowane jest prawdopodobieństwo utraty zdolności płatniczej, które uzależnione jest od określonych czynników zewnętrznych, np. w modelu CreditPortfolio View od zmiennych makroekonomicznych [Capiga, 2006, s. 195].

Inna klasyfikacja rozróżnia modele ryzyka kredytowego ze względu na przyjmowaną w nich definicję ryzyka. I tak np. w przypadku modeli *default-mode* (DM) analizuje się tylko dwa możliwe scenariusze, które mogą wystąpić po zaciągnięciu kredytu przez dany podmiot: bankructwo lub brak bankructwa (spłacenie kredytu). Przykładem modelu typu *default-mode* jest model CreditRisk+, opublikowany w 1997 roku przez firmę Credit Suisse Financial Products. W modelu tym przyjmuje się, że rozkład prawdopodobieństwa zdarzeń niewypłacalności dla portfela kredytów jest opisywany rozkładem Poissona. Ponadto metoda ta nie przewiduje żadnych zmian odnośnie do klasyfikacji ratingowej dłużnika, gdyż ryzyko marży w analizowanym modelu ujmowane jest jako element ryzyka rynkowego, a nie kredytowego.

W modelach typu *mark-to-market* (MTM) kredytobiorcom przypisywane są określone klasy jakości kredytowej. Jednocześnie dopuszczalna jest migracja danego podmiotu do innych kategorii ratingowych, dzięki czemu możliwe są różne scenariusze wartości zaciągniętego kredytu na koniec rozpatrywanego okresu. Do grupy modeli pomiaru według rynku możemy zaliczyć model CreditMetrics, który w następnym rozdziale zostanie szczegółowo omówiony.

Wśród modeli, które mogą być klasyfikowane zarówno jako modele niewypłacalności, jak i modele pomiaru według rynku, możemy wyróżnić modele KMV¹ oraz CreditPortfolio View.

Model KMV jest modelem strukturalnym, w którym majątek firmy ujmowany jest jako opcja kupna na aktywa danej firmy. W przypadku modelu KMV zdarzenie niewypłacalności związane jest bezpośrednio ze strukturą kapitałów przedsiębiorstwa. Bankructwo firmy nastąpi w sytuacji, gdy nie będzie ona w stanie spłacać swoich zobowiązań, czyli w momencie, gdy wartość jej aktywów spadnie poniżej określonego poziomu zadłużenia.

CreditPortfolio View to model wieloczynnikowy, który służy do pomiaru utraty zdolności płatniczej oraz ryzyka migracji ratingowych dla spółek działających w różnych państwach i sektorach. Prawdopodobieństwo niewypłacalności uzależnione jest od czynników makroekonomicznych (np. od stopy bezrobocia, poziomu stóp procentowych czy kursów wymiany walut) oraz od stanu cyklu koniunkturalnego.

¹ Skrót KMV pochodzi od pierwszych liter nazwisk twórców firmy KMV Corporation, powstałej w 1989 r., która następnie w 2002 r. została przejęta przez Moody's, co dało początek firmie Moody's-KMV. Założycielami firmy KMV Corporation byli Stephen Kealhofer, John McQuown i Oldrich Vašíček.

Krótką charakterystyką i porównaniem wymienionych wyżej metod pomiaru ryzyka kredytowego zostały zaprezentowane w tabeli 1.

Tabela 1. Porównanie różnych modeli pomiaru ryzyka kredytowego

Wymiar porównania	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
	<i>CreditMetrics</i> (J.P. Morgan)	<i>CreditPortfolio View</i> (Tom Wilson)	<i>CreditRisk Plus</i> (CSFP)	<i>Model KMV</i>
Definicja ryzyka	Model pomiaru według rynku	Model pomiaru według rynku lub niewypłacalności	Model niewypłacalności	Model pomiaru według rynku lub niewypłacalności
Czynniki ryzyka	Wartość aktywów	Czynniki makroekonomiczne	Oczekiwane współczynniki niewypłacalności	Wartość aktywów
Zmienność zdarzeń kredytowych	Prawdopodobieństwo stałe	Prawdopodobieństwo zmienne	Prawdopodobieństwo zmienne	Prawdopodobieństwo zmienne
Korelacja zdarzeń kredytowych	Rentowność aktywów podlegająca wielowymiarowemu rozkładowi normalnemu	Ładunki czynnikowe	Założenie niezależności lub korelacja z oczekiwanym współczynnikiem niewypłacalności	Rentowność aktywów podlegająca wielowymiarowemu rozkładowi normalnemu
Stopy odzyskania	Przypadkowe	Przypadkowe	Stałe w obrębie pasma	Stałe lub przypadkowe
Ujęcie numeryczne	Symulacja lub analiza	Symulacja	Analiza	Analiza

Źródło: [Saunders, 2001, s. 101].

