

УДК 336.74 (489)

Кіртстен Бонде Рордам (Данія), Мортен Л. Бех (США)

Топологія міжбанківських грошових потоків Данії

У статті представлено перший топологічний аналіз грошових потоків ринку Данії. Аналізовано структуру двох мереж з різними типами трансакцій. Перша мережа – мережа грошового ринку, що керується поведінкою банків на міжбанківському ринку. Друга – мережа клієнтів, що проводять трансакції. Доведено, що структура цих мереж відрізняється. Дана стаття – додаток до нової літератури, в якій досліджуються мережі топологічного аналізу платіжних систем.

Ключові слова: мережа, топологія, платіжна система, грошовий ринок.

Вступ

Нещодавня фінансова криза показала, що міжбанківський грошовий ринок відіграє важливу роль у налагодженні функціонування фінансової системи та здійсненні грошової політики. У багатьох частинах міжбанківського грошового ринку зникла ліквідність, тому центральні банки втрутилися у міжбанківську діяльність та фактично замінили приватне посередництво на державне.

Розуміння внутрішньої роботи грошового ринку надзвичайно важливе для аналізу та подолання фінансової кризи.

В аналітичних статтях автори обговорювали питання того, яка фінансова структура є оптимальною для подолання кризи: комплексна, за якої банк володіє акціями інших, або неповна структура, за якої банки приймають взаємне володіння у разі потреби, Ален та Гейл (2000), Фрейсес та Парігі (1998), Фрейсес та ін. (2000). Банки постають між вибором збереження ліквідності (вони можуть отримати менші резерви ліквідних активів у тому випадку, якщо зможуть підвищити ліквідність через міжбанківський ринок) та ризиком ланцюгової реакції (банки стають слабкими по відношенню до порушень роботи в інших банках або мережі як цілої). За аналітичною моделлю центральні банки проводять валютні інтервенції на міжбанківському ринку, за рахунок чого перешкоджають розповсюдженню кризи, (Фрейсес, 2000). Ризик наслідків розповсюдження кризи та можливих дій центральних банків залежать від існуючих структур на міжбанківському ринку.

Велика платіжна система – фундаментальна платформа міжбанківського грошового ринку. На цій платформі проводиться лівова частка опера-

цій грошового ринку, тому неполадки у великих платіжних системах можуть привести до розладу роботи на грошовому ринку. Крім того, неполадка в одному банку може вплинути на роботу інших банків мережі. Тож стійкість мережі є визначальним фактором. Крім того, розмір фактичної заборгованості на грошовому ринку, ризик наслідків розповсюдження кризи залежить від розміру банку та розміщення його у мережі, Лаблой (2006), Апер та Ворс (2004).

Топологічна схема мережі – це основа для аналізу внутрішньої роботи міжбанківських грошових потоків. Впродовж декількох останніх років виокремлено матеріальну теорію мереж. Визначено, що багато матеріальних мереж мають спільні характеристики з іншими мережами: Інтернет та електричними мережами або мережами водопостачання. За останні роки у новій літературі, що висвітлює питання функціонування платіжних систем використовується метод топологічних схем мереж, що допомагає зрозуміти принципи функціонування фінансових мереж у США, Японії, Австралії та Угорщині (Сорамакі та ін., 2007; Інаока та ін., 2004; Бос та ін., 2004, та Лаблой, 2006).

Для аналізу двох економічно різних мереж міжбанківських потоків використано дані журналу платіжної системи Данії. Перша мережа складається з операцій грошового ринку, друга – з інших операцій. Основні операції в платіжній мережі – це банківські приватні трансакції та трансакції здійснені клієнтами. Мережа грошового ринку складається з добових міжбанківських кредитів.

Досліджено, що структура поданих мереж значно відрізняється. У платіжній мережі, де існує декілька основних банків на грошовому ринку, два комерційні банки є відповідальними за велику частку загальної діяльності. Обидві мережі – концентровані, оскільки 10 банків проводять більшість операцій, що здійснюються в обох мережах. Платіжна мережа розширюється за рахунок місячного та квартального обігу, а також

© Кіртстен Бонде Рордам, Мортен Л. Бех, 2009.

Припущення описані в даній роботі не обов'язково відображають погляди Національного Банку Данії, Федерального резервного банку Нью-Йорка або Федеральної резервної системи.

першого робочого дня після вихідного. Ефекти робочого дня управляють ефектами календаря, що спостерігається на грошовому ринку. Дослідження операційних неполадок не визначає будь-яких недоліків роботи великої платіжної системи. Платіжні неполадки змінюють структуру мереж та рівень їх функціонування.

Стаття має наступну структуру. У першому розділі описано дані та алгоритм, що використовувався для розподілу даних на показники операцій грошового ринку, а також показники інших операцій. Аналізовано топологію схем цих економічно різних мереж, за якими визначається мережа грошового ринку та платіжна мережа. Аналіз мереж представлений у другому розділі. Третій розділ присвячений компонентному аналізу активних банків у кожній мережі. Четвертий розділ пропонує загальну статистику топологічних меж та аналіз незмінності ліній та вузлів, що є дуже важливими для стабільності мереж. Крім того, обговорено співвідношення між основними топологічними межами та сезонними впливами на діяльність мереж. П'ятий розділ присвячений дослідженню двох неполадок у платіжній системі Данії. Останній розділ – висновки.

1. Сукупність даних

Ми отримали доступ до всіх операцій у платіжній системі Данії (Кронос) за 2006 рік¹. Систему використовували щоденно з 7.00 до 13.30. За даною системою у 2006 році працювали 130 банків, включаючи центральний банк Данії та відділення іноземних банків. Банки використовують велику платіжну систему для того, щоб виконати свої зобов'язання та надати послуги клієнтам, викликані посередницькими операціями. Важливим компонентом останніх є діяльність грошово-кредитного ринку. Ми використовували логарифм подібний до логарифму Фьюфайна (1999) для того, щоб визначити витрати та прибутки ринку добового кредиту. Всі інші операції ми розглядали як платежі.

За алгоритмом транзакція на ринку добового кредиту проводиться за умов, якщо транзакція з банку А до банку В у день t та зворотна угода з банку В до А проводиться з такою ж кількістю плюс відсотки за день. Детальна інформація про алгоритм знаходиться в додатку.

¹ Ми виключаємо переміщення до допоміжних систем таких як: система неперервних взаєморозрахунків з обміну іноземної валюти (CLS), Данська автоматична розрахункова палата (Sumclearing) та Данський центральний депозитарій цінних паперів (VP). Мета, ціна та визначення цих розрахунків суттєво відрізняються у банках та банківських переказах.

Існує декілька застережень при визначенні даних для аналізу, оскільки транзакції добового грошового ринку не належать до критерію відбору алгоритму. По-перше, алгоритм може стосуватися лише добового кредиту переведеного через платіжну систему. По-друге, ми можемо дослідити час розрахунку транзакцій, а не явний показник часу, де банк погоджує умови незабезпеченого добового кредиту з іншим банком. Незабезпечений кредит грошового ринку може бути погоджений раніше дня розрахунку або за день до того². По-третє, за цим алгоритмом не можна визначити довгострокові кредити. Однак у Данії ринок довгострокових кредитів не великий. Більше ніж 90% банківських кредитів на грошовому ринку мають строк повернення позики менший ніж 7 днів³. По-четверте, позичальник та кредитор, зареєстровані в платіжній системі, можуть бути не останніми фігурами в обслуговуванні рахунків клієнтів. Незважаючи на ці недоліки, вибраний алгоритм використовували у своїх дослідженнях Амундсен та Арнт (2005). Ми взяли цей алгоритм для аналізу топології мережі для грошового ринку на основі доступних даних.

За алгоритмом ми визначили дві економічно різні мережі:

- ◆ Мережа грошового ринку, що складається з добового кредитного ринку, розрахованого за алгоритмом;
- ◆ Платіжна мережа, що складається з усіх інших транзакцій, особливо розрахункових операцій клієнтів та приватних банківських операцій⁴.

Основні характеристики мережі грошового ринку та платіжної мережі показані в таблиці 1 разом з результатами даних.

Таблиця 1. Характеристики мереж за 2006 рік

	Операції	Платежі	Грошовий ринок
Активні банки	130	130	70
Об'єм транзакцій (тисячі)	602.7	74.6	28.2
Вартість транзакцій (трильйони датських крон)	33.3	26.8	6.5

² Угода одночасної купівлі та продажу валюти з постачанням на наступний день та перенесення рахунків за своповими угодами, які також включають пари транзакцій між двома банками за два дні, погоджуються за 1-2 дні до розрахунку.

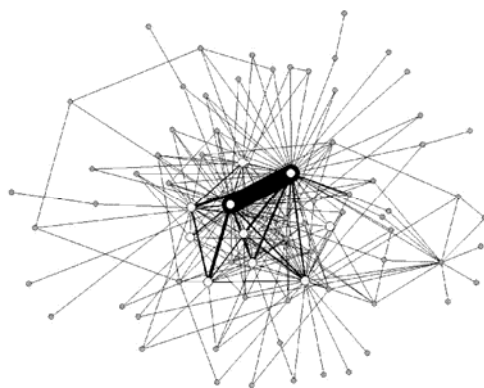
³ Строк розраховується за даними отриманими під час кризи та ставки відсотка на ринку Данії взяті для добового кредиту. У 2006 році 12 банків подали такі дані до центрального банку Данії. Центральний банк оцінив середню ставку відсотка на один день та опублікував дані на ринку. Для детальної інформації дивись Дам та Педерсен (1997).

⁴ Всі операції до/від центрального банку проводяться через дану мережу з того часу як банк перестав займатися непокритими напередодні кредитами.

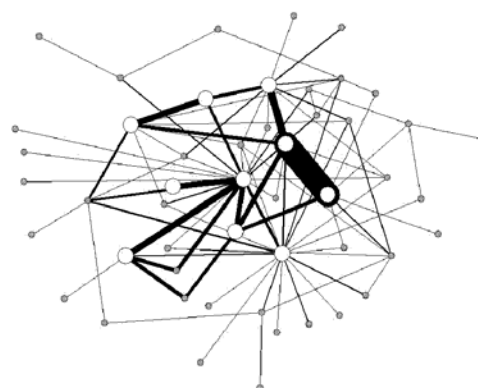
Таблиця 1 (прод.). Характеристики мереж за 2006 рік

	Операції	Платежі	Грошовий ринок
Середня вартість трансакцій (мільйон датських крон)	55.3	46.7	230.7
Об'єм трансакцій (%)	100.0	95.3	4.7
Вартість трансакцій (%)	100.0	80.5	19.5
Частка десяти найбільших банків			
Об'єм трансакцій	87.3	88.9	53.7
Вартість трансакцій	91.1	93.1	83.0

Примітка: “трансакції” відображають результати повної сукупності даних. Надані банками дані вихідного об’єму та вартості трансакцій використовуються для оцінки часток ринку.



