

# AZ ÖSSZEKAPCSOLTSÁG HATÁSA A RENDSZERKOCKÁZATRA HOMOGÉN BANKRENDSZERBEN<sup>1</sup>

CSÓKA PÉTER – KISS TAMÁS

*Budapesti Corvinus Egyetem és MTA Lendület-program, MTA KRTK –  
University of Gothenburg*

A pénzügyi rendszerkockázat legfontosabb formája a modern pénzügyi hálózatokban bekövetkező fertőzések veszélye. A cikkben egy olyan bankrendszert vizsgálunk, ahol homogének a bankok (mérlegfőösszegük és preferenciájuk azonos) és egymás eszközeit tulajdonolják. Ezen egyszerűsítő feltevéseket felhasználva egy analitikusan kiszámítható mérőszámot adunk a rendszerkockázatból adódó veszteségre, amely a bankok várható veszteségét adja meg egy rendszerbeli intézmény csődje esetén. E mérőszám tulajdonságait vizsgálva azt találjuk, hogy a banki eszközök volatilitásának növekedése, illetve a saját tőke arányának csökkenése emeli a lehetséges rendszerkockázati veszteséget, továbbá, hogy a bankrendszer felépítésének (a banki eszközök kereszttulajdonlásának) hatása kettős. Egyrészt az összekapcsoltság növelése erősíti a diverzifikációs hatást, mivel az adott bank más bankok eszközeivel fedezheti veszteségeit. Másrészt ha már eleve szorosan együttműködnek a bankok, akkor az összekapcsoltság további erősítése a fertőzés megnövekedett esélye következtében növeli a rendszerkockázatból fakadó potenciális veszteséget.

*Kulcsszavak:* rendszerkockázat, bankközi piac, pénzügyi fertőzés, játékelmélet.

## 1 Bevezetés

A pénzügyi rendszerkockázat legfontosabb formája a modern pénzügyi hálózatokban bekövetkező fertőzések veszélye. A cikkben ezt a jelenséget próbáljuk meg körüljárni, alapvetően technikai módon: célunk egy olyan gondolkodási keret felépítése, amelyben a rendszerkockázat hatását tudjuk megjeleníteni az intézmények szintjén. Ennek érdekében létrehozunk egy modellt, amellyel meg tudjuk mérni, hogy megfelelően kalibrált paraméterek mellett egy adott stilizált pénzügyi közvetítő rendszerben a benne lévő intézményeknek mekkora a rendszerkockázatból adódó vesztesége.

A cikk felépítése a következő. A rendszerkockázat fogalmának meghatározása után (2. fejezet) a szakirodalom áttekintése keretében megvizsgáljuk, hogy milyen különféle megközelítéseket alkalmaznak az egyes szerzők a pénzügyi fertőzés modellezése során (3. fejezet). Az így megismert eredményeket

---

<sup>1</sup>Jelen kutatást a futuriICT.hu nevű, TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0013 azonosítószámú projekt támogatta az Európai Unió és az Európai Szociális Alap társfinanszírozása mellett. Köszönjük a Pallas Athéné Domus Scientiae Alapítvány támogatását is. Beérkezett: 2014. augusztus 22. E-mail: [peter.csoka@uni-corvinus.hu](mailto:peter.csoka@uni-corvinus.hu).

szintetizálva, megfelelő feltételezések mellett megalkotunk egy modellt (4. fejezet), amelynek segítségével számszerűsíteni tudjuk a rendszerkockázatból adódó veszteséget (5. fejezet).

Az így kapott mérőszám három fő paramétertől függ: a rendszert leíró hálózat összekapcsoltságától, a benne lévő intézmények eszközeinek kockázatoságától és a tőkeellátottság mértékétől. Utóbbi két paraméter esetében egyértelmű a kapcsolat a rendszerkockázatból fakadó veszteséggel (az eszközök kockázatának növekedése emeli, míg a magasabb tőkeellátottság csökkenti a várható veszteséget). A hálózat összekapcsoltsága azonban nem egyértelműen hat a rendszerkockázatból adódó veszteségre. Alacsony összekapcsolódás esetén a kapcsolatok erősödése csökkenti a rendszerkockázatból adódó veszteséget, azonban ez a hatás az összekapcsolódás mértékével csökken, és egy ponton túl megfordul a hatás iránya: a kapcsolatok további erősítése növelheti a rendszerkockázatból adódó veszteséget az egyes intézmények esetén.

## 2 A rendszerkockázat fogalma

A rendszerkockázat általunk használt fogalmának tisztázása céljából De Bandt – Hartmann (2000) meghatározásához nyúlunk vissza. Először is szükségünk lesz a rendszerkockázati esemény fogalmára: szűkebb értelemben vett rendszerkockázati eseményről beszélhetünk, ha egy adott, a gazdaság szűk szféráját érintő negatív hatás az idő előrehaladtával sorozatos, egyre terjedő negatív következményeket okoz a gazdaság eredetileg nem érintett szereplőinél is. Ezen értelmezés esetén a kulcs a dominó-hatás: ahogy telik az idő, az intézmények egyre nagyobb hányadát érinti a probléma annak következtében, hogy kapcsolatban vannak már bajba került intézményekkel. Azaz, ha egy bank egy tetszőleges esemény miatt fizetéképtelenné válik, és ez más bankoknál veszteséget okoz, akkor ez az esemény szűk értelemben vett rendszerkockázati eseményként értelmezhető. Széles értelemben rendszerkockázati esemény a fent leírtakon kívül akkor következik be, ha egy gazdaságot érő sokk a rendszer egészére szimultán módon van negatív hatással.

Egy rendszerkockázati eseményt erősnek nevezünk, ha a tovaggyűrűző hatások miatt olyan bankokat is fizetéképtelenné tesz, amelyek egyébként szolvensek. Ez a folyamat igen súlyossá válhat, és úgynevezett rendszerválságot okozhat, amely tulajdonképpen olyan fertőzés, amely megbénítja az egyébként jól működő rendszert.<sup>2</sup>

A fenti fogalmak ismeretében a rendszerkockázatot a szűk értelemben vett és erős rendszerkockázati események előfordulásának lehetőségeként definiáljuk.<sup>3</sup> Más megfogalmazásban, a rendszerkockázat egy olyan esemény

<sup>2</sup>A devizahitelek problémája például a magyar gazdaság számára egyértelműen rendszerkockázatot jelent, és ennek több hullámban jelentkező óriási veszteségei a bankrendszeren, az anyabankokon keresztül az egész régióra kihathatnak. A devizahitelek rendszerkockázatáról, jellemzőiről és lehetséges kezeléséről lásd részletesen Berlinger – Walter (2013) és Berlinger – Walter (2014).

<sup>3</sup>Egy másik lehetőség a legrosszabb néhány százaléknyi esetben bekövetkező átlagos veszteség kiszámítása, ezt általános portfóliókra Ágoston (2010) alkalmazza.

bekövetkezésének lehetősége, amely nem csupán egy adott intézményt érint, hanem károsítja a teljes pénzügyi rendszert (akárcsak a Zigrand (2014) által formalizált definícióban).

