

Közzététel: 2021. július 13.

A tanulmány címe:

A sokterjedés szerkezeti jellemzőinek változásai a fejlett gazdaságok között

Szerzők:

ILOSKICS ZITA,

a PTE (Pécsi Tudományegyetem) tudományos segédmunkatársa,
az EconNet Kutatócsoport munkatársa,
az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont
Regionális Kutatások Intézetének tudományos segédmunkatársa
E-mail: iloskics.zita@tkk.pte.hu

SEBESTYÉN TAMÁS,

a PTE egyetemi docense,
az MTA-PTE Innováció és Gazdasági Növekedés Kutatócsoport tudományos munkatársa,
az EconNet Kutatócsoport munkatársa
E-mail: sebestyent@tkk.pte.hu

DOI: <https://doi.org/10.20311/stat2021.7.hu0661>

Az alábbi feltételek érvényesek minden, a Központi Statisztikai Hivatal (a továbbiakban: KSH) Statisztikai Szemle c. folyóiratában (a továbbiakban: Folyóirat) megjelenő tanulmányra. Felhasználó a tanulmány vagy annak részei felhasználásával egyidejűleg tudomásul veszi a jelen dokumentumban foglalt felhasználási feltételeket, és azokat magára nézve kötelezőnek fogadja el. Tudomásul veszi, hogy a jelen feltételek megszegéséből eredő valamennyi kárért felelősséggel tartozik.

1. A jogszabályi tartalom kivételével a tanulmányok a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény (Szt.) szerint szerzői műnek minősülnek. A szerzői jog jogosultja a KSH.
2. A KSH földrajzi és időbeli korlátozás nélküli, nem kizárólagos, nem átadható, térítésmentes felhasználási jogot biztosít a Felhasználó részére a tanulmány vonatkozásában.
3. A felhasználási jog keretében a Felhasználó jogosult a tanulmány:
 - a) oktatási és kutatási célú felhasználására (nyilvánosságra hozatalára és továbbítására a 4. pontban foglalt kivétellel) a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
 - b) tartalmáról összefoglaló készítésére az írott és az elektronikus médiában a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
 - c) részletének idézésére – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző(k) megnevezésével.
4. A Felhasználó nem jogosult a tanulmány továbbértékesítésére, haszonszerzési célú felhasználására. Ez a korlátozás nem érinti a tanulmány felhasználásával előállított, de az Szt. szerint önálló szerzői műnek minősülő mű ilyen célú felhasználását.
5. A tanulmány átdolgozása, újra publikálása tilos.
6. A 3. a)–c.) pontban foglaltak alapján a Folyóiratot és a szerző(ke)t az alábbiak szerint kell feltüntetni:

„Forrás: *Statisztikai Szemle* c. folyóirat 99. évfolyam 7. számában megjelent, *Iloskics Zita és Sebestyén Tamás* által írt, 'A sokterjedés szerkezeti jellemzőinek változásai a fejlett gazdaságok között' című tanulmány (link csatolása)”

7. A Folyóiratban megjelenő tanulmányok kutatói véleményeket tükröznek, amelyek nem esnek szükségképpen egybe a KSH vagy a szerzők által képviselt intézmények hivatalos álláspontjával.

Iloskics Zita – Sebestyén Tamás

A sokkterjedés szerkezeti jellemzőinek változásai a fejlett gazdaságok között*

Changes in the structural characteristics of shock propagation among developed economies

ILOSKICS ZITA,
a PTE (Pécsi Tudományegyetem)
tudományos segédmunkatársa,
az EconNet Kutatócsoport munkatársa,
az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat
Közgazdaság- és Regionális Tudományi
Kutatóközpont Regionális Kutatások
Intézetének tudományos segédmunkatársa
E-mail: iloskics.zita@tk.pte.hu

SEBESTYÉN TAMÁS,
a PTE egyetemi docense,
az MTA-PTE Innováció és Gazdasági
Növekedés Kutatócsoport tudományos
munkatársa,
az EconNet Kutatócsoport munkatársa
E-mail: sebestyent@tk.pte.hu

A globalizálódó világgazdaság a válságok terjedése szempontjából azt a kockázatot rejt, hogy a több dimenzió mentén szorosan összekapcsolódó régiók, nemzetgazdaságok sérülékenyebbé válnak a lokálisan jelentkező válságtünetekkel szemben: a sűrűbb gazdasági kapcsolatrendszer a különböző zavarok gyorsabb terjedéséhez vezet. Az utóbbi időben egyre népszerűbb hálózatelemzés hasznos eszköz lehet e kapcsolatrendszer feltérképezésében, annak különböző jelenségekre gyakorolt hatásának megismerésében. A kapcsolatok feltérképezhetők az egyes országok gazdasági idősorai szinkronizáltságának vizsgálatával. Korábbi elemzések e szinkronizáltság növekedését diagnosztizálják, kiemelve, hogy két ok állhat a háttérben: 1. a világgazdaság nagy részét érintő globális sokkok gyakoribbá válása vagy 2. a gazdasági szereplők viszonyrendszerének átrendeződése. A szerzők a világgazdaság 25 országának kapcsolatrendszerét térképezik fel a bruttó hazai termék (gross domestic product, GDP) növekedési ütemeinek együttmozgásán keresztül, 1961 és 2019 közötti negyedéves bontású adatokon. Az országok közötti hálózati kapcsolatokat páronkénti korrelációt és Granger-okságot tesztelő eljárásokkal definiálják, majd az ezekből felépített hálózatok szerkezetét, annak változását elemzik standard hálózati mutatók segítségével.

Eredményeik szerint a sokkok országok közötti terjedésének jelentős átrendeződése figyelhető meg a nagyobb válságok – elsősorban a 2008-as válság – során. Mindez azt a hipotézist

* A TKP2020-IKA-08 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a Tématerületi Kiválósági Program 2020 (2020-4.1.1-TKP2020) pályázati program finanszírozásában valósult meg. A szerzők köszönettel tartoznak a tanulmánnyal kapcsolatos körültekintő és építő jellegű megjegyzésekért.

támasztja alá, hogy a szinkronizáltság növekedése mögött az integráltság fokának aszimmetrikus változása, így a bilaterális viszonyrendszerek átrendeződése áll.

TÁRGYSZÓ: sokkterjedés, Granger-okság, üzleti ciklusok szinkronizáltsága

In terms of shock propagation, the globalising world economy carries the risk that regional and national economies, being closely interconnected along several dimensions, become more vulnerable to localized crisis symptoms: a denser economic interconnection leads to a more rapid spread of different types of shocks. Network analysis, which has become increasingly popular in several fields of study, can be a useful tool for mapping this interconnectedness and understanding its impact on different economic phenomena. The global structure of connections can be revealed by examining the synchronization of economic time series of countries. Previous analyses have identified an increase in this synchronization, pointing out that there are two possible causes in the background: 1. more frequent global aggregate shocks that affect most of the world economy or 2. the restructuring of the system of relations between economic agents leading to a more intense spread of shocks. In this study, the interconnectedness of 25 countries is mapped through the co-movement of their GDP growth rates, using quarterly data from 1961 to 2019. Using pairwise correlation and Granger causality testing methods, first the linkages between countries are examined, then the structure of the resulting networks and the changes in these structures are analysed using standard network indicators. The authors' analysis confirms that significant shifts can be observed in the spread of shocks across countries during major crises, especially in the 2008 crisis, thus supporting the hypothesis that an increase in synchronization is driven by an asymmetric change in the degree of integration and therefore a restructuring of bilateral relations.

KEYWORD: shock propagation, Granger causality, synchronization of business cycles

A Lehman Brothers 2008. szeptember 15-i csődbejelentését követően a pénzügyi összeomlás a korábbiakhoz képest gyorsabban söpört végig a nemzetközi piacon. Az események következményeképpen a gazdasági válságok megújult figyelmet kapnak, az egyre növekvő szakirodalom az okok megvitatása mellett (*Acharya–Richardson* [2009], *Crotty* [2009], *Obstfeld–Rogoff* [2009]) a következményeket is tárgyalja (*Foster–Magdoff* [2009], *Cecchetti–King–Yetman* [2011]), valamint megoldási javaslatokat nyújt. A válságot előidéző hagyományos tényezők (tartósan alacsony globális kamatlábak és pénzügyi egyensúlytalanság, emelkedő ingatlanárak, a pénzügyi eszközök árainak növekedése, piaci buborékok képződése) mellett a nemzetgazdaságok közötti kapcsolatok vizsgálata is egyre nagyobb szerepet kap.

A pénzügyi válság indukálta azt a kérdést is, hogy a gazdasági sokkhatások milyen módon és csatornákon terjednek különböző országok között, illetve ezzel

összefüggésben ráirányította a figyelmet a különböző gazdasági idősorok szinkronizáltságának fontosságára. Utóbbi jellemző feltárására többnyire korrelációvizsgálatot alkalmaznak, és alapvetően azt a kérdést teszik fel, hogy a korreláltság, vagyis az üzleti ciklusok szinkronizáltsága növekszik-e. Ezen a vonalon haladva *Doyle és Faust* [2002], [2005] arra hívják fel a figyelmet, hogy a korreláció növekedése két okból is bekövetkezhet. Egyrészt, ha a gazdaságok integráltabbá válásával erősödnek a sokkok terjedését elősegítő csatornák, másrészt, ha a globális, mindenkit érintő sokkok gyakrabban fordulnak elő (vagy ezzel ekvivalensen az egyes országokat érintő idioszinkratikus sokkok ritkábbak).

Tanulmányunkban az utóbbi jelenséget elemezzük a hálózatelemzés eszköztárának felhasználásával. Az országok közötti sokkok terjedését a szokásos korrelációs elemzésnél finomabb eredményt adó, Granger-féle oksági kapcsolatok feltárásán alapuló módszerrel térképezzük fel, és az így adódó terjedési hálózatok szerkezetét vesszük górcső alá. Így kifejezetten az előbb említett első felvetést tudjuk érdemben megvizsgálni, nevezetesen, hogy változott-e a sokkok terjedésének szerkezete a világgazdaságban, és ha igen, milyen minták mentén. Amennyiben a szerkezet változását tapasztaljuk, akkor ez alátámasztja, hogy az üzleti ciklusok szinkronizáltságának hátterében az integráció sokkterjedést elősegítő szerepe áll, éppen azért, mert ez az integráció szelektíven, a terjedési struktúrát megváltoztatva jelentkezik.