2. Metoda CreditMetrics

Metoda pomiaru ryzyka portfela kredytowego zastosowana w artykule zostanie teraz omówiona bardziej szczegółowo. Metodologia CreditMetrics została zaproponowana przez bank J.P. Morgan w 1997 roku. Metoda ta opiera się na analizie prawdopodobieństwa przejścia do wyższej lub niższej kategorii jakości kredytowej w określonym horyzoncie czasowym (zwykle przyjmuje się 1 rok). Model ten bierze pod uwagę zmiany ratingów i spreadów kredytowych, dlatego zalicza się do grupy modeli pomiaru według rynku – *mark-to-market* (MTM) *model*. Metoda CreditMetrics jest przeznaczona do wyceny i pomiaru ryzyka aktywów, które nie podlegają obrotowi (takich jak pożyczki czy prywatnie plasowane obligacje) i stara się odpowiedzieć na pytanie: „Jeżeli przyszły rok będzie zły, ile stracimy na naszych pożyczkach lub na portfelu pożyczek?” [Saunders, 2001, s. 48]. Metoda

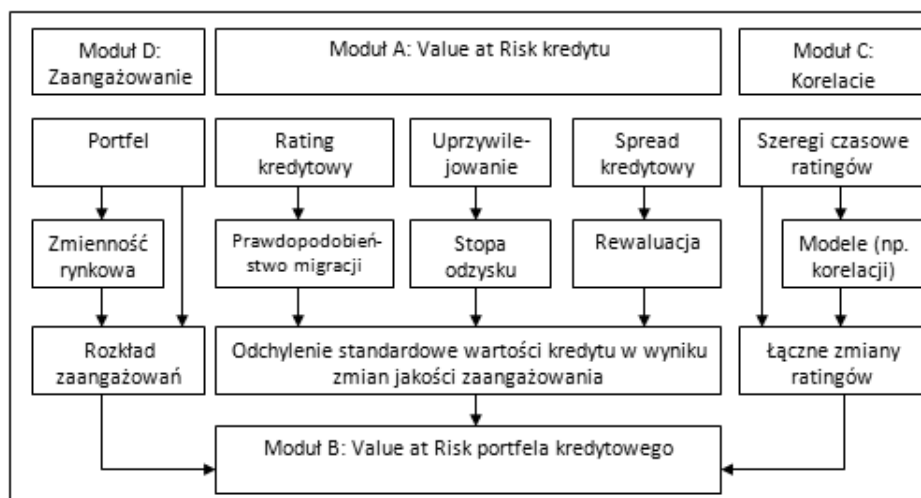
zaproponowana przez bank J.P. Morgan szacuje przyszły rozkład wartości danego kredytu lub portfela kredytów w określonym horyzoncie czasowym i mierzy ryzyko, wykorzystując koncepcję wartości zagrożonej, gdzie wartość zagrożona portfela kredytów jest różnicą między wartością oczekiwaną portfela a percentylem rozkładu zgodnie z pożądanym poziomem ufności. Z uwagi na fakt, że większość kredytów nie jest publicznie notowana, rynkowa wartość kredytu oraz jej zmienność nie są obserwowalne. W celu obliczenia hipotetycznej wartości rynkowej określonego kredytu oraz jej zmienności metoda CreditMetrics bierze pod uwagę rating kredytowy dłużnika, stopy odzyskania dla kredytów niespłaconych, macierz przejścia ratingów, stopy terminowe z rynku obligacji oraz spready kredytowe. Należy podkreślić, że w metodologii banku J.P. Morgan stopy procentowe mają charakter deterministyczny, a zmiany wartości określonego kredytu lub portfela kredytów są związane wyłącznie z migracją klasyfikacji kredytowej, która stanowi jedyny czynnik losowy w opisywanej metodzie. Inne ważne założenie modelu CreditMetrics jest związane z wartością akcji określonej spółki, która wykorzystywana jest w modelu jako odpowiednik nieobserwowalnych bezpośrednio wartości aktywów danej firmy [Crouchy, Galai i Mark, 2000, s. 72].

Główne założenia metody CreditMetrics można sklasyfikować za pomocą 4 modułów [*CreditMetrics – Technical Document*, 1997, s. 41]:

- moduł A: Value at Risk kredytu,
- moduł B: Value at Risk portfela kredytowego,
- moduł C: Korelacje,
- moduł D: Zaangażowanie.

Schemat czynności obliczeń wartości zagrożonej dla portfela kredytów z uwzględnieniem wymienionych wyżej modułów przedstawiony został na rys. 1.

Lewa część (moduł D) powyższego rysunku dotyczy rodzajów zaangażowania dla analizowanego portfela – w skład portfela mogą wchodzić takie aktywa jak: kredyty, obligacje, gwarancje, akredytywy, należności czy instrumenty pochodne. Prawa strona (moduł C) przedstawia oszacowania korelacji pomiędzy poszczególnymi elementami portfela kredytów. Moduł A prezentuje procedurę obliczania zmian wartości danych zaangażowań w przypadku zajścia zdarzenia kredytowego. Ostatecznie moduł B reprezentuje całkowite ryzyko portfela kredytów, na które składają się wyniki otrzymane z modułów A, C oraz D.



