

mgr Jacek Orzeł¹

Szkoła Główna Handlowa

Indeksy dla klasy ryzyka oraz zagregowane indeksy ryzyka operacyjnego

Wprowadzenie

Znane są i powszechnie stosowane różne mechanizmy zarządzania ryzykiem operacyjnym, w tym m.in. działania (organizacyjno-proceduralne), mające na celu ograniczanie ryzyka, alokacja kapitału oraz ubezpieczenia. Zarówno praktyka, jak i teoria wskazują, że powyższe mechanizmy są niewystarczające, dlatego poszukuje się nowych². Rosnące straty z tytułu występowania ryzyka operacyjnego, w tym także spektakularne problemy finansowe, a nawet upadki przedsiębiorstw, potwierdzają powyższą tezę. Z drugiej strony naukowcy i badacze (np. M. Cruz³) prowadzą badania nad nowymi mechanizmami ograniczania tego ryzyka. Jednym z obszarów, w którym trwają badania, jest sektor ubezpieczeniowy, bowiem obecnie jedynie w niewielkim stopniu można za pomocą polis ubezpieczeniowych zabezpieczyć się przed ryzykiem operacyjnym⁴. Potrzebę poszukiwania nowych doskonalszych mechanizmów zabezpieczania się przed ryzykiem operacyjnym wymusza także obecny kryzys, który rozpoczął się w sektorze finansowym i objął obecnie wszystkie sektory i branże. Obecny kryzys

¹ Autor prowadzi badania pod kierunkiem prof. dra hab. Jerzego Nowakowskiego w Katedrze Bankowości Szkoły Głównej Handlowej.

² Stan zarządzania ryzykiem operacyjnym i aktualne problemy związane z tym zagadnieniem przedstawia np. Matkowski P., *Zarządzanie Ryzykiem Operacyjnym*, Oficyna Wydawnicza, Kraków 2006.

³ Zob. np. Incisive Media Investments, "Looking to the future", *OpRisk&Compliance*, March 2008, Volume 9, Issue 3, s. 31; por. Orzeł J., *Okiełznać Ryzyko. Instrumenty Pochodne Ryzyka Operacyjnego*, „Gazeta Bankowa”, Nr 6, Luty 2008.

⁴ Zob. np. Gadowska D., *Instrumenty Finansowe Ograniczające Ryzyko Operacyjne*, Konferencja KDPW SA: Innowacje na Rynkach Finansowych 2007, www.kdpw.com.pl/informacje/pliki/inf_konferencje/2007_10_16_innowacje/pliki/prezentacje/DGadowska.pdf.

powoduje także potrzebę ponownego zdefiniowania roli i miejsca, a także metod zarządzania ryzykiem operacyjnym⁵.

Jednym z nowych mechanizmów mogą stać się instrumenty pochodne ryzyka operacyjnego (dalej IPRO). Trwają dyskusje, kiedy ta nowa grupa instrumentów pochodnych mogłaby się pojawić na rynkach finansowych⁶ i wiele osób wskazuje, iż dobrym miejscem do wprowadzenia tych instrumentów byłaby kolejna wersja Nowej Umowy Kapitałowej, tzw. Basel III. Na rynku są już obecne instrumenty pochodne, które można zaliczyć do IPRO – są to: katastrofowe instrumenty pochodne, pogodowe instrumenty pochodne⁷ oraz instrumenty pochodne wbudowane⁸. Opóźnienia w pojawieniu się IPRO spowodowane są m.in. jakościowo-ilościową heterogeniczną naturą ryzyka operacyjnego i związanymi z tym problemami z jego kwantyfikacją na obecnym stosunkowo wstępnym etapie rozwoju dziedziny zarządzania ryzykiem operacyjnym (historia dyscypliny zarządzania ryzykiem operacyjnym liczy sobie dopiero kilkanaście lat). Słaba jakość i niekompletność danych, jak również trudności z ich uzyskaniem w bankach, sposób włączenia korelacji między zdarzeniami operacyjnymi, niestacjonarność strat z tytułu ryzyka operacyjnego, są tylko przykładami wyzwań. IPRO, podobnie jak inne instrumenty pochodne, z punktu widzenia inwestora powinny spełnić pozytywną rolę szczególnie w czasie kryzysu, gdyż w czasach zwiększonego ryzyka inwestycyjnego wynikającego z wyższej zmienności rynków stanowiłyby dodatkowy element dywersyfikacji ryzyka w portfelu inwestycyjnym. Wartość dodatnia instrumentów pochodnych wynika m.in. z ich różnorodności i z różnorodności instrumentów bazowych, na których są oparte. Pojawienie się nowej grupy tych instrumentów stanowi zawsze istotną korzyść dla wymagających inwestorów, ale także często pozwala zabezpieczać się przed nowymi zagrożeniami (np. w przypadku IPRO można byłoby zabezpieczyć się przed problemami z prawidłowym wdrożeniem nowego systemu informatycznego). IPRO mogą przyczynić się także do bardziej bezpiecznego inwestowania poprzez możliwość lepszego zabezpieczenia się, z jednoczesnym podejmowaniem większego ryzyka. Zabezpieczanie się przed ryzykiem operacyjnym za pomocą IPRO może także pozytywnie wpłynąć na reputację danego podmiotu jako stosującego nowe mechanizmy zabezpieczania się. Analiza ekonomiczna

⁵ Tego typu tezy wygłaszano podczas międzynarodowej konferencji „OpRisk 2009”, która miała miejsce w marcu br. w Londynie (np. M. Cruz).

⁶ Zob. np. Inceptive Media Investments, *Looking to the future...*, op. cit.

⁷ Opis obecnego stanu rozwoju instrumentów pogodowych i katastrofowych instrumentów pochodnych można znaleźć np. w: Kuziak K., *Instrumenty pochodne w zarządzaniu ryzykiem pogodowym i katastrofowym*, w: *Wyzwania współczesnych finansów*, red. K. Jajuga, Wydawnictwo UE we Wrocławiu, Wrocław 2009.

⁸ Koncepcja IPRO rozwijana przez Autora tego artykułu zakłada konstruowanie tych instrumentów z wykorzystaniem mechanizmów podobnych do zastosowanych w katastrofowych oraz pogodowych instrumentach pochodnych.

powinna wykazać, że wprowadzenie IPRO będzie miało dobry współczynnik korzyści do kosztów.

Jednym z problemów do rozwiązania, w celu wprowadzenia na rynek finansowy powyższej nowej klasy instrumentów pochodnych, jest określenie instrumentu podstawowego dla tej grupy instrumentów. Wydaje się, że indeksy ryzyka operacyjnego (zagregowane indeksy ryzyka oraz indeksy dla klasy ryzyka operacyjnego) mogłyby pełnić taką funkcję. Przez klasę ryzyka operacyjnego można rozumieć np. określoną grupę zdarzeń ryzyka operacyjnego. W szczególności umowa Basel II⁹ określiła 7 oddzielnych kategorii zdarzeń ryzyka operacyjnego w bankach komercyjnych.

Zagregowane indeksy ryzyka operacyjnego będą określały trendy w zakresie poziomu ryzyka operacyjnego na danym rynku (podobnie indeksy dla klas ryzyka określałyby trendy w poszczególnych klasach ryzyka). Przewiduje się w pierwszej kolejności stworzenie lokalnych zagregowanych indeksów ryzyka operacyjnego dla poszczególnych sektorów, np. bankowego i ubezpieczeniowego, ze względu na potrzebę tego typu indeksów dla podmiotów w tych sektorach oraz ich stosunkowo dobre przygotowanie do obliczania takich indeksów. W dalszej perspektywie można oczekiwać stworzenia tego typu indeksów i subindeksów dla poszczególnych giełd, krajów i regionów oraz indeksów globalnych.

Istnieje wiele przesłanek do tworzenia zagregowanych indeksów ryzyka operacyjnego. Kolejną z nich – poza wspomnianą powyżej potrzebą określenia instrumentu podstawowego dla instrumentów pochodnych ryzyka operacyjnego oraz potrzebą znajomości trendów w zakresie poziomu ryzyka operacyjnego – jest silny wzrost poziomu ryzyka operacyjnego w ostatnich latach objawiający się powstawaniem coraz większych strat z tytułu występowania zdarzeń ryzyka operacyjnego i związana z tym konieczność lepszego zarządzania tym ryzykiem. Wyznaczanie wartości zagregowanych indeksów ryzyka operacyjnego oraz indeksów dla klas ryzyka pomoże w określeniu dynamiki ryzyka operacyjnego w przedsiębiorstwach poprzez porównanie ich poziomu ryzyka z odpowiednimi indeksami rynkowymi (benchmarki). A to z kolei może pomóc w określaniu odpowiedniej strategii zarządzania tą kategorią ryzyka w przedsiębiorstwach.

⁹ (Nowa Umowa Kapitałowa, Basel II) – Dokument Bazylejskiego Komitetu ds. Nadzoru Bankowego „Ujednolicenie pomiaru kapitału i standardów kapitałowych w skali międzynarodowej, Znowelizowana Metodologia” (ang. International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards, A Revised Framework) z czerwca 2004 r. mający na celu międzynarodowe ujednolicenie regulacji nadzorczych dotyczących adekwatności kapitałowej banków.

1. Ryzyko operacyjne

Celem tego rozdziału jest przybliżenie pojęcia ryzyka operacyjnego oraz zagadnienia zarządzania tym ryzykiem. W ostatnich kilkunastu latach znacznie wzrosło znaczenie ryzyka operacyjnego w zarządzaniu.

