

RYZIKO SYSTEMOWE – ASPEKTY SIECIOWE

WSTĘP

Jedną z cech różniących instytucje finansowe od innych podmiotów gospodarczych jest istotna rola transakcji dokonywanych pomiędzy tymi instytucjami. Efektem transakcji dokonywanych między bankami jest powstawanie sieci wzajemnych powiązań między nimi, które mogą wynikać z transakcji depozytowo-kredytowych, jak również z innych transakcji, np. instrumentami pochodnymi. Powiązania te sprawiają, że sytuacja finansowa banków może być współzależna, co oznacza istnienie kanałów przenoszenia się problemów finansowych między instytucjami.

Natężenie powiązań między instytucjami (ang. *interconnectedness*) znajduje się również w obszarze zainteresowania regulatorów. Obecny kryzys dostarczył przykładów instytucji, które okazały się „zbyt silnie połączone z innymi, aby pozwolić na ich upadłość”. Taką instytucją okazało się np. AIG. Z tego względu proponowane przez Komitet Bazylejski kryteria identyfikacji instytucji systemowo ważnych na poziomie globalnym¹ obejmują między innymi wskaźniki opisujące siłę powiązań danej instytucji z innymi instytucjami finansowymi.

* Adam Głogowski jest absolwentem SGH, pracownikiem Departamentu Systemu Finansowego Narodowego Banku Polskiego. Zajmuje się analizami stabilności systemu finansowego, ze szczególnym uwzględnieniem systemu bankowego. Jest jednym z autorów Raportu o stabilności systemu finansowego publikowanego przez NBP. Artykuł wyraża wyłącznie osobiste poglądy autora i nie powinien być interpretowany jako stanowisko instytucji, w której autor jest zatrudniony.

¹ Zob. Basel Committee on Banking Supervision, Global systemically important banks: assessment methodology and the additional loss absorbency requirement. Final document, 2011, <http://www.bis.org/list/bcbs/index.htm>

Artykuł niniejszy traktuje o ryzyku systemowym związanym z powiązaniem instytucji finansowych oraz metodach ich analizy. Część pierwsza zawiera krótką charakterystykę znaczenia powiązań między instytucjami finansowymi dla ryzyka systemowego. W drugiej części zostały omówione metody analizy struktury sieci powiązań, które mogą służyć identyfikacji instytucji ważnych z punktu widzenia stabilności całego systemu. W trzeciej części opisano przykłady analiz efektów zarażania – czyli stanów, w których problemy finansowe jednej instytucji powodują trudności w innych. W analizach tego typu wykorzystuje się dane o wzajemnych ekspozycjach instytucji finansowych na ryzyko siebie nawzajem. Część czwarta stanowi podsumowanie rozważań.

1. ROLA POWIĄZAŃ POMIĘDZY INSTYTUCJAMI DLA RYZYKA SYSTEMOWEGO

Stosowane obecnie definicje ryzyka systemowego najczęściej wskazują, że jest to ryzyko wystąpienia zaburzeń w funkcjonowaniu systemu finansowego, które są na tyle silne, że ich skutki istotnie wpływają na podmioty sfery realnej. W analizach ryzyka systemowego często wyróżnia się jego dwa wymiary – czasowy i przekrojowy². Wymiar czasowy jest związany z procyklicznymi zachowaniami instytucji finansowych oraz podmiotów ze sfery realnej gospodarki w cyklu kredytowym. Procykliczność zachowań oznacza tu skłonność do podejmowania nadmiernego ryzyka w okresie dobrej koniunktury oraz do silnego ograniczania ryzyka w czasie dekonunktury. Podejmowanie wysokiego ryzyka oznacza zwykle kredytowanie ryzykownych projektów inwestycyjnych lub klientów o niskiej zdolności kredytowej, zwiększanie skali przeprowadzania ryzykownych transformacji terminów lub transformacji płynności w bilansie instytucji finansowych lub też wysoki poziom ich dźwigni finansowej.

Wymiar przekrojowy ryzyka systemowego z kolei odnosi się do struktury systemu finansowego, rozkładu ryzyka w systemie finansowym oraz kanałów powiązań między instytucjami finansowymi. Niektórzy autorzy³ wskazują wręcz, że mechanizmy transmisji zaburzeń pomiędzy instytucjami są kluczowe dla istnienia systemowych aspektów ryzyka. Skutki materializacji danego poziomu ryzyka systemowego w wymiarze czasowym mogą być różne, w zależności od struktury „przekrojowej” systemu finansowego. Przykładowo, inne będą mechanizmy materializacji ryzyka w systemie bankowym składającym się z banków o niskiej skali powiązań między sobą, a inne w systemie bankowym, w którym wzajemne transakcje banków mają duży udział w aktywach i pasywach. W drugim z tych systemów istotną rolę w transmisji szoków odgrywają efekty zarażania, objawiające się stratami kredytowymi na ekspozycjach

² Bank of England, Instruments of macroprudential policy. A Discussion Paper, London 2011.

³ O. de Bandt, P. Hartmann, *Systemic Risk: A Survey*, ECB Working Paper, No. 35, 2001.

instytucji finansowych na ryzyko kontrahenta lub zmniejszeniem dostępności finansowania pozyskiwanego z innych banków i w konsekwencji koniecznością szybkiego upłynniania aktywów po cenach niższych od wartości fundamentalnej. Skomplikowany charakter powiązań między instytucjami finansowymi zmniejsza także przejrzystość sytuacji tych instytucji dla inwestorów i kontrahentów. Brak przejrzystości był jednym z czynników, który przyczynił się do utraty wzajemnego zaufania instytucji finansowych w okresie po upadku Lehmann Brothers.

Transakcje między instytucjami finansowymi mogą mieć pozytywne skutki dla funkcjonowania systemu finansowego. Wzajemne transakcje mogą ułatwiać zarządzanie ryzykiem finansowym (np. poprzez poprawę dopasowania aktywów i pasywów pod względem profilu walutowego lub pozycji w zakresie stopy procentowej), jak również sprzyjać efektywności alokacji funduszy w gospodarce (banki o silnej pozycji rynkowej w kredytowaniu perspektywicznych sektorów gospodarki mogą pozyskiwać fundusze od banków o słabej pozycji rynkowej w tych sektorach, ale dysponujących silną bazą depozytową). Te same procesy mogą jednocześnie wzmacniać tendencje do podejmowania nadmiernego ryzyka w okresie dobrej koniunktury. Jak wskazuje Bank of England⁴, transfer ryzyka pomiędzy instytucjami poprzez sekurytyzację w okresie przedkryzysowym przyczynił się do osłabienia zachęt do monitorowania jakości polityki kredytowej prowadzonej przez instytucje finansowe, co z kolei sprzyjało nadmiernemu zadłużaniu się podmiotów sektora realnego.

Powiązania między instytucjami finansowymi mogą utrudnić ocenę skali transformacji terminów i transformacji płynności w całym systemie finansowym, zwłaszcza jeśli na niektórych etapach tego procesu występują instytucje nieregulowane. Przykład sytuacji, gdy transformacja terminów na poziomie całego systemu finansowego może być duża, nawet jeśli na poziomie pojedynczych instytucji jest niewielka, podaje Hellwig⁵. Omawia on przykład hipotetycznego systemu finansowego, w którym każdy bank udziela kredytu na $i+1$ miesięcy, finansując to obligacją o zapadalności i miesięcy. Transformacja terminów na poziomie każdego indywidualnego banku jest więc niewielka. Jeśli jednak system ten będzie się składał z dużej liczby n banków, a bilans każdego banku $i=1 \dots n-1$ będzie miał podany profil zapadalności, przy czym aktywami banku i będą obligacje wyemitowane przez bank $i+1$, to system jako całość będzie dokonywał transformacji terminów na dużą skalę, finansując jednomiesięcznym depozytem kredyt o zapadalności $n/12$ lat. Z tego rodzaju „łańcuchami transformacji” mieliśmy do czynienia w systemach finansowych niektórych krajów wysoko rozwiniętych w okresie przedkryzysowym.

Powyzsze rozważania, pomimo swojej ogólności, wskazują, że w analizach ryzyka systemowego należy uwzględnić powiązania między instytucjami finansowymi. Ob-

⁴ Bank of England..., *op. cit.*

⁵ M. Hellwig, *Systemic aspects of risk management in banking and finance*, Swiss Journal of Economics and Statistics, Vol. 131, 1995, s. 723–37.

raz ryzyka systemowego będzie niepełny, jeżeli nie uwzględni się ani powiązań, ani reakcji instytucji finansowych na szoki egzogeniczne i endogeniczne. Uwzględnienie tego, mimo że niełatwe, pozwoli pełniej zrozumieć problemy ryzyka systemowego.