Rys. 1. Struktura modelu CreditMetrics

Źródło: [CreditMetrics – Technical Document, 1997, s. 41].

3. Badanie empiryczne – portfel kredytowy

W badaniu rozważany będzie hipotetyczny portfel złożony z kredytów udzielonych wybranym spółkom notowanym na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie, które posiadają ocenę jakości kredytowej nadaną przez agencję ratingową Moody's. W analizie ryzyka przyjęte zostało, że termin płatności wszystkich kredytów wynosi 5 lat, a wartość nominalna całego portfela kredytowego wynosi 60 mln PLN. W celu oszacowania przyszłej wartości portfela kredytowego wykorzystano metodę symulacji Monte Carlo.

Tabela 2. Hipotetyczny portfel kredytowy

Kredytobiorca	Rating kredytowy (na dzień 30.11.2013)	Stopa oprocentowania kredytu	Wartość nominalna kredytu (wyrażona w mln PLN)
PGNiG	Baa	12%	10
PGE	A	10%	13
TVN	B	18%	7
TP S.A.	Baa	12%	13
PKN Orlen	Ba	15%	9
Cyfrowy Polsat	Ba	15%	8

Na początku należy określić macierz przejścia ratingów, która stanowić będzie główny element przy szacowaniu ryzyka portfela kredytowego. W badaniu wykorzystano jednoroczną macierz przejścia, która opisuje prawdopodobieństwa

migracji kredytowej w latach 1989-2012 dla obszaru Europy, Bliskiego Wschodu i Afryki (*EMEA Structured Finance 1-year transition matrix*).

Tabela 3. Jednoroczna macierz przejścia

Moody's	Aaa	Aa	A	Baa	Ba	B	Caa-C
Aaa	90,78%	5,09%	2,01%	0,85%	0,36%	0,28%	0,64%
Aa	2,85%	84,31%	5,59%	3,02%	1,25%	0,72%	2,25%
A	0,41%	2,73%	85,42%	4,66%	2,91%	1,26%	2,61%
Baa	0,10%	0,56%	2,67%	84,25%	4,89%	3,68%	3,85%
Ba	0,18%	0,09%	1,64%	4,44%	76,14%	5,95%	11,58%
B	0,09%	0,06%	0,18%	2,47%	9,14%	65,27%	22,79%
Caa-C	0,03%	0,00%	0,00%	0,20%	2,35%	3,25%	94,18%

Źródło: [Moody's Investors Service, Special Comment, May 28, 2013, s. 10].

Ocena jakości kredytowej dla Polski wydana przez agencję Moody's to obecnie A2, natomiast w badaniu rozpatrywane są tylko polskie spółki, dlatego też powyższa macierz przejścia musi zostać zredukowana zarówno w wierszach, jak i w kolumnach, tak aby najwyższa ocena jakości kredytowej w macierzy nie przewyższała ratingu kredytowego Polski. Modyfikacja ta może zostać przeprowadzona z wykorzystaniem własności prawdopodobieństwa warunkowego. Dodatkowo z najniższej kategorii ratingowej (Caa-C) wyodrębniono dwie podkategorie: Caa-Ca oraz C, gdzie kategoria C stanowi najniższą ocenę jakości kredytowej i opisuje stan niewypłacalności.

Tabela 4. Skorygowana jednoroczna macierz przejścia

Moody's	A	Baa	Ba	B	Caa-Ca	C
A	88,19%	4,81%	3,00%	1,30%	1,80%	0,90%
Baa	2,69%	84,81%	4,92%	3,70%	2,58%	1,29%
Ba	1,64%	4,45%	76,33%	5,96%	7,74%	3,87%
B	0,18%	2,47%	9,15%	65,37%	15,22%	7,61%
Caa-Ca	0,00%	0,13%	1,57%	2,17%	62,80%	31,40%
C	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%

Ocena ryzyka związanego z udzieleniem kredytu określonego podmiotowi uzależniona jest od wartości tego kredytu na koniec rozpatrywanego okresu (w przypadku modelu CreditMetrics przyjmuje się 1 rok). W związku z powyższym należy przeprowadzić wycenę przyszłej wartości każdego z kredytów wchodzących w skład portfela. Wyceny tej można dokonać zgodnie z następującym wzorem [Saunders i Allen, 2002, s. 87] (przy założeniu, że kredyt został udzielony na 5 lat, a zdarzenie kredytowe nastąpiło w przeciągu pierwszego roku):

$$P = I + \frac{I}{(1+r_1+s_1)} + \frac{I}{(1+r_2+s_2)^2} + \frac{I}{(1+r_3+s_3)^3} + \frac{F+I}{(1+r_4+s_4)^4}, \quad (1)$$

gdzie:

P – wartość kredytu z terminem spłaty za 5 lat na koniec 1. roku,

I – odsetki wypłacane w danym momencie, przy założeniu stałej stopy oprocentowania kredytu,

F – wartość nominalna kredytu,

r_i – roczna zerokuponowa stopa terminowa, obliczona na podstawie bieżącej krzywej dochodowości obligacji skarbowych,

s_i – roczny spread kredytowy.