Nieodłącznym elementem każdej działalności gospodarczej, w tym również – a może przede wszystkim – działalności bankowej i ubezpieczeniowej, jest ryzyko, niejako wpisane w ich naturę. Zazwyczaj pod pojęciem ryzyka rozumie się zagrożenie niepowodzeniem w osiągnięciu zamierzonego celu. Nauka ekonomii przez pojęcie ryzyka rozumie „dające się zmierzyć prawdopodobieństwo, że podmiot gospodarczy w związku z którymś aspektem swojej działalności poniesie stratę lub ewentualnie nie osiągnie zaplanowanego wcześniej wyniku”¹⁰. Innymi słowy w literaturze ekonomicznej ryzyko jest najczęściej rozumiane jako miara niepewności¹¹ co do przyszłych wyników lub inaczej miara dyspersji pomiędzy wynikami oczekiwanymi i rzeczywistymi. Drugie, rzadziej spotykane, podejście definiuje ryzyko jako miarę potencjalnej straty. Ta druga definicja sugeruje, że ryzyko ma negatywne konsekwencje – jest postrzegane jako prawdopodobieństwo negatywnego odchylenia lub ciągłej (nieprzerwanej) straty. Powyższe dwie koncepcje ryzyka spotykane w naukach ekonomicznych nazywane są także odpowiednio koncepcją neutralną i negatywną¹².

W nauce o finansach, która jest jedną z najważniejszych dyscyplin nauk ekonomicznych i w konsekwencji na rynkach finansowych, ryzyko rozumiane jest powszechnie jako niepewność osiągnięcia oczekiwanego celu. Pojęcie ryzyka operacyjnego natomiast jest najczęściej rozumiane tylko negatywnie (zagrożenie) jako możliwość wystąpienia niepożądanego zjawiska utożsamianego z możliwością poniesienia straty, a rzadziej neutralnie, czyli jako możliwości poniesienia strat innych niż oczekiwane¹³.

Klasyfikacji ryzyka można dokonać na wiele sposobów. Obecnie każda klasyfikacja uwzględnia kategorię ryzyka operacyjnego.

Najbardziej znaną obecnie na świecie definicją ryzyka jest definicja podana w Nowej Umowie Kapitałowej (NUK, Basel II), zgodnie z którą, ryzyko to możliwość poniesienia straty w wyniku nieodpowiednich lub błędnych procesów i procedur wewnętrznych, działania ludzi lub systemów, a także

¹⁰ Por. J. Downes, J. Goldman (1998), *Dictionary of Finance and Investment Terms* (Barron's Financial Guides), Hauppauge 1998.

¹¹ A.S. Chernobai, S.T. Rachel, F.J. Fabozzi, *Operational Risk. A Guide to Basel II Capital Requirements, Models, and Analysis*, John Wiley & Sons, New Jersey 2007, s. 15.

¹² Por. np. K. Jajuga (red. nauk.), *Zarządzanie Ryzykiem*, PWN, Warszawa 2007, s. 13.

¹³ Por. np. A.S. Chernobai, S.T. Rachel, F.J. Fabozzi, *Operational Risk. A Guide to Basel II Capital Requirements, Models, and Analysis...*, op. cit., s. 16.

zdarzeń zewnętrznych¹⁴. Definicja ta posiada liczne słabe punkty wynikające z przyjętej ogólnej formuły i braku precyzji przy jej definiowaniu (słabość tej definicji wykazywało wielu autorów w literaturze fachowej¹⁵). Definicja ta opiera pojęcie ryzyka operacyjnego na bezpośredniej stracie finansowej. Pomimo niedoskonałości została ona przyjęta przez wiele podmiotów, zwłaszcza z rynku finansowego.

Poza ustaleniem definicji ryzyka operacyjnego określono już wiele miar tego ryzyka, w tym wartość oczekiwaną strat w danym okresie, maksymalną roczną stratę, wartość zagrożoną itd. Do kwantyfikacji ryzyka operacyjnego na bardziej rozwiniętych rynkach służą zaawansowane modele np. LDA (ang. Loss Distribution Approach – podejście bazujące na rozkładach strat z tytułu ryzyka operacyjnego). Model LDA jest modelem typu VaR (ang. Value At Risk – wartości zagrożonej) i pozwala na wyznaczenie wartości rocznych strat operacyjnych, które mogą zostać przekroczone z określonym niskim prawdopodobieństwem. W celu wyznaczenia VaR dla ryzyka operacyjnego w modelu LDA dokonuje się osobnego modelowania częstości zdarzeń operacyjnych oraz wartości pojedynczych zdarzeń. Model LDA daje jedynie oszacowanie VaR dla ryzyka operacyjnego i wiarygodność tych szacunków powinna być zweryfikowana np. za pomocą innych metod. Model LDA opiera się w dużej mierze na historycznych danych o stratach i może nie odzwierciedlać zmian w profilu przedsiębiorstwa, stąd podejście to powinno być uzupełnione o inne metody mające lepsze własności predykcyjne (np. analizę scenariuszy, metodę kluczowych wskaźników ryzyka i kontroli). Ryzyko operacyjne nie może być mierzone w wartościach bezwzględnych bez wcześniejszego określenia poziomu prawdopodobieństwa, zwanego inaczej poziomem ufności, który wyraża tolerancję na ryzyko w jednostkach monetarnych. Modelowanie ryzyka operacyjnego, przy uwzględnieniu obecnych problemów, wiele przedsiębiorstw traktuje bardziej jako sztukę niż naukę.

NUK przedstawił wiele propozycji w zakresie zarządzania ryzykiem operacyjnym. Jednakże propozycje określania rzeczywistej ekspozycji na ryzyko operacyjne w NUK są często krytykowane. W dwóch podstawowych metodach (metodzie wskaźnika podstawowego – BIA oraz metodzie standardowej – TSA) nośnikiem ekspozycji na ryzyko jest jedynie wynik brutto, który uznaje się za wskaźnik prosty, ale nieoddający rzeczywistej ekspozycji na ryzyko (w szczególności nieodzwierciedlający jakości zarządzania ryzykiem w danym podmiocie). Niektórzy autorzy zalecają wykorzystywanie innych wskaźników, np. poziomu kosztów operacyjnych, wolumenu transakcji, itd., które lepiej odzwierciedlają poziom ryzyka w instytucji kredytowej. Dopiero w trzeciej metodzie (grupie metod nazwanych meto-

¹⁴ BIS, International Covergence of Capital Measurement and Capital Standards, Komitet Bazylejski, Bazylea 2006.

¹⁵ Np. J. Zombirt, *NUK – Poprzeczka Wyżej*, w: „Bank”, Nr 9, przedruk z „The Banker”, Nr 8, 2003.

dami zaawansowanymi – AMA) dokonuje się bardziej adekwatnego pomiaru ryzyka operacyjnego, a dokładnie określenia ekspozycji na to ryzyko. Jednakże wynik brutto bez wątplenia jest miarą wolumenu realizowanego biznesu i stąd w jakiejś mierze informuje on o poziomie ryzyka operacyjnego. Indeksy ryzyka operacyjnego wskazywałyby zatem z jednej strony zmiany ryzyka operacyjnego, ale także pośrednio zmiany wielkości prowadzonej działalności (przeciętnie rozszerzaniu i zwiększaniu rozmiaru działalności towarzyszy także wzrost ryzyka operacyjnego, przy czym wzrost wyniku brutto jest zazwyczaj szybszy niż wzrost ryzyka).

Jedną z głównych przyczyn podwyższonego zainteresowania ryzykiem operacyjnym w ostatnich latach są coraz częstsze bankructwa i problemy znanych na całym świecie firm. Poza tym na zwiększenie dynamiki rozwoju metod zarządzania ryzykiem operacyjnym miały także wpływ katastrofy naturalne oraz spowodowane przez człowieka.

Kolejnym stymulatorem rozwoju metod zarządzania ryzykiem, w tym także ryzykiem operacyjnym, są powstałe standardy zarządzania ryzykiem. Przykładem może być stworzony w 1992 roku raport pt. „Kontrola wewnętrzna – zintegrowana struktura ramowa” (ang. Internal Control – Integrated Framework) przez Committee of Sponsoring Organisations of the Treadway Commission. Podaje on wytyczne oraz obszerną strukturę ramową kontroli wewnętrznej dla wszystkich organizacji. Pierwotna wersja powyższego standardu, zwanego COSO, została poszerzona o elementy związane z zarządzaniem ryzykiem i powstała nowa wersja pod nazwą COSO ERM.

Obecny trend w zakresie zarządzania ryzykiem preferuje zintegrowane systemy zarządzania ryzykiem, które zalecają zarządzanie różnymi kategoriami ryzyka w podobny sposób i przy użyciu tych samych lub podobnych narzędzi i metod. Podejście to ma także swoich przeciwników poddających w wątpliwość jego prawidłowość¹⁶.

Można zaryzykować tezę, iż obecnie największym stymulatorem rozwoju metod pomiaru i zarządzania ryzykiem operacyjnym jest NUK, który nadał pewną dynamikę procesowi rozwoju dziedziny zarządzania ryzykiem operacyjnym.

Intensywne prace badawcze w zakresie nowych metod zarządzania ryzykiem operacyjnym prowadzone są obecnie na całym świecie, w tym także w wielu ośrodkach w Polsce¹⁷.

¹⁶ Por. np. D. Rowe, *Zintegrowany ale czy na pewno Właściwy?*, w: „Rynek Terminowy”, Nr 3/2004, s. 56.