2. ANALIZA STRUKTURY POWIĄZAŃ

2.1. Dane wykorzystywane w analizach sieciowych

Analizy powiązań między instytucjami finansowymi charakteryzują się dużym zapotrzebowaniem na dane. Bisias, Flood, Lo i Valavanis⁶ wskazują na „idealny” zestaw danych do analiz powiązań. Takie dane powinny zawierać, dla każdej pary instytucji finansowych, informacje o powiązaniach pogrupowane według typu kontraktu (np. depozyt, linia kredytowa, forward, opcja itp.), oraz informacje o charakterystykach poszczególnych typów kontraktów, pozwalające na oszacowanie przepływów pieniężnych w zależności od przyszłych zdarzeń. Dodatkowymi danymi, wykraczającymi poza datę sprawozdawczą, mogłyby być informacje dotyczące możliwości powstawania nowych powiązań, na przykład wynikających z obserwowanych przez dłuższy czas relacji biznesowych między poszczególnymi instytucjami. Informacje uzyskane na tym poziomie szczegółowości pozwoliłyby na pełną identyfikację koncentracji ekspozycji na ryzyko, kanałów rozprzestrzeniania się szoków w systemie finansowym, a także na wskazanie instytucji szczególnie wrażliwych na szoki, w postaci np. upadłości któregoś z uczestników rynku.

Obecnie banki centralne i instytucje nadzorcze zazwyczaj nie mają danych na takim poziomie szczegółowości. W przyszłości dostępność danych o niektórych rodzajach transakcji (ekspozycji na ryzyko z tytułu instrumentów pochodnych) może się poprawić poprzez wykorzystanie zawartości repozytoriów danych (*trade repositories*), do których mają być przekazywane informacje o transakcjach instrumentami pochodnymi, zawieranych poza rynkiem regulowanym⁷. Do europejskiego porządku prawnego repozytoria danych zostaną wprowadzone rozporządzeniem na temat infrastruktury rynków finansowych (tzw. EMIR).

Większość analiz sieciowych jest teraz wykonywana na podstawie danych obejmujących jedynie kredyty i depozyty międzybankowe. Na podstawie tych danych wzajemne ekspozycje N banków można przedstawić jako macierz X , której elementy $x_{ij} \geq 0$ opisują należności banku i od banku j .

⁶ D. Bisias, M. Flood, A. Lo, S. Valavanis, *A Survey of Systemic Risk Analytics*, Office of Financial Research Working Paper, No. 0001, 2012.

⁷ Jest to jedno z rozwiązań zaproponowanych na szczycie G20 we wrześniu 2009 r. Zob. Financial Stability Board, „Implementing OTC Derivatives Market Reforms”, 2010, www.financialstabilityboard.org

Upper⁸ omawia dwa główne źródła danych wykorzystywanych do oszacowania macierzy X . Pierwszym jest sprawozdawczość banków. W niektórych krajach (m.in. Polska, Węgry, Włochy) sprawozdawczość ta zawiera informacje o wszystkich lokatach i kredytach międzybankowych, w rozbięciu na poszczególnych kontrahentów. To pozwala na utworzenie macierzy X na podstawie danych sprawozdawczych. Nawet w tych krajach jednak dane o ekspozycjach na ryzyko kredytowe kontrahentów z tytułu pozycji pozabilansowych są ograniczone, co oznacza, że nie ma danych opisujących całość ekspozycji kredytowych. Najczęściej nie ma informacji o terminach zapadalności, co nie pozwala na analizę zjawiska „łańcuchów finansowania”.

Schemat 1. Macierz powiązań finansowych banków

$$X = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} 0 & \cdots & x_{1j} & \cdots x_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \vdots \\ x_{i1} & \cdots & 0 & \cdots x_{iN} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \vdots \\ x_{M1} & \cdots & x_{Nj} & \cdots 0 \end{array} \\ \hline \sum_j \quad l_1 \quad \cdots \quad l_j \quad \cdots \quad l_N \end{array} \begin{array}{c} \sum_i \\ a_1 \\ \vdots \\ a_i \\ \vdots \\ a_N \end{array}$$

Źródło: C. Upper, A. Worms, *Estimating bilateral exposures in the German interbank market: Is there a danger of contagion?*, Economic Research Centre of the Deutsche Bundesbank Discussion paper 09/02, 2002.

W wielu krajach banki nie są zobowiązane do raportowania wszystkich transakcji międzybankowych. Wtedy są wykorzystywane dane z rejestrów kredytowych lub sprawozdawczości dużych zaangażowań, o ile obejmują one transakcje międzybankowe. Słabością tych źródeł danych jest zwykle próg raportowania (minimalna wartość sprawozdawanej pozycji), wyrażony w wartości bezwzględnej lub jako ułamek funduszy własnych banku. Macierz X , skonstruowana na podstawie takich danych sprawozdawczych, będzie więc niepełnym obrazem powiązań banków.

W sprawozdawczości bankowej standardowo dostępne są dane o sumie kredytów i depozytów międzybankowych, udzielonych przez bank innym bankom i przyjętych od innych banków (w opisie macierzy X odpowiadają one dla banku i , odpowiednio, sumie wiersza a_i i sumie kolumny l_i). Informacje te dla $N > 3$ nie wystarczają do wyznaczenia elementów macierzy (otrzymujemy układ $2N$ równań z $N^2 - N$ niewiadomymi), bo istnieje wiele rozwiązań powstałego układu równań. Najczęściej stosowaną metodą oszacowania brakujących elementów macierzy jest metoda maksymalizacji

⁸ C. Upper, *Using counterfactual simulations to assess the danger of contagion in interbank markets*, Bank for International Settlements Working Paper, No. 234, 2007.

entropii, wprowadzona przez Sheldona i Maurera⁹. Założeniem tej metody jest użycie jedynie informacji zawartych w rozkładach brzegowych (utworzonych przez sumy wierszy i kolumn), bez nakładania dodatkowych ograniczeń na elementy macierzy X , co z kolei prowadzi do uzyskania maksymalnie „równego” rozkładu aktywów i pasywów międzybankowych danego banku pomiędzy kontrahentów¹⁰.

Zaletą tej metody jest istnienie pojedynczego rozwiązania oraz dobrze znane algorytmy numeryczne służące do jego znalezienia. Metodę tę łatwo zmodyfikować dla przypadku, gdy są dostępne częściowe dane o wzajemnych powiązaniach banków, np. jedynie z tytułu niektórych kredytów i depozytów międzybankowych. Algorytm maksymalizacji entropii można wtedy zastosować do oszacowania nieznanego bloku macierzy¹¹. Wadą tego podejścia jest tendencja do przypisywania każdemu bankowi maksymalnej możliwej liczby powiązań z innymi bankami, co zazwyczaj nie odpowiada rzeczywistości. Przykładowo, użycie metody maksymalizacji entropii do oszacowania macierzy powiązań w polskim systemie bankowym sugerowałoby istnienie licznych powiązań, poprzez lokaty międzybankowe, pomiędzy bankami spółdzielczymi a wszystkimi bankami komercyjnymi, podczas gdy (m.in. ze względu na istniejące regulacje prawne) banki spółdzielcze lokują środki w bankach zrzeszających.

Drugim źródłem danych wykorzystywanym do odtworzenia powiązań międzybankami są dane z systemów płatniczych. Płatności dotyczące depozytów międzybankowych są rozliczane zazwyczaj poprzez hurtowe systemy rozrachunku brutto w czasie rzeczywistym (RTGS), których operatorami są banki centralne¹². Rozliczenie płatności na bazie brutto¹³ pozwala na analizę pojedynczych transakcji na podstawie przepływów środków pomiędzy rachunkami uczestników systemu.

Przykładami prac wykorzystujących dane z systemu płatniczego są prace Furfine oraz Amundsen i Arnta¹⁴. Najczęściej te dane wykorzystuje się do identyfikacji lokat o zapadalności jednego dnia. Dane o płatnościach są filtrowane w poszukiwaniu par płatności pomiędzy tymi samymi kontrahentami, następujących w odstępie jednego

⁹ G. Sheldon, M. Maurer, *Interbank Lending and Systemic Risk: An Empirical Analysis for Switzerland*, Swiss Journal of Economics and Statistics, Vol. 134(4.2), 1998, s. 685–704.

¹⁰ Podobne podejście leży u podstaw algorytmów stosowanych w metodach szacowania macierzy przepływów międzygałęziowych (np. algorytm RAS).