Na podstawie powyższego wzoru możliwe jest określenie przyszłej wartości kredytu w sytuacji zachowania przez dłużnika aktualnego ratingu kredytowego, jak i zmiany oceny jakości kredytowej, łącznie z przejściem w stan niewypłacalności. Dzięki temu uzyskamy rozkład przyszłych wartości pojedynczego kredytu lub całego portfela kredytowego.

W przypadku portfela kredytowego niezbędne jest określenie korelacji pomiędzy poszczególnymi podmiotami wchodzącymi w skład portfela. W celu otrzymania macierzy korelacji pomiędzy kredytobiorcami wykorzystano dzienne stopy zwrotu z notowań Giełdy Papierów Wartościowych w Warszawie, obliczone na podstawie kursów zamknięcia dla akcji rozpatrywanych spółek z okresu 15.11.2012-15.11.2013.

W dalszej kolejności konieczne jest określenie progów wartości aktywów i powiązanie ich z prawdopodobieństwem przejścia do innej kategorii ratingowej. W badaniu przyjęte zostało założenie, że procentowe zmiany wartości aktywów (oznaczone jako R) mają rozkład normalny i charakteryzują się średnią $\mu = 0$ oraz odchyleniem standardowym σ [*CreditMetrics – Technical Document*, 1997, s. 86-87]. W związku z zastosowaniem w metodologii CreditMetrics uogólnionego modelu Mertona odnośnie do wyceny aktywów istnieją pewne progi wartości aktywów Z_C, Z_{Caa-Ca}, Z_B takie, że jeśli $R < Z_C$, to wówczas spółka znajdzie się w stanie niewypłacalności, jeśli $Z_C < R < Z_{Caa-Ca}$, to spółka obniży swoją ocenę jakości kredytowej do kategorii Caa-Ca. Na podstawie podanych wyżej powiązań można obliczyć prawdopodobieństwo zajścia określonego zdarzenia dotyczącego migracji kredytu do danej kategorii ratingowej [Langner, 2007, s. 124-125]:

$$P(C) = P(R_t < Z_C) = P\left(\frac{R - \mu}{\sigma} < \frac{Z_C - \mu}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{Z_C}{\sigma}\right), \quad (2)$$

gdzie:

$\Phi(\cdot)$ – dystrybuanta standardowego rozkładu normalnego.

$$\begin{aligned} P(Caa - Ca) &= P(Z_C \leq R < Z_{Caa-Ca}) = P(R < Z_{Caa-Ca}) - P(R < Z_C) = \\ &= \Phi\left(\frac{Z_{Caa-Ca}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{Z_C}{\sigma}\right), \end{aligned} \quad (3)$$

$$P(B) = P(Z_{Caa-Ca} \leq R < Z_B) = \Phi\left(\frac{Z_B}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{Z_{Caa-Ca}}{\sigma}\right), \quad (4)$$

$$P(Ba) = P(Z_B \leq R < Z_{Ba}) = \Phi\left(\frac{Z_{Ba}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{Z_B}{\sigma}\right), \quad (5)$$

$$P(Baa) = P(Z_{Ba} \leq R < Z_{Baa}) = \Phi\left(\frac{Z_{Baa}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{Z_{Ba}}{\sigma}\right), \quad (6)$$

$$P(A) = P(Z_{Baa} \leq R < Z_A) = \Phi\left(\frac{Z_A}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{Z_{Baa}}{\sigma}\right). \quad (7)$$

Dzięki wykorzystaniu powyższych zależności możliwe jest oszacowanie progów wartości aktywów dla wszystkich spółek znajdujących się w portfelu.

Tabela 5. Progi wartości aktywów dla spółek znajdujących się w portfelu

	PGNiG	PGE	TVN	TP S.A.	PKN Orlen	Cyfrowy Polsat
Credit rating	Baa	A	B	Baa	Ba	Ba
A	1,93	x	2,91	1,93	2,13	2,13
Baa	x	-1,18	1,93	x	1,55	1,55
Ba	-1,15	-1,48	1,18	-1,15	x	x
B	-1,43	-1,75	x	-1,43	-0,93	-0,93
Caa-Ca	-1,77	-1,93	-0,74	-1,77	-1,19	-1,19
C	-2,23	-2,37	-1,43	-2,23	-1,77	-1,77

Na podstawie danych zawartych w tabeli 5 można stwierdzić, że spółka TVN zachowa swój aktualny rating kredytowy (B) na koniec rozpatrywanego okresu pod warunkiem, że wystandaryzowane stopy zwrotu z aktywów będą przyjmowały wartości z przedziału od $-0,74\sigma$ do $1,18\sigma$.