¹⁷ Także w Katedrze Bankowości SGH.

2. Uwarunkowania dla konstrukcji indeksów ryzyka operacyjnego

W literaturze i praktyce istnieje pełna zgodność, że obecna jakość i rzetelność danych na temat strat z tytułu ryzyka operacyjnego nie są zadowalające. Zarówno badacze, jak i praktycy czynią wysiłki, aby ten stan poprawić, i można mieć nadzieję, że w niedalekiej przyszłości będziemy mieli dostęp do prawidłowych danych na temat ryzyka operacyjnego. Wiele instytucji, w tym banki, zbierają i przetwarzają dane na temat strat z tytułu ryzyka operacyjnego. Dostęp do tego typu danych jest trudny z tego powodu, że są one traktowane jako dane poufne¹⁸ lub dostęp do takich baz jest możliwy jedynie na zasadach komercyjnych (opłaty są wysokie). Dane takie, w szczególności dane o stratach z tytułu ryzyka operacyjnego, począwszy od początku 2008 r., mają obowiązek zbierać banki, które następnie będą raportować do nadzorów bankowych. Część zbiorów (baz) danych będzie musiała podlegać dodatkowej weryfikacji, przy czym niektóre bazy, np. prowadzone przez nadzory bankowe, będą zapewne zawierały rzetelne dane (gdyż dane te będą sprawdzane podczas inspekcji w bankach). W sektorze bankowym weryfikacja danych będzie przebiegała w samych bankach ze względu na konieczność raportowania na temat strat z tytułu ryzyka operacyjnego do nadzorów bankowych, które będą mogły sprawdzić wiarygodność tych danych. Można sobie wyobrazić także zatrudnianie audytorów zewnętrznych lub firmy konsultingowe do weryfikacji wiarygodności danych. Bez wątplenia do konstruowania indeksów ryzyka operacyjnego będą musiały być wykorzystywane rzetelne dane. Autor dostrzega ten problem, ale nie zajmuje się szerzej w niniejszym artykule tym zagadnieniem.

Obecny wstępny etap badań nad konstrukcją indeksów ryzyka operacyjnego uzasadnia czynienie pewnych, wyprzedzających lub bardziej odważnych, założeń oraz uproszczeń. Jednym z uproszczeń jest wyrażenie zależności między stratami poprzez wykorzystanie współczynników korelacji liniowej. Powszechnie uproszczenie to jest obecnie przyjmowane przed nadzory bankowe, które zatwierdzają zaawansowane modele zarządzania ryzykiem operacyjnym w poszczególnych bankach. Jednakże trwają już teoretyczne prace nad zastosowaniem funkcji łącznikowych (ang. copula functions) do modelowania zależności nieliniowych pomiędzy parametrami ryzyka operacyjnego (częstością oraz wartością strat) oraz pomiędzy stratami w poszczególnych klasach ryzyka.

¹⁸ Niemniej jednak podejmowane są próby gromadzenia danych na temat strat z tytułu ryzyka operacyjnego, np. przez konsorcjum ORX (ang. The Operational Risk data eXchange association) – zob. np. Incisive Media Investments, *Scaling in op risk data*, OpRisk&Compliance, August 2008, Volume 9, Issue 8, s. 42; www.orx.org oraz firmę SaS Institute – baza SAS OpRisk Global Data; www.sas.com/industry/fsi/oprisk.

Nierozzerwalnie z indeksami związane jest zagadnienie pomiaru ryzyka operacyjnego, z którym są nadal problemy. Zagadnienie to nie jest jednak przedmiotem analiz w niniejszym artykule. Obszerny opis zagadnienia metod i modeli matematycznych wykorzystywanych do pomiaru i szerzej zarządzania ryzykiem operacyjnym w bankowości i ubezpieczeniach przedstawia np. Panjer H., Chernobai A., i inni¹⁹.

Indeksy generalnie odzwierciedlają pewne tendencje na rynku. Zatem indeksy ryzyka będą odzwierciedlały tendencje w zakresie poziomu ryzyka operacyjnego na rynku oraz w poszczególnych sektorach.

3. Konstrukcja zagregowanego indeksu ryzyka operacyjnego na podstawie indeksów ryzyka dla klas tego ryzyka

W rozdziale tym przedstawione są metody konstrukcji indeksów dla klas ryzyka (określonych typów zdarzeń operacyjnych) oraz zagregowanych indeksów ryzyka operacyjnego. Kolejno przedstawione są przykładowe metody konstruowania coraz bardziej złożonych indeksów ryzyka operacyjnego. Przedstawione poniżej metody stanowią autorską propozycję opartą na wiedzy i doświadczeniu Autora i bazują na koncepcji pomiaru ryzyka operacyjnego z jednej strony oraz na roli i funkcji indeksów w gospodarce z drugiej. Indeksy tego typu, tj. indeksy ryzyka operacyjnego, nie były dotychczas prezentowane w literaturze oraz nie występują w praktyce.

Formalna definicja ryzyka jest określona na gruncie rachunku prawdopodobieństwa jako zmienna losowa, która przypisuje zdarzeniom kwoty strat. Jeśli znamy rozkład tej zmiennej losowej, możemy wycenić ryzyko. W języku rachunku prawdopodobieństwa nazywamy:

- możliwe straty rzeczy (przypadki) – zdarzeniami elementarnymi,
- zbiory tych stanów – zdarzeniami,
- funkcję przypisującą zdarzeniom elementarnym kwoty – zmienną losową,
- funkcje przypisującą kwotom prawdopodobieństwa – rozkładem prawdopodobieństwa zmiennej losowej.

Jeśli zdefiniowany jest zbiór możliwych przypadków, na które jest narazony określony podmiot, a każdemu z tych przypadków jest przypisane prawdopodobieństwo jego zajścia i kwota straty, to zbiór tych kwot wraz z funkcją prawdopodobieństwa określoną na tym zbiorze będziemy nazywać

¹⁹ Natomiast szczegółowy opis miar ryzyka oraz modeli pomiaru ryzyka operacyjnego zgodnych z Basel II przedstawia np. (Chernobai A.S., Rachel S.T., Fabozzi F.J., *Operational Risk. A Guide to Basel II Capital Requirements, Models, and Analysis*, John Wiley & Sons, New Jersey oraz Panjer H.H., *Operational Risk Modeling Analytics*, John Wiley & Sons, New Jersey).

ryzykiem. Reasumując, ryzyko w ujęciu matematycznym jest rozumiane jako zmienna losowa wyrażona w jednostkach pieniężnych (wraz ze swym rozkładem prawdopodobieństwa)²⁰.

Na przestrzeni probabilistycznej (Ω, F, P) definiujemy następujące obiekty:

- X_i – niezależne zmienne losowe wartości strat w i -tej klasie ryzyka o rozkładzie log-normalnym $LN(\mu_i, \sigma_i)$ ²¹,
- $X_{i,k}$ – niezależne zmienne losowe wartości strat w i -tej klasie ryzyka i w k -tym podmiocie o rozkładzie log-normalnym $LN(\mu_{i,k}, \sigma_{i,k})$,
- N_i – niezależne zmienne losowe częstości strat dla i -tej klasy ryzyka o rozkładzie Poissona z parametrem λ_i ²²,
- $N_{i,k}$ – niezależne zmienne losowe częstości strat dla i -tej klasy ryzyka i w k -tym podmiocie o rozkładzie Poissona z parametrem $\lambda_{i,k}$,
- L_i – niezależne zmienne losowe określające całkowite straty w i -tej klasie ryzyka,
- $L_{i,k}$ – niezależne zmienne losowe określające całkowite straty w i -tej klasie ryzyka i w k -tym podmiocie,
- L – zmienną losową określającą zagregowaną (całkowitą) stratę,
- $r_{i,j}$ – nieobciążony estymator współczynnika korelacji pomiędzy stratami w i -tej i j -tej klasach ryzyka,
- $r_{i,l}$ – nieobciążony estymator współczynnika korelacji pomiędzy stratami w k -tym i l -tym podmiotach dla ustalonej klasy ryzyka.

Zakładamy stochastyczną niezależność zmiennych losowych $X_{i,k}$ i $N_{i,k}$ ²³.

Wprowadźmy pojęcia zagregowanej wartości straty oraz korelacji pomiędzy wartościami strat²⁴.

²⁰ Szczegółowy opis ryzyka w ujęciu matematycznym opartym na rachunku prawdopodobieństwa można znaleźć np. w: W. Otto, *Ubezpieczenia majątkowe. Część I. Teoria ryzyka*, WNT, Warszawa 2008.

²¹ Do najpopularniejszych rozkładów modelowania wartości strat należą rozkłady: log-normalny, normalny, wykładniczy, Pareto, Erlanga oraz gamma, beta i Weibulla; por. np. H.H. Panjer, *Operational Risk Modeling Analytics...*, op. cit., s. 122–126; Wielu badaczy postuluje wykorzystanie rozkładu logarytmiczno-normalnego do modelowania wartości strat oraz rozkładu Poissona do modelowania częstości strat – zob. np. Chernobai A., Menn C., Truck S., Rachel S.T., *A Note on the Estimation of the Frequency and Severity Distribution of Operational Losses*, Applied Probability Trust, Karlsruhe 2004.

²² Do najpopularniejszych rozkładów stosowanych do modelowania częstości strat należą rozkłady: Poissona, dwumianowy (inaczej Bernoulliego), ujemny dwumianowy (inaczej Pascala), geometryczny oraz hipergeometryczny; por. np. A.S. Chernobai, S.T. Rachel, F.J. Fabozzi, *Operational Risk. A Guide to Basel II Capital Requirements, Models, and Analysis...*, op. cit.