Egy szűkebb értelemben vett rendszerkockázati eseménynek két fő összetevője van: a sokk és a fertőzési mechanizmus. Sokk alatt olyan exogén hatást értünk, amely lehet egyedi vagy rendszerszintű. Az egyedi sokk a rendszer egyetlen elemére hat, és a rendszerkockázat kizárólag a fertőzési mechanizmuson keresztül jelentkezik. A rendszerszintű sokk olyan exogén tényező, amely a rendszer több (esetleg minden egyes) elemét érinti, és így a fertőzés hatása kevésbé különül el a sokkhatásoktól. Minthogy alapvetően a fertőzés által okozott rendszerkockázati veszteséget kívánjuk modellezni, így elsősorban az egyedi sokkokra fogunk koncentrálni.

A fertőzés modellezése során nem tévesztethetjük szem elől, hogy milyen kapcsolatrendszer jellemzi a rendszert leíró hálózatot. Tehát a szűkebb értelemben vett rendszerkockázatot hálózatokkal, hálózatok dinamikus tulajdonságainak leírásával tudjuk modellezni. A következőkben áttekintünk néhány pénzügyi fertőzési modellt, majd ezeket szintetizálva felépítjük azt a keretet, amelyben a rendszerkockázati veszteség mérését értelmezni tudjuk.

### **3 A pénzügyi fertőzés csatornái**

Az eddigiekben igen általánosan beszéltünk a rendszerkockázatról, azon belül is a pénzügyi rendszer fertőzéséről. Ahhoz, hogy ezt a jelenséget jobban megértsük, meg kell ismernünk azokat a csatornákat, amelyeken keresztül a rendszert érő sokkok továbbterjednek a hálózaton belül. Freixas és Rochet (2008) négyféle fertőzési csatornát különböztet meg: a befektetői várakozások változását, az átutalási rendszerek működését, a banki OTC derivatív ügyleteket és a bankközi piacot.

Az első esetben a hirtelen megváltozó befektetői várakozások bankrohamokat válthatnak ki, amelyek részleges tartalékolású bankrendszer esetén súlyos veszteséget okoznak a bankoknak (ha nem sikerül megállítani a rohamot időben, akkor a bankok csődbe is mennek). Ezt a jelenséget írja le többek között Jacklin - Bhattacharya (1988), illetve Chari et al. (1988). Ezen modellek központi gondolata, hogy egy sokk megváltoztatja a hosszú távon befektetők megtérülési várakozásait, amely arra készteti őket, hogy a lejárat előtt visszaváltsák a befektetésüket. Ahogy ez a jelenség terjed, a bankok fizetéseképtelenné válnak. Ez tovább rontja a befektetők várakozásait, további likvidálásokat, illetve végül bankcsődöt eredményezve.

A másik három fertőzési csatorna a bankokat mint egy hálózat részeit tekinti. Az átutalási rendszereken alapuló modellek esetén a pénzügyi szektor szereplői kizárólag az ügyfeleken keresztül állnak kapcsolatban. Itt a fertőzést az okozza, hogy nem megfelelő tartalékolás esetén a bank nem tudja teljesíteni ügyfele átutalási megbízásait. Ezzel az átutalást fogadó banknál veszteséget okoz, aminek a tartalékai csökkennek, és így ő is fizetéseképtelenné válhat. Ezt a jelenséget írja le Freixas és Parigi (1998), kiemelve, hogy ez a probléma

csak nettó elszámolási rendszer esetén lehetséges, azaz, amennyiben a bankok közvetlenül, egymás között hajtják végre a tranzakciókat. A szerzők egyik fő eredménye, hogy a bruttó elszámolási rendszerek lényegében felszámolják az átutalási tranzakciókból adódó rendszerkockázatot, hiszen a fertőzés nem terjed tovább, mert a központ kötelezi a tartalékok feltöltésére a bankokat, és átmeneti zavar esetén helytáll a nemfizető bank kötelezettségeiért.<sup>4</sup>

A bruttó elszámolási rendszer további hátránya, hogy hatékonyságvesztéseget okoz (hiszen a tartalékokat a bankok nem tudják tovább hitelezni, illetve befektetni), így átváltás jelentkezik a rendszerkockázat és a hatékonyság között. Ugyanez az érvelés alkalmazható a harmadik, derivatív ügyleteken alapuló fertőzési csatorna esetén, ha nettó rendszernek megfeleltetjük az OTC ügyleteket, ahol nincs előírt tőkekövetelmény, a bruttó rendszer pedig a tőzsdéi kereskedés letéti követelménnyel.

A negyedik (és jelen munkánk szempontjából legérdekesebb) fertőzési csatorna a bankközi pénzpiac létéből eredezteti a rendszerkockázati eseményeket.<sup>5</sup> Ez az eset alapvetően abban különbözik az előző kettőtől, hogy a bankok közötti kapcsolat itt közvetlen: a tranzakciók nem az ügyfelek megbízásából jönnek létre, hanem – általában kényszer hatására – a bankok más banknál elhelyezett saját betéteiket likvidálják. A leggyakoribb kényszer a likviditási sokk, amely alatt itt azt értjük, hogy hirtelen megnövekszik azon ügyfelek száma, akik szeretnék kivenni a pénzüket a bankból. Ez nem jelent problémát, ha elegendő tartalékkal rendelkeznek a bankok. Ha azonban egy szereplőnél túl nagy likviditási igény keletkezik, akkor ennek csak a más bankoknál elhelyezett betétjének felmondásával illetve csökkentésével tud eleget tenni. Ez viszont a többi bank azonnal felhasználható eszközeinek állományát csökkenti. Így azonban lehetséges, hogy lesz olyan bank, amely eredetileg likvid volt, de a lecsökkent eszközállománnyal már nem az. Vagyis neki is szüksége lesz a bankközi betéteire. Ezt az érvelést folytatva a pénzügyi fertőzés igen komoly károkat tud okozni a pénzügyi rendszerben.

A fenti negyedik fertőzési csatorna, azaz a bankközi pénzpiacok rendszerkockázatot jelentő hatása a szakmai vizsgálatok középpontjába került az utóbbi években. Ennek oka, hogy a 2007-ben az Egyesült Államokban kitört, majd az egész világra továbbgyűrűző pénzügyi válság egyik legfontosabb tanulsága, hogy a pénzügyi rendszer szerkezete nem semleges a gazdaság működése szempontjából. Vagyis a bankközi kapcsolatokat leíró hálózatnak van pénzügyi stabilitási, és ezen keresztül reálgazdasági jelentősége.