Kolejny etap obejmuje wygenerowanie pewnej liczby scenariuszy (w badaniu przyjęto 3000 scenariuszy) przyszłych wartości portfela kredytowego. W tym celu niezbędne jest wykorzystanie skorelowanych zmiennych z wielowymiarowego

rozkładu normalnego. Otrzymanie takich skorelowanych zmiennych możliwe jest dzięki zastosowaniu dekompozycji Choleskiego. W pierwszym kroku generowane są nieskorelowane zmienne o rozkładzie normalnym – zmienne te oznaczmy jako ε . Skorelowane zmienne o rozkładzie normalnym (oznaczmy je jako ϕ) mogą następnie zostać otrzymane przy wykorzystaniu następującego przekształcenia [Wilmott, 2006, s. 1275]:

$$\phi = M\varepsilon, \quad (8)$$

gdzie M – dolnotrójkątna macierz uzyskana z dekompozycji Choleskiego.

Należy podkreślić, że macierz M musi spełniać następującą zależność:

$$MM^T = \Sigma, \quad (9)$$

gdzie Σ – macierz korelacji.

Tabela 6. Przykładowe skorelowane zmienne o rozkładzie normalnym

Scenariusze	PGNiG	PGE	TVN	TP S.A.	PKN Orlen	Cyfrowy Polsat
1	0,9561	0,8729	0,9010	2,1630	1,8236	1,4167
2	-0,5840	-3,1626	-0,1567	-1,4583	-0,6470	-1,0137
3	-2,0316	0,0586	-2,1609	-0,2644	-0,8455	-0,0944
4	-1,4196	-0,9009	-0,4729	-0,6813	-2,0493	-1,3634
5	0,7611	2,0116	0,1939	0,6417	0,2931	0,0071
6	-1,0573	-0,3848	0,5264	-0,9087	-0,3933	-0,3153
7	-1,0248	0,0896	0,3428	-1,7378	-1,2308	0,4300

Wartości zmiennych na powyższym rysunku związane są z progami wartości aktywów. Przykładowo dla spółki PGNiG w scenariuszu 1 przewiduje się, że wartość aktywów tej spółki wzrośnie za rok o $0,9561\sigma$.

W kolejnym etapie symulacji powiązано progi wartości aktywów z prognozowanymi w horyzoncie 1 roku przyszłymi ocenami jakości kredytowej poszczególnych spółek, dzięki czemu możliwe było określenie przyszłych wartości każdego z udzielonych kredytów.

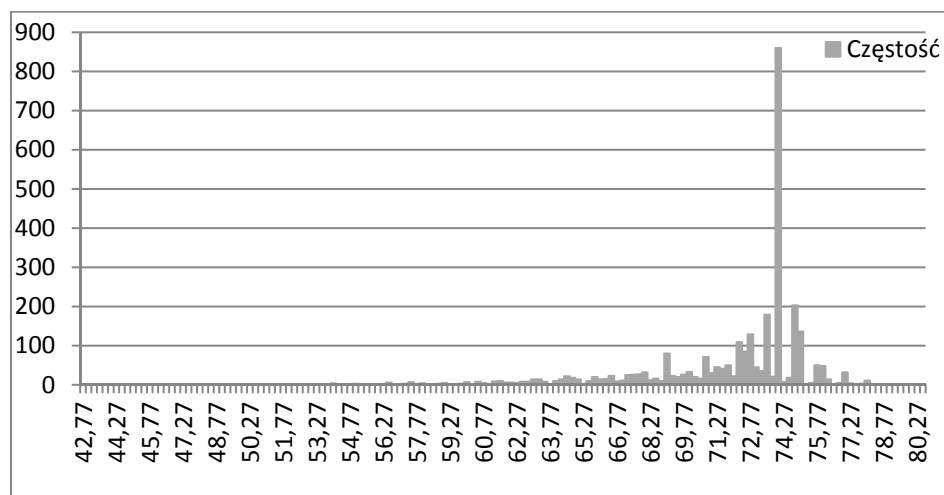
Tabela 7. Przykładowy rating kredytowy poszczególnych dłużników na koniec rozpatrywanego okresu

Scenariusze	PGNiG	PGE	TVN	TP S.A.	PKN Orlen	Cyfrowy Polsat
1	Baa	A	B	A	Baa	Ba
2	Baa	C	B	B	Ba	Ba
3	Caa-Ca	A	C	Baa	Ba	Ba
4	Ba	A	B	Baa	C	Caa-Ca
5	Baa	A	B	Baa	Ba	Ba
6	Baa	A	B	Baa	Ba	Ba
7	Baa	A	B	B	Caa-Ca	Ba

Tabela 8. Przykładowe przyszłe wartości poszczególnych kredytów na koniec rozpatrywanego okresu (wyrażone w mln PLN)

Scenariusze	PGNiG	PGE	TVN	TP S.A.	PKN Orlen	Cyfrowy Polsat
1	12,30	16,01	8,55	17,20	12,27	9,86
2	12,30	6,59	8,55	12,79	11,09	8,82
3	9,28	16,01	3,55	15,99	11,09	8,82
4	11,06	16,01	8,55	15,99	4,56	8,34
5	12,30	16,01	8,55	15,99	11,09	9,86
6	12,30	16,01	8,55	15,99	11,09	9,86
7	12,30	16,01	8,55	12,79	9,38	9,86

Przyszła wartość portfela kredytowego to suma pojedynczych kredytów znajdujących się w portfelu. Podsumowaniem wyników symulacji jest histogram prezentujący rozkład potencjalnych wartości portfela kredytowego.