¹¹ Jeśli mamy częściowe informacje o elemencie x_{ij} macierzy (np. z danych z rejestru kredytowego wiemy, że ekspozycja banku i na bank j jest nie mniejsza niż pewna wartość h), wtedy możemy wartość h odjąć od sumy wiersza a_i i kolumny l_j i zastosować metodę maksymalizacji entropii wykorzystując pozostałe informacje.

¹² Przykładem takiego systemu jest system SORBNET prowadzony przez NBP.

¹³ Rozrachunek na bazie brutto oznacza, że płatność z tytułu każdej transakcji jest dokonywana osobno. Oznacza to, że w ciągu dnia pomiędzy dwoma uczestnikami systemu może występować wiele przepływów, również w przeciwnych kierunkach. Rozrachunek na bazie netto oznacza, że przeciwstawne płatności pomiędzy uczestnikami systemu są kompensowane przed dokonaniem finalnego przepływu środków.

¹⁴ E. Amundsen, H. Arnt, *Contagion Risk in the Danish Interbank Market*, Danmark Nationalbank Working Paper, No. 2005-25.

dnia. Przepływy z pierwszego dnia są filtrowane w poszukiwaniu „okrągłych” kwot (np. wielokrotność miliona złotych), ponieważ lokaty międzybankowe najczęściej są zawierane na takie kwoty. W dniu następnym poszukuje się płatności w przeciwnym znaku w stosunku do przepływu z pierwszego dnia, powiększonego o odsetki obliczone według stopy rynkowej O/N z pierwszego dnia. Amundsen i Arnt¹⁵ dopuszczają ponadto, że oprocentowanie poszczególnych transakcji może się odchyłać od stóp O/N przekazanych do celów fixingu przez uczestniczące w nim banki o ± 25 punktów bazowych, odpowiednio od najwyższej i najniższej podanej przez banki wartości.

Zaletą systemu płatniczego jest możliwość uzyskania danych o wysokiej częstotliwości i z małym opóźnieniem (międzybankową wartość przyjętych i złożonych przez poszczególne banki lokat międzybankowych można wyznaczyć dla każdego dnia). Dzięki temu można np. uniknąć skutków „poprawiania” przez banki struktury bilansu w dniach poprzedzających dni sprawozdawcze. Dane uzyskane w ten sposób mogą również posłużyć do identyfikacji powtarzających się wzorów zachowań uczestników rynku (np. preferowanych przez poszczególne banki kontrahentów). Wadą systemu płatniczego są trudności z identyfikacją lokat o dłuższych terminach zapadalności niż jeden dzień (teoretycznie byłoby to możliwe, ale wymagałoby przetworzenia dużych ilości danych, ponieważ należałoby przeprowadzić wyszukiwanie par przepływów dla wszystkich standardowych terminów lokat międzybankowych) i konieczność ograniczenia się do transakcji, które już zostały rozliczone. Posłużenie się danymi systemów płatniczych wymaga znajomości konwencji rozliczeniowych depozytów międzybankowych (w szczególności chodzi o to, czy odsetki od lokat są przelewane razem z kapitałem czy osobno).

Dodatkową kwestią, którą należałoby rozważyć przy analizie danych o wzajemnych powiązaniach instytucji finansowych, to możliwość wzajemnej kompensacji należności i zobowiązań w sytuacji niewypłacalności kontrahenta (*netting upadłościowy*)¹⁶ lub brak takiej możliwości. Jeśli w danym systemie prawnym rozwiązanie to funkcjonuje efektywnie, to można oceniać siłę wzajemnych powiązań instytucji finansowych na bazie ekspozycji netto.

2.2. Opis struktury powiązań

Pierwszym zastosowaniem danych o powiązaniach między poszczególnymi instytucjami finansowymi może być opis struktury powiązań. Celem tej analizy może być próba identyfikacji instytucji „centralnych”, które odgrywają dużą rolę dla stabilności całej struktury, lub opis ewolucji w czasie struktury powiązań.

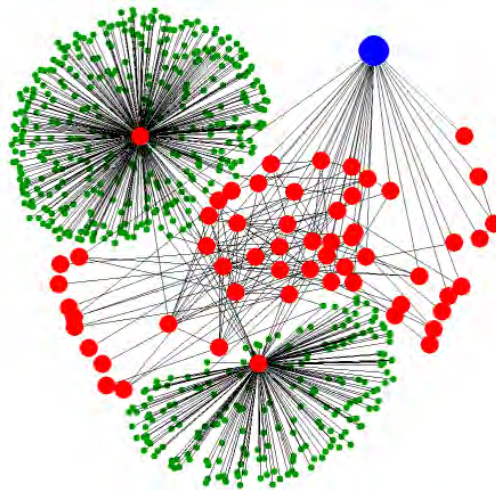
¹⁵ *Ibidem.*

¹⁶ W Polsce instytucja nettingu została wprowadzona do Ustawy Prawo upadłościowe i naprawcze. Zob. M. Konopczak, P. Mielus, P. Wieprzowski, *Rynkowe aspekty problemów na pozagiełdowym rynku walutowych instrumentów pochodnych w Polsce w czasie globalnego kryzysu finansowego*, Bank i Kredyt, Vol. 42 (2), 2011.

2.2.1. Opis z wykorzystaniem miar z teorii grafów

Przydatnym narzędziem do opisu struktury powiązań są miary opierające się na teorii grafów. Formalna definicja grafu określa go jako strukturę składającą się ze zbioru wierzchołków i zbioru krawędzi, z których każda łączy dokładnie dwa wierzchołki¹⁷. Krawędzie mogą być *skierowane* (wtedy jeden z wierzchołków jest początkiem krawędzi, a drugi jej końcem) lub *nieskierowane* (wtedy oba końce krawędzi są traktowane jednakowo). Krawędziom można również przypisać *wagi* obrazujące np. siłę powiązania między obiektami.

Schemat 2. Powiązania między bankami w Polsce poprzez rynek lokat międzybankowych – przedstawienie w postaci grafu nieskierowanego



Uwaga: kolorem czerwonym oznaczono banki komercyjne, kolorem zielonym – banki spółdzielcze, a kolorem niebieskim – zagregowane banki zagraniczne.

Źródło: Narodowy Bank Polski, Raport o stabilności systemu finansowego. Grudzień 2011 r., www.nbp.pl

¹⁷ Graf można więc określić jako parę uporządkowaną $G=(V, E)$, gdzie V jest niepustym zbiorem obiektów określanymi jako wierzchołki, a E rodziną dwuelementowych podzbiorów V (w grafie nieskierowanym), lub zbiorem par uporządkowanych różnych elementów V (w grafie skierowanym). Ograniczamy się tutaj do najprostszych typów grafów, pomijając multigrafy (w których może istnieć wiele krawędzi łączących te same wierzchołki i mających ten sam kierunek) i hipergrafy (w których pojedyncza krawędź może łączyć więcej niż dwa wierzchołki). W tej uproszczonej definicji wykluczamy, aby do rodziny E należał zbiór dwuelementowy $\{x, x\}$ (w grafie nieskierowanym), albo aby do zbioru E w grafie skierowanym należała para uporządkowana (x, x) . Dla potrzeb analizy powiązań między bankami taka definicja jest wystarczająca, ponieważ rozważamy powiązania wynikające z umów zawieranych między parami podmiotów gospodarczych.

W kontekście analizy powiązań między instytucjami finansowymi poszczególne instytucje traktujemy jako wierzchołki grafu, a zidentyfikowane powiązania między nimi – jako krawędzie grafu. Ponieważ możliwe do zidentyfikowania powiązania między instytucjami finansowymi mają najczęściej charakter należności lub zobowiązań wynikających z umów, naturalne jest przedstawienie sieci powiązań w postaci grafu skierowanego. Można wtedy przyjąć, że np. krawędź zaczyna się w węźle A i kończy w węźle B , jeśli bank A ma należność od banku B . Wagą krawędzi byłaby wtedy wartość należności.

Miary wywodzące się z teorii grafów można wykorzystać do opisu natężenia powiązań między instytucjami lub, inaczej, koncentracji powiązań. Taka analiza może pomóc w zidentyfikowaniu instytucji, których siła i liczba powiązań sprawia, że mają dominujący wpływ na stabilność całego systemu.

Pierwszą miarą, która może być wykorzystana do opisu struktury powiązań jest *gęstość grafu*. Jest ona zdefiniowana jako stosunek liczby krawędzi danego grafu do maksymalnej możliwej liczby krawędzi. Dla grafu nieskierowanego jest ona równa

$\frac{2 \cdot |E|}{|V| \cdot (|V| - 1)}$, dla grafu skierowanego $\frac{|E|}{|V| \cdot (|V| - 1)}$, gdzie: $|E|$ oznacza liczebność zbioru E .