A szakirodalomban az általunk megismert írások többsége Allen és Gale 2000-ben megjelent cikkét tekinti mérföldkőnek, amelyben a szerzők érdemben vizsgálják a pénzügyi közvetítőrendszerek struktúrájának pénzügyi stabilitásra gyakorolt hatását. A szerzők egy Diamond-Dybvig (1983) modellkeretben vizsgálják a fertőzéseket, amelyek úgy következnek be, hogy az egyik banknál

<sup>4</sup>Ilyen rendszer például Magyarországon a Magyar Nemzeti Bank által üzemeltetett Valós Idejű Bruttó Elszámolási Rendszer, azaz a VIBER, itt azonban rendszerszintű likviditási válság elképzelhető (Lublóy - Tanai (2008).

<sup>5</sup>A magyar bankközi piac rendszerkockázati vonatkozásait Lublóy (2005) és Berlinger et al. (2011) vizsgálta.

egy kis mértékű többlet likviditási igény lép fel, amelynek más banknál elhelyezett betéteiből tud eleget tenni a szóban forgó bank. A cikkben ismertetett modellből több olyan következtetés is levonható, amelyek a későbbi vizsgálatoknak is alapját képezik. Ezek közül a legfontosabb, hogy a fertőzés továbbterjedése erőteljesen függ a bankrendszert leíró hálózattól. A szerzők többféle esetet vizsgálnak, és megmutatják, hogy egy adott likviditási sokk egy kevésbé összekötött rendszert (ahol minden bank csak egyetlen másiknál helyez el betétet) összeomlaszt, míg a szorosabban összefonódott bankok (például, ha minden bank minden bankkal egyszerre hitelezői és adósi kapcsolatban van) túlélnek a krízist.

Az utóbbi másfél-két évtizedben ezt a jelenséget számos szerző vizsgálta, illetve finomította az eredményeket. Elliott et al. (2014) megmutatja, hogy az integrációs és diverzifikációs hatás nem monoton. Vannak ugyanis esetek, amikor az integráció csökkenti a – cikkben csődvalószínűségként definiált – rendszerkockázatot, de egy bizonyos mérték fölött már inkább káros az integráció. Ugyanerre az eredményre jut Acemoglu et al. (2013), vagyis a szorosan összekapcsolt hálózat egyes esetekben hátrányos lehet. Az ő eredményeik szerint a nagy sokkok esetén az a legjobb, ha kisebb, szeparált csoportokban vannak a bankok, mert ekkor az egy bankot bedöntő likviditási sokk nem tud továbbterjedni.

Acharya et al. (2012) alapján a rendszerkockázatot a krízis idején létrejövő alultökésítetttség mértékével tudjuk közelíteni. Ezt a mérőszámot jól előrejelzi a bankok tőkeáttétele, és a krízishelyzetben bekövetkező veszteségek átlagos mértéke. Cohen-Cole et al. (2013) egy olyan, Cournot-jellegű mikroökonómiai modellt mutat be, amelyben a rendszerkockázat tulajdonképpen a kezdeti sokk multiplifikátora. Glasserman – Young (2015) a rendszerkockázatot egy úgynevezett fertőzési index-szel jellemzi, amely tulajdonképpen az egyes intézmények csődjének rendszerre gyakorolt hatását méri. Ez az index elsősorban a bankok méretétől, tőkeáttététől (kockázatoságától), és a rendszert leíró hálózattól függ.

A rendszerkockázat tulajdonságainak vizsgálata mellett annak egyes intézményekre történő allokációja is fontos szerepet játszik a szakirodalomban. Ebben a témában Bluhm et al. (2013) és Drehmann - Tarashev (2013) írásai új eredményt képviselnek. A két cikkben közös, hogy mindkettőben a kooperatív játékelmélethez ismert Shapley-értéket használják fel a rendszerkockázat elosztására.<sup>6</sup> A különbség alapvetően a rendszer leírásában van: míg Drehman és Tarashev exogén bankrendszert feltételezve elsősorban a Shapley-érték tulajdonságait vizsgálja, addig Bluhm és szerzőtársai a bankrendszerek létrejöttét endogén módon, optimalizációból kiindulva írják le, és a rendszerek kialakulására fókuszálnak.<sup>7</sup>

Mint a fentiekből látható, a szakirodalomban számos úton folyik a rend-

---

<sup>6</sup>A Shapley-értékről és annak kockázatalosztásban játszott szerepéről bővebben a Csóka – Pintér (2014) cikkben lehet olvasni.

<sup>7</sup>További kutatási irány lehet megvizsgálni Bayer (2012) módszerét arra, hogy a bankok hogyan változtassanak a kapcsolataikon, hány lépést tervezzenek előre.

szerkockázat vizsgálata. Jelen cikkünkben egy olyan modellt adunk meg, aminek a segítségével a bankrendszer kapcsolódásaitól függő rendszerkockázati mértéket kaphatunk az egyes intézmények szintjén. Mindezt úgy, hogy a fent említett szakirodalmi eredményeket szintetizáljuk, különösképpen építve Allen – Gale (2000) modelljére.

## 4 A stilizált pénzügyi rendszer

### 4.1 Egy bank működése

Először tekintsük azt az esetet, amikor egyetlen bankunk van. Ez természetesen még nem igazi rendszer, azonban fontos megérteni, hogy az egyes bankok hogyan működnek. A bankot a mérlegével jellemezzük, amely meglehetősen egyszerű: kétféle forrása van, saját tőke és idegen források. Tegyük fel, hogy ez utóbbi kizárólag egyforma bankbetétekből áll. Saját tőke alatt a bank jegyzett tőkéjét értjük, illetve beleértjük azokat a tartalékokat, amelyeket többek között a likviditási kockázatok ellen képzett az intézmény. Normál működési körülmények között a pénzfelvét és az újabb betétek elhelyezése egyensúlyban van, így az idegen források mennyiségét állandónak tekinthetjük. A modellben homogén (azonos mérlegfőösszegű és preferenciájú) bankokat tekintünk, és az egyszerűség kedvéért mérlegfőösszegüket 1-re normalizáljuk. Ekkor a bank saját tőkéje legyen  $\theta$ , a betétállomány nagysága pedig  $1 - \theta$ . Tegyük fel továbbá, hogy a bank a forrásait egyetlen, kockázatos eszközbe fekteti be, jelöljük ennek ex ante értékét  $z^0$ -al. Természetesen  $z^0 = 1$ , hiszen a mérlegazonosságból adódóan a bank eszközeinek értéke annyi, mint forrásainak értéke. Ezek alapján a bankmérleg sémája az alábbiak szerint ábrázolható:

Eszközök	Források
Befektetés ( $z^0$ )	Saját tőke ( $\theta$ )
	Betétek ( $1 - \theta$ )

1. táblázat. Banki mérleg

A befektetett eszköz ex post értéke a konstans ex ante érték és egy nulla várható értékű véletlen sokk összege, azaz maga is egy valószínűségi változó. Ezt a valószínűségi változót jelöljük  $Z$ -vel, eloszlásfüggvényét pedig  $F_Z$ -vel. A  $Z$  változóról egyelőre csupán annyit kötünk ki, hogy véges szórású legyen, illetve a fenti leírásból következik, hogy  $E(Z) = 1$ . A befektetés kockázatát ennek a változónak a szórásaként definiáljuk.