Elemzésünk a korábbiakhoz képest hosszabb időszakot és több országot szemrevételez. *Kose et al.* [2003], *Doyle és Faust* [2005], *Shin és Wang* [2005], valamint *Selover* [2004] az általuk vizsgált teljes időszakon az általános tendenciákra fókuszálnak a korrelációs, valamint a Granger-féle oksági kapcsolatok feltárása során. Ezzel szemben mi a tesztekkel kirajzolódó sokkterjedési kapcsolatok globális hálózatszerkezeti, topológiai tulajdonságaira helyezük a hangsúlyt, alkalmas hálózat-elemzési módszerek bevezetésével. Több más cikkhez hasonlóan (*Kose et al.* [2003], *Doyle–Faust* [2005], *Edirisuriya* [2010]) a gazdaságok együttmozgását a GDP-növekedési adatok segítségével mérjük. A vizsgált időszak negyedéves frekvencián az 1960-as évek elejétől a legutóbbi időkhöz (2019) terjed, így hosszabb távú tendenciák kirajzolására is lehetőség adódik.

A tanulmány felépítése a következő. A bevezetést követően rövid szakirodalmi áttekintést adunk a kapcsolódó kutatási eredményekről, és elhelyezzük vizsgálatunkat ezek rendszerében. Ezt követően bemutatjuk, hogy miként alakítottuk ki a topológiai elemzés alapját képező kapcsolati mátrixokat, és hogy ezeken a hálózatokon milyen elemzési módszert alkalmazunk. Külön fejezetben ismertetjük a kapott eredményeket, majd írásunkat rövid összeggel zárjuk.

1. Szakirodalmi háttér

A nemzetgazdaságok közötti (például közlekedési és szállítási, termék-, szolgáltatási, tőke-, munkaerő-, információ-) kapcsolatok komplex rendszert alkotnak, és különböző rétegeken keresztül fűzik össze a gazdaságokat. A komplex rendszerek vizsgálatára jellemző szemléletmód a rendszer elemeinek elkülönült vizsgálatával szemben az elemeket összekötő kapcsolatok, hálózatok szerkezetének elemzésére helyezi a hangsúlyt. A technológiai fejlődés hatására valamennyi hálózat egyre komplexebbé válik, melynek következtében mind gyakoribb a közgazdaságtanban a gazdasági jelenségek hálózatelméleti megközelítése – ezt a vonalat követjük mi is tanulmányunkban.

1.1. Komplex gazdasági rendszerek

Az országok közötti kapcsolatrendszerek szerkezetének, komplexitásának feltérképezése érdekében számos tanulmány alkalmaz hálózatelméleti megközelítést (lásd például *Farmer–Folay* [2009]). A komplexitás mértékének növekedését *Sheng* [2010] a globális pénzügyi piacok hálózatának bemutatásával példázza. E hálózat csúcsait a bankok alkotják, amelyek kapcsolatba lépnek ügyfeleikkel, és szolgáltatást nyújtanak számukra. A hálózatban kiemelt szerepet játszik a központi bank a bankközi tranzakciók közvetítőjeként. *Sheng* példájában ehhez a rendszerhez kapcsolódik a tőzsde, kereskedési és elszámolási központja a tőzsdei ügynökök sokaságának, akik viszont saját vásárlói hálózatukhoz fűződnek. A szerző a globalizáció szerepét hangsúlyozza, amely a korábban lokalizált pénzügyi piacok összekapcsolódásához vezetett, és komplexebb gazdasági működést eredményezett. Az így összetettebbé váló világgazdasági rendszer azonban könnyebben és gyorsabban fertőzödhet meg egy recesszió hatására (*Lámfalussy* [2008], *Farkas* [2009]), sőt a válságkezelés is nagyobb kihívást jelent. Fontos tehát feltérképezni azokat a kölcsönhatásokat, amelyek az országok közötti makrogazdasági folyamatokat vezérlik.

Serrano és Boguña [2003] komplex rendszerként elemzik a világ kereskedelmi hálózatát, amelyben a csúcsokat az országok testesítik meg, a közöttük levő kapcsolatokat az export- és importforgalom mutatja. A komplex rendszerekre jellemző tipikus tulajdonságok (például skálafüggetlenség) mellett pozitív korrelációt állapítanak meg a kereskedelmi kötélek száma és az országok fejlettsége között. *Fagiolo, Reyes és Schiavo* [2009] ehhez hasonlóan az országok közötti gazdasági és kereskedelmi kapcsolatok intenzitását elemzik. *Garlaschelli és Loffredo* [2005], valamint *Hoppe és Rodgers* [2015] a hálózatcsúcsok, az országok „fitneszértékét” vizsgálják, azaz, hogy egy csúcs milyen tulajdonságok alapján képes magához vonzani a többi

csúcspot. Eredményeik alapján a világkereskedelmi hálózatok esetében az országok fitneszértékének alakulásában a GDP fontos szerepet tölt be.

A világkereskedelmi hálózat topológiai tulajdonságainak változására hívja fel a figyelmet *De Benedictis és Tajoli* [2011]. Az országok közötti kereskedelmi hálózat sűrűsége növekedett, valamint az országok hálózatban betöltött szerepe is változott 1950 és 2000 között.

A kereskedelmi együttműködések túl a pénzügyi hálózatok is fontos csatornaként működhetnek a makrojelenségek kölcsönhatásaiban. A pénzügyi kapcsolatok elemzésével, feltérképezésével szintén több tanulmány foglalkozott már a 2008-as válságot megelőzően is. *Garlaschelli et al.* [2005] három pénzügyi rendszert térképeznek fel: az olasz tőzsde hálózatát, a New York-i tőzsdét, valamint a NASDAQ-ot. Elemzésükben a hálózatok csúcsait a részvények és a részvényesek alkotják, a közöttük levő kapcsolatokat, a részvények birtoklását pedig súlyozva veszik figyelembe.

A hálózatelmélet és a pénzügyi szakirodalom metszetében helyezkednek el azok a tanulmányok is, amelyek a pénzáramok modellezésére és a pénzügyi magatartás elemzésére koncentrálnak. *Kim et al.* [2002] a részvényárak változásait tanulmányozva megmutatják, hogy a vállalatok részvényárai függenek más vállalatok áraitól, *Tseng et al.* [2009] pedig arra hívják fel a figyelmet, hogy a piaci tranzakciós hálózatok szerkezetének alakulásában az intézményeknek és a piaci szerkezetnek fontosabb szerepük van, mint a szereplők stratégiai döntéseinek.

A hálózatelméleti módszert alkalmazó különböző közgazdasági kutatások egyetértenek abban, hogy a gazdasági rendszerek hasonló hálózati struktúrákkal rendelkeznek, továbbá, hogy ez a megközelítés újszerű, fontos szerepet játszik a szorosan összefüggő és összetett gazdasági rendszer megértésében. A valós hálózatok hasonló tulajdonságai segíthetnek a gazdasági hálózatokat érintő zavarok, sokkok jobb megértésében és hatékonyabb kezelésében is.

1.2. Rendszerkockázat a gazdasági hálózatokban

Amennyiben a nemzetgazdaságok közötti valamely makrogazdasági mutatók együttmozgását hálózatként értelmezzük, a gazdasági válságokat felfoghatjuk úgy is, mint a hálózatot ért zavarokat. *Csermely* [2005] szerint egy hálózat akkor stabil, ha az azt ért kisebb zavar után a hálózatot leíró változók, indikátorok közelítenek az eredeti állapotban mért értékekhez. A hálózat struktúrája, tehát a kapcsolatok elrendeződése jelentős mértékben felelős a hálózat stabilitásáért. Összehasonlítva a különböző struktúrákat megállapíthatjuk, hogy a véletlen hálózat (*Erdős–Rényi* [1959]) – amelyben a kapcsolatok létrejöttének valószínűsége azonos és független a hálózat bármely két csúcsa között – magas hibatoleranciával jellemezhető, szerkezete robusztusabb más hálózatokhoz képest. Ennek oka, hogy a véletlen hálózatok csúcsai

hasonló fokszámmal (kapcsolatszámmal) rendelkeznek. Így a hálózatok sokkokra adott reakcióját nem befolyásolja, ha véletlen hiba vagy valamely csúcsot célzó támadás éri őket. Ezzel szemben a társadalmi-gazdasági rendszereket jellemző skálafüggetlen hálózatokban, ahol néhány csúcs kiugróan magas fokszámú (*Albert–Jeong–Barabási* [2000]), a hibatoleranciát nagymértékben befolyásolja a sokk/támadás típusa. A célzott támadásokra legérzékenyebben az egyközpontú csillagszerkezet reagál. A stabilitás tehát növelhető a decentrumok létrejöttével, egy modulárisabb szerkezettel, ami azonban a kapcsolatok redundanciájának növelésével jár. Abban az esetben, ha a rendszer nem tud stabilizálódni a sokk hatására, mert nem elég stabil a támadás kivédéséhez, akkor strukturális átalakuláson halad keresztül. Többen a fizikából ismert topológiai fázisátmenet jelenségének analógiáját használják egyes gazdasági események leírására, amelyek háttérében a piaci szereplők közötti tranzakciós hálózatok szerkezetének radikális átalakulását feltételezik (például *Csermely* [2005]).

A közgazdasági irodalom (*Serrano–Boguña* [2003], *Fagiolo–Reyes–Schiavo* [2009], *Radović–Stanković* [2012]) szerint a szerkezeti átalakulások jelensége megfigyelhető a valós gazdasági hálózatokban is. *He* és *Deem* [2010] a globalizációt és a recessziókat vizsgálják a világkereskedelmi hálózatban az elmúlt 40 távlatában. A gazdaságra mint fejlődő rendszerre alkalmazzák a fizikában használt evolúciós előrejelzéseket. Következtetésük szerint a jelenlegi gazdasági hálózat sokkal érzékenyebben reagál a sokkokra, mint 40 évvel korábban. *Berlinger*, *Michaletzky* és *Szenes* [2011] a 2008-as válság körüli strukturális átalakulásokat keresik a magyar fedezetlen bankközi forintpiac hálózatán. Eredményeik alapján a hálózat szerkezetében felismerhetők jelentős különbségek a Lehman Brothers összeomlása előtt és után. *Nobi et al.* [2013] a koreai pénzügyi piacok hálózatának strukturális átalakulását azonosítják a 2008-as válság előtt és után. *Wilinski et al.* [2013] 2005 és 2008 között a frankfurti tőzsdét vizsgálva találnak empirikus bizonyítékot a fázisátalakulás jelenségére a pénzügyi összeomlás következtében. *Sienkiewicz et al.* [2013] szintén hierarchikusabb szerkezetről számolnak be a varsói tőzsde hálózatán.