а: Платежі



б: Грошовий ринок

Примітка: банки топ-десятки (великі білі круги) визначені за загальною кількістю виплат у 2006 році. Лінії ненаправлені та збільшені за кількістю.

Рис. 1. Платіжна мережа та мережа грошового ринку

2. Схеми мереж

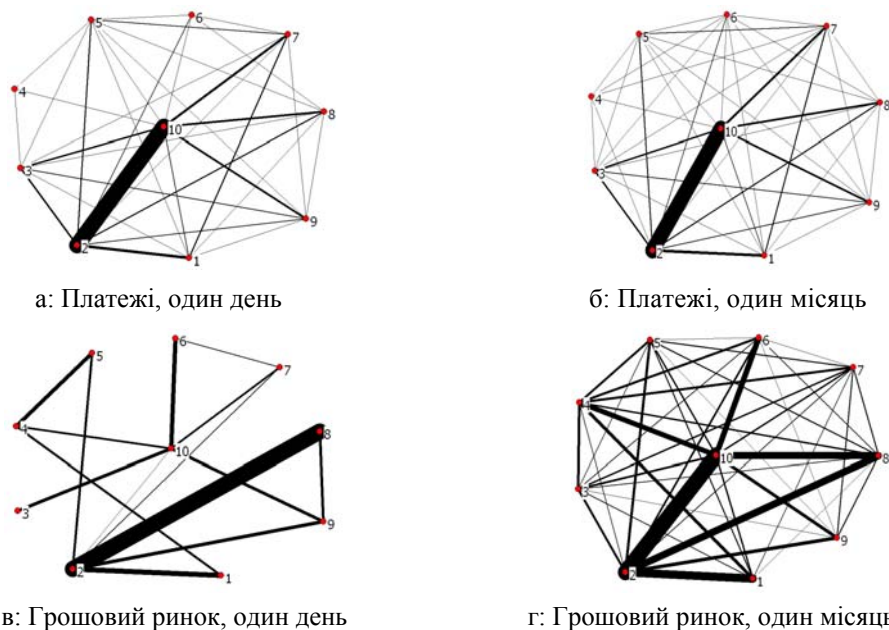
Платіжна мережа та мережа грошового ринку за окремий день 2006 року зображені на рисунку 1. Товщина ліній визначається кількістю переказів між 10 банками, які переказують кошти. У кожній мережі банки позначаються великими білими кругами. Є три суттєві особливості. По-перше, банки активніші в платіжній мережі ніж у мережі грошового ринку. По-друге, два великі комерційні банки відіграють головну роль в обох мережах. Цікавим є те, що активна пара банків у мережі платежів відрізняється від пари банків мережі грошового ринку. По-третє, банки топ-десятки отримують значну частку обігу у розрахунку кількості в обох мережах (93.1% та 83.0%, відповідно), що є цілком природним, оскільки великі банки мають тенденцію до більшої взаємодії між собою ніж інші. Однак, частка ринку банків топ-десятки за визначенням кількості становить 53.7% за кількістю кредитів у мережі грошового ринку (таблиця 1). Це означає, що середній розмір кредитів, що надають банки топ-десятки значно більший, ніж інших банків на

Для кожного робочого дня у 2006 році ми створюємо схему мережі грошового ринку та схему платіжної мережі та використовуємо їх для того, щоб отримати щорічні результати. Кожна мережа складається з числа ліній та вузлів. Банки – це вузли, а проведені операції формують лінії між банками. Два банки поєднуються лінією у тому випадку, якщо між ними проводиться хоча б одна операція. Лінії можуть бути направлені, напрямок лінії відповідає напрямку грошового потоку (від кредитора до позичальника та від платника до одержувача платежу) або ненаправлені. Якщо через ту саму лінію проводять більшу кількість операцій, то в мережі вони збільшуються. Це сума кількості або числа операцій між двома банками.

грошовому ринку (середній розмір кредитів для банків топ-десятки становить 356.6 млн. датських крон (DKK) та для інших банків сума становить 84.5 млн.).

Для того, щоб краще зрозуміти структуру грошових потоків серед великих банківських закладів, на рисунку 2 зображено мережу, що складається з 10 найбільших банків. Мережі зображено за двома способами. У першій колонці рисунку 2 зображено мережі основані на операціях за один день, в той час у другій колонці зображено мережі основані на операціях за цілий місяць. Структурна різниця між платіжною мережею та мережею грошового ринку вражає. Центр платіжної мережі одного дня майже завершений¹, в середньому у центрі грошового ринку одного дня ступінь завершеності сягає 20%.

¹ Ступінь завершеності досягає максимального значення 100% у завершених мережі та мінімального значення – у деревоподібній мережі, де ступінь завершеності дорівнює 1 поділений на кількість вузлів. Завершена та деревоподібна мережі – стилізовані мережі, які ще емпірично не досліджувалися. Зображення стилізованих мереж дивись у додатку.



Примітка: дані загальних платежів між 10 найбільшими банками у березні 2006 року використані на рисунку за один місяць. Оскільки товщина ліній кожної мережі залежить від загальної кількості проведених операцій, то її не можна порівняти у мережах. Центр кожної мережі складається з 10 найбільших банків обмежених загальною кількістю проведених ними операцій. Банки топ-десятки – це комерційні банки. Банки з 2 по 10 однакові в обох мережах, а банк 1 різний у мережі платежів та мережі грошового ринку.

Рис. 2. Графічне зображення центру мереж (обмеженого кількістю)

3. Компоненти

Вузли можна поділити на групи в залежності від того, як вони приєднуються до інших вузлів. Мережа складається з групи не поєднаних компонентів, у середині яких вузли сполучаються ненаправленим шляхом та не мають ліній до вузлів поза компонентами. У багатьох емпіричних до-

слідженнях визначено те, що один з не поєднаних компонентів за порядком зростання більший ніж інші компоненти (Дороговцев та Мендес, 2002; Альберт та Барабасі, 2002; Сорамакі та ін., 2007). Визначено, що платіжна мережа та мережа між-банківського грошового ринку складається лише з одного компоненту розрахованого на один день.

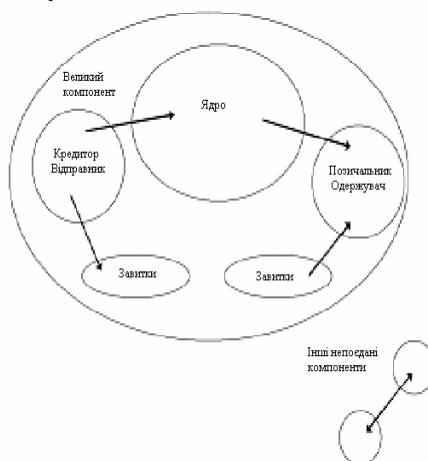


Рис. 3. Мережа та її компоненти

Таблиця 2. Компоненти в мережі

	Платежі	Грошовий ринок
Вузли поєднані напрямленими лініями	Ядро	Ядро
Вузли направлені до центру/завитку	Лише відправник	Лише кредитор
Вузли направлені від центру/завитку	Лише одержувач	Лише позичальник
Інші вузли	Завиток	Завиток

Примітка: лише кредитор/відправник (позичальник/одержувач) може проводити (отримувати) операції до (від) центру мережі або до (від) завитка.

Таблиця 3. Компоненти мережі, 2006 рік

Компонент	Частка компонентів	Значення	Середнє	Макс.	Мін.	Ст.	Кількість		Капітал, середнє
							Вихід	Вхід	
Платежі	%	Кількість вузлів					%		Млрд. DKK
Мережа	100.0	89.0	89.0	76.0	113.0	5.3	100.0	100.0	23.1
Центр	67.7	60.3	60.0	48.0	86.0	6.2	99.6	99.6	33.2
Відправник	16.2	14.4	14.5	3.0	24.0	3.8	0.3	0.0	2.6
Одержувач	15.1	13.5	13.0	4.0	29.0	4.0	0.0	0.3	2.7
Завитки	0.9	0.9	0.0	0.0	5.0	1.1	0.0	0.0	2.0
Грошовий ринок	%	Кількість вузлів					%		Млрд. DKK
Мережа	100.0	43.6	44.0	32.0	53.0	4.1	100.0	100.0	42.3
Ядро	62.9	27.4	28.0	3.0	43.0	6.8	93.5	93.3	61.6
Кредитор	16.9	7.4	6.0	0.0	24.0	5.1	5.5	0.7	11.0
Позичальник	16.9	7.4	6.0	0.0	27.0	4.9	0.7	5.7	10.9
Завитки	3.3	1.4	1.0	0.0	24.0	2.3	0.3	0.2	8.3

Примітка: частки компонентів мережі розраховані за значенням кількості вузлів. Частки вартості розраховані за вихідними платежами. Остання колонка показує середній рівень капіталу банків для кожного компоненту. Максимальна кількість завитків на грошовому ринку визначена першого робочого дня у 2006 році.

Ми поділили мережі на чотири субкомпоненти¹ (див. таблиця 2). Спочатку у нас було ядро, що складалося з банків, які поєднані один з одним через направлену лінію. Приєднавши інші банки до ядра отримали дві периферійні групи банків, що направлені до ядра або від нього. Тож, ядро сприяє розповсюдженню (або посередництву) грошових фондів у середині мережі, де банки, що знаходяться у периферійних групах є або відправниками або одержувачами коштів. Обмежене число банків належать до так званих завитків, які складаються з вузлів, що направлені до або від периферійних компонентів.

Результати дослідження показали, що в середньому в 2006 році 89.0 ± 5.3 (значення плюс/мінус стандартне відхилення за день) банків є активними у платіжній мережі. 60.3 ± 6.2 належать до ядра (див. таблиця 2). Мережа грошового ринку менша ніж платіжна мережа. Лише 43.6 ± 4.1 банків активно працюють у середньому за день у 2006 році. Розмір ядра в мережі грошового ринку становить 27.4 ± 6.8 .

В обох мережах більшість операцій проходить всередині ядра (див. таблиця 3). Обмежені капіталом² банки, що знаходяться у ядрі більші ніж банки інших компонентів в обох мережах. Оскільки менші банки активні лише у платіжній мережі, середній

рівень банківського капіталу більший у мережі грошового ринку ніж у платіжній мережі.