Mivel a rendszerkockázatot szeretnénk elemezni, szükséges bevezetni a csőd fogalmát. A bank csődben van, ha nem tudja kifizetni a betéteseit, azaz  $Z \leq (1 - \theta)$ . Ezek alapján a bank csődvalószínűsége  $P(Z \leq 1 - \theta) = F_Z(1 - \theta)$ .

Ahhoz, hogy a csődeseményt értelmezni tudjuk, szükség van arra is, hogy megmondjuk, mi történik, ha bekövetkezik a csőd. Ekkor likvidálják a bank eszközeit, és a maradékot szétosztják a betétesek között (a bank tulajdonosai

nem kapnak semennyit). Feltesszük, hogy a szétoztás arányosan történik (ez azonban nem befolyásolja a modell működését).

## 4.2 A bankrendszer felépülése, jellemzői

Tegyük fel, hogy összesen  $n$  darab homogén bank van a pénzügyi rendszerben. Kezdetben mindegyik különálló, és a 4.1 részben leírtaknak megfelelően viselkedik, azzal a megszorítással, hogy az egyes intézmények eszközválasztása exogén módon adott, azaz nem modellezzük a bankok bankrendszeren kívüli befektetési döntését. Feltesszük továbbá, hogy a bankok forrásoldala nem különbözik, illetve az eszközoldalukat jellemző  $Z_i$  valószínűségi változók függetlenek és azonos eloszlásúak (jelen esetben ez azonos szórást is jelent).

A rendszer kialakulását az magyarázza, hogy ha több intézmény van jelen, akkor minden egyes szereplőnek lehetősége nyílik a kockázatának mérséklésére a befektetési eredmény szóródásának, illetve a csődvalószínűségnek a csökkentésén keresztül. Méghozzá úgy, ha diverzifikálja az eszközoldalát: egyetlen kockázatos eszköz helyett megállapodik néhány másik bankkal, hogy elcserélik a befektetéseik ex post értékének egy adott hányadát (vagyis a bankok lényegében egymás tulajdonosai lesznek). Egy bank csődje esetén a teljes eszközértéke likvidálásra kerül, vagyis az eredeti befektetés ( $i$  bank csődje esetén  $Z_i$ ) értéke nullára csökken a bankrendszer szempontjából.

Legyen tehát az  $i$  bank olyan, amely diverzifikálja eszközeit. Ekkor  $i$  eszközoldala (jelöljük  $A_i$ -vel) az alábbiak szerint írható le:

$$A_i = \sum_{j=1}^n \phi_{ij} Z_j ,$$

ahol  $\phi_{ij}$  azt mutatja meg, hogy az  $i$  bank a  $j$  intézmény kockázatos eszközéből mekkora részt kap, azaz a szerződés  $i$  és  $j$  bank között  $\phi_{ij} Z_j$  eszközről szól. Értelemszerűen  $\phi_{ii}$  azt mutatja meg, hogy a bank az általa eredetileg birtokolt befektetésből mekkora hányadot tart meg, továbbá, mivel  $\phi_{ij}$ -k arányszámok, így  $0 \leq \phi_{ij} \leq 1$ . Illetve azt is meg kell jegyezni, hogy azonos típusú eszközök cseréje történik, így ex ante összességében nem nyer és nem veszít egy-egy bank a cserével. Ennek feltétele, hogy  $\sum_{j=1}^n \phi_{ij} = 1$  teljesüljön. Mivel feltettük, hogy azonos típusú eszközökről van szó, így ezek ára homogén bankok esetén nem különbözhet egymástól, vagyis az intézmények csak egy az egyhez cserére hajlandók, így  $\phi_{ij} = \phi_{ji}$ , tehát a kapcsolatok szimmetrikusak.

Az így kialakult portfóliókról tudjuk, hogy a várható értékük megegyezik a  $Z_i$ -k várható értékével, varianciájuk ( $\sigma^2(A_i)$ ) viszont kisebb, ugyanis:

$$E(A_i) = E\left(\sum_{j=1}^n \phi_{ij} Z_j\right) = \sum_{j=1}^n E(\phi_{ij} Z_j) = \sum_{j=1}^n \phi_{ij} E(Z_i) = E(Z_i) \sum_{j=1}^n \phi_{ij} = E(Z_i) ,$$

$$\sigma^2(A_i) = \sigma^2\left(\sum_{j=1}^n \phi_{ij} Z_j\right) = \sum_{j=1}^n \phi_{ij}^2 \sigma^2(Z_i) = \sigma^2(Z_i) \sum_{j=1}^n \phi_{ij}^2 \leq \sigma^2(Z_i) .$$

Látható, hogy azonos várható ex post eredményt tudnak elérni a bankok, kisebb variancia mellett, vagyis ebben az értelemben diverzifikálták a kockázatukat. Ennél bonyolultabb kérdés, hogy valóban csökkent-e a csőd kockázat. Ha az  $i$  bank végrehajtotta a diverzifikációt, akkor a csőd valószínűsége az alábbi formában írható fel:

$$P(A_i < 1 - \theta) = P\left(\sum_{j=1}^n \phi_{ij} Z_j < 1 - \theta\right).$$

Tehát az a kérdés, hogy igaz-e, illetve milyen feltételek mellett igaz a

$$P\left(\sum_{j=1}^n \phi_{ij} Z_j < 1 - \theta\right) \leq P(Z_i < 1 - \theta)$$

egyenlőtlenség. A probléma, hogy  $A_i = \sum_{j=1}^n \phi_{ij} Z_j$  eloszlásáról általános esetben túl kevés az információnk, és a fenti, várható értékre és varianciára vonatkozó összefüggésekből nem következik, hogy az egyenlőtlenség teljesül a valószínűségekre. Ezért a továbbiakban normális eloszlást és egységnyi várható értéket feltételezünk  $Z_i$  valószínűségi változóról, azaz  $Z_i \sim N(1, \sigma^2)$ .<sup>8</sup> Ekkor ugyanis a fenti valószínűségeket explicit formában megadhatók, és könnyen összehasonlíthatók.

$$P(Z_i < 1 - \theta) = P\left(\frac{Z_i - E(Z_i)}{\sigma(Z_i)} \leq \frac{1 - \theta - E(Z_i)}{\sigma(Z_i)}\right) = \Phi\left(\frac{-\theta}{\sigma(Z_i)}\right),$$

ahol  $\Phi$  a standard normális eloszlás eloszlásfüggvénye. Ugyanígy

$$P(A_i < 1 - \theta) = \Phi\left(\frac{1 - \theta - E(A_i)}{\sigma(A_i)}\right) = \Phi\left(\frac{-\theta}{\sigma(A_i)}\right).$$

$\sigma(A_i) \leq \sigma(Z_i)$ -ből következik, hogy

$$\frac{-\theta}{\sigma(A_i)} \geq \frac{-\theta}{\sigma(Z_i)},$$

azaz

$$P(A_i < 1 - \theta) \leq P(Z_i < 1 - \theta),$$

tehát azt láthatjuk, hogy normális eloszlás esetén teljesül a fenti egyenlőtlenség, azaz a csőd valószínűség csökken.