Rys. 2. Histogram przyszłych wartości portfela kredytowego (wyrażonych w mln PLN)

Przyjmując, że rozkład przyszłych wartości portfela kredytów mógłby być przybliżany rozkładem normalnym i zakładając poziom ufności w pierwszym przypadku na poziomie 95% oraz w przypadku drugim na poziomie 99%, wartość zagrożona dla analizowanego portfela kredytów będzie równa²:

$$\begin{aligned} VaR_{5\%} &= 1,65 \times \sigma = 1,65 \times 4,19 \text{ mln PLN} = 6,91 \text{ mln PLN} \\ VaR_{1\%} &= 2,33 \times \sigma = 2,33 \times 4,19 \text{ mln PLN} = 9,76 \text{ mln PLN} \end{aligned}$$

Na podstawie rys. 2 można jednak stwierdzić, że rozkład przyszłych wartości portfela kredytowego nie jest rozkładem normalnym, lecz ma gruby ogon i jest lewostronnie skośny. W związku z powyższym estymacja wartości zagrożonej nie może bazować na rozkładzie normalnym, lecz musi uwzględniać faktyczny rozkład wartości portfela. Asymetria analizowanego rozkładu powoduje również, że samo odchylenie standardowe nie może być uwzględniane jako właściwa miara pomiaru ryzyka. Do poprawnego oszacowania ryzyka portfela kredytowego niezbędne będzie wykorzystanie percentyli rozkładu.

Przy założeniu poziomu ufności na poziomie 95% (99%), piątym (pierwszym) percentylem analizowanego portfela kredytów będzie 150. (30.) najgorsza wartość z 3000 wygenerowanych scenariuszy przyszłych wartości portfela:

$$\begin{aligned} 5. \text{ percentyl} &= 62,90 \text{ mln PLN}, \\ 1. \text{ percentyl} &= 56,29 \text{ mln PLN}. \end{aligned}$$

Wartość zagrożona dla analizowanego portfela kredytów to różnica pomiędzy wartością oczekiwaną portfela a odpowiednim percentylem rozkładu:

$$\begin{aligned} VaR_{5\%} &= 71,65 \text{ mln PLN} - 62,90 \text{ mln PLN} = 8,75 \text{ mln PLN}, \\ VaR_{1\%} &= 71,65 \text{ mln PLN} - 56,29 \text{ mln PLN} = 15,36 \text{ mln PLN}. \end{aligned}$$

Analizując wartość zagrożoną dla rozpatrywanego portfela można powiedzieć, że przy niezminiającej się sytuacji ekonomicznej w przeciągu 100 lat nastąpi 5 takich lat (1 taki rok), kiedy to bank może doświadczyć straty na portfelu przewyższającej 8,75 (15,36) mln PLN. Inaczej mówiąc, z rozpatrywanym portfelem wiąże się prawdopodobieństwo na poziomie 95% (99%), że największa strata poniesiona na danym portfelu kredytów wyniesie 8,75 (15,36) mln PLN lub będzie mniejsza od tej kwoty. Wymienione wyżej kwoty wiążą się z kapitałem

² Zgodnie z wynikami przeprowadzonej symulacji, w której wygenerowano 3000 scenariuszy przyszłych wartości portfela, wartość oczekiwana portfela kredytowego wyniosła 71 645 125,43 PLN, a odchylenie standardowe było równe 4 187 219,33 PLN.

ekonomicznym, który bank powinien zgromadzić w celu pokrycia strat nieoczekiwanych, możliwych do poniesienia na analizowanym portfelu kredytowym.

Wartość zagrożona portfela kredytów obliczona przy założeniu rozkładu normalnego w obu przypadkach ($Var_{5\%} = 6,91$ mln PLN; $Var_{1\%} = 9,76$ mln PLN) znacznie różni się od wartości zagrożonej bazującej na faktycznym rozkładzie przyszłych wartości portfela ($Var_{5\%} = 8,75$ mln PLN; $Var_{1\%} = 15,36$ mln PLN). Sytuacja ta obrazuje możliwy do popełnienia rozmiar błędu w szacowaniu ryzyka kredytowego w razie nieprawidłowego założenia o rozkładzie wartości kredytów.

Analizując wyniki symulacji można stwierdzić, że w najbardziej prawdopodobnym scenariuszu przyszła wartość portfela kredytów będzie większa od 73,77 mln PLN, lecz nie większa niż 74,77 mln PLN. Zakładając, że wszystkie spółki wchodzące w skład portfela nie zmienią na koniec rozpatrywanego okresu swojego aktualnego ratingu kredytowego, wartość portfela kredytowego wyniesie:

$$12,30 + 16,01 + 8,55 + 15,99 + 11,09 + 9,86 = 73,81 \text{ mln PLN.}$$

Widzimy, że powyższa suma zawiera się w podanym wcześniej przedziale. Uwzględniając analizę częstości przyszłych wartości portfela kredytowego można powiedzieć, że prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia, w którym wszystkie spółki jednocześnie zachowają swoją aktualną ocenę jakości kredytowej na koniec rozpatrywanego okresu, wynosi około 36%.