Лева частка вартості в обох мережах переказується у середині їх ядер. Для мережі платежів частка загальної вартості становить 99.6%, натомість як у мережі грошового ринку – 93.5%. Банки, що знаходяться у периферійних групах включають залишкову вартість.

4. Зведена статистика топології мереж

Дуже важко зробити детальний аналіз структурних відмінностей між мережами. Тому, у даному розділі запропоновано групу спільних статистичних показників для топологічного методу. Увага зосереджена на статистиці діяльності банків мережі у ядрі, оскільки ядро відіграє головну роль у визначенні діяльності та функціонуванні мережі платіжних систем згідно з їх посередницькою роллю у розподіленні ліквідності серед банків, що залежить від попиту та пропозиції (див. таблиця 3). У дослідженні використано метод описаний Сорамакі та ін. (2007), Бехом та Аталаєм (2008) та Пропером та ін. (2008).

4.1. Характеристики мереж. Обіг платіжної мережі³ більший ніж мережі грошового ринку як за вартістю так і за розміром операцій; кількість активних банків більша в мережі платежів (див. таблиця 4). Середня вартість переказів, що проходять через лінії мережі грошового ринку дещо нижча ніж середня вартість переказів у платіжній мережі (у середньому 322.7 та 374.7 млн. DKK, відповідно), в той час як кількість переказів че-

¹ У топологічній методології мережі великий компонент – це великий слабо зв'язаний компонент (Giant Weakly Connected Component). Ядро мережі визначає великий сильно зв'язаний компонент, кредитор/відправник (позичальник/одержувач) – це великий внутрішній компонент (великий зовнішній компонент). Інші – не поєднані компоненти (див. Дороговцев та Мендес, 2002).

² Капітал банку – це продуктивно використовуваний капітал, що включає депозити, випущені облігації, участь у капіталовкладеннях та акціонерний капітал. Продуктивно використаний капітал банку є важелем визначення членських внесків у велику платіжну систему Данії.

³ Зведена статистика для платіжної мережі пов'язана з результатами мережі трансакцій (повна сукупність даних) з того часу як більшість результатів досліджень мережі трансакцій співпадають з результатами у платіжній мережі (див. таблиця A4 у додатку).

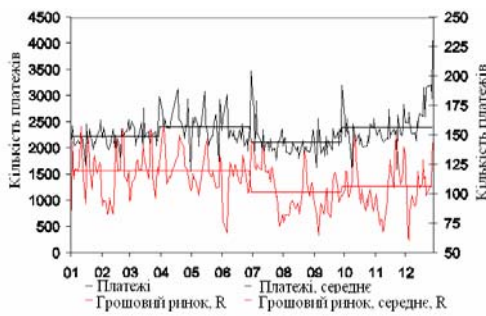
рез лінії платіжної мережі значно більша ніж через лінії мережі грошового ринку. Це пояснює різницю середнього розміру трансакцій у двох мережах у таблиці 1.

40 банків активно працювали кожного дня у платіжній мережі, тому отримали 99.2% загальної вартості (30.8% загального об'єму) трансакцій. Крім того, 26 ліній працювали протягом тривалого періоду, тому що трансакції проводилися кожного дня, що становить 74.6% вартості переказів (77.6% об'єму). Більшість ліній створюють для одного робочого дня. Це відрізняється від великої платіжної системи Угорщини, де частина вартості переказується через нероздільні лінії (Лаблой, 2006). Потрібно відмітити одну умову, що в угорській системі переважають великі банки, в той час як у системі

проведення платежів у режимі реального часу Данії функціонують банки різного розміру.

На грошовому ринку 7 банків були активними за весь період діяльності та отримали 10% об'єму та 66.7% вартості трансакцій. Найбільш нерозділена лінія існувала продовж 189 днів з 252 робочих днів і отримала 19.2% загального обігу на грошовому ринку. Тож, в обох мережах обмежене число банків управляє великою часткою загальної кількості операцій, а більшість ліній існує лише кілька днів, що показано на рисунку 5.

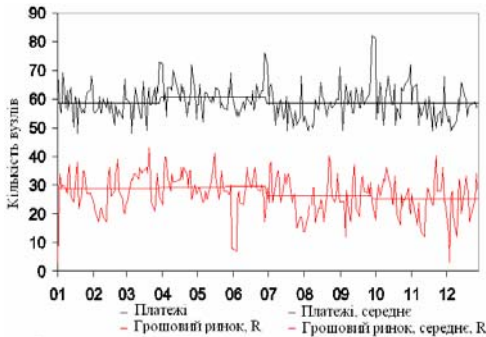
Хоча топ-десятка банків в обох мережах схильна до формування ліній з іншими 10 банками, що зображено на рисунку 2, фактична кількість сформованих ліній значно менша ніж потенційне число ліній, якщо розглядати мережі загалом.



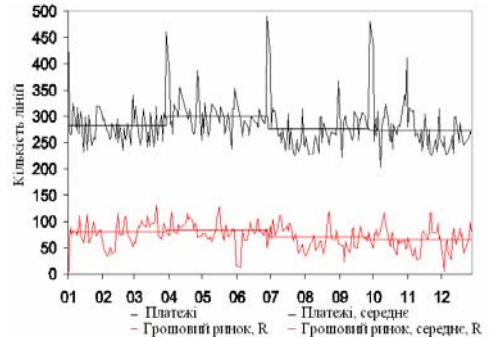
а: Об'єм



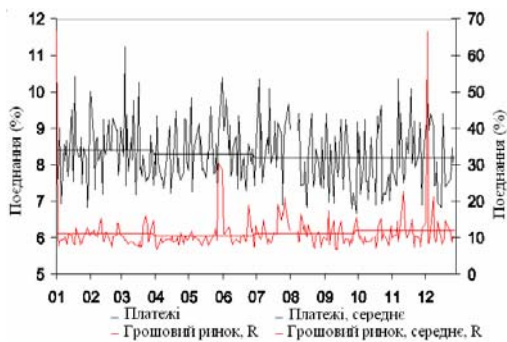
б: Вартість



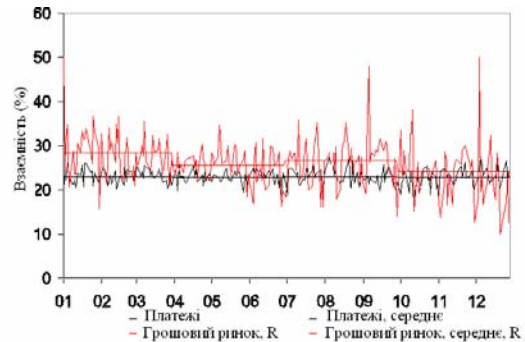
в: Вузли



г: Лінії



д: Поєднання



е: Взаємність

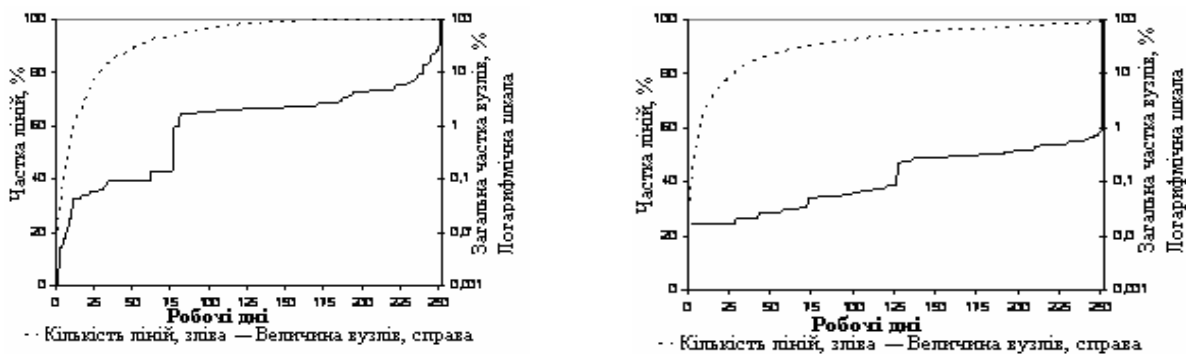
Примітка: дані для ядра взяті за 2006 рік. На рисунку зображено середні значення показників за квартал. Місяці позначено числами від 1 до 12. Вартість розраховується в трильйонах DKK. Незважаючи на те, що вартість (об'єм) трансакцій зменшується (збільшується) протягом року, в мережі платежів середня вартість платежів майже не змінилася у період з 2003 по 2007 рік.

Рис. 4. Діяльність мережі платежів та мережі грошового ринку за 2006 рік

Таблиця 4. Зведена статистика, мережа платежів та мережа грошового ринку, 2006 рік

	Значення	Середнє	Мінімальне	Максимальне	Стандартне	Значення
Платежі						Федваер
Об'єм	2,162.4	2,127.0	1,493.0	3,434.0	283.8	436
Вартість	105.5	101.3	29.5	186.9	27.3	1.3
Вузли	60.3	60.0	48.0	86.0	6.2	5,086
Лінії	282.6	277.0	202.0	489.0	40.9	76,614
Поєднання, %	8.3	8.2	6.7	11.2	0.8	0.3
Взаємність, %	22.8	22.8	18.0	27.3	1.8	21.5
Групування	0.5	0.5	0.4	0.7	0.1	0.5
Середня довжина шляху	2.5	2.5	2.3	2.7	0.1	2.6
Середня ступінь вузла, k	4.8	4.7	4.0	6.4	0.4	15.2
Товщина ліній, вартість	0.4	0.4	0.1	0.7	0.1	15.2
Товщина ліній, об'єм	7.7	7.7	5.0	10.1	0.8	5.2
Величина вузла, вартість	1.8	1.7	0.5	3.4	0.5	н.д.
Величина вузла, об'єм	36.7	36.3	24.1	54.6	4.3	н.д.
Грошовий ринок						Фонд. ринок центр. банку
Об'єм	86.4	88.0	4.0	144.0	26.0	2.6
Вартість	22.9	22.1	0.3	45.2	8.1	0.3
Вузли	27.4	28.0	3.0	43.0	6.8	470.2
Лінії	75.0	76.0	4.0	132.0	23.3	1,543
Поєднання, %	11.2	10.2	6.7	66.7	5.8	0.7
Взаємність, %	26.2	26.4	10.0	50.0	5.5	6.5
Групування	0.2	0.2	0.0	0.5	0.1	0.1
Середня довжина шляху	2.9	2.9	1.3	4.6	0.4	2.7
Середній ступінь вузла, k	2.7	2.7	1.3	3.5	0.3	3.3
Товщина ліній, вартість	0.3	0.3	0.1	1.5	0.1	219
Товщина ліній, об'єм	1.2	1.1	1.0	1.8	0.1	1.7
Величина вузла, вартість	0.9	0.8	0.1	2.0	0.3	719
Величина вузла, об'єм	3.1	3.1	1.3	4.3	0.4	5.5

Примітка: середня статистика щоденних досліджень ядра мережі. Вартість трансакцій, товщина лінії та величина вузла розраховується у трильйонах DKK. Групування та середня довжина ліній визначається за гарантованими платежами з вузлів. Дані для телекомунікаційної системи Федваер та фондового ринку центрального банку взяті з робіт Сорамакі та ін. (2007), Беха та Аталая (2008). Кількість розраховується в тисячах, вартість у мільярдах USD, товщина ліній та величина вузлів у мільйонах USD. На думку Сорамакі та ін. (2007), показник величини вузла не використовується для системи Федваер.