Graf o gęstości 1 jest określany jako graf *pełny*. Taka sytuacja odpowiada systemowi bankowemu, w którym każdy bank ma powiązania z wszystkimi innymi (zob. schemat 3). Allen i Gale¹⁸ wskazują, że jeśli struktura powiązań międzybankowych ma charakter grafu pełnego, to prawdopodobieństwo wystąpienia efektu zarażania (upadłości banku w wyniku strat poniesionych z tytułu upadłości kontrahenta) jest niższe niż w przypadku struktur „niepełnych”, gdy poszczególne banki mają powiązania jedynie z niewielką liczbą innych banków (zob. schemat 4). Większa liczba kontrahentów oznacza, że średnia ekspozycja banku na ryzyko wobec kontrahenta jest mniejsza, a więc, *ceteris paribus*, prawdopodobieństwo, że upadłość pojedynczego kontrahenta doprowadzi do powstania strat przekraczających zdolność do ich absorpcji przez wierzyciela, jest mniejsze.

Warto zauważyć, że analiza struktury powiązań ograniczająca się do gęstości grafu ma niewielki sens w przypadku szacunków uzyskanych metodą maksymalizacji entropii. Skutkiem zastosowania tej metody jest bowiem przypisanie niezerowej wartości ekspozycji każdej parze instytucji¹⁹, co w efekcie prowadzi do grafu pełnego.

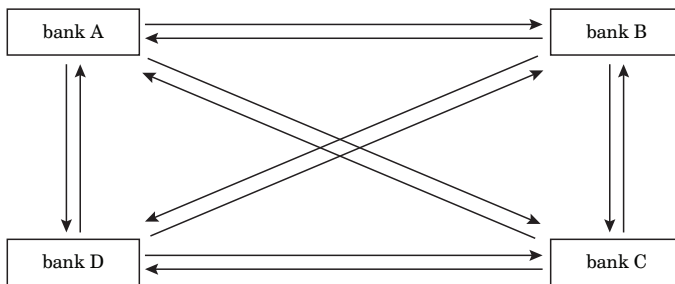
Niższe prawdopodobieństwo wystąpienia efektów zarażania wraz ze wzrostem gęstości powiązań nie oznacza automatycznie większej odporności całego systemu na

¹⁸ F. Allen, D. Gale, *Financial contagion*, The Journal of Political Economy, Vol. 108(1), s. 1–33, 2000.

¹⁹ Jedynym wyjątkiem będzie sytuacja, w której jakaś instytucja wykaże w bilansie brak należności lub zobowiązań z tytułu ekspozycji międzybankowych.

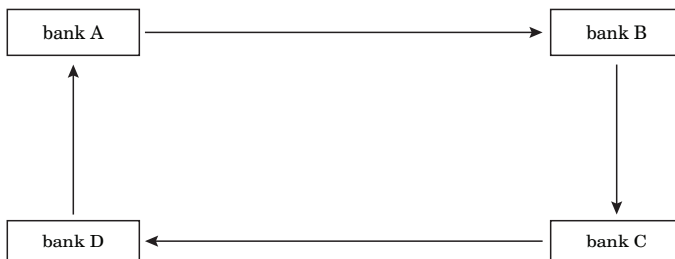
dowolne szoki. Gai i Kapadia²⁰ wskazują, że wzrost liczby powiązań między bankami prowadzi do bardziej efektywnej alokacji kredytu oraz dywersyfikacji ryzyka, jednak prowadzi także do silniejszego rozprzestrzeniania się zaburzeń. Battiston, Gatti, Gallegati, Greenwald i Stiglitz²¹ wskazują dodatkowo, że duża gęstość powiązań prowadzi do pojawiania się sprzężeń zwrotnych wzmacniających egzogeniczne szoki. W ich modelu pogorszenie się sytuacji jednego z podmiotów prowadzi do reakcji jego kontrahentów, którzy mogą np. domagać się wyższej premii za ryzyko kredytowe w przyszłości, co powoduje dalsze pogorszenie się sytuacji tego podmiotu. Wzrost gęstości powiązań może więc skutkować wzrostem wrażliwości całego systemu na szoki zewnętrzne.

Schemat 3. Przykład pełnej struktury powiązań (graf pełny)



Źródło: C. Upper, A. Worms, *Estimating...*, *op. cit.*

Schemat 4. Przykład niepełnej struktury powiązań



Źródło: C. Upper, A. Worms, *Estimating...*, *op. cit.*

Miarą, która może być wykorzystywana do identyfikacji wierzchołków o dominującym wpływie na stabilność całego systemu, jest *stopień* danego wierzchołka.

²⁰ P. Gai, S. Kapadia, *Contagion in Financial Networks*, Bank of England Working Paper, No. 383, 2010.

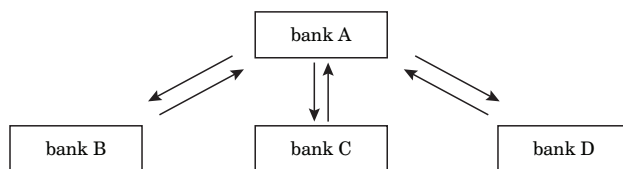
²¹ S. Battiston, D. Gatti, M. Gallegati, B. Greenwald, J. Stiglitz, *Liaisons dangereuses: Increasing connectivity, risk sharing, and systemic risk*, NBER Working Paper, No. 15611, 2010.

Stopień wierzchołka w grafie nieskierowanym to liczba krawędzi spotykających się w danym wierzchołku. W grafie skierowanym wyróżniamy *stopień wejścia* i *stopień wyjścia* wierzchołka (liczba krawędzi, odpowiednio, zaczynających się i kończących w danym wierzchołku). Przyjmując przytoczoną wcześniej konwencję, stopień wejścia danego wierzchołka to liczba wierzycieli danego banku na rynku międzybankowym, a stopień wyjścia – liczba jego dłużników. Wierzchołki o wysokim stopniu identyfikują instytucje o potencjalnie silnym wpływie na stabilność całego systemu.

Do sumarycznego opisu zróżnicowania znaczenia poszczególnych wierzchołków może służyć rozkład częstości stopnia wierzchołków. Badania empiryczne wskazują, że dla powiązań między bankami rozkład częstości stopnia wierzchołków jest zazwyczaj prawostronnie skośny, ze względu na występowanie niewielkiej liczby „centralnych” instytucji o dużej liczbie powiązań i dużej liczby instytucji słabo powiązanych z resztą. Przykładem instytucji o dużej liczbie powiązań w polskim systemie bankowym są banki zrzeszające banki spółdzielcze (łatwe do zidentyfikowania na schemacie 2).

Istnienie niewielkiej liczby instytucji o dużej liczbie powiązań przyczynia się do tego, że system finansowy wykazuje właściwość, którą Gai i Kapadia²² oraz Haldane²³ określają jako „odporny, a jednocześnie wrażliwy”. System taki jest odporny na zaburzenia, póki negatywne szoki pochodzące z jego otoczenia dotyczą wierzchołków o małej liczbie powiązań. Jeśli jednak szok dotknie jeden z „centralnych” wierzchołków, to duża liczba jego powiązań sprawi, że efekty tego szoku szybko będą odczuwalne w dużej części systemu. Przykładem jest struktura rozważana przez Freixasa, Parigiego i Rocheta²⁴ (zob. schemat 5). W ich modelu bankructwo jednego z banków „peryferyjnych” (B, C, D), dla pewnych wartości parametrów, nie prowadzi do zarażania, natomiast bankructwo banku A wywołuje taki efekt.

Schemat 5. Przykład struktury powiązań z bankiem „centralnym”



Źródło: C. Upper, A. Worms, *Estimating...*, *op. cit.*

²² P. Gai, S. Kapadia, *Contagion...*, *op. cit.*

²³ A. Haldane, Rethinking the Financial Network, www.bankofengland.co.uk/publications/speeches/2009/speech386.pdf

²⁴ X. Freixas, B. Parigi, J. Rochet, *Systemic Risk, Interbank Relations and Liquidity Provision by the Central Bank*, *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 32(3), 2000, s. 611–38.