Schweitzer et al. [2009] a gazdaság evolúciós átalakulásait is tanulmányozzák. Véleményük szerint azért kihívást jelentő feladat előre jelezni a fázisátalakulásokat, mert a rendszer szerkezete a különböző fázisokban egészen máshogy viselkedhet. A strukturális átalakulások vizsgálatával azonban egy keretet építhetünk, melynek segítségével közelebb kerülhetünk a válságok előrejelzéséhez, elemzéséhez, a rendszerek robusztusabbá tételéhez.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a pénzügyi piacok integráltsága növekszik, a gazdasági rendszerek a globalizáció hatására egyre komplexebbek lesznek, tehát az országok gazdasági növekedése szinkronizáltabbá válhat. Ez egyben a nagyobb sérülékenység kockázatát hordozza, a kialakuló komplex hálózatokban az esetleges hálózati hibák gyorsabban tudnak terjedni. Tanulmányunkban a gazdasági

sokkok terjedését leíró hálózat szerkezetéből, egészen pontosan annak az előbbieken bemutatott véletlen hálózathoz való viszonyából következtetünk arra, hogy ezek a kockázatok milyen mértékűek.

2. Módszertan és adatok

Empirikus elemzésünk célja megvizsgálni, hogy az országok GDP-növekedési rátáinak együttmozgását hálózatként értelmezve milyen strukturális átalakulások azonosíthatók. A szakirodalomban már alkalmazott korrelációs metodika logikáját követve térképezzük fel a világgazdaság 25 országának kapcsolatrendszerét 1961 és 2019 között. A vizsgált hálózat csúcsait az országok alkotják, a közöttük levő éleket pedig a GDP-növekedési ütemek együttmozgása alapján definiáljuk az itt bemutatandó módszerrel.

2.1. Hálózati szerkezet meghatározása

Az előbbieken felvázolt hálózatok elemzéséhez végső soron az azok csúcsai (esetünkben országok) közötti kapcsolatokat (esetünkben GDP-együttmozgás) leíró adatstruktúrára van szükségünk. A kapcsolati mátrix alkalmas leírását adja a hálózat szerkezetének: az A kapcsolati mátrix általános a_{ij} eleme azt mutatja meg, hogy az i és j csúcsok között létezik-e kapcsolat.¹ A következőkben levezetjük, hogy az elemzéshez milyen módon határozzuk meg a kapcsolati mátrix a_{ij} elemeit.

Számításaink kiindulópontját, a mintába vont 25 ország negyedéves GDP-növekedési ütemeinek idősorát általánosan $x_{i,\tau}$ -val jelöljük, amely tehát az i ország negyedéves GDP-növekedési rátája a τ időszakban (negyedévben). Annak érdekében, hogy dinamikus vizsgálatokat végezzünk, továbbá a hosszú idősor heterogenitását kezeljük, a teljes idősort gördülő időablakok módszerével bontjuk meg egymással átfedő időszakokra.²

¹ Az a_{ij} értékek utalhatnak csak a kapcsolatok létezésére, ekkor értékük 0 vagy 1, de tartalmazhatnak információt a kapcsolatok súlyáról/intenzitásáról is, ekkor tetszőleges valós értéket vehetnek fel. Jelen tanulmányban kétértékű kapcsolatokkal dolgozunk, vagyis csak azok létét, nemlétét vizsgáljuk.

² Lásd például *Balcilar–Ozdemir* [2013] tanulmányát Japán exportja és kibocsátása közötti oksági kapcsolat vizsgálatáról, illetve *Kar–Nazlıođlu–Ađir* [2011] írását a pénzügyi fejlődés és a gazdasági növekedés kapcsolatáról a MENA- (Middle East and North Africa – Közel-Kelet, Észak-Afrika) országokban.

A gördülő ablakok hosszát 52 negyedévben határozzuk meg, ami 13 évet jelent. Az első időablak 1961 második negyedévtől 1974 első negyedévéig tart, majd a második időablak 1961 harmadik negyedévtől 1974 második negyedévéig és így tovább. A módszerrel összesen 183 teljes időablakot kapunk, ez lesz tehát a vizsgálható időszakok nagysága. Az időablakok hosszának kiválasztásában két egymásnak ellentmondó szempontot kell figyelembe vennünk: egyrészt a hosszabb időablakok a becslések pontosságát növelik, másrészt viszont a rövidebb ablakok pontosabb képet adnak a rövidebb távú változásokról, kevésbé fedik el az egyes időszakok speciális körülményeit.

Ez azt jelenti, hogy egy adott hálózat meghatározásához a t időszak GDP-növekedési ütemeinek csak egy részhalmazát használjuk fel. Az időablakok, vagyis a végső elemzésbe került időszakok indexálásához az adott ablak kezdő negyedévéét vesszük, így tehát a t időablakot leíró adatokat a következőképp definiálhatjuk:

$$x_{i,t}^w = \left(x_{i,\tau} \mid x_{i,\tau} \in \{x_{i,t}, x_{i,t+1}, \dots, x_{i,t+51}\} \right).$$

Az elemzésünkhöz a nyers adatokból két módszerrel készítjük el az országok közötti hálózatot leíró kapcsolati mátrixokat. Elsőként Pearson-féle korrelációs együtthatókat számítunk, ami a vektorpárok közötti együttmozgás vizsgálatának standard módszere. A korreláción alapuló hálózatelemzésre több példát is találunk a szakirodalomban. *Nobi et al.* [2013], valamint *Ren és Zhou* [2014] például pénzügyi termékek árfolyamváltozásai közötti korrelációs kapcsolat alapján definiálnak hálózatokat, és az így kialakult együttmozgási struktúrákat elemzik. *Doyle és Faust* [2002], [2005] szintén korreláció segítségével elemzik a GDP-növekedési ráták együttmozgását, azonban ők hálózatelemleti megközelítést nem alkalmaznak.

Esetünkben szintén korrelációs együtthatókkal vizsgáljuk azt, hogy két ország GDP-növekedési rátája között létezik-e lineáris kapcsolat, avagy lineárisan függetlenek-e egymástól. Annak érdekében, hogy a korrelációs és a Granger-okságon alapuló eredmények összevethetők legyenek, egyperiódusos késleltetést alkalmazunk. Tehát valamennyi országpárra (i ország GDP-növekedési rátái és j ország egy negyedévvvel késleltetett GDP-növekedési ütemei között) elvégezzük a korrelációs számítást egy adott időablakon belül a következő formula szerint:

$$\rho_{ij,t} = \frac{1}{N-1} \sum_{\tau=t}^{t+51} \left(\frac{x_{i,\tau} - \bar{x}_{i,t}}{\sigma_{i,t}} \right) \left(\frac{x_{j,\tau-1} - \bar{x}_{j,t}}{\sigma_{j,t}} \right), \quad (1)$$

ahol i és j országok GDP-növekedése közötti korrelációs együtthatót $\rho_{ij,t}$, i ország növekedési rátáinak átlagát $\bar{x}_{i,t}$, szórását $\sigma_{i,t}$ jelöli a t időablakban.

A számítások során az időablakok számával megegyező korrelációs együttható és p -érték mátrixot képezünk, amelyek segítségével valamennyi időablakra meghatározhatjuk a korrelációs kapcsolati mátrixok elemeit a következő módon. A korreláció szignifikanciájának vizsgálatához minden országpár és időablak esetében a következő hipotézist teszteljük: $H_0 : \rho_{ij,t} = 0$. Ezzel tehát időablakonként számos hipotézis egyidejű tesztelését valósítjuk meg részlegesen átfedő mintákon. A hipotézisek többszörös tesztelése azonban növeli annak az esélyét, hogy túlbecsüljük a hálózatok kapcsolatainak számát a tévesen elutasított hipotézisek (elsőfajú hiba) felhalmozódása során. A hamis felfedezési arány (false discovery rate, FDR) kontrollálása érdekében *Benjamini* és *Hochberg* [1995] módszerét alkalmazzuk *Groppe* [2020] `fdr_bh` Matlab függvénye alapján. A teszt során az alapértelmezett 5 százalékos hamis felfedezési arányt választjuk, ami azt jelenti, hogy elfogadjuk az elutasított nullhipotézisek 5 százalékát. A kapcsolati mátrix elemei ($a_{ij,t}^K$), ahol K a korrelációt jelenti:

$$a_{ij,t}^K = \begin{cases} 1, & \text{ha } p_{ij,t} \leq f_{ij,t}, \quad i \neq j \text{ és } \rho_{ij,t} > 0 \\ 0, & \text{egyébként} \end{cases}, \quad (2)$$

ahol $p_{ij,t}$ a $\rho_{ij,t}$ korrelációs együtthatóhoz tartozó p -érték, $f_{ij,t}$ pedig az FDR-módszer alapján meghatározott kritikus érték. Abban az esetben, ha a korrelációs együttható mátrixok elemei szignifikánsak és pozitív értéket vesznek fel, akkor a korrelációs kapcsolati mátrix adott eleme 1 lesz, tehát az adott országpár korrelációs kapcsolatát létezőnek tekintjük. Negatív vagy nem szignifikáns korreláció esetén a kapcsolati mátrix értéke 0, a két ország közötti korrelációs kapcsolat nem létezik. A pozitívitás azért szükséges feltétel, mert a GDP-növekedési ráták szinkronizáltságát keressük, így a negatív korreláció elemzésünk szerint nem teljesíti az országok teljesítményének azonos irányú mozgására vonatkozó feltételt. A kapcsolati mátrixok aszimmetrikusak, így az általuk felírt hálózatok irányítottak, ami esetünkben azt jelenti, hogyha i ország és j ország növekedési rátái között van késleltetett kapcsolat az adott t időablakban, abból nem következik automatikusan, hogy j ország és i ország növekedési rátái között is létezik késleltetett kapcsolat ugyanebben a t időablakban.