а: Платежі

б: Грошовий ринок

Примітка: Величина вузлів (кількість ліній) розраховується у відсотках та накопичується в залежності від кількості робочих днів. Величина вузлів розраховується за логарифмічною шкалою. Дані взяті для всієї мережі взаємозв'язаних банків.

Рис. 5. Частота ліній та вузлів

Для обох мереж лише 1 з 10 можливих ліній сформована для даного дня з нижчим взаємозв'язком у мережі платежів ($8.3 \pm 0.8\%$) ніж у мережі грошового ринку ($11.2 \pm 5.8\%$). Тож банки на периферії мережі схильні до формування меншої

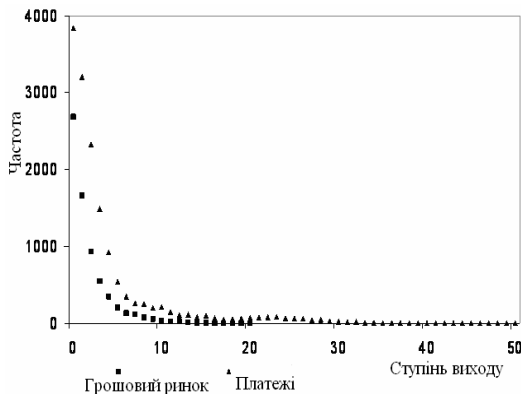
кількості ліній ніж банки, що знаходяться у ядрі мережі. Принцип взаємності у валютно-кредитному регулюванні, за яким вимірюється частка ліній між банками для яких проведені лінії у протилежному напрямку, є практично однаковим

у двох мережах, оскільки через 1 з 4 ліній проводяться операції в обох напрямках. Показник взаємності у мережі грошового ринку значно більший ніж на фондовому ринку, а у мережі платежів дещо більший ніж у системі Федваср. У мережі платежів існує 50% можливість того, що два сусідні вузли також поєднані один з одним. У мережі грошового ринку така можливість визначається як 1 до 5. В обох мережах коефіцієнт групування набагато вищий ніж взаємозв'язку, тож ні одна з мереж не випадкова.

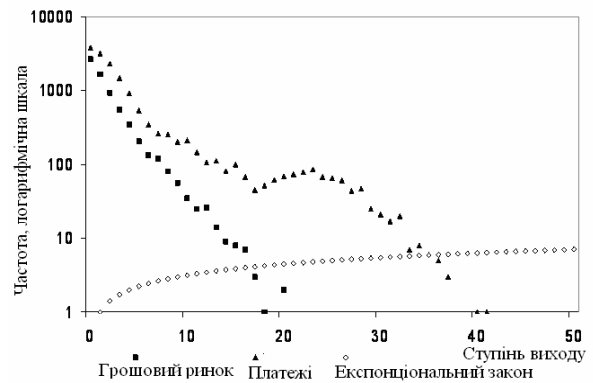
Важливою характеристикою вузла мережі є кількість ліній, які беруть початок з вузла та кількість ліній, що закінчуються на вузлі. Середня кількість ліній на вузол у мережі платежів складає 4.8 ± 0.4 , що у двічі більше ніж середній рівень вузла 2.7 ± 0.3 у мережі грошового ринку. У мережі виплат максимальна кількість ліній, що починаються (закінчуються) активними банками становить 29.0 ± 3.9 (34.6 ± 4.4), дивись таблиця А1 у додатку. У мережі грошового ринку кількість таких ліній складає 10.3 ± 3.4 (10.3 ± 3.6). Це говорить про те, що банки у

мережі грошового ринку використовують меншу кількість ліній ніж банки у мережі платежів.

Розділення ліній, що починаються (закінчуються) вузлами (ступінь виходу, ступінь входу) показані товстими лініями (див. рисунок 6а). Дослідження показало, що ступені входу та виходу у великих платіжних системах США, Японії та Австралії відповідають статечним законам, див. Інаока та ін. (2004), Сорамакі та ін. (2007) та Бос та ін. (2004). У випадковій мережі розділення ступенів входу та виходу відбувається за пуассоновим розподілом (див. Дороговцев та Мендес (2002), та Ньюмен (2005). Ні розділення за статечним законом ні пуассонове розділення не відображає розділення ступенів входу та виходу у випадку з Данією (див. рисунок 6б та 7). У мережі платежів експоненціальне поширення або негативне двочленне поширення охоплює фактичне поширення ступеня входу та виходу, в той час як експоненціальне поширення близьке до фактичної величини ступеня входу та виходу для мережі грошового ринку (див. рисунок 7).



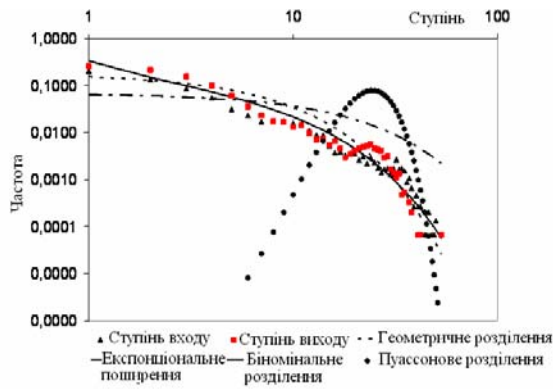
а: Розділення ступеня виходу



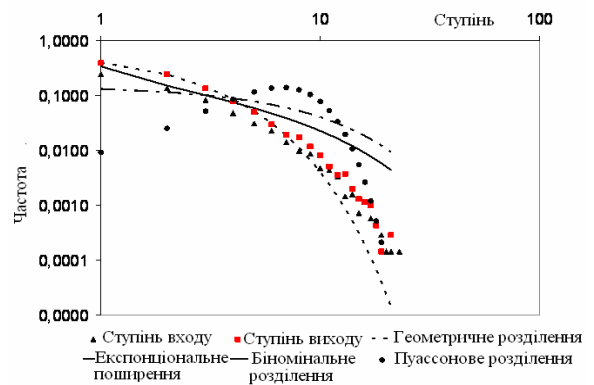
б: Логарифмічна шкала

Примітка: вісь у у логарифмічній шкалі даних (b). Дані взяті для цілої мережі взаємозв'язаних банків. Показано лише ступінь виходу. Рисунок для ступеня входу подібні.

Рис. 6. Розділення ступеня виходу



а: Платежі



б: Грошовий ринок

Примітка: обидві вісі x та у – логарифмічні. Дані взяті для всієї мережі взаємопов'язаних банків. Крива пуассонового розділення на діаграмі (а) виключена для того, щоб більш ясно відобразити картину. Такий вибір пояснюється тим, що ступені входу та виходу мережі платежів функціонують не завдяки пуассоновому розділенню.

Рис. 7. Розділення ступеня входу та ступеня виходу

Суттєвим питанням у теорії мережі є принцип важливості різних вузлів та ліній, що розглядається як центральність. У роботі обговорено поняття ступеня. Найбільш взаємозв'язаний банк за даними будь-якого дня вибірки має 53 вхідних (55 вихідних) лінії для мережі платежів та 21 вхідну (24 вихідні) лінії для мережі грошового ринку. Інший шлях визначення важливості – це визначення величини вузлів, за якими розраховується кількість (число) платежів або кредитів проведених учасниками мережі. Згідно з даним розрахунком, найбільший вузол за весь період проведених вихідних платежів становить 74.2 млрд. DKK у мережі платежів та наданих кредитів 21.1 млрд. DKK у мережі грошового ринку за будь-який день. Через найбільшу (направлену) лінію між двома банками в обох мережах переказується 58.8 млрд. DKK вартості платежів та 12.2 млрд. DKK вартості кредитів. Найбільший вузол та лінія у мережі платежів становить 52.9 % та 43.7 % відповідно (з загальної вартості переказів за один день). На грошовому ринку «частка ринку» складає 71.0% та 64.5%, відповідно.

Інший показник центральності – співвідношення, що розраховується за кількістю ліній між іншими вузлами та проходить через вузол *i*. Чим більше ліній проходить через вузол *i*, тим ближче до центру знаходиться вузол у мережі. Можна також брати до уваги міру довжини для того, щоб визначити важливі лінії між банками. Результати таблиці А1, що знаходяться в додатку показують, що середнє співвідношення ліній майже однакове в обох мережах (29.2±8.4 у мережі грошового ринку та 30.3±3.7 у платіжній мережі), на той час як співвідношення вузлів у мережі грошового ринку на 40% нижча ніж у мережі платежів. Через кожний вузол на грошовому ринку проходить менше ліній ніж у мережі платежів.

Середня довжина шляху – це середня кількість ліній, які поєднують два банки через найкоротший шлях. Середня довжина шляху вимірюється кількістю ліній, які повинна пройти 1 DKK щоб досягти іншого банку. Наші результати показали, що середня довжина шляху у мережі платежів становить 2.5±0.1, а у мережі грошового ринку – 2.9±0.4 (див. таблиця 4). Відповідні показники для Федваєр та фондового ринку центрального банку становлять 2.6 та 2.7 (див. Сорамакі та ін., 2007; Бех та Аталай, 2008). Максимальна відстань між двома банками (розрахована за кількістю ліній) дорівнює 5.5±0.7 для мережі платежів та 6.7±1.3 для мережі грошового ринку (див. таблиця А1 у додатку). Це значно менше ніж розмір ліній у системі Федваєр (6.6) та у фон-

довому ринку центрального банку (7.3), див. Сорамакі та ін. (2007), Бех та Аталай (2008).