Można również zaproponować inne sposoby identyfikacji wierzchołków „środkowych”, opierające się na pojęciu odległości pomiędzy wierzchołkami grafu. Odległością między dwoma wierzchołkami jest długość najkrótszej ścieżki je łączącej²⁵. Miarą „centralności” wierzchołka może być jego *acentryczność*, czyli maksymalna odległość tego wierzchołka od innych wierzchołków grafu. Wierzchołki o najmniejszej acentryczności są w tym podejściu uważane za wierzchołki „centralne”. W kontekście systemu finansowego niska acentryczność danego wierzchołka wskazuje, że wszystkie instytucje w systemie są powiązane z daną instytucją poprzez niewielką liczbę pośredników, a więc ewentualne problemy tej instytucji mogą do nich relatywnie szybko dotrzeć.

Podobne kryterium można skonstruować na podstawie sumy odległości danego wierzchołka od wszystkich pozostałych wierzchołków. Wierzchołek o najniższej sumie odległości można wtedy uznać za „centralny”.

Jeszcze innym podejściem do identyfikacji wierzchołków centralnych jest koncepcja identyfikacji wierzchołków kluczowych dla komunikacji pomiędzy innymi wierzchołkami (*betweenness*) wprowadzona przez Freemana²⁶. Według tej koncepcji wierzchołkami centralnymi są wierzchołki, przez które przechodzi duży odsetek najkrótszych ścieżek łączących poszczególne pary wierzchołków. Zidentyfikowane w ten sposób wierzchołki można interpretować jako instytucje kluczowe z punktu widzenia pośredniczenia pomiędzy innymi instytucjami na rynku międzybankowym.

2.2.2. Analiza skupień w kontekście sieciowym

Strukturę powiązań między instytucjami można analizować również pod kątem identyfikacji grup instytucji silnie powiązanych. Przykład takiej analizy (na poziomie powiązań między krajami) jest zawarty w pracy Garratta, Mahadavy i Svirydzenki²⁷. Autorzy analizują siłę powiązań między systemami bankowymi 21 krajów na podstawie danych Banku Rozrachunków Międzynarodowych. W ich modelu zaburzenia mogą przenosić się między krajami zarówno poprzez niespłacone należności, jak i nieodnawianie udzielonych kredytów. Na podstawie danych o sile wzajemnych powiązań systemów bankowych autorzy dokonują podziału całej sieci powiązań na moduły. Kilka systemów bankowych tworzy w ich podejściu moduł, jeżeli siła transmisji zaburzenia pomiędzy elementami modułu jest istotnie większa niż siła transmisji zaburzenia do systemów spoza modułu.

²⁵ Ścieżką łączącą wierzchołek v_0 z v_n określamy ciąg wierzchołków (v_0, v_1, \dots, v_n) taki, że dla każdego $k \in [0, 1, \dots, n-1]$ istnieje krawędź z v_k z v_{k+1} . Długością ścieżki określamy liczbę elementów tego ciągu.

²⁶ L. Freeman, *A set of measures of centrality based upon betweenness*, Sociometry Vol. 40, 1977, s. 35–41.

²⁷ R. Garratt, L. Mahadava, K. Svirydzenka, *Mapping systemic risk in the international banking network*, Bank of England Working Paper, No. 413, 2011.

Wykorzystując dane kwartalne z lat 1985–2009, autorzy przeanalizowali zmiany w strukturze modułowej globalnego systemu finansowego. Ich analiza wskazuje, że w latach 1990–2008 rosła siła wzajemnych powiązań systemów finansowych. Szczególnie dotyczyło to powiązań między systemami finansowymi krajów spoza światowych centrów finansowych.

Identyfikacja modułów sieci może być wykorzystana jako narzędzie ułatwiające analizę zmian w strukturze powiązań między instytucjami finansowymi. Narzędzie to może być zastosowane np. do identyfikacji powtarzających się wzorów zachowań uczestników rynku (np. preferowanych przez poszczególne banki kontrahentów) na podstawie danych z systemów płatniczych.

2.3. Szacowanie siły powiązań na podstawie danych rynkowych

Ciekawe podejście do identyfikacji powiązań między instytucjami zaproponowali Billio, Getmansky, Lo i Pelizzon²⁸. Badali oni powiązania między sektorami bankowości, ubezpieczeń, firm inwestycyjnych i funduszy hedgingowych na podstawie danych rynkowych (zmian cen akcji w przypadku pierwszych trzech sektorów i wyników inwestycyjnych czwartego sektora). Autorzy przeprowadzili analizę głównych składowych oraz analizę przyczynowości w sensie Grangera w celu wnioskowania o sile i kierunkach powiązań między sektorami instytucji finansowych.

Analiza głównych składowych pozwala na wyodrębnienie wspólnych czynników wyjaśniających zmienność badanych zbiorów zmiennych. Autorzy stwierdzają, że silne uzależnienie sytuacji finansowej (przybliżanej przez zmiany cen akcji i wyniki inwestycyjne) instytucji finansowych od małej liczby wspólnych czynników, wskazuje na podobieństwa w strategiach inwestycyjnych tych instytucji. Taka sytuacja, zdaniem autorów, świadczy o podwyższonym ryzyku systemowym. Jeżeli strategie inwestycyjne różnych podmiotów są zbliżone, wówczas nawet relatywnie niewielkie (w skali całej gospodarki) zaburzenie, skoncentrowane w sektorze gospodarki, którego waga w portfelach inwestycyjnych jest wysoka, może doprowadzić do zaburzeń w sektorze finansowym.

Wyniki przedstawione przez autorów pokazują, że od 60% do 90% zmienności zwrotów jest wyjaśniane przez pierwszy czynnik. Waga tego czynnika wzrasta w okresie napięć na rynku. Autorzy interpretują wysoką wagę pierwszego czynnika jako przesłankę wskazującą na podwyższone ryzyko systemowe.

Drugim typem badań autorów jest analiza przyczynowości w sensie Grangera, wykonana dla indeksów sektorowych oraz dla zbioru 100 dużych instytucji z analizowanych sektorów (po 25 największych z każdego sektora). Autorzy analizowali przyczynowość dla wszystkich par zmiennych z tych zbiorów. Dla analizy na po-

²⁸ M. Billio, M. Getmansky, A. Lo, L. Pelizzon, *Econometric measures of systemic risk in the finance and insurance sectors*, NBER Working Paper, No. 16223, 2010.

ziomie sektorów zaproponowali wskaźnik siły powiązań w systemie finansowym jako iloraz liczby zidentyfikowanych relacji przyczynowości do liczby wszystkich możliwych relacji. Analiza na poziomie instytucji pozwoliła autorom na budowę grafu skierowanego, w którym wierzchołkami są instytucje, a krawędziami zidentyfikowane relacje przyczynowości pomiędzy zwrotami dla tych instytucji. Autorzy następnie zbudowali wskaźniki dla tak stworzonego grafu, opisujące położenie i „wagę” poszczególnych wierzchołków (ich acentryczność, stopień wejścia i wyjścia itp.), oraz oszacowali zależności pomiędzy tymi wskaźnikami a spadkiem wartości rynkowych poszczególnych instytucji podczas kryzysu. Rezultaty tych ostatnich analiz pozwoliły na budowę rankingu instytucji z punktu widzenia ryzyka.

Wyniki tej analizy wskazują, że wskaźnik siły powiązań między sektorami instytucji finansowych wzrastał w badanym okresie (1994–2009), osiągając najwyższe wartości w 1998 r. oraz w latach 2007–2009. Autorzy interpretują te wyniki jako skutek wzrostu siły powiązań między instytucjami finansowymi.

Podejście to jest interesującym przykładem wykorzystania danych rynkowych do analizy nowego rodzaju problemów. Jak w przypadku wszystkich badań korzystających z podobnych danych, należy zachować ostrożność w interpretacji wyników. Jeśli bowiem jedną z przyczyn wzrostu ryzyka systemowego jest niedoszacowanie ryzyka przez uczestników rynku, a przez to „oderwanie” wyceny instrumentów finansowych od wartości uzasadnionych czynnikami fundamentalnymi, to wyniki wnioskowania opartego na informacjach odzwierciedlonych w tych cenach należy traktować z dużą ostrożnością.

3. SYMULACJE EFEKTÓW ZARAŻANIA

Najczęściej stosowanym sposobem analizy danych o wzajemnych ekspozycjach banków na ryzyko kredytowe są symulacje efektów zarażania. Symulacje te pozwalają na ocenę negatywnych efektów wynikających z istnienia sieci powiązań pomiędzy instytucjami, a także na prześledzenie ścieżki transmisji na inne instytucje szoku związanego z upadłością jednej lub kilku instytucji. Dla każdej instytucji można określić jej wrażliwość na upadek innej instytucji oraz zidentyfikować np. banki, których upadłość wywołuje najsilniejsze skutki. Symulacje tego typu pozwalają również na uwzględnienie efektów sieciowych w makroekonomicznych testach warunków skrajnych przeprowadzanych przez instytucje nadzorcze lub banki centralne. Symulacje te można podzielić na dwie kategorie. Pierwsza kategoria obejmuje symulacje zakładające brak zmian w strukturze bilansu banków, natomiast druga – mniej liczna – symulacje, w których próbuje się uwzględnić reakcję banków na zaburzenia.