Tabela 9. Analiza częstości przyszłych wartości portfela kredytowego

Przedział	Częstość	Skumulowana częstość	Prawdopodobieństwo	Skumulowane prawdopodobieństwo
1	2	3	4	5
<42,77>	1	1	0,03%	0,03%
(42,77;43,77>	0	1	0,00%	0,03%
(43,77;44,77>	0	1	0,00%	0,03%
(44,77;45,77>	1	2	0,03%	0,07%
(45,77;46,77>	0	2	0,00%	0,07%
(46,77;47,77>	0	2	0,00%	0,07%
(47,77;48,77>	1	3	0,03%	0,10%
(48,77;49,77>	0	3	0,00%	0,10%
(49,77;50,77>	3	6	0,10%	0,20%
(50,77;51,77>	2	8	0,07%	0,27%
(51,77;52,77>	0	8	0,00%	0,27%
(52,77;53,77>	5	13	0,17%	0,43%
(53,77;54,77>	7	20	0,23%	0,67%
(54,77;55,77>	6	26	0,20%	0,87%
(55,77;56,77>	10	36	0,33%	1,20%
(56,77;57,77>	13	49	0,43%	1,63%

cd. tabeli 9

1	2	3	4	5
(57,77;58,77>	11	60	0,37%	2,00%
(58,77;59,77>	10	70	0,33%	2,33%
(59,77;60,77>	22	92	0,73%	3,07%
(60,77;61,77>	26	118	0,87%	3,93%
(61,77;62,77>	27	145	0,90%	4,83%
(62,77;63,77>	38	183	1,27%	6,10%
(63,77;64,77>	64	247	2,13%	8,23%
(64,77;65,77>	47	294	1,57%	9,80%
(65,77;66,77>	61	355	2,03%	11,83%
(66,77;67,77>	89	444	2,97%	14,80%
(67,77;68,77>	70	514	2,33%	17,13%
(68,77;69,77>	149	663	4,97%	22,10%
(69,77;70,77>	140	803	4,67%	26,77%
(70,77;71,77>	166	969	5,53%	32,30%
(71,77;72,77>	345	1314	11,50%	43,80%
(72,77;73,77>	280	1594	9,33%	53,13%
(73,77;74,77>	1088	2682	36,27%	89,40%
(74,77;75,77>	193	2875	6,43%	95,83%
(75,77;76,77>	68	2943	2,27%	98,10%
(76,77;77,77>	40	2983	1,33%	99,43%
(77,77;78,77>	13	2996	0,43%	99,87%
(78,77;79,77>	1	2997	0,03%	99,90%
(79,77;80,52>	3	3000	0,10%	100,00%

Analizując portfel kredytów, należy zwrócić uwagę na wpływ każdego pojedynczego kredytu na ryzyko całego portfela. W tym celu dla każdego z kredytów oszacowano następujące statystyki:

- 1) Odchylenie standardowe, wyrażone w mln PLN;
- 2) Względne (procentowe) odchylenie standardowe, które jest równe ilorazowi odchylenia standardowego i średniej wartości kredytu, biorąc pod uwagę wszystkie 3000 scenariuszy przyszłych wartości rozważanego kredytu;
- 3) Krańcowe odchylenie standardowe, które jest równe różnicy pomiędzy odchyleniem standardowym całego portfela i odchyleniem standardowym portfela z wyłączeniem analizowanego kredytu;
- 4) Krańcowe względne odchylenie standardowe, które stanowi iloraz krańcowego odchylenia standardowego kredytu i x , gdzie x jest różnicą między średnią wartością całego portfela i średnią wartością portfela z wyłączeniem analizowanego kredytu.

Powyższe statystyki zostały zaprezentowane w tabeli 10.

Tabela 10. Odchylenia standardowe kredytów wchodzących w skład portfela

	PGNiG	PGE	TVN	TP S.A.	PKN Orlen	Cyfrowy Polsat
Początkowy rating kredytowy dłużnika	Baa	A	B	Baa	Ba	Ba
Wartość nominalna kredytu	10	13	7	13	9	8
Odchylenie standardowe	1,16	1,36	1,43	1,47	1,43	1,20
Względne odchylenie standardowe	9,70%	8,75%	17,34%	9,41%	13,40%	12,59%
Krańcowe odchylenie standardowe	0,47	0,50	0,56	0,39	0,73	0,44
Krańcowe względne odchylenie standardowe	3,89%	3,21%	6,80%	2,49%	6,78%	4,62%

Na podstawie powyższych danych można stwierdzić, że największy wpływ na ryzyko całego portfela mają kredyty udzielone spółkom TVN oraz PKN Orlen. Widać więc, że niska ocena jakości kredytowej podmiotu wchodzącego w skład portfela istotnie wpływa na ryzyko całego portfela kredytów. Kredyty udzielone spółkom, które odznaczają się wysoką klasyfikacją ratingową, mają niewielki wpływ na ryzyko portfela, mimo że wartości nominalne tych kredytów są znaczne. W analizowanym przypadku wpływ niskiej oceny jakości kredytowej dłużnika na ryzyko portfela jest więc większy niż wpływ wysokości ekspozycji kredytowej. Dodatkowo można zaobserwować, że każde względne odchylenie standardowe kredytu jest większe od odpowiadającego mu krańcowego względnego odchylenia standardowego. Stanowi to potwierdzenie efektu dywersyfikacji – ryzyko związane z pojedynczym kredytem jest większe niż ryzyko krańcowe.