²³ Jest to założenie, które zostało wykazane i jest często stosowane przy pomiarze ryzyka operacyjnego (por. np. Frachot A., Roncalli T., Salomon E., *The Correlation Problem in Operational Risk*, Credit Lyonnais, Working Paper, 2004, <http://gro.creditlyonnais.fr/content/wp/lda-correlations.pdf>).

²⁴ Pod pojęciem straty rozumie się negatywne oddziaływanie na wynik finansowy oraz na wartość instytucji finansowej w następstwie zdarzenia operacyjnego. Mianem zdarzenia

Niech $r(L_{i,k}, L_{j,k})$ oznacza współczynnik korelacji pomiędzy wartościami strat $L_{i,k}$ i $L_{j,k}$, $i \neq j$.

Zagregowana wartość straty przy założeniu niezależności wartości strat dana jest wzorem:

$$(3.1) \quad L = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n L_{i,k} = L_{1,1} + L_{1,2} + \dots + L_{m,n-1},$$

gdzie:

m – ustalona liczba klas ryzyka,

n – ustalona liczba podmiotów.

Zagregowana strata jest naturalnie zdefiniowana jako losowa suma indywidualnych strat dla określonej liczby podmiotów z tytułu wystąpienia zdarzeń operacyjnych²⁵ przy założeniu braku zależności pomiędzy stratami (jest to uproszczenie, gdyż zwłaszcza w przypadku zdarzeń katastroficznych występują jednocześnie zdarzenia z różnych klas ryzyka). Nie uwzględnienie zależności pomiędzy stratami powoduje przeszacowanie wartości straty, gdyż zakłada, że wszelkie zdarzenia wystąpią łącznie, czego nie potwierdza praktyka.

Natomiast zagregowana wartość straty dla i -tej klasy ryzyka i dla k -tego podmiotu przy założeniu niezależności wartości strat wyraża się wzorem:

$$(3.2) \quad L_{i,k} = \sum_{k=1}^{N_{i,k}} X_{i,k}$$

Zagregowana wartość straty dla i -tej klasy i dla k -tego podmiotu dla częstości straty ($N_{i,k}$) oraz dla wartości straty ($X_{i,k}$) obliczana jest poprzez zsumowanie wszystkich wartości strat w danej klasie (i) i dla danego podmiotu (k) i oznacza całkowitą wartość straty bez uwzględnienia zależności pomiędzy stratami (patrz uwaga powyżej).

3.1. Korelacja pomiędzy stratami

Korelacja $r(L_{i,k}, L_{j,k})$ między stratami całkowitymi w poszczególnych klasach ryzyka obejmuje korelację $r(X_{i,k}, X_{j,k})$ pomiędzy wartościami strat oraz korelację pomiędzy częstościami strat $r(N_{i,k}, N_{j,k})$. Obecnie przyjmu-

operacyjnego określamy zdarzenie powodujące, że finalny efekt procesu biznesowego różni się od zakładanego w następstwie niewłaściwych lub błędnych wewnętrznych procesów, błędów lub niedostępności ludzi i systemów oraz zdarzeń i okoliczności zewnętrznych (ORX Association, ORX Reporting Standards, Basel 2004, s. 5)

²⁵ Definicja zdarzenia operacyjnego znajduje się np. w: ORX Association, ORX Reporting Standards..., op. cit., s. 4.

je się poniższy sposób pomiaru korelacji pomiędzy stratami całkowitymi w postaci²⁶:

$$(3.3) \quad r(L_{i,k}, L_{j,k}) = r(N_{i,k}, N_{j,k}) r(X_{i,k}, X_{j,k}) ,$$

gdzie:

$$r(N_{i,k}, N_{j,k}) = \frac{\sigma_{N_{i,k}, N_{j,k}}}{\sigma_{N_{i,k}} \sigma_{N_{j,k}}}$$

$$r(X_{i,k}, X_{j,k}) = \frac{\sigma_{X_{i,k}, X_{j,k}}}{\sigma_{X_{i,k}} \sigma_{X_{j,k}}} ,$$

$\sigma_{X_{i,k}, X_{j,k}}$ – kowariancja pomiędzy zmiennymi losowymi $X_{i,k}$ i $X_{j,k}$,

$\sigma_{N_{i,k}, N_{j,k}}$ – kowariancja pomiędzy zmiennymi losowymi $N_{i,k}$ i $N_{j,k}$,

$\sigma_{X_{i,k}}$ – odchylenie standardowe zmiennej losowej $X_{i,k}$,

$\sigma_{N_{i,k}}$ – odchylenie standardowe zmiennej losowej $N_{i,k}$,

W praktyce spotyka się także uproszczoną wersję powyższego wzoru:

$$(3.3a) \quad r(L_{i,k}, L_{j,k}) = r(X_{i,k}, X_{j,k})$$

Uproszczona wersja wzoru (3.3) wskazuje na to, iż korelacje pomiędzy stratami całkowitymi można uzależnić głównie od korelacji pomiędzy wartościami strat przy założeniu, że korelacja pomiędzy częstościami strat zbliżona jest do wartości równej 1²⁷.

Obliczeń szacunkowej wartości korelacji dokonujemy z wykorzystaniem poniższych wzorów:

$$(3.3b) \quad \bar{X}_{i,k} = \frac{1}{p} \sum_{s=1}^p x_{i,k,s}$$

$$r(X_{i,k}, X_{j,k}) = \frac{\sum_{s=1}^p (x_{i,k,s} - \bar{X}_{i,k})(x_{j,k,s} - \bar{X}_{j,k})}{\sqrt{\sum_{s=1}^p (x_{i,k,s} - \bar{X}_{i,k})^2 \sum_{s=1}^p (x_{j,k,s} - \bar{X}_{j,k})^2}} ,$$

$x_{i,k,s}$ – wartość s-tej straty dla i-tej klasy ryzyka i dla k-tego podmiotu,
 $\bar{X}_{i,k}$ – wartość oczekiwana straty w i-tej klasie ryzyka i w k-tym podmiocie,

p – liczba strat dla i-tej klasy ryzyka i dla k-tego podmiotu.

²⁶ Por. np. Chavez-Demoulin V., Embrechts P., Nashedowa J., *Quantitative Models for Operational Risk: Extremes, Dependence and Aggregation*, 2005, <http://www.gloriamundi.org/detailpopup.asp?ID=453057964>

²⁷ Zob. Frachot A., Roncalli T., Salomon E., *The Correlation Problem in Operational Risk...*, op. cit.

$$N_{i,k} = \frac{1}{p} \sum_{s=1}^p n_{i,k,s}$$

$$(3.3c) \quad r(N_{i,k}, N_{j,k}) = \frac{\sum_{s=1}^p (n_{i,k,s} - \bar{N}_{i,k})(n_{j,k,s} - \bar{N}_{j,k})}{\sqrt{\sum_{s=1}^p (n_{i,k,s} - \bar{N}_{i,k})^2 \sum_{s=1}^p (n_{j,k,s} - \bar{N}_{j,k})^2}},$$

$n_{i,k,s}$ – liczba strat s -tej straty w i -tej klasy ryzyka i w k -tym podmiocie,
 $\bar{N}_{i,k}$ – częstość oczekiwana straty w i -tej klasie ryzyka i w k -tym podmiocie,
 p – liczba strat dla i -tej klasy ryzyka i dla k -tego podmiotu.

W szczególności dla wartości strat o rozkładach odpowiednio $LN(\mu_{X_1}, \sigma_{X_1})$ oraz $LN(\mu_{X_2}, \sigma_{X_2})$ proponuje się wyrażenie współczynnika korelacji strat w postaci²⁸

$$(3.4) \quad r(L_1, L_2) = r(N_1, N_2) \exp \left[-\frac{1}{2} \sigma_{X_1}^2 - \frac{1}{2} \sigma_{X_2}^2 \right]$$

Wzór (3.4) wskazuje, iż korelacja pomiędzy zagregowanymi stratami stanowi zależność pomiędzy korelacją częstości i odchyleniem standardowym strat. W przypadku banku Credit Lyonnais korelacja dla wszystkich rozkładów wartości strat była mniejsza niż 4%²⁹.

W dalszej części artykułu przyjmujemy wzór (3.3), a korelację obliczamy bezpośrednio ze wzoru na współczynnik korelacji liniowej Pearsona. Obecnie najnowsze propozycje w literaturze przedmiotu wskazują na możliwość obliczania korelacji w oparciu o funkcje kopuli, które pozwalają na modelowanie nieliniowych zależności między zmiennymi (niektórzy badacze dowodzą, że zależności pomiędzy stratami z tytułu ryzyka operacyjnego mają charakter nieliniowy).

W literaturze przedmiotu³⁰ zaproponowano wzór na włączenie korelacji w proces obliczania obciążenia z tytułu ryzyka operacyjnego dla podmiotów w postaci kapitału regulacyjnego, jako miary ryzyka operacyjnego dla banków (czyli innymi słowy wielkości ryzyka operacyjnego). Propozycje te stanowią podstawę dla zaproponowanego poniżej sposobu włączenia kore-

²⁸ Por. np. Frachot A., Roncalli T., Salomon E., *The Correlation Problem in Operational Risk...*, op. cit., oraz Alvarez G., Mae F., *Operational Risk Economic Capital Measurement: Mathematical Models for Analyzing Loss Data*, w: Ellen Davis (eds.), *The Advanced Measurement Approach to Operational Risk*, London: Risk Books, 2006, s. 59–113. Wzór ten jest podany jako przykładowy i nie może zostać wykorzystany wprost w przypadku innych rozkładów. W niniejszym artykule nie analizowano odporności proponowanej metodyki na zmiany założeń dotyczących rozkładów.