3.1. Symulacje zakładające statyczny bilans banków

Podstawowym celem symulacji jest prześledzenie wpływu upadłości pojedynczych banków lub ich grup na sytuację pozostałych instytucji. Symulacje opierają się na prostej tożsamości księgowej dla banku i :

$$\sum_{j \neq i} x_{ij} + n_i = k_i + \sum_{j \neq i} x_{ji} + z_i, \quad (1)$$

gdzie: x_{ij} – należności banku i od banku j ,

n_i – inne należności i aktywa banku i ,

k_i – kapitał banku i ,

z_i – pozostałe zobowiązania banku i ²⁹.

Przeprowadzając symulację zakłada się, że bank h upada (tzw. upadłość pierwotna). Upadłość banku oznacza, że będzie on w stanie spłacić jedynie odsetek $(1-\lambda)$ swoich zobowiązań. Parametr λ w symulacji pozostaje stały. Każdy z banków, który w swoim bilansie ma należności od banku h , ponosi stratę, która bezpośrednio obciąża kapitał banku. Tożsamość bilansowa przyjmuje więc następującą postać:

$$\sum_{j \neq i} x_{ij} - \lambda x_{ih} + n_i = (k_i - \lambda x_{ih}) + \sum_{j \neq i} x_{ji} + z_i. \quad (2)$$

Bank i upada (tzw. upadłość wtórna), jeżeli jego kapitał po poniesionych stratach spada poniżej przyjętego w symulacji progno³⁰. W przypadku stwierdzenia upadłości banków przeprowadza się kolejną rundę symulacji, do momentu, w którym nie rejestruje się dalszych upadłości banków. Jako miarę wpływu efektu domina powodowanego upadkiem danego banku na system bankowy, przyjmuje się zazwyczaj liczbę banków upadłych wtórnie, ich udział w aktywach systemu bankowego, lub też liczbę rund upadków wtórnych.

Ta metoda symulacji była wielokrotnie wykorzystywana do analizy możliwości wystąpienia efektów domina w systemach bankowych różnych krajów (m.in. Sheldon i Maurer³¹ dla Szwajcarii, Furfine³² dla banków komercyjnych w USA, Blavarg

²⁹ Zapis ten obejmuje zarówno przypadek, gdy rozważamy ekspozycje na bazie netto, jak i na bazie brutto. W przypadku ekspozycji na bazie netto jedyną różnicą będzie to, że dla danej pary banków (i, j) element x_{ij} albo element x_{ji} macierzy \mathbf{X} będzie wynosił 0.

³⁰ W symulacjach zazwyczaj ustala się ten próg albo na poziomie 0 (upadłość w momencie niewypłacalności z punktu widzenia księgowego), albo na poziomie odpowiadającym wybranej wartości współczynnika wypłacalności.

³¹ G. Sheldon, M. Maurer, *Interbank Lending and Systemic Risk: An Empirical Analysis for Switzerland*, *Swiss Journal of Economics and Statistics*, Vol. 134(4.2), 1998, s. 685–704.

³² C. Furfine, *Interbank Exposures: Quantifying the Risk of Contagion*, *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 35(1), 2003, s. 111–28.

i Nimander³³ dla Szwecji, Wells³⁴ dla Wielkiej Brytanii, Upper i Worms³⁵ dla Niemiec, Lubloy³⁶ dla Węgier, Amundsen i Arnt³⁷ dla Danii, Van Lelyveld i Liedorp³⁸ dla Niderlandów, Cihak, Hermanek i Hlavacek³⁹ dla Czech, Degryse i Nguyen⁴⁰ dla Belgii, Mistrulli⁴¹ dla Włoch). Upper⁴² podsumowując rezultaty tych prac wskazuje, że wyniki dla poszczególnych krajów były zróżnicowane. Dla niektórych krajów (Belgia, Niemcy, Włochy, Wielka Brytania) maksymalny wpływ upadłości jednego z banków, poprzez efekt domina mierzony udziałem banków upadających wtórnie w sektorze bankowym, był istotny i sięgał 15–20%. W innych krajach wpływ ten był dużo niższy. Dla Polski analizy tą metodą były przeprowadzone przez Narodowy Bank Polski (zob. np. NBP⁴³). Ich wyniki wskazują na niewielką skalę efektu domina. Efekt domina, skutkujący upadkami wtórnymi banków, może być wywołany przez upadek pierwotny 12 banków komercyjnych. W przypadku ich bankructwa upadek wtórny mógłby dotyczyć od 1 do 8 banków komercyjnych i spółdzielczych. W żadnym przypadku aktywa banków upadłych wtórnie nie przekroczyłyby 2,3% aktywów całego sektora. Relatywnie bardziej na ryzyko efektu domina są narażone banki spółdzielcze ze względu na lokowanie wolnych środków w bankach zrzeszających.

Omawiana metoda może być wykorzystana również do uzupełnienia makroekonomicznych analiz wzajemnych ekspozycji banków na ryzyko. W takiej sytuacji grupa banków upadających pierwotnie składa się z banków, których kapitał w wyniku szoków makroekonomicznych spada poniżej wybranego poziomu. Analiza ewentualnych upadłości wtórnych pozwala zidentyfikować wpływ problemów tych banków na inne instytucje. Taki mechanizm jest częścią makroekonomicznych analiz prowadzonych przez Narodowy Bank Polski (zob. NBP⁴⁴).

³³ M. Blavarg, P. Nimander, *Inter-bank exposures and Systemic Risk*, Sveriges Riksbank, Economic Review, No. 2/2002, s. 19–45.

³⁴ S. Wells, *UK Interbank Exposures: Systemic Risk Implications*, [w:] *Financial Stability Review*, Bank of England, s. 175–82, December, London 2002.

³⁵ C. Upper, A. Worms, *Estimating...*, *op. cit.*

³⁶ A. Lubloy, *Domino effect in the Hungarian interbank market*, 2006, http://www.efmaefm.org/efma2005/papers/3-agnes_paper.pdf

³⁷ E. Amundsen, H. Arnt, *Contagion...*, *op. cit.*

³⁸ I. Van Lelyveld, F. Liedorp, *Interbank Contagion in the Dutch Banking Sector: A Sensitivity Analysis*, International Journal of Central Banking, Vol. 2, 2006, s. 99–133.

³⁹ M. Cihak, J. Hermanek, M. Hlavacek, *New Approaches to Stress Testing the Czech Banking Sector*, Czech Journal of Economics and Finance, Vol. 57(1–2), 2007, s. 41–59.

⁴⁰ H. Degryse, G. Nguyen, *Interbank Exposures: An Empirical Examination of Contagion Risk in the Belgian Banking System*, International Journal of Central Banking, Vol. 3, 2007, s. 123–171.

⁴¹ P. Mistrulli, *Assessing financial contagion in the interbank market: maximum entropy versus observed interbank lending patterns*, Banca d'Italia Working Paper, No. 641, 2007.

⁴² C. Upper, *Using...*, *op. cit.*

⁴³ Narodowy Bank Polski, Raport o stabilności systemu finansowego, lipiec 2011 r., www.nbp.pl

⁴⁴ Ibidem; Narodowy Bank Polski, Raport o stabilności systemu finansowego, grudzień 2011 r., www.nbp.pl

Chan-Lau, Espinosa, Giesecke i Solé⁴⁵ proponują rozszerzenie przedstawionej metody symulacji o efekty związane z pozycją banków w zakresie płynności. Zakładają oni, że banki upadające wycofują odsetek ρ finansowania, którego w przeszłości udzieliły innym bankom. Banki te z kolei sprzedają część aktywów, aby wywiązać się ze swoich zobowiązań wobec banków upadających. Ze względu na konieczność nagłej sprzedaży nie są w stanie uzyskać ceny odpowiadającej wartości bilansowej aktywów. Aby uzyskać jednostkę funduszy, muszą sprzedać aktywa o wartości bilansowej $(1+\delta)$. Przy takich założeniach, po upadku banku h , tożsamość bilansowa banku i ma następującą postać:

$$\sum_{j \neq i} x_{ij} - \lambda x_{ih} + n_i - (1 + \delta)\rho x_{hi} = (k_i - \lambda x_{ih} + \delta \rho x_{hi}) + \sum_{j \neq i} x_{ji} + z_i - \rho x_{hi}. \quad (3)$$

Dodatkowe straty wynikające ze sprzedaży aktywów poniżej wartości bilansowej obciążają kapitał banków, potencjalnie zwiększając skalę upadłości wtórnych. W odróżnieniu od omawianych w dalszej części modeli opracowanych w Banku Anglii i Banku Kanady, spadek cen aktywów w wyniku ich wyprzedazy nie wywiera wpływu na podmioty, których nie łączą relacje kontraktowe z bankami upadającymi.