Bár a korreláció első közelítésben jó mutatója a GDP-növekedési ráták együttmozgásának, arról keveset tud mondani, hogy i ország növekedése befolyásolja-e j ország növekedését – másképpen, a korreláció nem megfelelő ok-okozati összefüggések feltárására. A *Granger* [1969] alapján meghatározott, időszerelemzésben gyakran alkalmazott Granger-okság alkalmas az idősorok közötti együttmozgás

feltárására, a válságjelenségek terjedésének elemzésére. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a Granger-okság alapján feltárt ok-okozati kapcsolatok nem minden esetben jelentenek tényleges ok-okozati kapcsolatokat – azaz, hogy A esemény bekövetkezése B esemény bekövetkezéséhez vezet. Az idősorok közötti – különböző felfogásokon alapuló – oksági kapcsolatok tesztelését és filozófiai megközelítéseit *Rappai* [2011] tekinti át. A Granger-okság szerint j akkor Granger-oka i -nek, ha jobb előrejelzést kapunk i -re úgy, hogy j a magyarázó változók között szerepel, mint amikor csak i múltbeli értékeit vizsgáljuk. A szakirodalomban a rendszerszintű kockázatok irodalmához egy Granger-okságot is tesztelő tanulmány járul hozzá (*Zheng et al.* [2012]). A szerzők a 10 legnagyobb európai gazdasági szektor indexeire páronkénti Granger-féle okságteszt alkalmazásával „dinamikus oksági indexet” számítanak. Elemzésük nem hálózatelméleti, azonban ez az index a hálózatelméletben ismert sűrűség definíciója (a kapcsolatok számának és az összes lehetséges kapcsolatok számának hányadosa). Megállapításaik szerint a dinamikus oksági index meredeken növekszik a pénzügyi válságot megelőzően, így fejezve ki a rendszerszintű kockázat növekedését a válság ideje alatt. Vizsgálatunkban ezt az eredményt egészítjük ki az országok közötti kapcsolatok szerkezetének mélyebb elemzésével.

Tanulmányunkban a Granger-féle okságtesztet arra használjuk, hogy a vizsgálandó kapcsolati mátrixok elemeit meghatározzuk: i és j országok között akkor feltételezünk kapcsolatot e szerint a módszer szerint, ha i ország GDP-növekedése Granger-oka j ország GDP-növekedésének. *Granger* [1969] és *Sims* [1972] alapján azt vizsgáljuk, hogy az i ország τ időszaki GDP-növekedési rátájára jobb előrejelzést kapunk-e, ha j ország korábbi GDP-növekedési ütemét is a magyarázó változók között szerepeltetjük. A kétváltozós Granger-okságot esetünkben a következő kétváltozós regressziós modell segítségével teszteljük *Boldi* [2020] *Granger_Cause_1* Matlab függvénye alkalmazásával:

$$x_{\tau,i} = \alpha_0^1 + \sum_{l=1}^L \alpha_l^1 x_{\tau,i-l} + \varepsilon_{\tau}, \quad (3)$$

$$x_{\tau,i} = \alpha_1^2 + \sum_{l=1}^L \alpha_l^2 x_{\tau-l,i} + \sum_{l=1}^L \beta_l x_{\tau-l,j} + \mu_{\tau}, \quad (4)$$

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots \beta_l = 0.$$

Elsőként egy szűkebb (restricted) modellt (3) vizsgálunk, amely autoregresszív folyamatot ír le l számú késleltetés mellett, és i ország GDP-növekedésének becslése kizárólag múltbeli adatai alapján történik. A késleltetések számának meghatározásához a Bayes-féle információs kritériumot (Bayesian information criterion, BIC) veszi

figyelembe a program. A bővebb (unrestricted) modell (4) azonban j ország múltbeli adatait is felhasználva készít előrejelzést. A modellek becslését követően az F -próba az eltérés-négyzetösszegek (residual sum of squares, RSS) segítségével határozható meg, és a kritikus értékek alapján eldönthető, hogy j ország múltbeli növekedése szignifikánsan hozzájárul-e i ország növekedési ütemének pontosabb becsléséhez.

Mindezek alapján a Granger-okságon alapuló kapcsolati mátrixok elemeit 5 százalékos szignifikanciaszint mellett a következő definícióval adhatjuk meg:

$$a_{ij,t}^G = \begin{cases} 1, & \text{ha } p_{ij,t}^G \leq f_{ij,t}^G, \quad i \neq j, \\ 0, & \text{egyébként} \end{cases}, \quad (5)$$

ahol a G felső index a Granger-okságon alapuló hálózatot (továbbiakban Granger-okság-hálózat) jelöli. A korreláción alapuló hálózathoz (továbbiakban korrelációs hálózat) hasonlóan a Granger-okság-hálózatok is irányítottak, mivel i ország GDP-változása okozza j ország GDP-változását, ez fordítva nem feltétlenül igaz.

2.2. Adatok

A nemzetgazdaságok közötti együttmozgás vizsgálatához negyedéves, szezonálisan kiigazított GDP-növekedési adatokat használunk, amelyek a korábbi negyedévhez képest százalékos változásban az OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development – Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet) adatbázisában állnak rendelkezésre. Az országok kiválasztásában a legfőbb szempont az, hogy a lehető leghosszabb időszakot tudjuk megvizsgálni. 1961 második negyedéve és 2019 harmadik negyedéve között (234 megfigyelés) 25 országra érhető el az adatok: Egyesült Államok, Ausztrália, Ausztria, Belgium, Dánia, Dél-Afrika, Dél-Korea, Egyesült Királyság, Finnország, Franciaország, Görögország, Hollandia, Írország, Izland, Japán, Kanada, Luxemburg, Mexikó, Németország, Norvégia, Olaszország, Portugália, Spanyolország, Svájc, Svédország.

Annak érdekében, hogy az elemzés során megvizsgáljuk az elmúlt időszak válságai körül történt esetleges szerkezeti változásokat, meg kell határoznunk a válságok kezdeti időpontjait. A szakirodalom által megjelölt kezdeti időpontok mellett figyelembe vettük, hogy a recesszió az idősorok mely negyedéveiben jelentkezik először. Ezek alapján elsőként meghatároztuk azokat a negyedéveket, amelyekben recesszió kezdődött, így elemzésünk teljes időszakára beazonosíthatóvá vált, hogy mely időablakok érintettek, és ezeket már válság alattinak tekintjük. (Lásd a táblázatot.)

A gazdasági válságok kezdetének időszaka és időablaka
(The period and time window at the start of economic crises)

Gazdasági válság	A válság kezdeti időszaka	Időablak
Második olajválság	1979. második negyedév	22.
Latin-amerikai adósságválság	1982. harmadik negyedév	35.
Mexikói pesoválság	1995. negyedik negyedév	88.
Kelet-ázsiai pénzügyi válság	1998. második negyedév	98.
Orosz pénzügyi válság, brazil válság	1999. harmadik negyedév	103.
Dotcom válság	2000. harmadik negyedév	107.
2008-as gazdasági világválság	2008. harmadik negyedév	139.

A Granger-okság vizsgálata előtt ellenőriznünk kell az idősorok stacionaritását. Ehhez kiterjesztett Dickey–Fuller- (augmented Dickey–Fuller, ADF) és a Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin- (KPSS) tesztet végzünk az R program aTSA nevű csomagjában (Qiu [2015]) található `kps.test` és `adf.test` függvények segítségével. Az ADF-teszt szerint a teljes elemzési időszak nem tartalmaz egységgyököt, azaz stacionáriusnak tekinthető. A KPSS-teszt alapján a stacionaritás néhány ország esetében csak alacsonyabb szignifikanciaszint mellett állapítható meg, illetve egyetlen ország idősorára nem teljesül. A Granger-okságot azonban nem a teljes időszakon, hanem 183 időablakon vizsgáljuk, így ezekre is elvégezzük a stacionaritás tesztet. Az ADF-teszt alapján 10 százalékos szignifikanciaszinten az időablakok 93,81 százalékára, 5 százalékos szignifikanciaszinten 86,21 százalékára nem teljesül a nullhipotézis, tehát nem tartalmaznak egységgyököt. A KPSS-teszt alapján az időablakok 80,04 százaléka 1 százalékos szignifikanciaszinten, 89,29 százaléka 5 százalékos szignifikanciaszinten és 97,22 százaléka 10 százalékos szignifikanciaszinten stacioner, tehát nem teljesül a nullhipotézis.³ A tesztek alapján elsősorban Görögország, Spanyolország, Írország, Mexikó és Japán tekintetében találunk nemstacioner időablakokat. A többi ország esetében a 2008-as válság körüli néhány időablaktól eltekintve – amikor az országok GDP-növekedése meredeken visszaesett – nincs olyan időablak, amelyre jellemző a stacionaritás hiánya, így az eredmények egységessége érdekében nem végeztünk további átalakítást a nemstacioner időablakokon.⁴ Ezen felül kiemelendő, hogy amennyiben a teljes idősorra elfogadható a stacionaritás (az ADF-teszt alapján esetünkben igen), úgy feltehető, hogy az adatgeneráló folyamat várható értéke és varianciája is állandó a teljes idősoron, és ez igaz az egyes időablakokra is, még ha azok relatív rövidségéből fakadóan a tesztek ezt nem mutatják ki.

³ A stacionaritástesztek eredményeinek összefoglaló táblázatait a Függelék tartalmazza.

⁴ Vizsgálatainkat elvégeztük a differenciált idősorokon is. Összevetettük eredményeinket, amelyek erős korrelációt mutattak, így a kapcsolatok közgazdasági értelmezése érdekében a nemdifferenciált idősorok alkalmazása mellett döntöttünk.

2.3. Hálózatelemzési módszerek

Mindezek után rendelkezésünkre áll az országok GDP-növekedési rátái közötti kapcsolati hálózat hosszú időszora korreláció és Granger-okság módszerével számítva. Ezeken a kapcsolati hálókon (mátrixokon) tudjuk a hálózatelemzés módszereit alkalmazni a sokkterjedés szerkezeti változásainak vizsgálatára. A továbbiakban röviden ismertetjük a tanulmányban használt hálózati mutatókat.