²⁹ Frachot A., Roncalli T., Salomon E., *The Correlation Problem in Operational Risk...*, op. cit.

³⁰ Ibidem.

lacji pomiędzy stratami przy obliczaniu indeksów (jest to autorska adaptacja podejścia proponowanego w cytowanej literaturze fachowej przy włączaniu korelacji do obliczania zagregowanej całkowitej straty).

Dla uproszczenia zapisu przyjmujemy oznaczenie: $r(L_{i,k}, L_{j,k}) = r_{i,j,k}^L$. Zakładamy, że zmienne losowe $L_{i,k}$ nie są niezależne.

Wprowadzamy w celu dokonywania poniższych obliczeń wartości zmiennych losowych dotyczące strat całkowitych (oznaczane l), szacunkowych wartości strat (\hat{L}) oraz szacunkowych wartości indeksów (\hat{I}).

Wówczas szacunkowa wartość zagregowanych strat \hat{L} dana jest wzorem:

$$(3.5) \quad \hat{L} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n r_{i,j,s}^{\hat{L}} l_{i,s} l_{j,s}},$$

gdzie³¹:

$r_{i,j,s}^{\hat{L}}$ – współczynnik korelacji pomiędzy zagregowanymi stratami całkowitymi w i -tej i j -tej klasach ryzyka – $l_{i,s}$ i $l_{j,s}$ – w podmiocie s ,
 $l_{i,s}$ – wartość zagregowanej straty całkowitej (z tytułu ryzyka operacyjnego) w i -tej klasie ryzyka i w podmiocie s ,

$$0 < |r_{i,j,s}^{\hat{L}}| < 1^{32} \text{ dla } i \neq j, \\ r_{i,j,s}^{\hat{L}} = 1 \text{ dla } i = j.$$

Szacunkowa wartości prognozowanych strat obejmuje korelacje pomiędzy zagregowanymi stratami całkowitymi dla poszczególnych klas ryzyka, a zatem uproszczony wzór (3.5) daje możliwość obliczenia potencjalnej wartości zagregowanej straty z uwzględnieniem zależności pomiędzy stratami przy założeniu dostępu do danych o wartości i częstości strat w poszczególnych bankach z podziałem na klasy ryzyka³³.

³¹ Wyrażenie podpierwiastkowe jest formą kwadratową, która z definicji przyjmuje zawsze wartość dodatnią. Wyrażenie to odzwierciedla sposób uwzględnienia korelacji pomiędzy stratami zaproponowany w pracy: Frachot A., Roncalli T., Salomon E., *The Correlation Problem in Operational Risk...*, op. cit.

³² Ograniczenie to uzasadnia się tym, iż korelacja równa 0, 1 i -1 może się zdarzyć jedynie przez przypadek i co do zasady nie występuje w praktyce; teoretyczne podejście do zagadnienia powinno uwzględnić wszystkie wartości tego współczynnika (przy takim założeniu podany wzór nie byłby prawidłowy). W praktyce w bankach obecnie przyjmuje się, że współczynnik korelacji przyjmuje wartości $0 < r_{i,j,s}^{\hat{L}} < 1$ z tego powodu, aby nadzory bankowe chętniej zatwierdzały podejście zaawansowane do zarządzania ryzykiem (tzw. podejście AMA); wartość dodatnia współczynnika $r_{i,j,s}^{\hat{L}}$ wynika ze wzoru 3.4 – por np. Frachot A., Roncalli T., Salomon E., *The Correlation Problem in Operational Risk...*, op. cit.

³³ Założenie to nie jest w pełni obecnie spełnione, ale inicjatywy w tym kierunku podjęte przez wiele instytucji umożliwią jego spełnienie w bliskiej przyszłości, zanim instrumenty typu IPRO pojawią się na rynku.

Na podstawie przeprowadzonych rozważań powyższego sposobu uwzględnienia korelacji między stratami Autor wnioskuję (i potwierdzają to wyniki obliczeń), że dobrze opisywałyby te zależności między stratami także następujący wzór:

$$(3.6) \quad \hat{L} = \sum_{i=1, j=1, i < j}^m \sum_{s=1}^n r_{i,j,s}^{\hat{L}} \frac{(l_{i,s} + l_{j,s})}{16},$$

gdzie:

$$0 < |r_{i,j,s}^{\hat{L}}| < 1^{34} \text{ dla } i \neq j, \\ r_{i,j,s}^{\hat{L}} = 1 \text{ dla } i = j,$$

oznaczenia jak we wzorze (3.5).

Powyższy wzór wynika z tego, że wszystkie możliwe pary strat (średnie arytmetyczne tych par) dla poszczególnych klas ryzyka wymnaża się przez korelacje pomiędzy tymi stratami ponieważ zależności zachodzą pomiędzy każdą parą strat (współczynnik w mianowniku został wyznaczony na podstawie obliczeń na danych liczbowych). Wzór (3.6) stanowi alternatywę do wzoru (3.5). Wzór (3.5) został utworzony w oparciu o mechanizm średniej geometrycznej, podczas gdy zaproponowany przez Autora wzór został oparty na mechanizmie średniej arytmetycznej. Wzór (3.6) wydaje się być prostszym w interpretacji oraz zgodny z intuicją.

3.2. Konstrukcja indeksu ryzyka dla m klas z uwzględnieniem korelacji między całkowitymi stratami w poszczególnych podmiotach. Indeks dla i-tej klasy ryzyka określamy jako i-ty subindeks

Definiujemy indeks dla i-tej klasy ryzyka jako zmienną losową I_i , którą konstruujemy jako iloraz zmiennej losowej określającej całkowitą stratę w i-tej klasie ryzyka i w roku badanym $v - L_{i,v}$ do wartości tej zmiennej w roku bazowym $b - L_{i,b}$:

$$(3.7) \quad I_i = \frac{L_{i,v}}{L_{i,b}},$$

gdzie:

$$L_{i,v} = \sqrt{\sum_{k,l=1}^n r_{i,k,l}^{L,v} L_{i,k,v} L_{i,l,v}}$$

$$L_{i,b} = \sqrt{\sum_{k,l=1}^n r_{i,k,l}^{L,b} L_{i,k,b} L_{i,l,b}}$$

- $L_{i,v}$ – zmienna losowa określająca całkowitą stratę w i -tej klasie ryzyka dla badanego roku v ,
- $L_{i,b}$ – zmienna losowa określająca całkowitą stratę w i -tej klasie ryzyka dla roku bazowego b ,
- $r_{i,k,l}^{L,v}$, $r_{i,k,l}^{L,b}$ – współczynniki korelacji pomiędzy stratami całkowitymi w podmiotach k -tym i l -tym dla i -tej klasy ryzyka odpowiednio dla badanego roku v oraz roku bazowego b ,
- $L_{i,k,v}$, $L_{i,k,b}$ – zmienna losowa określająca całkowitą stratę w i -tej klasie ryzyka i w k -tym podmiocie odpowiednio dla badanego roku v oraz roku bazowego b .

W celu dokonywana obliczeń wykorzystujemy wartości zmiennych losowych dotyczących strat (oznaczane l) oraz szacunkowe wartości strat (\hat{L}).

Do konstrukcji indeksu dla i -tej klasy ryzyka („subindeksu i -tego”) proponowany jest w artykule następujący wzór oparty na ogólnych zasadach tworzenia indeksów przy uwzględnieniu korelacji pomiędzy stratami całkowitymi w poszczególnych podmiotach (wzór 3.5 i 3.6):

$$(3.8) \quad \hat{I}_{i,v}^{RO} = \frac{1}{c} \sqrt{\sum_{k,l=1}^n r_{i,k,l}^{\hat{L},v} l_{i,k,v} l_{i,l,v}},$$

gdzie:

$$0 < |r_{i,k,l}^{\hat{L},v}| < 1^{35} \text{ dla } k \neq l,$$

$$r_{i,k,l}^{\hat{L},v} = 1 \text{ dla } k = l$$

$$c = \sqrt{\sum_{k,l=1}^n r_{i,k,l}^{\hat{L},b} l_{i,k,b} l_{i,l,b}}$$

$\hat{I}_{i,v}^{RO}$ – indeks dla i -tej klasy ryzyka operacyjnego,

$r_{i,k,l}^{\hat{L},v}$ – współczynnik korelacji pomiędzy stratami całkowitymi w podmiotach k -tym i l -tym – $l_{k,v}$ i $l_{l,v}$ – dla i -tej klasy ryzyka i dla badanego roku v ,

$r_{i,k,l}^{\hat{L},b}$ – współczynnik korelacji pomiędzy stratami całkowitymi w podmiotach k -tym i l -tym – $l_{k,b}$ i $l_{l,b}$ – dla i -tej klasy ryzyka i dla roku bazowego b ,

$l_{i,k,v}$ – wartość zagregowanej straty całkowitej w i -tej klasie ryzyka i w k -tym podmiocie dla badanego roku v ,

n – liczba podmiotów w indeksie.