Przedstawione metody analizy wymagały przyjęcia założenia co do wysokości stopy odzysku $(1-\lambda)$ należności od upadających banków. Ze względu na niewiele historycznych danych dotyczących upadłości banków, założenie to z konieczności jest zwykle bardzo arbitralne. Inną metodę wyznaczania skali efektu domina, endogenizującą parametr stopy odzysku, zaproponowali Elsinger, Lehar i Summer⁴⁶. W ich podejściu tożsamość bilansowa banku i ma postać:

$$\sum_{j \neq i} x_{ij} + e_i = \sum_{j \neq i} x_{ji}. \quad (4)$$

W tej tożsamości e_i oznacza wartość netto wszystkich pozycji aktywów i pasywów, z wyjątkiem należności i zobowiązań na rynku międzybankowym. Autorzy przyjmują dalej, że jeśli bank nie jest w stanie spłacić w całości swoich zobowiązań na rynku międzybankowym (co może być np. wynikiem szoku obniżającego wartość e_i), to każdy z wierzycieli otrzymuje płatność proporcjonalną do swojej należności, a wszystkie dostępne środki są przeznaczane na spłatę zobowiązań międzybankowych. Eisenberg i Noe⁴⁷ wykazali, że dla tak sformułowanego problemu istnieje rozwiązanie, które – przy spełnieniu pewnych dodatkowych warunków – jest jedyne.

⁴⁵ J. Chan-Lau, M. Espinosa, K. Giesecke, J. Solé, *Assessing the Systemic Implications of Financial Linkages*, [w:] IMF Global Financial Stability Report, www.imf.org/external/pubs/ft/gfsr/2009/01/pdf/chap2.pdf

⁴⁶ H. Elsinger, A. Lehar, M. Summer, *Risk Assessment for Banking Systems*, Management Science, Vol. 52, 2006, s. 1301–14.

⁴⁷ L. Eisenberg, T. Noe, *Systemic Risk in Financial Networks*, Management Science, Vol. 47(2), 2001, s. 236–24.

Taka metoda analizy pozwala uniknąć arbitralnego ustalania stopy odzysku należności międzybankowych, jednak nadal wymaga przyjęcia założeń dotyczących m.in. możliwości nettingu należności międzybankowych, kosztów postępowania upadłościowego oraz umiejscowienia zobowiązań wobec innych banków w hierarchii uprzywilejowania wierzycieli⁴⁸. Według autorów, silny wpływ na prawdopodobieństwo wystąpienia efektu domina ma wysokość kosztów postępowania upadłościowego, natomiast dostępność bądź niedostępność nettingu nie ma istotnego wpływu⁴⁹.

Wyniki badań tą metodą zawierają prace Hałaja⁵⁰. Potwierdzają one niewielką skalę zagrożenia efektem domina w polskim systemie bankowym.

3.2. Symulacje zakładające dostosowania bilansu banków

Przedstawione metody symulacji w zasadzie nie zawierały mechanizmów opisujących zmiany zachowań przez banki w odpowiedzi na ponoszone straty z tytułu ekspozycji międzybankowych na ryzyko i możliwości wpływu tych zachowań na inne podmioty. Mechanizmem, na którym koncentrują się cytowane prace, jest wymuszona wyprzedaż aktywów. Uwzględnienie reakcji banków sprowadzającej się do wyprzedaży aktywów w razie pogorszenia się sytuacji finansowej, pozwala bardziej realistycznie ocenić siłę wzajemnego wpływu banków na sytuację finansową.

Mechanizmy wymuszonej wyprzedaży aktywów są zawarte w pracach powstałych w Banku Anglii⁵¹. Omawiany model RAMSI Banku Anglii służy do prognoz i analiz szokowych dla brytyjskiego sektora bankowego i obejmuje modele opisujące zarówno ryzyko kredytowe, kluczowe pozycje przychodów i kosztów banków, dostępność finansowania rynkowego, jak i wzajemne ekspozycje banków na ryzyko kredytowe. Sprzedaż mało płynnych aktywów przez banki w następstwie upadłości prowadzi do spadku cen aktywów i poniesienia przez inne banki dodatkowych strat (poza stratami z tytułu swoich ekspozycji wobec upadającego banku) w wyniku

⁴⁸ W najprostszej wersji opisanej metody założenia są następujące: netting należności jest możliwy, brak jest kosztów postępowania upadłościowego (aktywa banku można spieniężyć w wartości bilansowej), a zobowiązania wobec innych banków (po nettingu) są podporządkowane wobec zobowiązań wobec innych wierzycieli banku.

⁴⁹ Odmiennie rezultaty, wskazujące na duży wpływ nettingu na ograniczenie skali efektu domina, otrzymali Upper i Worms (C. Upper, A. Worms, *Estimating...*, *op. cit.*) oraz Degryse i Nguyen (H. Degryse, G. Nguyen, *Interbank...*, *op. cit.*).

⁵⁰ G. Hałaj, *Czy w polskim sektorze bankowym może wystąpić efekt domina?*, [w:] Narodowy Bank Polski, Raport o stabilności systemu finansowego, Warszawa 2004.

⁵¹ D. Aikman, P. Alessandri, B. Eklund, P. Gai, S. Kapadia, E. Martin, N. Mora, G. Sterne, M. Wil-
lison, *Funding liquidity risk in a quantitative model of systemic stability*, Bank of England
Working Paper, No. 372, 2009.

P. Alessandri, P. Gai, S. Kapadia, N. Mora, C. Puhr, *Towards a Framework for Quantifying
Systemic Stability*, International Journal of Central Banking, Vol. 5(3), 2009, s. 47–81.

spadku ceny rynkowej aktywów. Zakłada się, że upadający bank sprzedaje całość swoich aktywów z portfela „dostępne do sprzedaży”, po cenie zawierającej dyskonto od wartości bilansowej. Dyskonto to z kolei jest uzależnione m.in. od wartości sprzedawanych aktywów i głębokości rynku.

Nieco inne podejście prezentują autorzy modelu opracowanego w Banku Kanady⁵². W tym modelu banki reagują na obniżenie się swojego współczynnika wypłacalności poprzez wyprzedaj niepłynnych aktywów z portfela „dostępne do sprzedaży”, mając nadzieję na poprawę współczynnika wypłacalności w wyniku zamiany ryzykownych aktywów na gotówkę, która nie generuje wymogu kapitałowego. Sprzedaż aktywów niepłynnych jest jednak możliwa jedynie z dyskontem, zależnym od wartości sprzedawanych aktywów.

WNIOSKI DLA ANALIZ RYZYKA SYSTEMOWEGO

Sieciowa struktura systemu finansowego jest coraz częściej jednym z zagadnień analizowanych w ramach oceny ryzyka niestabilności systemu finansowego. Waga tych analiz wynika z kilku aspektów.

- ❖ Poprzez wzajemne powiązania instytucji finansowych trudna sytuacja finansowa instytucji o wysokim natężeniu ryzyka może wywrzeć negatywny wpływ na inne instytucje, które oceniane indywidualnie mogłyby być uznane za mało ryzykowne.
- ❖ Sieciowy charakter systemu finansowego stanowi jedno ze źródeł nieliniowego charakteru wpływu otoczenia gospodarczego na instytucje finansowe. System finansowy wykazuje wysoką odporność na zaburzenia do pewnego poziomu, natomiast po jego przekroczeniu sytuacja instytucji finansowych może gwałtownie się pogorszyć.
- ❖ Struktura powiązań między instytucjami finansowymi ma znaczenie dla stabilności całego systemu. Inną odpornością charakteryzuje się system, w którym instytucje są narażone na ryzyko w podobnym stopniu, a inną system, w którym istnieje kilka instytucji, które są jedynymi kontrahentami dla większości pozostałych instytucji. Informacje uzyskane na podstawie struktury powiązań powinny być uwzględniane w procesie identyfikacji instytucji systemowo ważnych, które ze względu na swoją rolę powinny podlegać zaostrzonym wymogom regulacyjnym.