Az eddigiek alapján úgy tűnhet, hogy az egyes bankok számára a diverzifikáció kizárólag előnyökkel jár: csökken a befektetésük várható eredményének szórása, ráadásul csökken az egyéni csőd valószínűség is. Egyetlen hátránya van egyéni szinten a diverzifikációnak: ha az egyik intézmény csődbe megy, akkor a többi, vele kapcsolatban álló intézmény szintén elveszíti a befektetéseinek egy részét. Ez a hatás a teljes pénzügyi rendszerben jelentősen felerősödhet. Egy intézmény csődje továbbgyűrűzhet oly módon, hogy a vele kapcsolatban álló bankok ex post eszközértékét is lecsökkenti, és további bankokat dönthet be, vagyis egy tipikus pénzügyi fertőzés alakulhat ki a modellben. Nézzük meg ezt a jelenséget részletesebben.

<sup>8</sup>Válasszuk normális eloszlás esetén olyan kicsire a szórását, hogy annak a valószínűsége, hogy egy eszköz értéke nullánál kisebb legyen, gyakorlatilag elhanyagolható.



### 4.3 A fertőzés hatása a modellben

Tegyük fel, hogy egy adott pillanatban a bankrendszerben pontosan egy bank megy csődbe, azaz  $i$  bank eszközeinek értéke,  $A_i = \sum_{j=1}^n \phi_{ij} Z_j < 1 - \theta$ , míg  $\forall l \neq i$  bankra  $A_l = \sum_{j=1}^n \phi_{lj} Z_j \geq 1 - \theta$ . Ekkor az  $i$  bank befektetését likvidálni kell. A korábbi feltételezésekből következik, hogy a bankrendszer többi bankja elveszíti  $\phi_{ji} Z_i$  részét az eszközei értékének. Ha ekkor létezik olyan  $l$  bank, amelyre  $A_l = \sum_{j=1}^n \phi_{lj} Z_j \geq 1 - \theta$ , viszont  $\sum_{j \neq i} \phi_{lj} Z_j < 1 - \theta$ , akkor a fertőzés továbbterjed, és egy további bank is csődbe jut annak következtében, hogy az első bank csődbe jutott. Ekkor az  $l$  bank eszközeit is likvidálják, és így a bankrendszer további veszteséget szenved el, amely további csődökhöz vezethet.

A rendszer működéséből látszik, hogy azon bankok, amelyek nem kapcsolódnak közvetlenül egy csődbe került intézményhez, azaz amelyekre  $\phi_{ji} = 0$ , az első körös hatásokból kimaradnak. Azonban a fertőzés továbbterjedése miatt közvetetten az ő csődvalószínűségükre is hatással lehet a bedőlés. Vagyis a modellben megjelenik a bankrendszer összekapcsoltságának kettős, átváltás jellegű hatása: egyrészt csökkenti az egyedi csőd kockázatot, másrészt egy intézmény csődje esetén a fertőzés miatt sokkal nagyobb veszteségek jelentkezhetnek a rendszerben.

Nézzük meg, mi történik az eszközök várható értékével, amennyiben az egyik intézmény csődbe megy. Ennek az eseménynek a hatása kétféleképpen jelentkezik. Egyrészt egy intézmény csődje esetén a vele kapcsolatban lévő bankok eszközállományának egy része elveszik. Másrészt megnő a valószínűsége, hogy csődbe megy egy egyébként fizetőképes intézmény. Legyen  $D_j$  az az esemény, amikor  $j$  bank csődbe megy, azaz

$$D_j = \left\{ \sum_{i=1}^n \phi_{ji} Z_i < 1 - \theta \right\}.$$

Ekkor  $i$  bank eszközállományának várható értékét az alábbi formában tudjuk megadni:

$$E(A_i | D_j) = (1 - P(D_i | D_j)) E\left( \sum_{l=1}^n \phi_{il} Z_l | D_j \right) + P(D_i | D_j) \cdot 0,$$

ahol  $P(D_i | D_j)$  annak a valószínűsége, hogy  $i$  bank is csődbe megy, amennyiben  $j$  csődbe ment. Természetesen ez a valószínűség függ a  $Z_j$  valószínűségi változók értékeitől, illetve a rendszer összekapcsoltságát mutató  $\phi_{ij}$  értékektől, méghozzá az alábbiak szerint:

$$P(D_i | D_j) = P\left( \left\{ \sum_{l=1}^n \phi_{il} Z_l | Z_j = 0 \right\} \leq 1 - \theta \right) = P\left( \sum_{l \neq j} \phi_{il} Z_l \leq 1 - \theta \right).$$

Továbbra is fennáll a normális eloszlás feltételezése, azaz az utóbbi valószínűséget explicit módon ki tudjuk számolni:

$$P\left( \sum_{l \neq j} \phi_{il} Z_l \leq 1 - \theta \right) = \Phi\left( \frac{-\theta}{\sigma(\sum_{l \neq j} \phi_{il} Z_l)} \right).$$

Az eszközállomány várható értéke hasonlóképpen számolható:

$$\begin{aligned} & E\left(\sum_{l=1}^n \phi_{il} Z_l \mid D_j\right) = \\ & = E\left(\sum_{l=1}^n \phi_{il} Z_l \mid Z_j = 0\right) = E\left(\sum_{l \neq j} \phi_{il} Z_l\right) = \sum_{l \neq j} \phi_{il} E(Z_l) = \sum_{l \neq j} \phi_{il}, \end{aligned}$$

ahol az utolsó lépésben felhasználtuk, hogy minden eszköz várható értéke egységnyi. A számítás eredménye megfelel az intuíciónak: ha az egyik intézmény csődbe megy, akkor az ő befektetése elveszik a teljes rendszer számára, míg a többi befektetés eredményének alakulását a csőd nem befolyásolja.

## 5 A rendszerkockázatból adódó veszteség

Az eddigiek alapján meg tudjuk határozni, hogy a rendszerkockázatból adódó veszteség mennyivel terheli meg az egyes intézményeket. Tehát a rendszerkockázatból adódó veszteséget úgy definiáljuk, mint az egyes intézmények várható eredményének csökkenését annak következtében, hogy egy bank csődbe megy.