A legalapvetőbb hálózati mutató a hálózatok mérete, amely a csúcsok számosságát jelenti, esetünkben ez állandó, a mintánkban szereplő 25 ország. Az élek száma a következő formulával határozható meg minden t időablakra:

$$L_t^k = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij,t}^k, \quad (6)$$

ahol $k \in \{K, G\}$, tehát a korrelációs és Granger-okság-hálózatokra ugyanazt a módszert alkalmazzuk.

További alapvető hálózati mutató a csúcsok fokszáma, amely megadja, hogy egy adott csúcs hány éllel rendelkezik. Ez a lokális mutató aggregálható az átlagos foksám számításával, amely megmutatja, hogy átlagosan mennyi éllel rendelkezik egy csúcs a hálózatban. A szimmetrikus korrelációs hálózatban ez egyszerűen a foksámok átlagaként határozható meg (*Barabási* [2016]). Ezzel szemben hálózataink irányítottak, amely azt jelenti, hogy megkülönböztetjük az adott csúcs felé mutató „be-foksámokat” és a csúcsból kifelé mutató „ki-foksámokat”. Bár a csúcsok szintjén (különösen aszimmetrikus hálózati szerkezet esetén) a kétféle foksám között akár jelentős eltérés is lehet, az átlagos foksám számításánál a különbség eltűnik, mivel végső soron itt is az élek átlagos számát kapjuk. Összefoglalóan tehát az átlagos foksám (D) számítása:

$$D_t^k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij,t}^k = \frac{L_t^k}{N}, \quad (7)$$

ahol ismét $k \in \{K, G\}$. Az átlagos foksám normalizált változata a hálózat sűrűségét (F) mutatja, azaz, hogy a csúcsok közötti maximális lehetséges kapcsolatból arányai-ban mennyi van ténylegesen jelen. Számítása egyszerűen:

$$F_t^k = \frac{D_t^k}{N-1} = \frac{L_t^k}{N(N-1)}. \quad (8)$$

A sűrűség 0 és 1 közötti értékeket vehet fel (előbbi esetben a hálózat üres, utóbbiban teljes), és változásából a vizsgálatba vont országok közötti GDP-együttmozgás kiterjedtségére következtethetünk. Feltehetően egy válságperiódusban a csúcsok átlagos fokszáma/sűrűsége magasabb lesz, hiszen globális gazdasági válságok esetén az érintett országok GDP-növekedése egyszerre lelassulhat, vagy negatívvá válhat. Érdekes lehet azonban megvizsgálni, hogy a sűrűség változása a válság kialakulásához képest mikor következik be: a válság kitörésnek pillanatában, azt követően vagy azt megelőzően növekednek-e a fokszámok.

További hálózati mutatónk a csúcsok közötti legrövidebb út hossza. A kapcsolati mátrix ismeretében például Dijkstra-algoritmussal számítható minden i és j csúcs között $d_{ij,t}^k$ legrövidebb út (amely a két csúcsot összekötő élsorozatok közül a legrövidebbnek a hossza). A csúcspárokra vonatkozó mutatóból egyszerű átlagolással kapjuk az átlagos elérési utat (P), amely a hálózat csúcsai közötti tipikus távolságot mutatja meg (*Barabási* [2016]):

$$P_t^k = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N d_{ij,t}^k. \quad (9)$$

Az átlagos elérési út esetünkben úgy interpretálható, hogy két ország között hány korrelációs/Granger-okosági kapcsolaton keresztül vezet út. Amennyiben ez a mutató magas értéket vesz fel, az azt jelenti, hogy a hálózatban kevesebb direkt hatás van jelen, tehát egy adott ország GDP-növekedési üteme jellemzően többszörös áttételeken keresztül hat más országok GDP-növekedésére. A mutató alacsony értékénél a közvetett sokterjedés jellemzőbb. Előbbi esetben nagyobb az esélye annak, hogy a lokális sokkok terjedése elhal, míg az utóbbi gyors terjedést tesz lehetővé. A sűrűség tehát megmutatja az összekapcsoltság mértékét, hogy a potenciális kapcsolatokból hány tényleges figyelhető meg, és az átlagos elérési út mutatója ezt kiegészíti a meglévő kapcsolatok elhelyezkedésével, vagyis a hálózat szerkezetének alakulásával. Azonos sűrűségű hálózat elképzelhető úgy is, hogy az országok láncszerűen kapcsolódnak egymáshoz, vagy egy országhoz kapcsolódik az összes többi ország. A mutató megértését segíti, ha azt össze tudjuk vetni hasonló tulajdonságú (azonos méretű és sűrűségű) referenciahálózatok átlagos elérési útjaival.

A hálózat csúcsainak lokális környezetét írja le a klaszterezettségi együtttható (C), amely azt jelzi, hogy egy adott csúcs közvetlen szomszédjai a hálózatban milyen sűrűn kapcsolódtak, azaz mennyi él található közöttük az elképzelhető maximálishoz képest. Az így számítható lokális klaszterezettségi mutatók átlagaként adódik az átlagos klaszterezettség, amely azt fejezi ki, hogy mennyire jellemző a hálózatra a zárt lokális csoportok jelenléte, vagy másképpen, egy véletlenszerűen választott csúcs két szomszédja mekkora valószínűséggel kapcsolódik egymáshoz (*Barabási* [2016]):

$$C_t^k = \frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{N_{i,t} (N_{i,t} - 1)} \sum_{j|d_{ij,t}^k=1} \sum_{k|d_{ik,t}^k=1} a_{jk,t}^k, \quad (10)$$

ahol $N_{i,t}^k = \sum_j a_{ij,t}^k$ az i csúcshoz szomszédjainak száma a t időablakban. Az irányított hálózatok klaszterezettségének számításához *Clemente és Grassi* [2017] DirectedClustering csomagját alkalmaztuk az R szoftverben.

A korreláció és Granger-okság kontextusában a klaszterezettség szintén fontos indikátora a hálózat szerkezetének. Amennyiben ez a mutató magas értéket vesz fel, az azt jelenti, hogy léteznek olyan országcsoportok, amelyekben belül a sokkok terjedése gyorsabb az erősebb kapcsolttság okán. Alacsony érték esetén ez a fajta csoportosulás nem jellemző, a hálózat tulajdonságai véletlenszerűbbek. A mutató azért is érdekes, mert azt az átlagos elérési út értékéhez viszonyítva fontos következtetések vonhatók le a válság terjedésével kapcsolatban.

Az előbbieken bemutatott topológiai indikátorok a hálózat szerkezetére vonatkozó információt erősen tömörítik, aggregálják. Részletesebb képet kaphatunk a hálózat szerkezetéről, ha a topológiai információt kevésbé sűrítjük. E tekintetben a tanulmányban a sokkterjedési hálózatok modularitását vizsgáljuk, ami azt mutatja meg, hogy milyen mértékben oszthatók fel a hálózat csúcsai olyan csoportokra, modulokra, amelyek nagyobb belső sűrűséggel rendelkeznek, miközben a csoportok közötti sűrűség kisebb. A modularitás kiszámításához a modulok meghatározása szükséges, amelyhez Louvain-féle közösségképző algoritmust alkalmazunk (*Blondel et al.* [2008]) az R program igraph csomagja felhasználásával (*Csardi–Nepusz* [2006]). A módszer a hálózatok kapcsolati irányát nem veszi figyelembe, így az irányított kapcsolatokat irányítatlanná alakítottuk az élek súlyainak összegzésével. Itt a magas modularitás azt jelenti, hogy a sokkok nagyobb valószínűséggel terjednek bizonyos országok között, és kisebb eséllyel lépik át az országcsoportok határát.

Annak érdekében, hogy a hálózatszerkezeteket vizuálisan is áttekinthessük, minimális költségű feszítőfa eljárással szűrtük ki a legfontosabb kapcsolatokat a hálózatból. *Prim* [1957] algoritmusát alkalmaztuk az R program igraph csomagjának felhasználásával, amely egy kezdő csúsból építi fel a kapcsolódó legkisebb élek hozzáadásával a feszítőfát. Mivel esetünkben a legerősebb kapcsolatokat szűrjük ki, a standard eljárást az élek súlyainak reciprokára alkalmaztuk.

A sűrűség, az úthossz és a klaszterezettség a hálózat globális topológiai mutatói, így longitudinális elemzésük egyszerűen kivitelezhető: valamennyi mutató idősorra könnyen ábrázolható és elemezhető. A modularitás és kifejezetten a feszítőfán alapuló teljes hálózati szerkezet azonban egy adott időablakra vonatkozóan sokkal részletesebb képet adja a hálózatnak, így ezekben az esetekben a keresztmetszeti

(egy időablakra vonatkozó) és az időbeli elemzés együttesen nehézkes. A tanulmányban éppen ezért a modularitás és a feszítőfa tekintetében az idődimenziót redukáljuk, és hosszabb időszakokra átlagolva végezzük el számításainkat. Mivel a 2008-as válság kezdeti időpontja egy cezúra az időszakok között, így azok átlagolásával összehasonlíthatjuk a válság előtti és a válság alatti (2008-as válságot tartalmazó időablakok) Granger-okság-hálózatokat. A válság kezdeti időpontját megelőző 45 és az ezt követő 45 időablakot tömörítettük két időszakon összegzett kapcsolati mátrixba: a kapcsolati mátrixok elemei az országpárok közötti Granger-okság-kapcsolatok számát tartalmazzák az adott 45 időablakra. Így a két időszakra egy-egy súlyozott és irányított hálózatot kapunk, ahol az élek súlyai azt jelölik, hogy az adott időszakban milyen gyakorisággal mutatható ki Granger-okság két ország növekedési ütemei között.