Podsumowanie

Zaprezentowane analizy i badania pokazują, że model CreditMetrics stanowi uniwersalne narzędzie do pomiaru ryzyka kredytowego. Metoda ta nie ogranicza się tylko do szacowania ryzyka pojedynczego kredytu (tak jak model KMV), nie skupia się wyłącznie na pomiarze ryzyka całego portfela (co jest charakterystyczne dla modelu CreditRisk+), ale może być wykorzystywana do estymacji ryzyka pojedynczego kredytu, jak i ich całego portfela. Model banku J.P. Morgan nie sprowadza się tylko do analizy stanu niewypłacalności (co stanowi podstawę metodologii CreditRisk+), ale dopuszcza możliwość migracji jakości kredytowej. W związku z tym możliwe jest prognozowanie przyszłych

wartości kredytów, z uwzględnieniem przejścia do każdej z kategorii ratingowych, łącznie ze stanem niewypłacalności. Do pomiaru ryzyka w modelu CreditMetrics wykorzystywana jest koncepcja wartości zagrożonej, dzięki czemu możliwe jest oszacowanie największej możliwej straty, która może być poniesiona na portfelu kredytów zgodnie z przyjętym poziomem ufności. Zastosowanie koncepcji wartości zagrożonej w modelu CreditMetrics nie daje nam jednak żadnych informacji o możliwej stracie w przypadku zdarzeń ekstremalnych, których prawdopodobieństwo wystąpienia jest mniejsze od przyjętego poziomu istotności. Zagadnienie to może stanowić obszar do dalszych rozważań.

Zastosowana w modelu symulacja wykazała, że rozkład wartości portfela kredytów nie może być opisywany rozkładem normalnym. Zgodnie z otrzymanymi wynikami najbardziej prawdopodobna okazała się sytuacja, w której wszystkie spółki wchodzące w skład portfela pozostaną w dotychczasowych kategoriach jakości kredytowej na koniec rozpatrywanego okresu. Badanie wykazało znaczący wpływ kategorii ratingowej dłużnika na ryzyko całego portfela kredytów. Ryzyko pojedynczego kredytu okazało się w każdym przypadku większe od ryzyka krańcowego.

Literatura

- Capiga M. (2006), *Działalność kredytowa monetarnych instytucji finansowych*, Difin, Warszawa.
- CreditMetrics – Technical Document* (1997), JP Morgan, New York, April 2.
- Crouchy M., Galai D., Mark R. (2000), *A comparative analysis of current credit risk models*, „Journal of Banking & Finance”, No. 24.
- EMEA Structured Finance Rating Transitions: 1989-2012* (2013), Moody's Investors Service, Special Comment, May 28.
- European Corporate Default and Recovery Rates, 1985-2012* (2013), Moody's Investors Service, Special Comment, June 4.
- Jajuga K. (2007), *Zarządzanie ryzykiem*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Langner A. (2007), *CreditMetrics a portfel kredytów zagrożonych*, CeDeWu, Warszawa.
- Saunders A. (2001), *Metody pomiaru ryzyka kredytowego: KMV, VAR, CreditMetrics, LAS, RAROC, Credit Risk Plus*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków.
- Saunders A., Allen L. (2002), *Credit Risk Measurement. New Approaches to Value at Risk and Other Paradigms*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Weekly Market Outlook* (2013), Moody's Analytics, Market Data Highlights, 5 December.
- Wilmott P. (2006), *Paul Wilmott on Quantitative Finance*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.

CREDITMETRICS METHOD AND RISK MEASUREMENT OF CREDIT PORTFOLIO

Summary: This paper presents CreditMetrics method as the most universal credit risk measurement approach. This model utilizes the concept of Value at Risk and enables us to evaluate the worst possible loss, which can be incurred on a specific credit or credit portfolio, with the given confidence level. In the empirical part of this paper risk of a hypothetical portfolio composed of 6 credits was examined. Since risk estimation with the use of analytical methods for such case was not possible, Monte Carlo simulation was used to solve this problem. In order to obtain correlated and normally distributed variables, Cholesky decomposition was employed. As a result of the simulation histogram of forward portfolio values was obtained, which shape confirmed that the distribution of credits values has fat tail and is highly skewed to the left. According to the simulation, the most probable situation was that all companies from our portfolio will remain in their current credit rating at the end of the year.

Keywords: credit risk, CreditMetrics, Value at Risk.