Більше ніж половина банків у платіжній мережі може проводити операції через два вузли (див. таблиця А1). Збільшення відстані до 3 вузла означає, що може бути охоплено 91.2±2.7 % вузлів, з відстанню 5 можливо охопити всі банки. У дослідженні радіо комунікаційної системи Федваєр (Сорамакі та ін. 2007, таблиця 3) визначили, що функція розділення досягає майже 100% у середині відстані 4. Більша відстань у мережі грошового ринку означає те, що лише 42.1±9.5 (71.6±10.0) відсотків банків може бути досягнута в рамках відстані 2(3).

4.2. Співвідношення статистики мережі та сезонних впливів. Співвідносні коефіцієнти між статистикою основної мережі підтверджує приклади на рисунку 4, де кількість та величина трансакцій не залежить від розміру мереж (вузлів та ліній), див. таблиця 5. У мережі платежів, показник поєднання негативно співвідноситься з кількістю активних банків та ліній. Цей результат відрізняється від результатів отриманих Сорамакі та ін. (2007), які дослідили, що співвідношення між вузлами (лініями) та показником поєднання досить сильне та позитивне у системі Федваєр. Крім того, обмін не впливає на збільшення кількості та величини, тому мережа платежів не стає густішою. Показник поєднання на грошовому ринку має негативний зв'язок з будь-яким показником діяльності (кількість та вартість) та розміром (вузлів та ліній). В основному, густота мережі грошового ринку (обмін) не відноситься до показників з можливим очікуванням позитивного зв'язку між взаємодією та поєднанням. Це показує, що банк, який стає активним на грошовому ринку схильний до проведення лише декількох ліній до іншого банку.

Таблиця 5. Відношення основних властивостей мережі, 2006 рік

Платежі						
	Вар.	Об'єм	Вузли	Лінії	Поєд.	Взаєм.
Вартість		0.58	0.25	0.44	0.14	0.26
Об'єм			0.50	0.68	-0.02	0.09
Вузли				0.86	-0.72	-0.36
Лінії					-0.28	-0.17
Поєдн.						0.48
Взаємн.						
Грошовий ринок						
	Вар.	Об'єм	Вузли	Лінії	Поєд.	Взаєм.
Вартість		0.62	0.49	0.55	-0.34	0.04
Об'єм			0.92	0.98	-0.57	0.09
Вузли				0.95	-0.69	0.05

Таблиця 5 (прод.). Відношення основних властивостей мережі, 2006 рік

Платежі	Вар.	Об'єм	Вузли	Лінії	Поєд.	Взаєм.
Лінії					-0.57	0.07
Поєдн.						0.25
Взаємн.						

На рисунку 4 зображено сезонні дані, отримані у кінці чверті. Щоб це протестувати ми регресували 8 різних топологічних показників позначень для свят, вихідних та забезпечення ліквідності центральним банком Данії в додаток до регулювання ліквідності по п'ятницям.

Для платіжної мережі, впливи у перший робочий день згідно зі святами Данії та США є значними для ліній, величини, кількості та середнього ступеня вузла. Ця мережа розширена кожного обороту за місяць та чверть, беручи до уваги кількість активних банків, ліній, величину, кількість та середній ступінь вузлів. Крім того, принцип поєднання значно зменшує обіг за чверть. Ці впливи виникають згідно з великим квартальним відсотком та погашенням іпотечної позики, що є першим джерелом фондів ринку нерухомості Данії, а також щомісячними виплатами зарплат, соціальних виплат та податків, які спричиняють проведення більшої кількості операцій ніж зазвичай. Мережа найбільша по п'ятницям (за вузлами, лініями та величиною) та найменша на початку тижня (за вузлами, лініями, кількістю за середньою довжиною шляху). Як очікуване так і неочікуване регулювання ліквідності значно збільшує число ліній та середній ступінь вузлів.

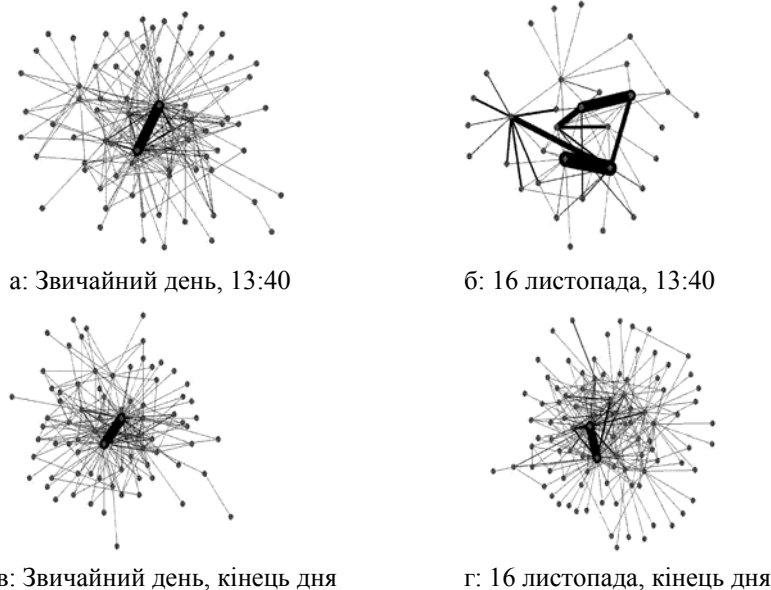
Що стосується грошового ринку то тут спостерігаються значні щоденні впливи на вузли, лінії та

кількість трансакцій, особливо по п'ятницям, що є першим днем в щотижневій шкалі ліквідності. Те саме спостерігаємо у щомісячному обігу, але лише середній ступінь вузлів та принцип поєднання позитивно впливають на щоквартальний обіг. Неочікуване регулювання ліквідності збільшує середній ступінь вузла та зменшує середню довжину шляху. На відміну від цього, немає ніякого впливу від очікуваного регулювання ліквідності та від вихідних.

5. Дослідження неполадок

Для того, щоб дослідити як мережі реагують на неполадки запропоновано два основні дослідження неполадок, що відносяться до даної роботи. Перша – операційна неполадка великої платіжної системи Данії. Друга – неспроможність проведення платежів головним учасником мережі за великий проміжок часу.

5.1. Операційна неполадка системи. У вівторок 16 листопада 2006 року у великій платіжній системі Данії відбувся операційний збій, див. Danmarks Nationalbank (2007). Система, що була відкрита як завжди, через невдале оновлення програмного забезпечення вийшла з ладу на 6 годин. Процес прийому платежів зупинився після перших декількох хвилин роботи. Після того, як систему полагодили проведення операцій продовжилася. Результатом цієї неполадки стало те, що центральний банк Данії подовжив свою роботу на 15 хвилин, але лише провів дві операції після офіційного закриття о 15:30. Крім того, центральний банк впровадив додаткову ліквідність на ринку здійснюючи повторну купівлю сертифікатів на депозити.

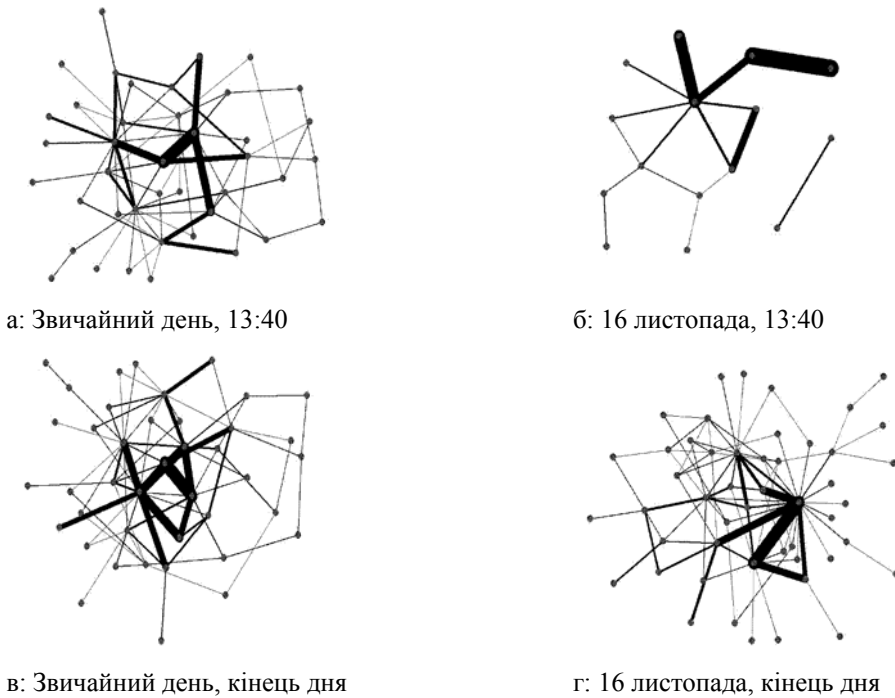


Примітка: рисунки зображено за числом.

Рис. 8. Операційна неполадка у платіжній мережі.

Операційна неполадка визначає різну структуру мереж за день, див. рисунок 8 та 9 та таблицю 6. Діяльність та розмір платіжної мережі значно зменшилися. Середня довжина шляху

значно зменшилася до кінця дня, де показники поєднання та групування платіжної мережі значно збільшилися. Платіжна система стала тіснішою.



Примітка: рисунки зображено за числом.

Рис. 9. Операційна неполадка у мережі грошового ринку.

На противагу цьому, діяльність за рахунок кількості та розміру грошового ринку збільшено, хоча середня кількість кожного кредиту грошового ринку значно зменшилася до кінця дня. Показник поєднання мережі грошового ринку значно зменшився, а середня довжина шляху та середній ступінь вузла збільшилися. Тож, хоча фактичне число вузлів з потенційного числа вузлів зменшилося, середнє число вузлів активного банку на грошовому ринку збільшилося. Че-

рез операційну неполадку грошовий ринок став ширшим.

Спад діяльності у платіжній мережі та вибух на ринку добового кредиту протидіють сезонним впливам у щомісячному обігу (див. таблиця А2 та А3 у додатку). Хоча операційна неполадка системи має суттєвий вплив на топологію платіжної мережі та мережі грошового ринку, ці впливи були тимчасовими. Якщо б операційна неполадка тривала довше, ці впливи були б більш очевидними.