Wzór (3.8) umożliwia obliczenie wartości indeksu dla i -tej klasy ryzyka operacyjnego z uwzględnieniem korelacji pomiędzy wartościami zagregowanych strat. W celu uzyskania wartości indeksu obliczenia należy wykonać dla badanego roku oraz dla roku bazowego. Tak, jak powyżej, zakłada się dostęp do danych o stratach o określonej strukturze, tj. danych o stra-

³⁵ Współczynniki $r_{i,k,l}^{\hat{L},v}$ oraz $r_{i,k,l}^{\hat{L},b}$ mają takie własności jak $r_{i,j}^{\hat{L}}$ – patrz wzór (3.5)

tach w poszczególnych bankach z podziałem na klasy ryzyka i dotyczące odpowiednio częstości i wartości strat³⁶.

Alternatywnie proponuje się poniższy wzór przy oznaczeniach i ograniczeniach jak powyżej:

$$(3.9) \quad \hat{I}_{i,v}^{RO} = \frac{1}{d} \sum_{k=1, l=1, k < l}^n \sum_{s=1}^n r_{i,k,l,s}^{\hat{L},v} \frac{l_{i,k,v,s} + l_{i,l,v,s}}{16},$$

gdzie:

$$d = \sum_{k=1, l=1, k < l}^n \sum_{s=1}^n r_{i,k,l,s}^{\hat{L},b} \frac{l_{i,k,b,s} + l_{i,l,b,s}}{16}$$

Wzór (3.9) umożliwia, podobnie jak wzór (3.8), obliczenie wartości indeksu dla *i*-tej klasy ryzyka operacyjnego z uwzględnieniem korelacji pomiędzy wartościami zagregowanych strat całkowitych, a różnica polega na sposobie uwzględnienia korelacji pomiędzy wartościami strat całkowitych oraz odmiennym sposobie agregacji strat całkowitych.

3.3. Konstrukcja zagregowanego indeksu ryzyka operacyjnego na podstawie danych o wartościach całkowitych strat dla poszczególnych klas i podmiotów z uwzględnieniem korelacji między całkowitymi stratami

W pierwszym kroku obliczamy szacunkową wartość zagregowanej straty dla poszczególnych klas ryzyka z uwzględnieniem korelacji strat pomiędzy podmiotami (patrz wzór 3.5 i 3.6):

$$(3.10) \quad \hat{L}_{i,v} = \sqrt{\sum_{k=1, l=1}^n r_{i,k,l}^{\hat{L},v} l_{i,k,v} l_{i,l,v}},$$

gdzie:

$$0 < |r_{i,k,l}^{\hat{L},v}| < 1 \text{ dla } k \neq l, \\ r_{i,k,l}^{\hat{L},v} = 1 \text{ dla } k = l.$$

$\hat{L}_{i,v}$ – szacunkowa wartość całkowitej straty dla *i*-tej klasy ryzyka operacyjnego i dla roku badanego *v*,

$r_{i,k,l}^{\hat{L},v}$ – współczynnik korelacji pomiędzy stratami całkowitymi w podmiotach *k*-tym i *l*-tym – $l_{k,v}$ i $l_{l,v}$ – dla badanego roku *v*,

³⁶ Założenie to będzie w bliskiej przyszłości spełnione, chociażby ze względu na wejście w życie wymogów Nowej Umowy Kapitałowej, które zostały wprowadzone przez Dyrektywę CRD uchwaloną przez Parlament Europejski 28 września 2005 r., a następnie przyjęta przez Radę Unii Europejskiej ds. Ekonomicznych i Finansowych (ECOFIN) w dniu 11 października 2005 r.

$r_{i,k,l}^{\hat{L},b}$ – współczynnik korelacji pomiędzy stratami całkowitymi w podmiotach k-tym i l-tym – $l_{k,b}$ i $l_{l,b}$ – dla roku bazowego b ,

$l_{i,k,v}$ – wartość zagregowanej straty całkowitej w i-tej klasie ryzyka i w k-tym podmiocie dla badanego roku v ,

n – liczba podmiotów w indeksie.

Wzór (3.10) umożliwia obliczenie szacunkowej wartości zagregowanej straty dla poszczególnych klas ryzyka z uwzględnieniem korelacji strat wartości całkowitych pomiędzy stratami w poszczególnych podmiotach.

Alternatywnie proponuje się poniższy wzór przy oznaczeniach i ograniczeniach jak powyżej:

$$(3.11) \quad \hat{L}_{i,v} = \sum_{k=1, l=1, k < l}^n \sum_{s=1}^n r_{i,k,l,s}^{\hat{L},v} \frac{l_{i,k,v,s} + l_{i,l,v,s}}{16}$$

Wzór (3.11) umożliwia obliczenie szacunkowej wartości zagregowanej straty dla poszczególnych klas ryzyka z uwzględnieniem korelacji strat wartości całkowitych pomiędzy stratami w poszczególnych podmiotach przy odmiennym od powyższego sposobie uwzględnienia korelacji i agregacji strat.

W drugim kroku konstruujemy zagregowany indeks ryzyka na podstawie szacunkowych wartościach strat dla m klas ryzyka w oparciu o ogólne zasady tworzenia indeksów i przy uwzględnieniu korelacji pomiędzy stratami w poszczególnych klasach ryzyka (patrz wzór 3.5 i 3.6):

$$(3.12) \quad \hat{I}_{Z,v}^{RO1} = \frac{1}{e} \sqrt{\sum_{i,j=1}^m r_{i,j}^{\hat{L},v} \hat{L}_{i,v} \hat{L}_{j,v}},$$

gdzie:

$$0 < |r_{i,j}^{\hat{L},v}| < 1 \text{ dla } k \neq l,$$

$$r_{i,j}^{\hat{L},v} = 1 \text{ dla } k = l,$$

$$e = \sqrt{\sum_{i=1, j=1}^m r_{i,j}^{\hat{L},b} \hat{L}_{i,b} \hat{L}_{j,b}}$$

$\hat{I}_{Z,v}^{RO1}$ – szacunkowa wartość zagregowanego indeksu ryzyka operacyjnego dla roku badanego v (wersja nr 1 indeksu),

$r_{i,j}^{\hat{L},v}$ – współczynnik korelacji pomiędzy indeksami dla klas ryzyka $l_{i,v}$ i $l_{j,v}$ dla badanego roku v ,

$r_{i,j}^{\hat{L},b}$ – współczynnik korelacji pomiędzy indeksami dla klas ryzyka $l_{i,b}$ i $l_{j,b}$ dla roku bazowego b ,

m – liczba klas ryzyka

Wzór (3.12) umożliwia obliczenie wartości zagregowanego indeksu ryzyka operacyjnego z uwzględnieniem korelacji pomiędzy oszacowanymi wartościami zagregowanych strat dla poszczególnych klas ryzyka.

Alternatywnie proponuje się poniższy wzór przy oznaczeniach i ograniczeniach jak powyżej:

$$(3.13) \quad \hat{I}_{Z,v}^{RO1} = \frac{1}{f} \sum_{i=1, j=1, i < j}^m \sum_{s=1}^m r_{i,j,s}^{\hat{L},v} \frac{\hat{L}_{i,v,s} \hat{L}_{j,v,s}}{16},$$

gdzie:

$$f = \sum_{i=1, j=1, i < j}^m \sum_{s=1}^n r_{i,j,s}^{\hat{L},b} \frac{\hat{L}_{i,b,s} \hat{L}_{j,b,s}}{16}.$$

Wzór (3.13) umożliwia obliczenie wartości zagregowanego indeksu ryzyka operacyjnego z uwzględnieniem korelacji pomiędzy oszacowanymi wartościami zagregowanych strat dla poszczególnych klas ryzyka przy alternatywnym podejściu do uwzględniania korelacji pomiędzy całkowitymi stratami w poszczególnych klasach oraz odmiennym sposobie agregacji strat.

3.4. Konstrukcja zagregowanego indeksu ryzyka operacyjnego na podstawie indeksów ryzyka dla poszczególnych klas z uwzględnieniem korelacji między całkowitymi stratami w poszczególnych klasach ryzyka

Definiujemy zagregowany indeks jako zmienną losową :

$$(3.14) \quad I_{Z,v}^{RO} = \frac{\sqrt{\sum_{i,j=1}^m r_{i,j}^{I,v} I_{i,v}^{RO} I_{j,v}^{RO}}}{\sqrt{\sum_{i,j=1}^m r_{i,j}^{I,b} I_{i,b}^{RO} I_{j,b}^{RO}}},$$

gdzie:

$I_{Z,v}^{RO}$ – zagregowany indeks ryzyka operacyjnego dla roku badanego v ,

$r_{i,j}^{I,v}$ – współczynnik korelacji pomiędzy indeksami dla klas ryzyka $I_{i,v}$ i $I_{j,v}$ dla badanego roku v ,

$r_{i,j}^{I,b}$ – współczynnik korelacji pomiędzy indeksami dla klas ryzyka $I_{i,b}$ i $I_{j,b}$ dla roku bazowego b ,

$I_{i,v}^{RO}$ – indeks ryzyka dla i -tej klasy ryzyka i dla badanego roku v ,

$I_{i,b}^{RO}$ – indeks ryzyka dla i -tej klasy ryzyka i dla roku bazowego b ,

m – liczba klas ryzyka.

W niniejszym artykule przyjmuje się założenie, że korelacja między indeksami dla poszczególnych klas ryzyka jest równa korelacji pomiędzy całkowitymi stratami w poszczególnych klasach ryzyka (tj. $r(I_{i,v}^{RO}, I_{j,v}^{RO}) = r_{i,j}^{I,v} = r(L_{i,v}, L_{j,v}) = r_{i,j}^{L,v}$). Założenie to wynika z faktu, że korelacje między stratami można obliczać i uwzględniać w ten sam sposób przy obliczaniu zagregowanej straty oraz konstrukcji indeksu dla klasy ryzyka.