Głównym ograniczeniem dla dalszego rozwoju analiz sieciowych aspektów ryzyka systemowego są problemy związane z dostępnością danych. Najczęściej dostępne dane są ograniczone do depozytów międzybankowych. Jak w każdym badaniu

⁵² C. Gauthier, Z. He, M. Souissi, *Macroprudential Regulation and Systemic Capital Requirements*, Bank of Canada Working Paper, No. 2010-04.

empirycznym, nawet wyrafinowane modele mogą dawać błędne wnioski, jeśli dane wejściowe będą wątpliwej jakości. Wagę ekspozycji na ryzyko pogorszenia sytuacji finansowej kontrahenta poprzez inne instrumenty finansowe podkreślają Gauthier, He i Souissi⁵³. Dostępne w Banku Kanady dane o wzajemnych powiązaniach dużych banków kanadyjskich wskazują, że jedynie 62% całości powiązań stanowią depozyty międzybankowe – reszta to powiązania z tytułu instrumentów pochodnych i wzajemne powiązania kapitałowe.

Pogłębienie analiz powiązań między instytucjami finansowymi będzie oznaczało konieczność poszerzenia zakresu danych pozyskiwanych z instytucji finansowych przez regulatorów. Będzie to wyzwaniem zarówno dla instytucji finansowych, jak i dla regulatorów, którzy będą musieli wdrożyć modele i procedury pozwalające na efektywne wykorzystanie pozyskanych danych do monitorowania ryzyka systemowego i reakcji władz regulacyjnych na jego nasilenie poprzez odpowiednie użycie narzędzi polityki gospodarczej.

Abstract

The network features of the financial system are an important issue for the assessment of systemic risk. The distribution and strength of linkages between financial institutions can affect both the intensity of systemic risk and the propagation mechanisms of risk materialization. These issues, often grouped under the label of interconnectedness of financial institutions, are gaining increased attention of economists and policymakers.

The article reviews data need for the analysis of interconnectedness and descriptive measures of network structure based on graph theory. It then proceeds to review the tools of contagion analysis, used by central banks and regulators to assess the strength of shock transmission channels within the banking sector.

The contribution of interconnectedness of financial institutions to systemic risk will need to be monitored going forward. The main challenge of achieving this are the extensive data needs for this type of analysis.

Bibliografia

Aikman D., Alessandri P., Eklund B., Gai P., Kapadia S., Martin E., Mora N., Sterne G., Willison M., *Funding liquidity risk in a quantitative model of systemic stability*, Bank of England Working Paper, No. 372, 2009.

⁵³ *Ibidem*.

- Alessandri P., Gai P., Kapadia S., Mora N., Puhf C., *Towards a Framework for Quantifying Systemic Stability*, International Journal of Central Banking, Vol. 5(3), 2009, s. 47–81.
- Allen F., Gale D., *Financial contagion*, The Journal of Political Economy, Vol. 108(1), s. 1–33, 2000.
- Amundsen E., Arnt H., *Contagion Risk in the Danish Interbank Market*, Danmark Nationalbank Working Paper, No. 2005-25.
- Bank of England, Instruments of macroprudential policy. A Discussion Paper, London 2011.
- Basel Committee on Banking Supervision, Global systemically important banks: assessment methodology and the additional loss absorbency requirement. Final document, 2011, <http://www.bis.org/list/bcbs/index.htm>
- Battiston S., Gatti D., Gallegati M., Greenwald B., Stiglitz J., *Liaisons dangereuses: Increasing connectivity, risk sharing, and systemic risk*, NBER Working Paper, No. 15611, 2010.
- Billio M., Getmansky M., Lo A., Pelizzon L., *Econometric measures of systemic risk in the finance and insurance sectors*, NBER Working Paper, No. 16223, 2010.
- Bisias D., Flood M., Lo A., Valavanis S., *A Survey of Systemic Risk Analytics*, Office of Financial Research Working Paper, No. 0001, 2012.
- Blavarg M., Nimander P., *Inter-bank exposures and Systemic Risk*, Sveriges Riksbank, Economic Review, No. 2/2002, s. 19–45.
- Chan-Lau J., Espinosa M., Giesecke K., Solé J., *Assessing the Systemic Implications of Financial Linkages*, [w:] IMF Global Financial Stability Report, www.imf.org/external/pubs/ft/gfsr/2009/01/pdf/chap2.pdf
- Cihak M., Hermanek J., Hlavacek M., *New Approaches to Stress Testing the Czech Banking Sector*, Czech Journal of Economics and Finance, Vol. 57(1–2), 2007, s. 41–59.
- De Bandt O., Hartmann P., *Systemic Risk: A Survey*, ECB Working Paper, No. 35, 2001.
- Degryse H., Nguyen G., *Interbank Exposures: An Empirical Examination of Contagion Risk in the Belgian Banking System*, International Journal of Central Banking, Vol. 3, 2007, s. 123–171.
- Eisenberg L., Noe T., *Systemic Risk in Financial Networks*, Management Science, Vol. 47(2), 2001, s. 236–24.
- Elsinger H., Lehar A., Summer M., *Risk Assessment for Banking Systems*, Management Science, Vol. 52, 2006, s. 1301–14.
- Financial Stability Board, „Implementing OTC Derivatives Market Reforms”, 2010, www.financialstabilityboard.org
- Freeman L., *A set of measures of centrality based upon betweenness*, Sociometry Vol. 40, 1977, s. 35–41.
- Freixas X., Parigi B., Rochet J., *Systemic Risk, Interbank Relations and Liquidity Provision by the Central Bank*, Journal of Money, Credit and Banking, Vol. 32(3), 2000, s. 611–38.

- Furfine C., *Interbank Exposures: Quantifying the Risk of Contagion*, Journal of Money, Credit and Banking, Vol. 35(1), 2003, s. 111–28.
- Gai P., Kapadia S., *Contagion in Financial Networks*, Bank of England Working Paper, No. 383, 2010.
- Garratt R., Mahadava L., Svirydzenka K., *Mapping systemic risk in the international banking network*, Bank of England Working Paper, No. 413, 2011.
- Gauthier C., He Z., Souissi M., *Macroprudential Regulation and Systemic Capital Requirements*, Bank of Canada Working Paper, No. 2010-04.
- Haldane A., *Rethinking the Financial Network*, www.bankofengland.co.uk/publications/speeches/2009/speech386.pdf
- Hałaj G., *Czy w polskim sektorze bankowym może wystąpić efekt domina?*, [w:] Narodowy Bank Polski, Raport o stabilności systemu finansowego, Warszawa 2004.
- Hałaj G., *Contagion Effect in Banking System – Measures Based on Randomised Loss Scenarios*, Bank i Kredyt, czerwiec 2007.
- Hellwig M., *Systemic aspects of risk management in banking and finance*, Swiss Journal of Economics and Statistics, Vol. 131, 1995, s. 723–37.
- Konopczak M., Mielus P., Wieprzowski P., *Rynkowe aspekty problemów na pozagiełdowym rynku walutowych instrumentów pochodnych w Polsce w czasie globalnego kryzysu finansowego*, Bank i Kredyt, Vol. 42 (2), 2011.
- Lubloy A., *Domino effect in the Hungarian interbank market*, 2006, http://www.efmaefm.org/efma2005/papers/3-agnes_paper.pdf.
- Mistrulli, P., *Assessing financial contagion in the interbank market: maximum entropy versus observed interbank lending patterns*, Banca d'Italia Working Paper, No. 641, 2007.
- Narodowy Bank Polski, Raport o stabilności systemu finansowego, lipiec 2011 r., www.nbp.pl
- Narodowy Bank Polski, Raport o stabilności systemu finansowego, grudzień 2011 r., www.nbp.pl
- Sheldon G., Maurer M., *Interbank Lending and Systemic Risk: An Empirical Analysis for Switzerland*, Swiss Journal of Economics and Statistics, Vol. 134(4.2), 1998, s. 685–704.
- Upper C., Worms A., *Estimating bilateral exposures in the German interbank market: Is there a danger of contagion?*, Economic Research Centre of the Deutsche Bundesbank Discussion paper 09/02, 2002.
- Upper C., *Using counterfactual simulations to assess the danger of contagion in interbank markets*, Bank for International Settlements Working Paper, No. 234, 2007.
- Van Lelyveld I., Liedorp F., *Interbank Contagion in the Dutch Banking Sector: A Sensitivity Analysis*, International Journal of Central Banking, Vol. 2, 2006, s. 99–133.
- Wells S., *UK Interbank Exposures: Systemic Risk Implications*, [w:] *Financial Stability Review*, Bank of England, s. 175–82, December, London 2002.