Таблиця 6. Впливи операційної неполадки у мережах

	Середнє	Рівень довіри		Операційна поломка	
		Нижній	Верхній	Кінець дня	13:40
Платежі					
Об'єм	2,162.4	2,127.1	2,197.6	1,883.0*	220.0*
Вартість, млрд. DKK	105.5	102.2	108.9	80.6*	6.7*
Вузли	59.1	58.4	59.8	55.0*	33.0*
Лінії	282.6	277.5	287.7	260.0*	70.0*
Поєднання, %	8.3	8.2	8.4	8.8*	6.6*
Групування	0.53	0.53	0.54	0.55*	0.27*
Середня довжина шляху	2.48	2.47	2.49	2.46*	1.75*
Середній ступінь вузла	4.77	4.73	4.81	4.73	2.12*
Грошовий ринок					
Об'єм	86.4	83.2	89.7	103.0*	19.0*
Вартість, млрд. DKK	22.9	21.9	23.9	20.9*	3.5*
Вузли	27.4	26.6	28.3	29.0*	15.0*

Таблиця 6 (прод.). Впливи операційної неполадки у мережах

	Середнє	Рівень довіри		Операційна поломка	
		Нижній	Верхній	Кінець дня	13:40
Лінії	75.0	72.1	77.9	82.0*	16.0*
Поєднання, %	11.2	10.5	11.9	10.1*	7.6*
Групування	0.17	0.16	0.18	0.18	0.08*
Середня довжина шляху	2.94	2.90	2.99	3.01*	0.54*
Середній ступінь вузла	2.69	2.64	2.73	2.83*	1.07*

Примітка: середнє значення зведеної статистики для ядра мережі. Межі на 95 % рівні довіри використовуються для визначення характерних показників, що позначені *. Показники групування, середня довжина шляху та середній ступінь вузла представлені 2 десятковими числами.

5.2. Неспроможність проведення платежів головним учасником розрахункової системи.

Один з найбільших комерційних банків Данії – Danske Bank, два дні у березні 2003 року, не мав змоги проводити платежі через велику платіжну систему. Це було викликано великою операційною неполадкою¹. Центральний банк Данії забезпечив банки додатковою ліквідністю для того, щоб подолати потенційну нестачу ліквідності на ринках, оскільки головний учасник розрахункової системи мав змогу отримувати, але не міг проводити операцій до інших банків.

Впливи на структури мереж були найбільш виражені на перший день неполадки – середу 12 березня. Діяльність та розмір платіжної мережі збільшилися на 50 % за цей день, хоча середній

розмір ринку добового кредиту зменшився (див. таблиця 7). Змінні поєднання та групування значно збільшилися у платіжній мережі, а середня довжина шляху та середній ступінь вузла зменшилися. На грошовому ринку впливи на ці чотири змінні були протилежні.

На другий день неполадки, головний учасник розрахункової системи повідомив суспільство про операційну поломку та її наслідки для діяльності банку. Зупинка діяльності та зменшення розміру грошового ринку у перший день неспроможності проведення платежів головним учасником призвело до зниження активності та зменшення розміру мережі грошового ринку на другий день неполадки. Зменшилися показники середньої довжини шляху та середнього ступеня вузла.

Таблиця 7. Вплив неспроможності проведення платежів головним учасником

	Середнє	Рівень довіри		12 березня	13 березня
		Березень 2003	Нижній		
Платежі					
Об'єм	2,306.5	2,267.4	2,345.6	1,505.0*	1,625.0*
Вартість, млрд. DKK	145.8	142.1	149.5	119.7*	128.6*
Вузли	56.5	55.9	57.2	49.0*	58.0*
Лінії	281.2	275.8	286.5	227.0*	254.0*
Поєднання, %	9.0	8.9	9.1	9.7*	7.7*
Групування	0.50	0.50	0.51	0.58*	0.43*
Середня довжина шляху	2.46	2.45	2.47	2.44*	2.57*
Середній ступінь вузла	4.95	4.91	4.99	4.63*	4.38*
Грошовий ринок					
Об'єм	64.4	61.3	67.5	92.0*	46.0*
Вартість, млрд. DKK	18.7	17.8	19.6	8.8*	7.8*
Вузли	24.1	23.0	25.1	37.0*	19.0*
Лінії	56.9	54.2	59.7	87.0*	44.0*
Поєднання, %	12.8	11.7	13.9	6.5*	12.9
Групування	0.17	0.16	0.18	0.10*	0.17
Середня довжина шляху	3.03	2.97	3.09	3.70*	2.96*
Середній ступінь вузла	2.24	2.19	2.28	2.35*	2.32*

Примітка: дивись примітку до таблиці 6. Середнє значення за березень 2003 року не містить дані за 12 та 13 березня.

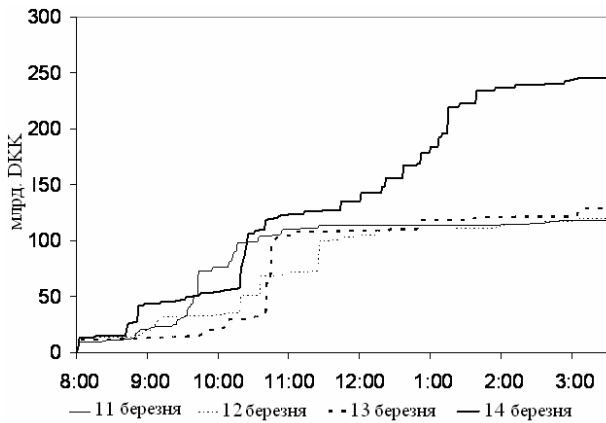
¹ Для опису цих подій дивись Берлінгске (2003а, 2003в).

Діяльність та розмір у розрахунку ліній платіжної мережі залишилися значно нижчими ніж середнє значення для березня 2003 року. Більше банків стали активними у платіжній мережі на другий день неполадки. Це відобразилося на значному спаді показників поєднання, групування та середньому ступені вузла. Показник середньої довжини збільшився. Визначено, що операції повинні проходити через більше ліній для того, щоб дійти до одержувача переказу.

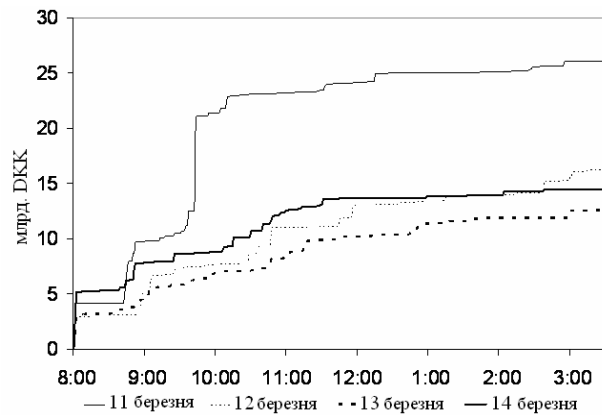
Неспроможність проведення платежів головним учасником розрахункової системи спричинені на-

копиченою потребою розрахунків у платіжній мережі. Це спричинило різке збільшення у регулюванні кількості в середині мережі першого звичайного робочого дня після поломки (див. рисунок 10).

У порівнянні з операційною неполадкою, наслідки неспроможності проведення платежів головним учасником системи значно більші у двох мережах. Структурні зміни в топологіях мереж були тимчасовими. Здавалося, неначе інші банки провели попереджувальні дії стосовно неполадок та подовженого регулювання на скільки це можливо в обох мережах.



а: Платежі



б: Грошовий ринок

Примітка: встановлена кількість у мережах продовж дня за вибраними датами у березні 2003 року. 11 березня (14 березня) – перший (останній) робочий день перед (після) неспроможності проведення платежів головним учасником, оскільки ця подія сталася 12 та 13 березня. Кількість добових кредитів на грошовому ринку збільшилась за обігом та кількістю за 11 березня, тому що цього дня не було впливів свят та впровадження додаткової ліквідності центральним банком. Велика платіжна система працювала з 8.00 до 15.30 до 1 червня 2003 року.

Рис. 10. Велика банківська платіжна неполадка

Висновок

Топологічний аналіз показує, що структура грошового ринку Данії відрізняється від структури платіжної системи. Це результат різниці природи операцій у мережах. Операції у мережі грошового ринку керуються поведінкою банків, де операції у платіжній мережі зростають від банківських операцій, оскільки клієнти керують операціями. У платіжній мережі два комерційні банки відповідальні за велику частку загальної діяльності, де банки, що знаходяться у ядрі мережі грошового ринку подібні за розміром. Обидві мережі досить насичені.

Результати дослідження показали, що розколи на ступені входу та ступені виходу слідує за експоненціальними або негативними двомірним розділеннями у платіжній мережі, в той час як експоненціальне розділення визначає розділення ступеня входу та виходу на грошовому ринку. В інших країнах ступінь входу та ступінь виходу слідує розділенням за експоненціаль-

ним законом, але цей закон не спрацьовує для наших даних.

Визначено наочний доказ сезонних впливів в обох мережах. Результати показали, що платіжна мережа стає ширшою у розрахунку за місяці та чверть, а також в перший робочий день, що слідує за вихідним. Впливи вихідних керуються календарними ефектами, що спостерігається на грошовому ринку.

Дослідження операційної неполадки припускає різну структуру мереж протягом дня. Хоча структура мереж майже нормальна до кінця дня, денна активність мережі платежів значно зменшується, а денна активність грошового ринку збільшується. Топологічні впливи подій знаходяться на одній лінії з сезонними впливами у розрахунку за місяць, але з протилежними знаками. Впливи операційних подій були тимчасовими, але мали бути більш вираженими, оскільки операційна неполадка тривала довше ніж повинна. Неспроможність проведення платежів головним учасником змен-

шує (збільшує) рівень активності у платіжній мережі та мережі грошового ринку, особливо на перший день неполадки. Накопичена потреба регулювання спростерігалася у платіжній мережі, яка

була відкликана на перший робочий день після платіжної неполадки головним учасником приносячи до різкого збільшення кількості у платіжній мережі.