Do konstrukcji zagregowanego indeksu ryzyka (operacyjnego) na podstawie indeksów ryzyka dla m klas tego ryzyka („subindeksów”) proponowany jest w artykule następujący wzór oparty na ogólnych zasadach tworzenia indeksów przy uwzględnieniu korelacji pomiędzy subindeksami za pomocą mechanizmu stosowanego przy agregacji strat całkowitych (wzór 3.5 i 3.6):

$$(3.15) \quad \hat{I}_{Z,v}^{RO_2} = \frac{1}{g} \sqrt{\sum_{i,j=1}^m r_{i,j}^{\hat{I},v} \hat{I}_{i,v}^{RO} \hat{I}_{j,v}^{RO}},$$

gdzie:

$$g = \sqrt{\sum_{i,j=1}^m r_{i,j}^{\hat{I},b} \hat{I}_{i,b}^{RO} \hat{I}_{j,b}^{RO}}$$

$$0 < |r_{i,j}^{\hat{I},v}| < 1 \text{ dla } i \neq j,$$

$$r_{i,j}^{\hat{I},v} = 1 \text{ dla } i = j,$$

$$0 < |r_{i,j}^{\hat{I},b}| < 1 \text{ dla } i \neq j,$$

$$r_{i,j}^{\hat{I},b} = 1 \text{ dla } i = j,$$

$\hat{I}_{Z,v}^{RO_2}$ – szacunkowa wartość zagregowanego indeksu ryzyka operacyjnego dla roku badanego v (wersja nr 2 indeksu),

$r_{i,j}^{\hat{I},v}$ – szacunkowa wartość współczynnika korelacji pomiędzy indeksami dla i -tej i j -tej klas ryzyka i dla badanego roku v ,

$r_{i,j}^{\hat{I},b}$ – szacunkowa wartość współczynnika korelacji pomiędzy indeksami dla i -tej i j -tej klas ryzyka i dla roku bazowego b ,

$\hat{I}_{i,v}^{RO}$ – szacunkowa wartość indeksu ryzyka dla i -tej klasy ryzyka i dla badanego roku v ,

$\hat{I}_{i,b}^{RO}$ – szacunkowa wartość indeksu ryzyka dla i -tej klasy ryzyka i dla roku bazowego b ,

m – liczba klas ryzyka.

Wzór (3.15) umożliwia obliczenie wartości zagregowanego indeksu ryzyka operacyjnego na podstawie wartości indeksów dla klas ryzyka oraz wartości korelacji pomiędzy tymi indeksami.

Alternatywnie proponuje się poniższy wzór przy oznaczeniach i ograniczeniach jak powyżej:

$$(3.16) \quad \hat{I}_{Z,v}^{RO_2} = \frac{1}{h} \sum_{i=1, j=1, i < j}^m \sum_{s=1}^n r_{i,j,s}^{\hat{I},v} \frac{\hat{I}_{i,v,s}^{RO} + \hat{I}_{j,v,s}^{RO}}{16},$$

gdzie:

$$h = \sum_{i=1, j=1, i < j}^m \sum_{s=1}^m r_{i,j,s}^{\hat{I},b} \frac{\hat{I}_{i,b,s}^{RO} + \hat{I}_{j,b,s}^{RO}}{16},$$

Wzór (3.16) umożliwia obliczenie wartości zagregowanego indeksu ryzyka operacyjnego na podstawie wartości indeksów dla klas ryzyka oraz wartości korelacji pomiędzy tymi indeksami przy odmiennym podejściu w stosunku do zastosowanego we wzorze (3.15) do uwzględniania korelacji i sposobu agregacji.

3.5. Konstrukcja zintegrowanych indeksów ryzyka operacyjnego na podstawie szczegółowych danych o stratach oraz na podstawie indeksów dla klas ryzyka

Konstrukcja zagregowanego indeksu ryzyka operacyjnego na podstawie danych o stratach w poszczególnych podmiotach i klasach ryzyka można uznać za metodę podstawową.

Jednakże w przypadku ryzyka operacyjnego (choć zapewne nie tylko w tym przypadku) istnienie indeksów dla poszczególnych klas ryzyka byłoby korzystne dla rynku finansowego z wielu powodów, w tym m.in.:

- 1) subindeksy pozwolą na rating podmiotów – można wykorzystać te subindeksy np. do oceny poszczególnych podmiotów pod kątem profilu ryzyka lub oceny ryzyka inwestowania w papiery wartościowe poszczególnych podmiotów,
- 2) subindeksy pozwolą na rozróżnienie poziomów ryzyka dla poszczególnych klas ryzyka, które znacznie różnią się od siebie ze względu na heterogeniczność czynników tego ryzyka,
- 3) subindeksy dostarczą także ważnych dodatkowych informacji, np. o dynamice indeksu dla danej klasy ryzyka, czyli trendach ryzyka dla poszczególnych klas,
- 4) subindeksy pozwolą na konstrukcję instrumentów pochodnych dla określonych grup (kategorii) zdarzeń operacyjnych, w więc w szczególności także na zabezpieczenie się przed wybraną grupą zdarzeń ryzyka operacyjnego (tj. daną klasą ryzyka operacyjnego).

Postuluje się także konstruowanie indeksów dla klas ryzyka.

Powstaje pytanie, jakie warunki muszą być spełnione, aby dwa sposoby postępowania przy konstruowaniu zagregowanego indeksu ryzyka przedstawione powyżej były równoważne.

Łatwo wykazać, że dla równoważności obu powyższych sposobów konstruowania zagregowanych indeksów ryzyka operacyjnego, musi zachodzić poniższy warunek (3.17).

$$(3.17) \quad \hat{I}_{Z,v}^{RO_2} = \hat{I}_{Z,v}^{RO_1} \frac{\hat{L}_{i,b} \hat{L}_{j,b}}{\hat{L}_{i,v} \hat{L}_{j,v}}$$

Aby zachodziła równoważność obu podejść konstrukcji zagregowanego indeksu ryzyka musiałyby być równe wartości zagregowanych strat dla

roku bazowego i badanego. Wiąże się to z tym, iż w przypadku konstrukcji zagregowanego indeksu na bazie indeksów dla klas ryzyka mechanizm tworzenia indeksu (proporcję wartości w okresie badanym do wartości w okresie bazowym) wykorzystuje się dwa razy, podczas gdy w przypadku drugiego sposobu mechanizm ten wykorzystuje się tylko raz.

Związek pomiędzy omawianymi sposobami konstrukcji zagregowanego indeksu ryzyka prezentuje wzór (3.17).

3.6. Konstrukcja zaawansowanych zagregowanych indeksów ryzyka operacyjnego

Poniżej proponuje się bardziej zaawansowaną wersję zagregowanych indeksów ryzyka operacyjnego. Ze względu na zróżnicowaną wielkość podmiotów (a zatem także różną wielkość strat z tytułu ryzyka operacyjnego) wchodzących w skład indeksu proponuje się wprowadzenie dodatkowego współczynnika wagowego w (określającego stosunek strat z tytułu ryzyka od wielkości obrotów w danym podmiocie lub stosunek obrotów w danym podmiocie w odniesieniu do obrotów wszystkich podmiotów wchodzących w skład indeksu). Wprowadzenie takiego współczynnika jest także niezbędne z powodu merytorycznego znaczenia indeksu (indeks wskazuje, czy ryzyko operacyjne w sektorze się zwiększa, ale gdyby nastąpił hipotetyczny znaczny wzrost zysków (obrotów) przy niezmienionym poziomie ryzyka operacyjnego to indeks wskazywałby ten sam poziom, podczas gdy w rzeczywistości ryzyko operacyjne zmniejszyłoby się).

Poniżej przedstawiona jest wersja indeksu bardziej zaawansowanego w porównaniu (wprowadzamy jedną wagę dla wszystkich podmiotów jednocześnie dla badanego roku oraz dla roku bazowego)

Niech wartość początkowa indeksu wynosi 1000 (wartość ta nawiązuje do znanych indeksów, np. WIG, ale wartość ta może być także inna, np. 100, chociaż ze względu na potencjalnie mniejszą zmienność w pewnych okresach takich indeksów lepszym byłaby wartość równa 1000 lub 10 000).