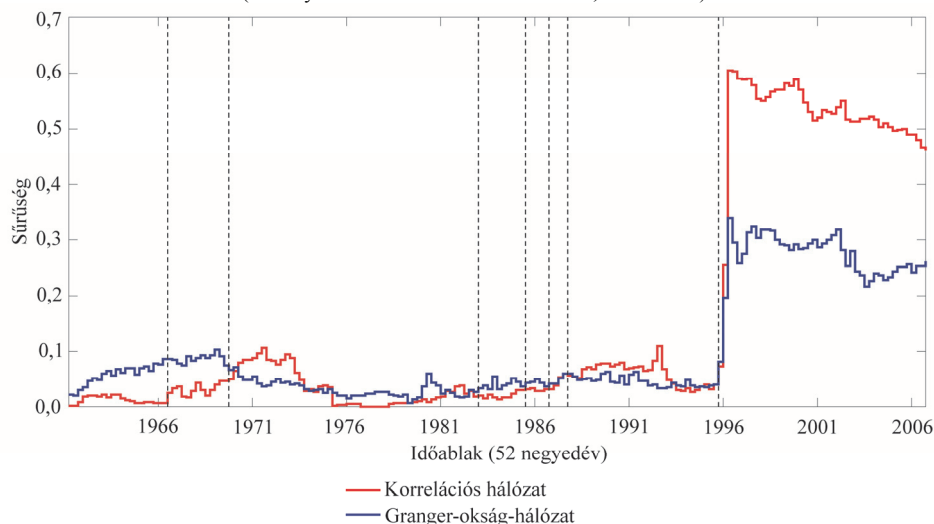
3. Eredmények

Az előző fejezetben bemutattuk azokat a módszereket, amelyekkel a gazdasági sokkok országok közötti terjedését, egészen pontosan a terjedés mintázatát, szerkezetét vizsgálni tudjuk. A továbbiakban azokat az eredményeket ismertetjük és értelmezzük, amelyeket ezzel a módszertannal kaptunk.

3.1. Hálózatsűrűség

Az első mutató – amellyel a hálózat szerkezeti változásait vizsgáljuk –, az átlagos fokszámokon alapuló (8) hálózatsűrűség a hálózat relatív „feltöltöttségét” mutatja. Jelen kontextusban ez azt tükrözi, hogy átlagosan mennyire jellemző egy adott időablakban az, hogy valamely ország növekedési üteme *I.* korrelál, *2.* befolyásolja valamely másik ország növekedési ütemét. Az 1. ábra a sűrűség alakulását mutatja a két vizsgált (korrelációs és Granger-okság) hálózatban. A vízszintes tengelyen az időablakokat jelöltük, a függőleges tengely a sűrűség értékét jelzi. Az ábrán függőleges szaggatott vonallal kiemeltünk néhány jelentősebb válságot, mindig az adott válság kezdő időpontjára utalva (vagyis a szaggatott vonallal jelölt időablak az első, amelyben az adott válság megjelenik).

1. ábra. A GDP-együttmozgás-hálózatok sűrűségének alakulása, 1961–2019
(Density of GDP co-movement networks, 1961–2019)



Mindkét hálózatban relatív kis sűrűséget figyelhetünk meg a 2008-as válságot megelőzően, amely 0 és 10 százalék közötti sávban mozog, tehát a hálózatok relatíve ritkának tekinthetők a 2008-as válságot megelőzően. Mindkét hálózatra jellemző az 1960-as évektől a sűrűség fokozódása a második olajválság és a latin-amerikai adósválság kezdeti időszakában is. Ezt az 1960-as évek végén a Granger-okság-hálózat, majd az 1970-es évek közepén a korrelációs hálózat esetében is hirtelen csökkenés törli meg. Ez a tendencia az 1970-es évek második felétől visszafordul, és a hálózati sűrűségek mérsékelten, de stabilan emelkedni kezdenek. A növekedés a mexikói, a kelet-ázsiai, az orosz, a brazil és a dotcom válság kezdeti időszakában a legnagyobb ütemű. A korrelációs hálózat sűrűsége stabilan növekszik az 1990-es évek elejéig, amikor eléri a 11 százalékos értéket, majd ezt követően csökkenésnek indul. Ezzel szemben a Granger-okság-hálózat sűrűsége viszonylag hamar stabilizálódik 4 százalék körül. Mindez azt mutatja, hogy bár a növekedési ráták (késleltetett) együttmozgása erősödött a nagy moderáció időszakában, az nem mutatható ki, hogy a növekedési ráták közötti Granger-oksági kapcsolatok érdemben szaporodtak volna. Vagyis a sokkok terjedése az országok között ez alatt az időszak alatt változatlan mértékű volt.

Különösen szembeötlő azonban a legutóbbi, 2008-as válság jelentős hatása, amely elsősorban ezen esemény globális jellegére utal: amíg a korábbi (a vizsgált időszakba kerülő) válságok lokálisak voltak abban az értelemben, hogy a kiindulási pontjukat jelentő térségeken kívül heterogén módon éreztették hatásukat, a 2008-as pénzügyi összeomlás a vizsgált országok többségére kiterjedt.⁵

⁵ Megjegyzendő azonban, hogy az általunk alkalmazott 13 éves időablak a kevesebb országot érintő események hatásait könnyen el is fedheti, mivel ezek összeérhetnek ezekben az ablakokban.

Fontos kiemelnünk azt, hogy bár a kisebb lokális válságok esetében is láthatók erre utaló jelek (dotcom válság), a 2008-as válságnál *a sűrűség érdemi és a korábbi tendenciákhoz képest hirtelen növekedése mindkét hálózatban megfigyelhető már a Lehman Brothers szeptemberi összeomlását megelőzően (amely időszakot a pénzügyi válság kezdetének tekintjük elemzéseink során)*. A sűrűség változása a válságot már magába foglaló időszakokban teljesebben ki, ahogy az elsődlegesen pénzügyi csatornákon terjedő sokkok a növekedési ütemekben is éreztetik hatásukat.

A sűrűség 2008-as válság hatására bekövetkező növekedése a korreláció esetében erőteljesebb, több országpárról állapítható meg, hogy növekedési rátáik együtt mozognak, míg a Granger-okság alapján kevesebb ilyen kapcsolódás tapasztalható. Ez logikus eredmény, hiszen bármilyen mögöttes tényező, amely egyformán hat két ország növekedési ütemére, pozitív korrelációként jelenik meg, így a 2008-as válság minden országra több negyedéven keresztül kiterjedő hatása ilyen faktornak tekinthető, ami a késleltetett korrelációs együtthatókban is megjelenik. Ezzel szemben a Granger-okság nem az együttmozgásra, hanem a növekedési ütemek közötti ok-okozati viszonyokra fókuszál, így pontosabb képét ad a sokkok terjedéséről. Az eredmények tehát azt mutatják, hogy bár a növekedési ráták közötti korreláció drasztikus emelkedését logikusan okozhatja a minden országra kiterjedő válság, ugyanakkor a Granger-okságon alapuló hálózat sűrűségének növekedése arra utal, hogy ebben az időszakban a sokkok terjedése felerősödött, intenzívebbé vált az országok között a korábbiakhoz képest.

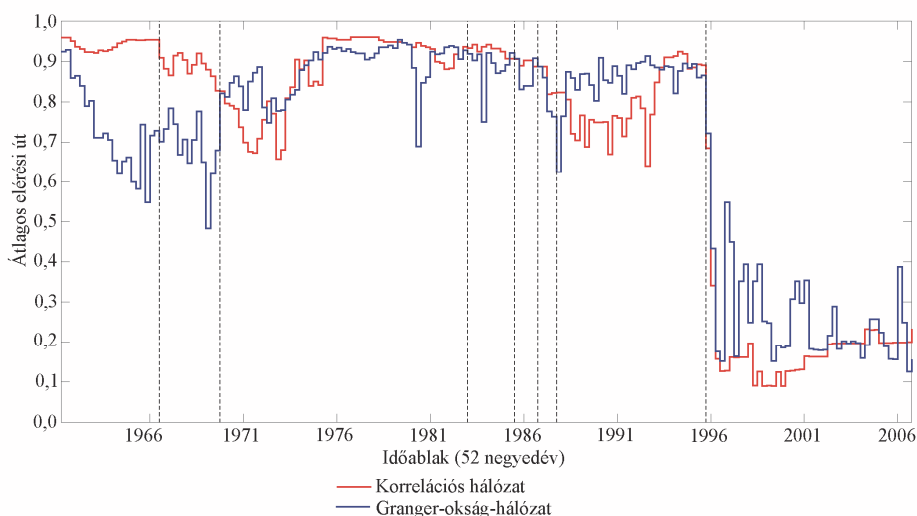
3.2. Elérési utak

A sűrűség alakulása átfogó képet ad a sokkterjedési hálózatok szerkezetéről. Módszertani megközelítésünk előnye éppen az, hogy összetettebb indikátorok vizsgálatára is lehetőséget nyújt. A ritkán összekapcsolt hálózatokra általában jellemző, hogy két csúcs között sok kapcsolaton keresztül vezet út. Az általunk vizsgált hálózat sűrűsége növekedett, így feltételezhetően az átlagos elérési utak száma csökkent az országok között, tehát egy tetszőlegesen kiválasztott ország növekedési üteme kevesebb közvetítő országon keresztül „áthaladva” korrelál, vagy Granger-okságkapcsolatban áll egy másik ország növekedési ütemével. E logika alapján tehát az átlagos elérési út azt tudja megmutatni, hogy mennyire közvetlenül és ezáltal milyen gyorsan jut el egy sokkhatás egyik országból a másikba.

A 2. ábra az átlagos elérési út hosszának alakulását szemlélteti a kétféle hálózatban. A vízszintes tengelyen az időablakokat, a függőleges tengelyen az átlagos elérési utak normált értékeit ábrázoljuk. Látható, hogy mindkét hálózat átlagos elérési útjának hossza a sűrűség növekedésével összhangban a válságok időszaka alatt általában csökken. A 2008-as válság – a sűrűséghez hasonlóan – drasztikus

változással jár az átlagos elérési utak tekintetében is. A 2008-as válság kezdete előtt néhány periódussal, ismét a hálózatok sűrűség-növekedésével párhuzamosan, az átlagos elérési út csökkenése látható mindkét hálózatban.