Список використаних джерел

1. Albert, Réka and Albert-László Barabási (2002). Statistical mechanics of complex networks, *Reviews of Modern Physics*, Vol. 74, January 2002, pp. 48-97.
2. Allen, Franklin and Douglas Gale (2000). Financial Contagion. *Journal of Political Economy*, 2000, Vol. 108, No.1.
3. Amundsen, Elin and Henrik Arnt (2005). Contagion Risk in the Danish Interbank Market. *Working Paper 29/2005*, Danmarks Nationalbank.
4. Bech, Morten L. and Enghin Atalay (2008). The Topology of the Fed Funds Market, *Staff Report No. 354*, November 2008, Federal Reserve Bank of New York.
5. Berlingske (2003a). Straarups nedbrud, *Berlingske Tidendes Nyhedsmagasin*, No. 11, March 24th, 2003.
6. Berlingske (2003b). Efter Danske Bank-nedbruddet: Undskyld og skal vi så komme videre, *Berlingske Tidendes Nyhedsmagasin*, No. 14, April 14th, 2003.
7. Boss, Michael, Helmut Elsinger, Martin Summer and Stefan Thurner (2004). Network topology of the interbank market, *Quantitative Finance*, 4:6, pp. 677-684.
8. Damm, Birgitte and Anne Reinhold Pedersen (1997). New Money-Market Statistics, *Monetary Review*, 3. Quarter 1997, Danmarks Nationalbank.
9. Danmarks Nationalbank (2007). Report and Accounts 2006.
10. Dorogovtsev, S.N. and J.F.F. Mendes (2002). Evolution of networks, *Advances in Physics*, 51:4, pp. 1079-1187.
11. Freixas, Xavier and Bruno Parigi (1998). Contagion and Efficiency in Gross and Net Interbank Payment Systems. *Journal of Financial Intermediation*, Vol. 7, pp. 3-31, 1998.
12. Freixas, Xavier, Bruno M. Parigi and Jean-Charles Rochet (2000). Systemic Risk, Interbank Relations, and Liquidity Provision by the Central Bank. *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 32, No. 3, August 2000 (Part 2).
13. Furfine, Craig H. (1999). *The Microstructure of the Federal Funds Market*, *Financial Markets, Institutions & Instruments*, Vol. 8, No. 5, December 1999.
14. Hekmat, Ramin (2006). *Ad-hoc Networks: Fundamental Properties and Network Topologies*, Springer, 2006.
15. Inaoka, Hajime, Takuto Ninomiya, Ken Taniguchi, Tokiko Shimizu and Hideki Takayasu (2004). Fractal network derived from banking transaction. An analysis of network structures formed by financial institutions. *Bank of Japan Working Paper Series*, No. 04-E-04, April 2004.
16. Kroszner, Randall S. (2007). Recent Events in Financial Markets. Speech at the Institute of International Bankers Annual Breakfast Dialogue, Washington D.C., October 22, 2007. <http://www.federalreserve.gov/newsevents/speech/kroszner20071022a.htm>.
17. Newman, MEJ (2005). Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. *Contemporary Physics*, Vol. 46, No. 5, pp. 323-351.
18. Lubl6y, gnes (2006). Topology of the Hungarian large-value transfer system. Magyar Nemzeti Bank (Central Bank of Hungary), MNB, Occasional Papers No. 57 /2006.
19. Pr6pper, Marc, Iman van Lelyveld and Ronald Heijmans (2008). Towards a Network Description of Interbank Payment Flows, DNB Working Paper No. 177/May 2008, De Nederlandsche Bank
20. Soramki, Kimmo, Morten L. Bech, Jeffrey Arnold, Robert J. Glass and Walter E. Beyeler (2007). The topology of interbank payment flows. *Physica A* 379 (2007), pp. 317-333.
21. Upper, Christian and Andreas Worms (2004). Estimating bilateral exposures in the German interbank market: Is there a danger of contagion?, *European Economic Review*, Vol. 48, No. 4, August 2004, pp. 827-849.

Додаток

1. Додаткова зведена статистика

Таблиця А1. Додаткова зведена статистика, платіжна мережа та мережа грошового ринку, 2006 рік

	Значення	Середнє	Мінімальне	Максимальне	Стандартне	Значення
Платежі						Федваср
Показники відстані						
Діаметр	5.5	5.0	4.0	8.0	0.7	6.6
MDF, M(2)	54.6	54.8	44.7	65.4	4.2	41.6
MDF, M(3)	91.2	91.4	83.2	97.8	2.7	95.9
MDF, M(4)	99.1	99.3	94.9	100.0	0.8	99.9
MDF, M(5)	99.9	100.0	96.9	100.0	0.3	n.a.
Ступінь розділення						
max k ⁿ	34.6	34.0	24.0	51.0	4.4	2,097
max k ^{out}	29.0	29.0	22.0	53.0	3.9	1,922

Таблиця А1 (прод.). Додаткова зведена статистика, платіжна мережа та мережа грошового ринку, 2006 рік

	Значення	Середнє	Мінімальне	Максимальне	Стандартне	Значення
Платежі						Федваср
Показники центральності						
Проміжність, лінії	30.3	30.3	20.7	38.4	3.7	н.д.
Проміжність, вузли	86.0	85.8	61.9	125.4	10.5	н.д.
Грошовий ринок						Ринок федера- льних фондів
Показники відстані						
Діаметр	6.7	7.0	2.0	10.0	1.3	7.3
MDF, M(2)	42.1	40.6	26.6	100.0	9.5	н.д.
MDF, M(3)	71.6	71.4	47.3	100.0	10.0	н.д.
MDF, M(4)	89.7	91.0	61.6	100.0	7.3	н.д.
MDF, M(5)	96.6	98.0	71.7	100.0	4.2	н.д.
MDF, M(6)	98.9	99.9	82.0	100.0	2.3	н.д.
MDF, M(7)	99.7	100.0	90.1	100.0	1.1	н.д.
Ступінь розділення						
max k ⁱⁿ	10.3	10.0	2.0	24.0	3.6	127.6
max k ^{out}	10.3	10.0	2.0	21.0	3.4	48.8
Показники центральності						
Проміжність, лінії	29.2	29.4	2.0	51.1	8.4	н.д.
Проміжність, вузли	52.1	52.5	0.7	92.6	16.5	н.д.

Примітка: Дані взяті для ядра мережі. Масові дистрибутивні функції (MDF) засновані на платежах з вузлів. Показники max kⁱⁿ (max k^{out}) – максимальне число ліній, що закінчуються (починаються) на вузлі. Дані для системи Федваср та центрального банку фондового ринку взяті з робіт Соремакі та ін. (2007), Бежа та Аталая (2008); н.д. – немає даних.

2. Сезонні впливи. Даний розділ включає результати регресії отримані після розгляду сезонних впливів у ядрі мережі. Як уже зазначалося, протестовано сезонні впливи згідно з вихідними даними, розрахованими за місяць та чверть, а також регулювання ліквідності центральним банком. Ефекти святкового дня розраховуються за першим робочим днем, що слідує за днем закриття. Американські свята наряду зі святами Данії та європейськими святами розраховуються за моделлю для датських свят та місячного обігу. Обіг за місяць (чверть) включає перший та останній робочий день кожного місяця (чверті). Регулювання ліквідності центральним банком – це регулювання по п'ятницям, наприклад центральний банк Данії регулює ліквідність у дні отримання сплати податків, погашення соціальних виплат. Додаткове регулювання проголошується раніше (очікуване регулювання), але декілька регулювань не проголошуються (неочікуване регулювання).

Таблиця А2. Сезонні впливи, платіжна мережа, 2006

	Перетин	Свята		Кінець		Показники ліквідності		Вихідні				RR ²
		Данія	США	Чверті	Міс.	Очікув.	Неочік.	Пн	Вт	Ср	Пт	
Вузли	59.9**	5.7*	1.1	17.1**	6.1**	2.5*	1.7	-3.6**	-1.4	-1.9*	2.8*	31.9
	0.8	2.4	1.4	2.2	1.2	1.3	1.5	1.1	1.1	1.1	1.3	
Лінії	279.2**	73.9**	18.5*	146.3**	48.5*	18.1**	24.6*	-13.2*	-13.4*	-5.2	38.7**	40.7
	4.8	15.4	6.9	10.0	7.0	7.1	10.6	6.9	5.6	6.4	11.4	
Вартість, млрд. ДКК	95.1**	23.8**	15.9*	43.2**	22.0*	5.4	0.5	6.1	-2.5	0.7	22.9**	20.8
	3.2	8.9	6.9	8.8	6.8	6.1	7.9	6.4	4.8	5.0	4.8	
Об'єм, тисячі	2.2**	0.6*	0.4**	0.7**	0.2*	0.2**	0.1	-0.2**	-0.2**	-0.1*	0.0	26.7
	0.0	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Середній ступінь вузла	4.7**	0.7**	0.2**	0.9**	0.3**	0.1*	0.3**	0.1	-0.1*	0.1	0.4**	34.6
	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	
Поєднання, %	8.0**	0.4	0.2	-0.8*	-0.3	-0.2	0.2	0.6**	0.0	0.4*	0.2	9.5
	0.1	0.5	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
Середня довжина шляху	2.50**	-0.08	-0.05*	-0.01	-0.01	0.00	-0.04**	-0.03*	0.03*	-0.02	0.00	7.8
	0.01	0.06	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	
Групування, %	53.7**	2.6	2.7	-1.1	0.3	1.7*	1.7	0.3	-0.2	0.8	-4.5**	17.2
	0.6	2.3	1.9	2.3	1.2	0.9	2.3	1.1	0.9	0.9	0.9	

Примітка: для кожної змінної, перша лінія результатів – оцінка значення параметра, друга – стандартна похибка. Значні параметри на рівні 1 (5) % позначені ** (*) у t-тесті (df = 200). Середня довжина шляху сполучається з двома десятковими дробами.

Таблиця А3. Сезонні впливи, мережа грошового ринку, 2006 рік

	Перетин	Свята		Кінець		Показники ліквідності		Вихідні				R ²
		Данія	США	Чверті	Місяця	Очікув.	Неочік.	Пн	Вт	Ср	Пт	
Вузли	30.6**	-4.7	1.5	-2.1	-5.0**	-0.9	3.1	-5.8**	-3.6**	0.5	-5.6**	22.6
	0.8	4.2	1.5	1.8	1.3	1.3	3.5	1.2	1.2	1.1	1.2	
Лінії	84.1**	-12.4	5.3	2.5	-14.9**	0.1	14.8	-18.9**	-9.6*	1.8	-17.4**	18.6
	2.9	13.3	6.1	6.9	4.0	4.7	12.0	4.2	4.2	4.1	4.0	
Вартість, млрд. DKK	24.4**	-3.4	2.8	-3.6	2.2	-1.0	-1.7	-4.2**	-1.7	1.1	-2.7	7.8
	1.1	4.3	3.7	2.2	2.4	1.4	2.1	1.5	1.6	1.5	1.5	
Об'єм, тисячі	0.1**	-0.0	0.0	0.0	-0.0**	0.0	0.0	-0.0**	-0.0*	0.0	-0.0**	17.6
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Середній ступінь вузла	2.7**	-0.3	0.1	0.4**	-0.1	0.1	0.2*	-0.1*	-0.0	0.0	-0.1	8.6
	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Поєднання, %	9.2**	10.6	-1.2	2.3*	4.1*	0.4	0.7	2.8**	2.3*	-0.0	2.3**	17.3
	0.4	7.6	1.3	1.1	2.5	0.7	2.0	1.0	1.4	0.5	0.7	
Середня довжина шляху	3.05**	-0.35	-0.11	-0.16	-0.12	-0.09	-0.16**	-0.10	-0.12	-0.03	-0.12*	6.9
	0.05	0.26	0.10	0.11	0.13	0.07	0.05	0.07	0.07	0.06	0.06	
Групування, %	15.4**	-2.6	3.8	1.4	0.3	2.4	2.1	1.1	1.7	2.2	2.4	2.8
	1.1	3.3	3.7	2.1	2.3	2.0	2.4	1.6	1.6	1.7	1.6	

3. Зведена статистика операцій у мережі. Даний розділ містить топологічні показники мережі операцій. Мережа основана на встановлених даних.