Wówczas zagregowany indeks ryzyka, przy założeniu wartości początkowej (bazowej) wynoszącej 1000, jest postaci

$$(3.18) \quad \hat{I}_{Z,v}^{RO1} = \frac{1}{e} \sqrt{\frac{\sum_{i,j=1}^m r_{i,j}^{\hat{L},v} l_{i,v} l_{j,v}}{\sum_{k=1}^n w_{k,v}}} \cdot 1000$$

gdzie:

$$0 < |r_{i,j}^{\hat{L},v}| < 1^{37} \text{ dla } i \neq j, \\ r_{i,j}^{\hat{L},v} = 1 \text{ dla } i = j,$$

³⁷ Współczynnik $r_{i,j}^{\hat{L},v}$ ma takie same własności jak $r_{i,j}^{\hat{L}}$ – patrz wzór (3.5).

$$0 < |r_{i,j}^{\hat{L},b}| < 1^{38} \text{ dla } i \neq j,$$

$$r_{i,j}^{\hat{L},b} = 1 \text{ dla } i = j,$$

$\hat{I}_{Z,v}^{RO1}$ – szacunkowa wartość zagregowanego indeksu ryzyka dla roku badanego v ,

$r_{i,j}^{\hat{L},v}$ – szacunkowa wartość współczynnika korelacji pomiędzy stratami całkowitymi w klasach i -tej i j -tej dla badanego roku v ,

$r_{i,j}^{\hat{L},b}$ – szacunkowa wartość współczynnika korelacji pomiędzy stratami całkowitymi w klasach i -tej i j -tej dla bazowego roku b ,

$l_{i,v}$ – wartość zagregowanej straty całkowitej (z tytułu ryzyka operacyjnego) w i -tej klasie ryzyka i w roku v ,

$l_{i,b}$ – wartość zagregowanej straty całkowitej (z tytułu ryzyka operacyjnego) w i -tej klasie ryzyka i w roku b ,

$w_{k,v}$ – współczynnik uwzględniający proporcjonalność strat z tytułu ryzyka od wielkości prowadzonej działalności przez podmiot w indeksie dla k -tego podmiotu i dla v -tego roku ($O_{k,v}$ oznacza obroty (lub sumę bilansową) dla k -tego podmiotu, v -tego roku),

$w_{k,b}$ – współczynnik uwzględniający proporcjonalność strat z tytułu ryzyka od wielkości prowadzonej działalności przez podmiot w indeksie dla k -tego podmiotu w roku bazowym ($O_{k,b}$ oznacza obroty (lub sumę bilansową) dla k -tego podmiotu, dla bazowego roku),

m – liczba klas ryzyka,

n – liczba podmiotów wchodzących w skład indeksu.

Kolejna wersja indeksu zaawansowanego (wprowadzamy indywidualne wagi dla poszczególnych podmiotów dla badanego roku i roku bazowego) jest postaci

$$(3.19) \quad \hat{I}_{Z,v}^{RO1} = \frac{1}{e} \sqrt{\sum_{k,l=1}^n r_{i,j}^{\hat{L},v} l_{k,v} l_{l,v} w_{k,v}^2} \cdot 1000$$

gdzie:

$$e = \sqrt{\sum_{k,l=1}^n r_{i,j}^{\hat{L},b} l_{k,b} l_{l,b} w_{k,b}^2} \cdot 1000$$

$r_{k,l}^{\hat{L},v}$ – szacunkowa wartość współczynnika korelacji pomiędzy stratami całkowitymi w podmiotach k -tym i l -tym dla badanego roku v ,

$r_{k,l}^{\hat{L},b}$ – szacunkowa wartość współczynnika korelacji pomiędzy stratami całkowitymi w podmiotach k -tym i l -tym dla bazowego roku b ,

$l_{k,v}$ – wartość zagregowanej straty całkowitej (z tytułu ryzyka operacyjnego) w k -tym podmiocie i w roku v ,

$l_{k,b}$ – wartość zagregowanej straty całkowitej (z tytułu ryzyka operacyjnego) w k -tym podmiocie i w roku b ,

38 Współczynniki $r_{i,j}^{\hat{L},b}$ ma takie same własności jak $r_{i,j}^{\hat{L}}$ – patrz wzór (3.5)

$w_{k,v}$ – współczynnik odnoszący wielkość obrotów (lub zysków) w k -tym podmiocie do wielkości obrotów wszystkich podmiotów wchodzących w skład indeksu dla v -tego roku (jest to proporcja tych wielkości),
 $w_{k,b}$ – współczynnik odnoszący wielkość obrotów (lub zysków) w k -tym podmiocie do wielkości obrotów wszystkich podmiotów wchodzących w skład indeksu dla roku bazowego b .

Pozostałe oznaczenia jak w powyższym wzorze (3.18).

Przy konstrukcji indeksu określonego wzorem (3.19) wykorzystano odmienne podejście do konstrukcji indeksu, a mianowicie zagregowany indeks ryzyka utworzono na bazie zagregowanych strat w poszczególnych podmiotach, a nie jak poprzednio w oparciu o zagregowane straty dla poszczególnych klas ryzyka. Jest to kolejny sposób podejścia do konstrukcji indeksów zagregowanych.

Powyższe wersje zaawansowanych indeksów można także zdefiniować odpowiednio z wykorzystaniem wzoru (3.6).

Zakończenie

W pracy zostały zaproponowane przykładowe metody tworzenia indeksów ryzyka operacyjnego, w tym indeksów dla klas ryzyka oraz zagregowanych indeksów ryzyka operacyjnego. Do konstrukcji zagregowanych indeksów ryzyka operacyjnego można wykorzystać dane o stratach z tytułu występowania ryzyka operacyjnego w poszczególnych podmiotach (dane o wartościach tych strat i ich częstościach). Alternatywą do tego podstawowego podejścia jest tworzenie zagregowanych indeksów ryzyka operacyjnego wykorzystując oparciu o indeksy dla klas ryzyka oraz korelację między tymi indeksami. Indeksy ryzyka operacyjnego, w tym zagregowane indeksy ryzyka operacyjnego, będą służyć do zarządzania tą kategorią ryzyka. Ze względu na obecne trudności z pozyskaniem rzetelnych danych o stratach z tytułu ryzyka operacyjnego tworzenie tego typu indeksów jest w obecnej chwili trudne lub wręcz niemożliwe.

W szczególności indeksy ryzyka operacyjnego mogą stanowić instrument bazowy dla instrumentów pochodnych ryzyka operacyjnego (IPRO), które mogą być wykorzystywane m.in. do zabezpieczania się przed ryzykiem operacyjnym. Zanim instrumenty pochodne ryzyka operacyjnego pojawią się na rynku finansowym, będzie musiało zostać przeprowadzonych jeszcze wiele prac koncepcyjnych dotyczących IPRO. Oczekuje się równocześnie, że metody pomiaru i zarządzania ryzykiem operacyjnym zostaną udoskonalone, a wyniki prac w tym zakresie zostaną wykorzystane także w obszarze IPRO, jako że sprawą fundamentalną dla instrumentów pochodnych jest precyzyjny pomiar wartości instrumentów bazowych, na których opie-

rają się instrumenty pochodne. Należy mieć nadzieję, że funkcjonujące już na rynku finansowym wąskie podgrupy IPRO, tj. katastrofowe instrumenty pochodne, pogodowe instrumenty pochodne oraz wbudowane instrumenty pochodne, będą się prężnie rozwijały, gdyż instrumenty te będą stanowiły podstawę dla całej grupy nowych instrumentów – instrumentów pochodnych ryzyka operacyjnego.

Bibliografia

1. Alvarez G., Mae F., *Operational Risk Economic Capital Measurement: Mathematical Models for Analyzing Loss Data*, w: Ellen Davis (eds.), *The Advanced Measurement Approach to Operational Risk*, London: Risk Books, 2006.
2. Chavez-Demoulin V., Embrechts P., Neshedowa J., *Quantitative Models for Operational Risk: Extremes, Dependence and Agregation*, 2005, <http://www.gloriamundi.org/detailpopup.asp?ID=453057964>.
3. Chernobai A., Menn C., Truck S., Rachel S.T., *A Note on the Estimation of the Frequency and Severity Distribution of Operational Losses*, Applied Probability Trust, Karlsruhe 2004.
4. Chernobai A.S., Rachel S.T., Fabozzi F.J., *Operational Risk. A Guide to Basel II Capital Requirements, Models, and Analysis*, John Wiley & Sons, New Jersey 2007.
5. Frachot A., Roncalli T., Salomon E., *The Correlation Problem in Operational Risk*, Credit Lyonnais, Working Paper, 2004, <http://gro.creditlyonnais.fr/content/wp/lda-correlations.pdf>.
6. Gadowska D., *Instrumenty Finansowe Ograniczające Ryzyko Operacyjne*, Konferencja KDPW SA: Innowacje na Rynkach Finansowych 2007, Warszawa 2007, http://www.kdpw.com.pl/informacje/pliki/inf_konferencje/2007_10_16_innowacje/pliki/prezentacje/DGadowska.pdf.
7. Incisive Media Investments, *Looking to the future*, OpRisk&Compliance, March 2008, Volume 9, Issue 3.
8. Incisive Media Investments, *Mr Cultivator*, OpRisk&Compliance, May 2008, Volume 9, Issue 5.
9. Incisive Media Investments, *Scaling in op risk data*, OpRisk&Compliance, August 2008, Volume 9, Issue 8.
10. Kuziak K., *Instrumenty pochodne w zarządzaniu ryzykiem pogodowym i katastrofowym*, w: Wyzwania współczesnych finansów, red. K. Jajuga, Wydawnictwo UE we Wrocławiu, Wrocław 2009.
11. Matkowski P., *Zarządzanie Ryzykiem Operacyjnym*, Oficyna Wydawnicza, Kraków 2006.
12. Orzeł J., *Okiełznać Ryzyko. Instrumenty Pochodne Ryzyka Operacyjnego*, „Gazeta Bankowa”, Nr 6, Luty 2008.
13. ORX Association, *ORX Reporting Standards*, Basel 2004.

14. Otto W., *Ubezpieczenia majątkowe. Część I. Teoria ryzyka*, WNT, Warszawa 2008.
15. Panjer H.H., *Operational Risk Modeling Analytics*, John Wiley & Sons, New Jersey 2006.

Indices for classes of risk and aggregated operational risk indices

Summary

This article contains suggested way of constructing operational risk indices. Indices for classes of risk and aggregated indices of operational risk exist nowadays neither in theory nor in practice but the concept of such indices may be used in many applications in the future. In particular the indices could become the basic instrument for a new group of derivatives called derivatives of operational risk (DOR).

Current conditions concerning construction of operational risk indices have been described in this paper as well.

Key words: operational risk, operational risk indices, derivatives of operational risk