2. ábra. A GDP-együtmozgás-hálózatok átlagos elérési útjának alakulása, 1961–2019
(Average path of GDP co-movement networks, 1961–2019)

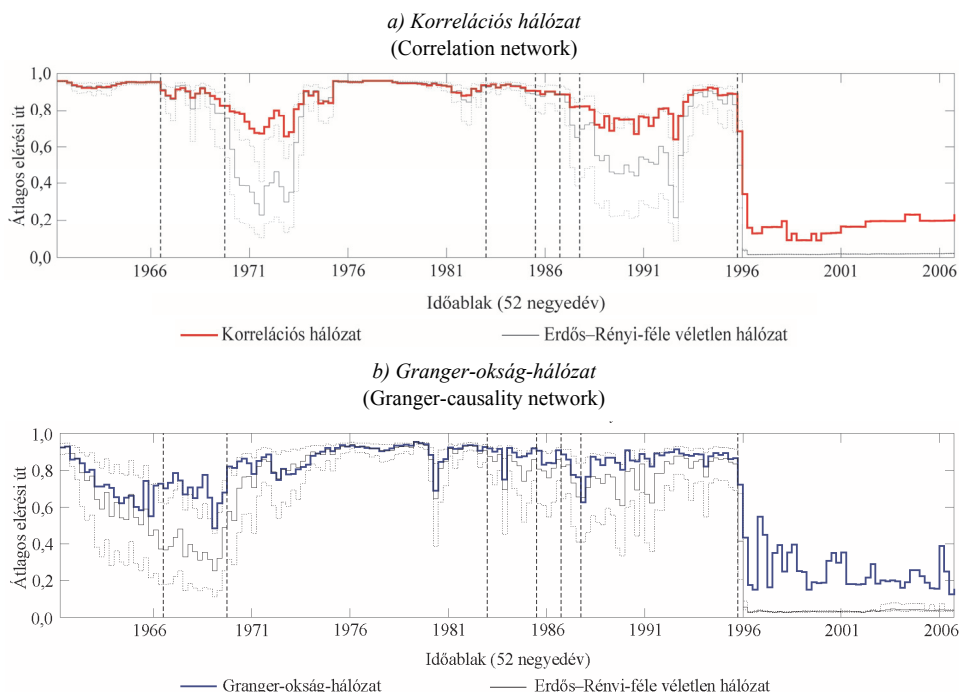


Amíg a hálózatok sűrűsége önmagában is jól értelmezhető mutató, addig az átlagos elérési út értelmezéséhez fontos valamilyen referenciahálózat figyelembevétel. A hálózatelemzés standard referenciapontja az Erdős és Rényi [1959] által bemutatott véletlen hálózati modell (ennek jelentőségéről lásd például Barabási [2016]). Az Erdős–Rényi-féle véletlen hálózatban a csúcsok száma adott, és közöttük a kapcsolatok azonos, független valószínűséggel jönnek létre. Az e szerkezettől való eltérés a kapcsolatok formálódásának valamilyen szisztematikusságát jelzi. Szokásos eljárás, hogy egy megfigyelt hálózat valamely indikátorát egy azonos méretű és sűrűségű véletlen hálózat azonos indikátorához viszonyítjuk. Jelen esetben valamennyi időablakra generáltunk 1 000 Erdős–Rényi-féle véletlen hálózatot az adott időszakra jellemző megfigyelt sűrűséggel, majd az 1 000 véletlen hálózatra kiszámított átlagokat, valamint 5-ös és 95-ös percentiliseit vizsgáltuk meg.

A 3. ábra a korrelációs és a Granger-okság-hálózat átlagos elérési útjának alakulását mutatja Erdős és Rényi véletlen hálózatának átlagos elérési útjához viszonyítva. A fekete vonal az ezer azonos sűrűségű és méretű véletlen hálózat átlagos elérési útjának átlagos értékét jelöli, a szaggatott vonalak a véletlen hálózatok 5-ös és 95-ös percentiliseit, tehát az átlag körüli 5 százalékos konfidenciaintervallumot. Azok az elérési úthosszak, amelyek e tartományon kívül esnek, legfeljebb 5 százalékos valószínűséggel fordulnak elő a véletlen hálózatban. A szaggatott vonalak közrezárják

a véletlen hálózattól szignifikánsan nem különböző átlagos elérési út értékeinek területét. A 3. ábra azt szemlélteti, hogy a megfigyelt korrelációs és Granger-oktság-hálózatok jellemzően hosszabb elérési utakkal rendelkeznek, mint a véletlen hálózatok, de – néhány időszaktól eltekintve – a 2008-as válságig a véletlen hálózatok szignifikancia-tartományába esnek. A Granger-oktság-hálózat a második olajválságot követően, a korrelációs hálózat a latin-amerikai adósságválság utáni időszakban tér el szignifikánsan a random hálózatok átlagos elérési útjától. A 2008-as válság alatt már jelentősen hosszabb utakat mérünk, mint a véletlen hálózatokban. Mindez azt mutatja, hogy a válság után a sokkok terjedési hálózata jellemzően nem véletlenszerű. A véletlen hálózatnál magasabb elérési utak azt jelzik, hogy a sokkok terjedési mintázata nem véletlenszerű, nem azonos független valószínűséggel figyelhető meg két ország között sokktranszmisszió, hanem valamilyen szisztematikus kapcsolódási, terjedési rend alakul ki. Ez a szisztematikusság a láncszerű kapcsolódás irányába mutat, tehát a vizsgált hálózatokban jellemzően több lépcsőben ér el egy adott országból induló sokk más országokat, mint a „véletlen világban”. A Granger-oktság-hálózatban megfigyelhető, hogy a legtöbb válságot követően az átlagos elérési utak növekednek, eltérve a véletlen hálózatnál tapasztalható értékektől. Mindkét hálózatban megjelenik az átlagos elérési utak hosszának növekedése már a 2008-as válság előtt, vagyis a hálózat távolabb kerül a véletlenszerűtől.

3. ábra. A relatív (véletlen hálózathoz viszonyított) átlagos elérési úthosszak alakulása, 1961–2019
(Relative average path length [with reference to the random network], 1961–2019)



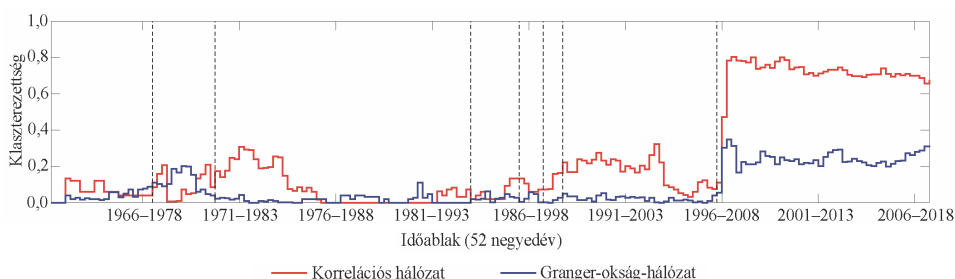
Amint korábban tapasztaltuk, a 2008-as válság során a két hálózat sűrűbben összekapcsolt, ami azt jelenti, hogy a növekedési ráták együttmozgása szorosabbá vált az országok között (korrelációs hálózat), valamint frekvéntáltabbá vált az országok közötti sokktranszmisszió (Granger-okság hálózat) is. A 2. ábrán az átlagos elérési utak csökkentek, két ország között a sokkok transzmissziója kevesebb ország „közvetítésével” valósult meg. Megállapíthatjuk tehát, hogy a vizsgált korrelációs és Granger-okság-hálózatok esetében az elérési utak abszolút rövidülése összhangban van a sűrűbb összekapcsoltsággal. Ezzel szemben a véletlen hálózathoz viszonyítva a sűrűség változásához képest hosszabb utak alakultak ki. Ez azt jelenti, hogy az (irányított) kapcsolatok száma úgy növekedett, hogy két csúc között az átlagos elérési út a véletlen hálózathoz képest kisebb mértékben csökkent. Ez úgy lehetséges, hogy a korábban leírt, a vizsgált hálózatra jellemző láncszerűség erősödött. Ennek a láncszerűségnek a hátterét tudjuk pontosabban feltárni a következő alfejezetben bemutatott klaszterezettségi mutató (csoportképződés) segítségével.

3.3. Csoportképződés

A klaszterezettség a (10) formulának megfelelően azt mutatja meg, hogy mennyire jellemzők a zárt lokális csoportok, illetve a tranzitív kapcsolatok a hálózatban, vagyis vizsgálatunkban azt, hogy mennyire jellemzők olyan országscsoportok, amelyeken belül a sokkok gyorsabban, míg a csoportok között lassabban terjednek. Utóbbiak magyarázhatják az átlagos elérési út kapcsán kimutatott láncszerű terjedést.

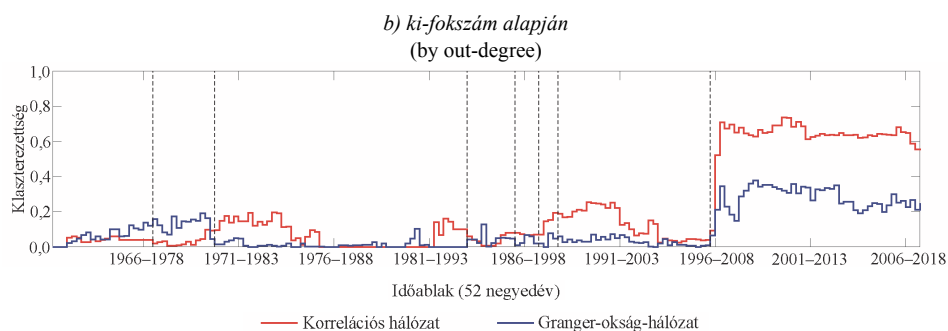
4. ábra. A GDP-együttmozgás-hálózatok globális klaszterezettségi koefficiense
(Global clustering coefficient of GDP co-movement networks)

a) be-fokszám alapján
(by in-degree)



(Az ábra folytatása a következő oldalon)

(Folytatás)