Таблиця А4. Зведена статистика, мережа угод, 2006 рік

	Значення	Середнє	Мінімальне	Максимальне	Стандартне
Основні властивості мережі					
Об'єм	2,355.9	2,337.5	1,607.0	4,171.0	323.6
Вартість	131.7	128.9	46.9	224.8	30.8
Вузли	67.8	67.0	57.0	88.0	4.8
Лінії	373.7	368.0	283.0	713.0	48.4
Поєднання, %	8.3	8.2	6.9	10.1	0.7
Взаємність, %	24.0	24.0	19.1	28.4	1.9
Групування	0.5	0.5	0.4	0.6	0.0
Середня довжина шляху	2.4	2.4	2.2	2.6	0.1
Середній ступінь вузла, k	5.5	5.5	4.6	8.1	0.4
Товщина лінії, вартість	0.4	0.4	0.1	3.4	0.5
Товщина лінії, об'єм	6.3	6.3	4.3	8.8	0.6
Величина вузла, вартість	1.9	1.9	0.8	3.4	0.5
Величина вузла, об'єм	34.7	34.4	23.0	48.8	3.9
Показники відстані					
Діаметр	5.1	5.0	4.0	8.0	0.6
MDF, M(2)	58.1	58.1	48.7	69.8	4.2
MDF, M(3)	94.3	94.4	87.1	98.8	2.1
MDF, M(4)	99.7	99.8	96.4	100.0	0.5
MDF, M(5)	100.0	100.0	98.1	100.0	0.1
Розділення ступеня					
max k ⁱⁿ	40.9	40.0	31.0	57.0	4.7
max k ^{out}	34.5	34.0	24.0	54.0	4.2
Показники центральності					
Співвідношення, лінії	29.4	29.0	22.5	38.0	3.2
Співвідношення, вузли	93.9	93.5	74.3	121.0	9.1

Примітка: Примітки до таблиць 4 та А1 властиві для даної таблиці.

4. Алгоритм Фьюфайна. Цей алгоритм використовується для визначення ринку добового кредиту для того, щоб розділити дані походження угод з двох економічно різних мереж.

За алгоритмом угода визначається як добовий кредит грошового ринку за умов, якщо: 1) позика складає щонайменше 1 млн. ДКК з цілого числа; 2) позика сплачується з відсотками наступного робочого дня; та 3) відсоток визначається за прийнятним значенням, $i = [i_{low}, i_{high}]$. Нижня (верхня) межа даного проміжку – мінімальна ставка відсотка на непокриті добові кредити заявлені групою банків Данії мінус (плюс) 25 основних пунктів. Допустимий рівень розширений на ± 25 основних пунктів, оскільки «зміна ставки відсотка залежить від угод», див. Фьофайн (1999, с. 26). Допустимий рівень даних Данії менше ніж ± 50 основних пунктів, які використовує Фьофайн (1999) в угодах системи Федваєр. Зменшення (розширення) допустимого рівня на ± 50 основних пунктів (± 0 основних пунктів) даних Данії за алгоритмом дає майже ту саму класифікацію непокритих добових кредитів.

5. Стилiзованi мережi. Двi рiзнi схеми стилiзованих мереж зображено на рисунку А1. У завершенiй мережi, банк має лiнii до iнших банкiв у мережi, оскiльки кожен банк проводить транзакцiї вiд iнших банкiв. У деревоподiбнiй мережi банк 1 проводить транзакцiї до банкiв 2 та 3, якi потiм проводять транзакцiї до банкiв 4, 5 та 6-7 вiдповiдно. Iнший тип схеми – довiльний, за яким схема будується за довiльним додаванням лiнii до вузлiв. Стилiзованi мережi ще емпiрично не дослiджувалися, але вони є корисними для аналітичних цiлей.

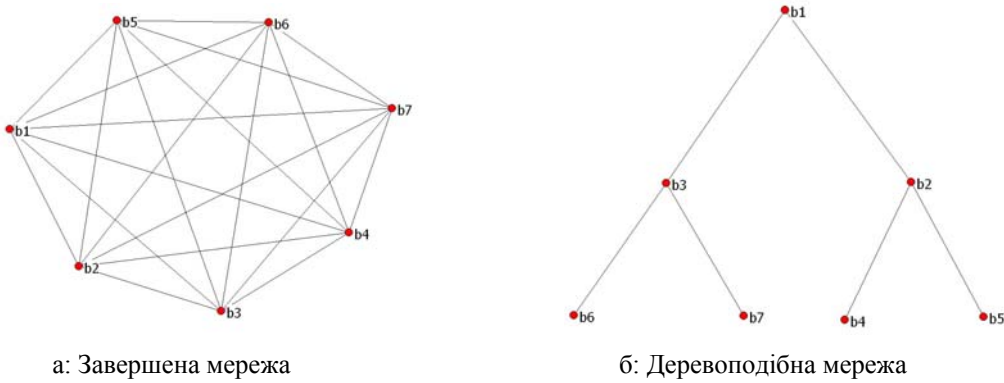


Рис. А1. Стилiзованi мережi

6. Використанi топологiчнi показники. Представлений список мiстить короткий опис топологiчних показникiв у тому ж порядку як вони використовувалися у тексті роботи. Хекмат (2006) дає детальний опис матерiальних концепцiй у топологiї мережi.

Поеднання. Поеднання p розраховується за формулою $p = \frac{m}{n(n-1)}$, де n – кiлькiсть вузлiв та m – кiлькiсть лiнii у мережi, наприклад, коефiцiєнт фактичних лiнii формується за кiлькiстю потенцiйних лiнii. p – показник ступеня завершеностi мережi. Вiн коливається мiж $\frac{1}{n}$ (у деревоподiбнiй мережi) та 1 (у завершенiй мережi).

Взаємнiсть. Взаємнiсть визначає частку лiнii для яких iснує лiнiя у протилежному напрямку (%). Показник взаємностi коливається мiж 0 (у деревоподiбнiй схемi мережi) та 1 (у завершенiй мережi).

Групування. Групування – iмовiрнiсть того, що два банки, де кожен має лiнiю до банку x , також мають лiнii один до одного. Коефiцiєнт групування вузла i розраховується за формулою $C_i = \frac{m_{nn,i}}{k_i(k_i-1)}$, де $m_{nn,i}$ – кiлькiсть лiнii мiж сусiднiми вузлами i , та k_i – кiлькiсть платежiв визначених (або направлених) вiд вузла i .

Iншими словами, коефiцiєнт групування вимiрює кiлькiсть лiнii, що знаходяться мiж сусiднiми вузлами вузла i роздiлених на потенцiйну кiлькiсть лiнii мiж сусiдами. Групування змiнюється мiж 0 (деревоподiбна мережа) та 1 (завершена мережа). Коефiцiєнт групування для всiєї мережi визначається за формулою $C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$. У довiльнiй мережi, де лiнii мiж банками роздiленi довiльно, коефiцiєнт групування дорiвнює показнику поеднання мережi, $C = p$. Групування можна оцiнити двома шляхами: використовуючи платежi отриманi на вузол та платежi проведени з вузла. Останнiй показник представлений у статтi.

Середня довжина шляху. Середня довжина шляху для мережi визначає кiлькiсть лiнii операцiй, якi потрiбно провести, щоб досягти iншого банку у мережi. Вiн розраховується за формулою $l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i$, де l_i – середня довжина шляху вузла i визаченого за $l_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} d_{ij}$, де вiдстань d_{ij} мiж вузлами i та j дорiвнює 1, якщо вузол i

має лінію до вузла j . Середню довжина шляху можна визначити використовуючи платежі отримані на вузлі або відправлені з вузла. У статті середня довжина шляху визначається на основі платежів проведених з вузла.

Середня ступінь вузла, що визначається за середньою кількістю ліній, які проходять через вузол,

$$k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i^{in} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i^{out} = \frac{m}{n}, \text{ де } \sum_{i=1}^n k_i^{in} \left(\sum_{i=1}^n k_i^{out} \right) \text{ це сума ліній, що завершуються на вузлі (починаються з вузла).}$$

Товщина ліній. Лінії можуть збільшуватися через кількість або величину платежів через лінію. Лінія, яка приймає 10 операцій, більш важлива ніж лінія, яка через яку проводиться 1 операція і навпаки для ліній збільшених через кількість переказів. Формально, w_{ij} визначена товщина лінії між вузлами i та j .

Величина вузла. Величина вузла i визначається за формулою $s_i^{in} = \sum_{j=1}^n w_{ij}^{in}$ для платежів отриманих на вузлі. Тому, чим більша величина вузла тим важливіший вузол у мережі.

Діаметр. Максимальна відстань між двома вузлами у мережі визначається як $D = \max_i (\max_j d_{ij})$.

MDF(x), масова дистрибутивана функція, де x – відстань від вузла. Тому $MDF(2)$ свідчить про те, наскільки велика частка усіх вузлів у мережі, чого можна досягти за рахунок відстані 2 від вузла. Визначається за формулою $M(x) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i} 1(d_{ij} \leq x)$, де $1(\cdot)$ має кількість 1 при $d_{ij} \leq x$ та 0. Масову дистрибутивну функцію можна ви-

значити використовуючи платежі направлені до або отримані з вузлів у мережі. У статті $MDF(x)$ визначається на основі платежів направлених від вузла.

Максимальний ступінь входу вузла ($\max k^{in}$). Показник максимальної кількості ліній, що закінчується на вузлі.

Максимальний ступінь виходу вузла ($\max k^{out}$). Показник максимальної кількості ліній, що починаються з вузла.

Співвідношення (для ліній або вузлів). Співвідношення – показник центральності. Основна ідея полягає в тому, що вузол i (лінія ij) знаходиться тим центральніше чим більший шлях між вузлами, що проходять через вузол i (проходять через лінію ij) у мережі.

Отримано 20.10.2009

Переклад з англ. Лисенко Ю.