**1. definíció.** *Egy intézmény rendszerkockázatból adódó vesztesége a várható eredményének csökkenése annak következtében, hogy egy rendszerbeli bank csődbe megy (Systemic Loss, jelölése  $SL_i$  az  $i$  intézmény esetén), azaz*

$$SL_i = \sum_{j=1}^n (E(A_i) - E(A_i \mid D_j)) \cdot P(D_j).$$

A fenti definícióval kapcsolatban két megjegyzést érdemes tenni. Egyrészt a feltevésekből következik, hogy  $E(A_i) = 1$ . Így a fenti kifejezés a  $E(A_i \mid D_j)$  várható értéktől és a  $P(D_j)$  valószínűségtől, és ezeken keresztül  $\phi_{ij}$  értékektől függ. Ez azt jelenti, hogy a felvázolt modellkeretben számos különböző rendszerre számolható a rendszerkockázatból adódó veszteség. Másrészt a rendszerkockázatból adódó veszteség általános esetben (több banki csődöt megengedve) analitikusan még normális eloszlás esetén is nehezen számolható. Azonban amennyiben feltesszük, hogy pontosan egy bank mehet csődbe, úgy a rendszerkockázati veszteségre zárt formula adható.

**2. tétel.** *Tegyük fel, hogy*

- a bankrendszer  $n$  darab, homogén bankból áll, melyek mérlegfőösszege ex ante egységnyi,*
- a befektetések ex post értékei ( $Z_i, i = 1, 2, \dots, n$ ) független valószínűségi változók, egységnyi várható értékkel és  $\sigma$  szórással,*
- legfeljebb egy bank megy csődbe a rendszerben.*

*Ekkor az  $i$  bank rendszerkockázatból adódó vesztesége*

$$SL_i = \sum_{j=1}^n \phi_{ij} P(D_j).$$

*Bizonyítás.* Kiindulva  $SL_i$  definíciójából, és felhasználva, hogy  $E(A_i) = 1$ , azt kapjuk, hogy

$$SL_i = \sum_{j=1}^n (1 - E(A_i | D_j)) P(D_j) .$$

Ebbe a korábban megismert értékeket behelyettesítve:

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^n (1 - E(A_i | D_j)) P(D_j) = \\ & = \sum_{j=1}^n \left( 1 - \left[ (1 - P(D_i | D_j)) E \left( \sum_{l=1}^n \phi_{il} Z_l | D_j \right) \right] \right) P(D_j) . \end{aligned}$$

Felhasználva, hogy feltevésünk szerint csupán egy bank megy csődbe, azaz  $P(D_i | D_j) = 0$ , illetve behelyettesítve a  $E(\sum_{l=1}^n \phi_{il} Z_l | D_j) = \sum_{l \neq j} \phi_{il}$  összefüggést, azt kapjuk, hogy

$$SL_i = \sum_{j=1}^n \left( 1 - \sum_{l \neq j} \phi_{il} \right) P(D_j) = \sum_{j=1}^n \phi_{ij} P(D_j) ,$$

ahol az utolsó lépésben felhasználtuk, hogy  $\sum_{l=1}^n \phi_{il} = 1$ .  $\square$

Az eredmény azt tükrözi, amit vártunk: az intézmény rendszerkockázatból adódó veszteségét úgy írhatjuk le, hogy tekintjük az összes olyan esetet, amelyben egy bank csődbe megy. Ezekben az esetekben a  $i$  bank elveszíti eszközoldalának azon részét, amelyeket a csődbe ment bankkal cserélt el. A tétel egyenes következményeként adódik a képlet  $SL_i$ -re normális eloszlású eszközértéket feltételezve.

**3. következmény.** *Tegyük fel, hogy a 2. tétel feltételezései érvényesek, továbbá, hogy  $Z_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  változók eloszlása normális. Ekkor*

$$SL_i = \sum_{j=1}^n \phi_{ij} \Phi \left( \frac{-\theta}{\sigma(\sum_{l=1}^n \phi_{jl} Z_l)} \right) .$$

*Bizonyítás.* Először is vegyük észre, hogy amennyiben csak egy bank (legyen ez  $j$ ) mehet csődbe, úgy  $P(D_j) = P(A_j < 1 - \theta)$ . Erre azonban korábban kaptunk egy zárt formulát normális eloszlás esetén:

$$P(A_j < 1 - \theta) = \Phi \left( \frac{-\theta}{\sigma(\sum_{l=1}^n \phi_{jl} Z_l)} \right) .$$

Behelyettesítve ezt a 2. tétel eredményeként kapott képletbe a kívánt formula adódik.  $\square$

Az így levezetett mérőszámot alapvetően háromféle paraméter értéke határozza meg: az összekapcsoltságot mérő  $\phi$  mutatók, az eszközök szórása, és

a saját tőke aránya, azaz  $\theta$ . Az alábbiakban megvizsgáljuk, hogy ez a három paraméter hogyan befolyásolja a rendszerkockázatból adódó veszteséget.

A rendszer összekapcsolódásának hatása kettős. Egyrészt, ha létrejönnek kapcsolódások a bankrendszerben, akkor a diverzifikációs hatás miatt csökken az egyes bankok csődvalószínűsége. Másrészt megjelenik a fertőzésből fakadó hatás: az egyes bankok eszközeinek várható értékét csökkenti az a tény, hogy a többi, vele kapcsolatban álló bank csődbe mehet. (Tulajdonképpen az Elliott et al. (2014) szerzői is hasonló gondolatmenet szerint jutnak el arra a következtetésre, hogy a rendszer összekapcsolódása és a rendszerkockázat közötti kapcsolat nem monoton.)

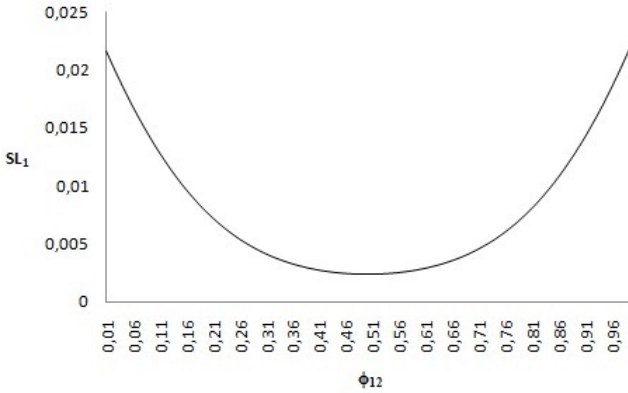
A bankrendszer összekapcsoltságának mértékét a korábban definiált  $\phi_{ji}$ ,  $i \neq j$  értékekkel tudjuk jellemezni, vagyis  $\phi_{ij}$  változását értelmezhetjük úgy, mint a rendszerbeli kapcsolat erősségének változását. Tehát azt keressük, hogyan hat  $\phi_{ij}$  változása  $SL_i$ -re. Természetesen, észben kell tartanunk, hogy  $\phi_{ij}$  egyedül nem változhat, ugyanis a  $\sum_{j=1}^n \phi_{ij} = 1$  egyenlőségnek mindig teljesülnie kell. Ezt a problémát például úgy kezelhetjük, hogy feltesszük, hogy  $\phi_{ij}$  változása nincs hatással  $\phi_{il}$ ,  $l \neq i, j$  értékekre, csupán  $\phi_{ii}$ -re. Ekkor a keresett kifejezés a

$$\frac{dSL_i}{d\phi_{ij}} = \frac{\partial SL_i}{\partial \phi_{ij}} - \frac{\partial SL_i}{\partial \phi_{ii}}$$

formában írható fel.

Az eredményből látszik, hogy amennyiben  $\phi_{ij}$  megváltozik, akkor két, jellegében azonos, de ellentétes előjelű hatás érinti a rendszerkockázatot. Az egyik egyfajta közvetlen hatás, a másik pedig egy közvetett hatás, ami azon keresztül éri a bankot, hogy csökken a saját befektetésének részesedése az összes eszközállományán belül. Mivel a fenti kifejezés kiszámítása analitikusan igen bonyolult, így most erre nem törekszünk. Egy példán keresztül azonban szemléltetjük, hogy  $\phi_{ij}$  változása hogyan hat a rendszerkockázat mértékére.

Tegyük fel, hogy csak két bankból áll a bankrendszerünk. Mindkét intézménynek olyan befektetése van, amelynek a szórása 0,1, azaz  $\sigma(Z_1) = \sigma(Z_2) = 0,1$ . Továbbá tudjuk, hogy a közös  $\theta$  értéke 0,2. Ezekkel a paraméterválasztásokkal biztosíthatjuk, hogy a csődvalószínűség nem lesz elhanyagolható, bármilyen összekapcsolódást is nézünk. Továbbá, a viszonylag kis szórás miatt annak a valószínűsége, hogy az egyes befektetések értéke negatívba forduljon, közel nulla. Ezt a rendszert a  $\phi_{12}$  számos értéke mellett megvizsgáljuk: felosztjuk 100 egyenlő részre a  $[0, 1]$  intervallumot, majd minden osztópontot  $\phi_{12}$  egy-egy lehetséges értékének tekintve kiszámoljuk az  $SL_1$  értékeit. (Értelemszerűen, ebben a teljesen szimmetrikus helyzetben ezek meg fognak egyezni az  $SL_2$  értékekkel.) A számításokat nem részletezzük, azonban az eredményként kapott 1. ábra tanulságos lehet.



1. ábra. Az 1. bank rendszerkockázatból adódó vesztesége  $\phi_{12}$  különböző értékei mellett

Az ábráról látható, hogy a rendszerkockázatból adódó veszteség és az összekapcsolódás között nem monoton a kapcsolat: amennyiben ugyanis az összekapcsolódás foka kisebb (azaz jelen esetben  $\phi_{ij} < \phi_{ii}$ ), akkor a bankközi hálózat diverzifikáló hatása dominál, és így a kapcsolatok erősödésével csökken a rendszerkockázatból adódó veszteség. Ha viszont a bankok közötti kapcsolat szoros, akkor a fertőzés jelensége miatt a további kapcsolódás instabilabbá teszi a rendszert, növelve a várható veszteséget.

A példa egyszerű szerkezete segít minket abban, hogy pontosan megnevezzük a kockázati forrásokat. A csökkenő szakaszon az első bank rendszerkockázati vesztesége döntően abból származik, hogy ő saját maga csődbe mehet, és ekkor elveszíti a befektetését. A növekvő szakaszon a fő kockázati forrás az első bank számára a második bank csődje. A nagy részesedés miatt ugyanis az első bank eredményének nagy részét elveszíti, amennyiben a második bank csődbe jut.

A következő lépés az, hogy megvizsgáljuk, hogyan hat az eszközök kockázatoságának változása. Minthogy a befektetett eszközök kockázatát feltételezésünk szerint azok szórása jelenti, tulajdonképpen azt vizsgáljuk, mi történik  $SL_i$ -vel egy tetszőleges  $j$  bank eszközeinek szórásnövekedése esetén. Vagyis keressük  $SL_i$  deriváltját az  $j$  eszköz szórása szerint:

$$\frac{dSL_i}{d\sigma(Z_j)} = \sum_{l=1}^n \phi_{il} \Phi \left( \frac{-\theta}{\sigma(\sum_{k=1}^n \phi_{lk} Z_k)} \right) \frac{\theta}{(\sum_{k=1}^n \phi_{lk}^2 \sigma^2(Z_k))^{3/2}} \frac{1}{2} \phi_{lj}^2 2\sigma(Z_j).$$

A kapott formulából látható, hogy tetszőleges paraméterértékek mellett minden  $\sigma(Z_j)$ -re pozitív, vagyis a szórás növekedésével a rendszerkockázatból adódó veszteség növekszik. Ez abból fakad, hogy amennyiben egy intézmény befektetésének kockázata nő, akkor emelkedik a csődvalószínűsége is.

Az utolsó vizsgálandó paraméter a saját eszközök aránya, ennek hatását a  $\frac{dSL_i}{d\theta}$  kifejezés adja meg:

$$\frac{dSL_i}{d\theta} = - \sum_{l=1}^n \phi_{il} \Phi \left( \frac{-\theta}{\sigma(\sum_{k=1}^n \phi_{lk} Z_k)} \right) \frac{1}{\sigma(\sum_{k=1}^n \phi_{lk} Z_k)}.$$

A kapott formulából könnyen látható az intuíciónál is alátámasztott eredmény, hogy minél több a bank saját tőkéje, annál kisebb a rendszerkockázatból adódó vesztesége. Ennek háttérében az áll, hogy a nagyobb saját tőke csökkenti a csődvalószínűséget, ami közvetlenül hat a rendszerkockázatból adódó veszteségre.

## 6 Összegzés

A cikkben a pénzügyi fertőzések egyes intézményekre gyakorolt hatását modelleztük. Célunk az volt, hogy egy mérőszámot adjunk arra nézve, hogy mekkora várható veszteség éri az egyes intézményeket egy rendszerkockázati esemény bekövetkezése esetén. A modellezés során figyelembe vettük, hogy amennyiben rendszerkockázattal foglalkozunk, úgy a rendszert leíró hálózat definiálása elengedhetetlen.

Ezeket szem előtt tartva alkottunk meg egy rendszerkockázati modellt, amely megragadja a pénzügyi fertőzési jelenségek egyes tulajdonságait. A modelltől megfelelő megszorításokkal közvetlenül következik egy mérőszám, amely egyes intézményekre lebontva megadja az adott intézmény rendszerkockázatból adódó veszteségét.

Megvizsgálva a rendszerkockázatból adódó veszteség tulajdonságait, a legfontosabb következtetés, amit levonhatunk, hogy a rendszer összekapcsoltsága és a rendszerkockázatból adódó veszteség között nem monoton a kapcsolat. Ha rögzítünk egy rendszert, és csupán egyetlen kapcsolódást változtatunk rajta, akkor kettős hatást láthatunk. Egyrészt megfelelő feltételek mellett gyenge kapcsolódás esetén a diverzifikációs hatás a domináns (azaz, ahogy erősödik a kapcsolat, úgy csökken az egyes intézmények kockázata). Másrészt amikor már eleve szorosan együttműködnek a bankok, akkor a kapcsolatok további erősítése a fertőzés megnövekedett esélyének következtében növeli a rendszerkockázatot. Azaz tulajdonképpen kétféle hatást azonosítottunk, amelyek ellentétes irányba hatnak: a diverzifikációt és a fertőzést.

A modellel kapcsolatos további kutatásnak alapvetően két irányát látjuk. Egyrészt, habár a témával foglalkozó szakcikkekben gyakori feltételezés a bankrendszer homogenitása (többek között ezzel a feltételezéssel él Acemoglu et al. (2013), Cohen-Cole et al. (2013) a korábban ismertetett cikkek közül), a gyakorlati alkalmazást nehezkessé teszi. Általánosságban nem igaz, hogy egy adott ország bankrendszere hasonló méretű (mérlegfőösszegű) intézményekből áll, melyek ráadásul hasonló típusú eszközökbe fektetnek be. Ennek a feltételezésnek a feloldása így további vizsgálódás tárgyát képezheti. Másrészt erős megszorítás az eszközökre vonatkozóan a függetlenség, illetve a normális eloszlás feltételezése. Ennek feloldása koncepcionálisan lehetséges, a következtetések irányát nem változtatná meg, így ez alapvetően egy technikai továbbfejlesztése lehet a modellnek annak érdekében, hogy pontosabban leírja a valóságot.

Összességében azonban azt mondhatjuk, hogy a modell főbb következtetései (azaz a rendszerkockázatból adódó veszteség tulajdonságai) nem elsősor-

ban a feltevésekből következnek. Így, ha nem is lehet pontosan számszerűsíteni a kockázatot a modell alapján, az egyes paraméterek (kockázatosság, összekapcsoltság) számszerűsíthetők, és ezen értékek időbeli alakulása – figyelembe véve a modell eredményeit – képet adhat a döntéshozóknak a rendszerkockázati veszteség alakulásáról.

## Irodalom

1. Acemoglu, D., Ozdaglar, A. and Tahbaz-Salehi, A. (2013) *Systemic Risk and Stability in Financial Networks*. MIT Department of Economics Working Paper Series 13–03.
2. Acharya, V. V., Pedersen, L. H., Philippon, T., Richardson, M. P. (2012) *Measuring systemic risk*. CEPR Discussion Paper No. 8824.
3. Ágoston Kolos Csaba (2010) CVaR Számítás SRA Algoritmussal. *Sigma*, 41:(1-2) 61–73.
4. Allen, F. – Gale, D. (2000) Financial Contagion. *Journal of Political Economy*, 108, 1–33.
5. Bayer Péter (2012) Véleményrangsorok alkalmazása pénzügyi szituációkban. *Sigma*, 43:(3-4) 109–123. o.
6. Berlinger Edina, Michaletzky Márton, Szenes Márk (2011) A fedezetlen bankközi forintpiac hálózati dinamikájának vizsgálata a likviditási válság előtt és után. *Közgazdasági Szemle* 58:(3) 229–252.
7. Berlinger Edina, Walter György (2013) Unortodox javaslat a devizahitelek rendezésére. *Hitelintézeti Szemle* 12:(6) 469–494.
8. Berlinger Edina, Walter György (2014) Problémás jelzőhitelek jövedelemarányos törlesztése - unortodox javaslat számokban. *Hitelintézeti Szemle* 13:(1) 2–27.
9. Bluhm, M., Faia, E. and Krahen, J. P. (2013) *Endogenous Banks' Networks, Cascades and Systemic Risk*. SAFE Working Paper No. 12.
10. Chari, V. V. – Jagannathan, R. (1988) Banking Panics, Information and Rational Expectations Equilibrium. *Journal of Finance*, 43, 749–513.
11. Cohen-Cole, E., Patacchini, E., Zenou, Y. (2013) *Systemic Risk and Network Formation in the Interbank Market*. CAREFIN Research Paper No. 25/2010.
12. Csóka Péter – Pintér Miklós (2014) *On the Impossibility of Fair Risk Allocation*. Corvinus Economics Working Papers (CEWP) 2014/12, 1–12.
13. De Bandt, O. – Hartmann, P. (2000) *Systemic Risk: A Survey*. ECB Working Paper No. 35.
14. Diamond, D. W. – Dybvig, P. H. (1983) Bank Runs, Deposit Insurance, and Liquidity. *Journal of Political Economy*, 91, 401–419.
15. Drehmann, M. – Tarashev, N. (2013) Measuring the systemic importance of interconnected banks. *Journal of Financial Intermediation*, 22, 586–607.
16. Elliott, M., Golub, B., Jackson, M. O. (2014) *Financial Networks and Contagion*. Working Paper (SSRN 2175056).
17. Freixas, X. – Parigi, B. (1998) Contagion and Efficiency in Gross and Net Interbank Payment Systems. *Journal of Financial Intermediation*, 7, 3–31.
18. Freixas, X. – Rochet, J-C. (2008) *Microeconomics of Banking*. MIT Press, Massachusetts.

19. Glasserman, P. – Young, H-P. (2015) How likely is contagion in financial networks? *Journal of Banking and Finance*, 50, 383–399.
20. Jacklin, C. J. – Bhattacharya, S. (1988) Distinguishing Panics and Information-based Bank Runs: Welfare and Policy Implications. *Journal of Political Economy*, 96, 568–592.
21. Lublóy Ágnes (2005) Dominóhatás a magyar bankközi piacon. *Közgazdasági Szemle*, 52:(4) 377–401.
22. Lublóy Ágnes – Tanai Eszter (2008) *Operational Disruption and the Hungarian Real Time Gross Settlement System (VIBER)*. MNB Occasional Papers No. 75.
23. Zigrand, J-P. (2008) *Systems and Systemic Risk in Finance and Economics*. SRC Special Paper No. 1.

#### THE EFFECT OF INTERCONNECTEDNESS IN A HOMOGENEOUS BANKING SYSTEM

The most fundamental form of systemic risk in modern financial networks is contagion. In this article we describe a homogeneous banking system (banks with identical preferences and the same size of total assets) with interconnectedness: banks own shares in each others' assets. Using these simplifications we derive an analytically tractable indicator for systemic risk based on the expected loss of banks in case of a default in the system. Analyzing this indicator we find that increasing the volatility of the assets and decreasing the level of equity both raises expected loss. Furthermore, interconnectedness in the system has an ambiguous effect. On the one hand it increases the diversification effect because banks can cover losses by holding assets of other banks. On the other hand if the connection is strong at the beginning, increasing it further induces additional expected loss by raising the probability of contagion.

*Keywords:* systemic risk, interbank market, financial contagion, game theory.