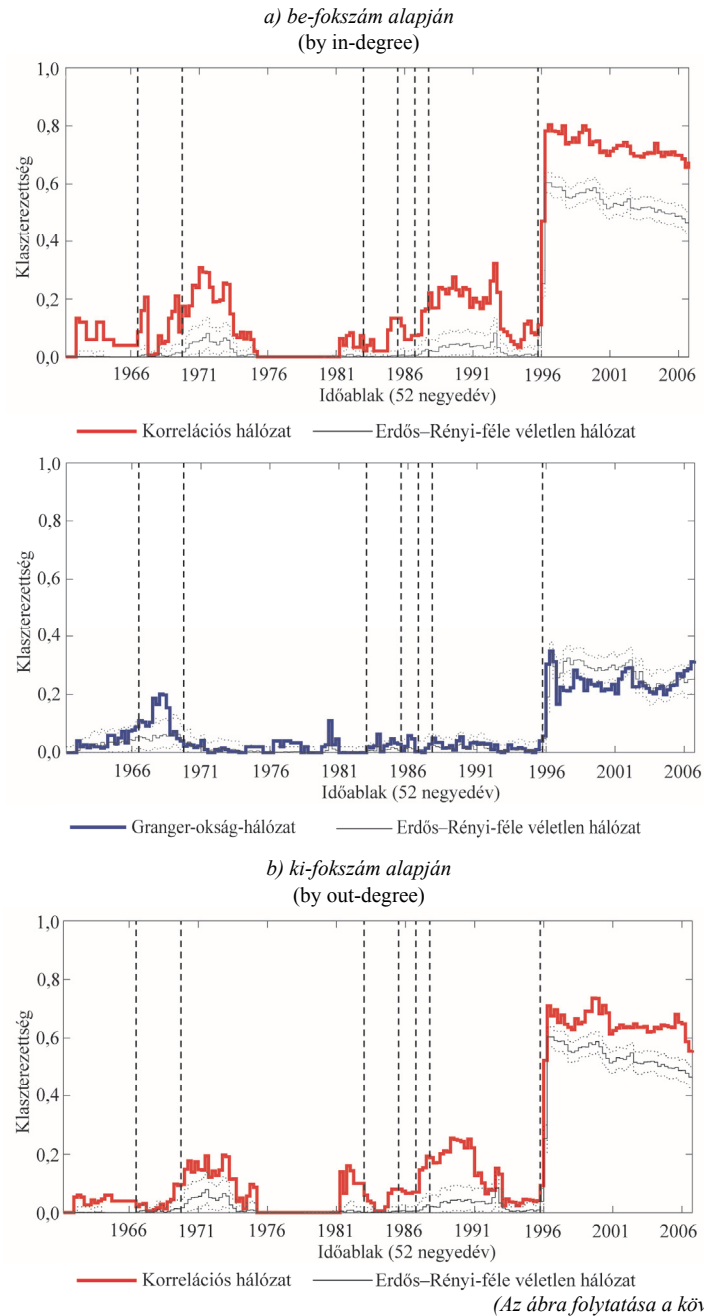
A klaszterezettség alakulását a két hálózat esetén a 4. ábrán követhetjük nyomon. A 4. *a*) ábrán az adott országokba irányuló (be-fokszám), a 4. *b*) ábrán az országokból a többi ország irányába mutató (ki-fokszám) kapcsolatok alapján számított átlagos klaszterezettség mutatók értékei láthatók. A korrelációs hálózat globális klaszterezettsége mindkét irányba több válság kirobbanása előtt növekedni kezdett. Mindkét hálózat esetén megfigyelhető a 2008-as válság előtt és alatt a mutató kiugró emelkedése. Mindkét diagram a sűrűség esetében kapott (lásd az 1. ábrát) eredményeket tükrözi vissza, ami nem meglepő, hiszen a klaszterezettség egyfajta lokális sűrűségként is értelmezhető, így átlagosan a két mutató korrelál egymással.⁶ Éppen ezért érdemes ebben az esetben is a relatív, tehát a véletlen hálózathoz viszonyított értéket vizsgálni, amely megmutatja, hogy egy adott hálózati sűrűség mellett a kapcsolatok eloszlása mennyiben tér el az egyenletestől, és mennyire jellemző a lokális csoportok jelenléte. Az eredményeket az 5. ábra mutatja be.⁷

A legtöbb esetben a korrelációs hálózatok erősebben klaszterezettek a véletlen hálózathoz képest. A csúcsokba irányuló kapcsolatok a latin-amerikai és a mexikói válságok közötti néhány időablak kivételével szignifikánsan eltérnek a véletlen hálózat klaszterezettségi együtthatóitól. A csúcsokból kifelé mutató kapcsolatok is csak néhány időablakban esnek a véletlen hálózat tartományába. A 2008-as válság hatására a szoros összekapcsoltság következményeképpen a véletlen hálózati szerkezethez hasonlóan, de attól még szignifikánsan eltérően (magasabban) alakul a relatív klaszterezettség.

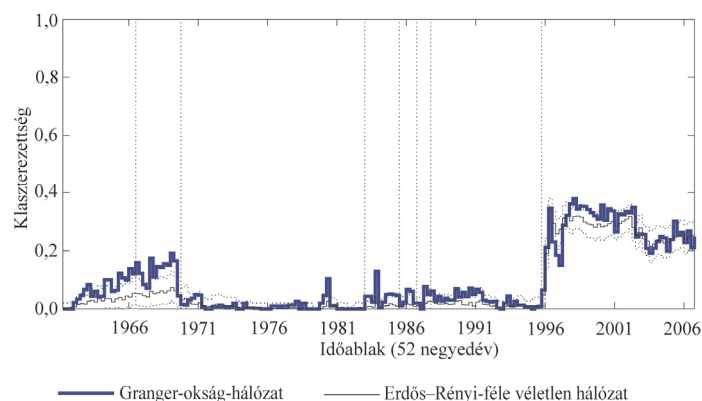
⁶ Ha az átlagos sűrűség növekszik, az több élt jelent, amely valamely lokális környezetben kell, hogy jelenkezzen, ezáltal növelve az átlagos klaszterezettséget is.

⁷ A relatív klaszterezettség mutató számítása analóg a relatív úthossz számításával.

5. ábra. A valós és a véletlen hálózatok globális klaszterezettségi együtthatói közötti eltérés alakulása
(Difference between the global clustering coefficients of real and random networks)



(Folytatás)



A Granger-okság-hálózat esetében eltérő képet látunk: a relatív klaszterezettség néhány időablaktól eltekintve a véletlen hálózatra jellemző tartományon belül, vagy az 5 százalékos konfidenciaintervallum széléhez közel található. Mindez azt jelenti, hogy a növekedési ráták pusztán együttmozgása alapján egyértelmű az országok klaszterezettsége, vagyis hasonló mozgásokat tapasztalunk egyes országcsoportokon belül. Azonban, ha a Granger-okság-kapcsolatokat vizsgáljuk, úgy ez a klaszterezettség kevésbé mutatható ki. Az egyes országokat körülvevő sokk-transzmissziós csatornák hasonló sűrűségűek, mint az egész hálózat.

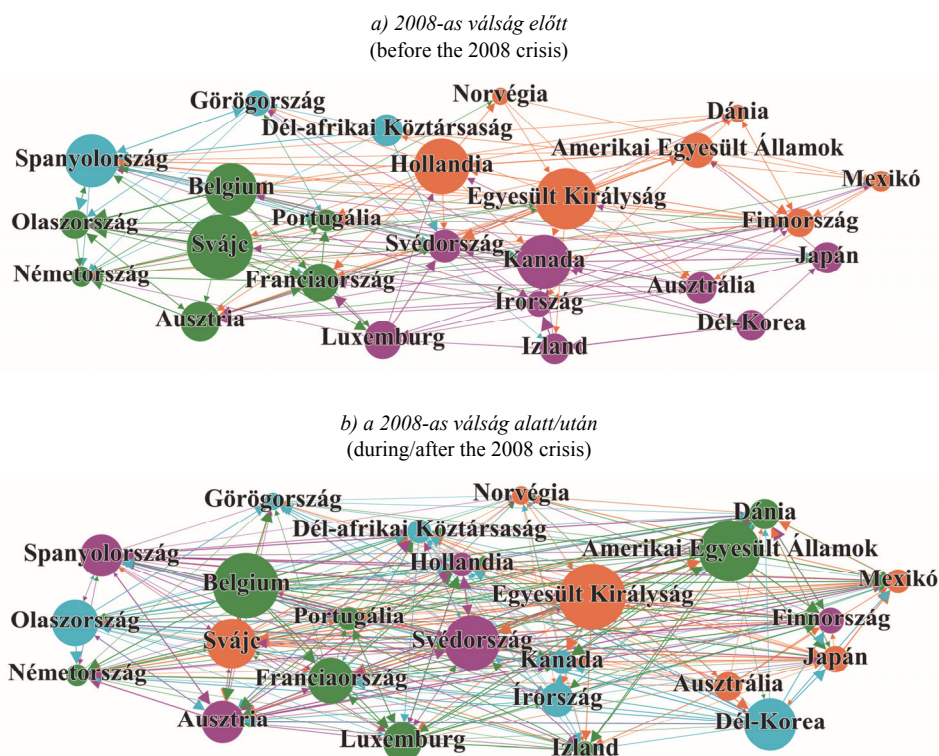
3.4. Pozíciók és csoportok a 2008-as válság előtt és a válság kirobbanása után

Az eddigi részletes longitudinális elemzést kiegészítve a továbbiakban megvizsgáljuk a Granger-okságon alapuló hálózat 2008-as válság előtti és utáni „térképét”. Ehhez az országpárok közötti hálózati kapcsolatokat az időablakokra összegezzük, így súlyozott hálózati kapcsolatokat tudunk elemezni. Az országpárok közötti kapcsolatok vizsgálata során fontos ismét kiemelni az alkalmazott módszertan korlátjait. Bár a válságterjedési kapcsolatokat vesszük górcső alá, ezek mögött nem minden esetben áll tényleges ok-okozati összefüggés, szabályszerűség. A kapcsolatok azonban megmutatják, hogy a vizsgált országok idősorainak becslése során jobb előrejelzést kapunk-e, amennyiben a múltbeli adatok mellett más vizsgált országok idősorait is felhasználjuk. A tanulmányban detektált Granger-okság-kapcsolatok tényleges ok-okozati összefüggéseinek vizsgálata további kutatást igényel.

A 6. és a 7. ábra a válság előtti és utáni súlyozott Granger-okság-hálózat topológiáját mutatja. A csúcsok méretét a 6. ábrán az országokból kimenő kapcsolatok

száma (ki-fokszám), a 7. ábrán az országokba bemenő kapcsolatok száma (be-fokszám) határozza meg. A kapcsolatok súlyai alapján képzett modulokat a csúcsok színei jelölik, az élek vastagsága pedig a kapcsolatok súlyának megfelelően alakul.

6. ábra. A Granger-oktság-hálózat a csúcsok méretét meghatározó ki-fokszám alapján
(Granger-causality network by out-degrees defining the node sizes)



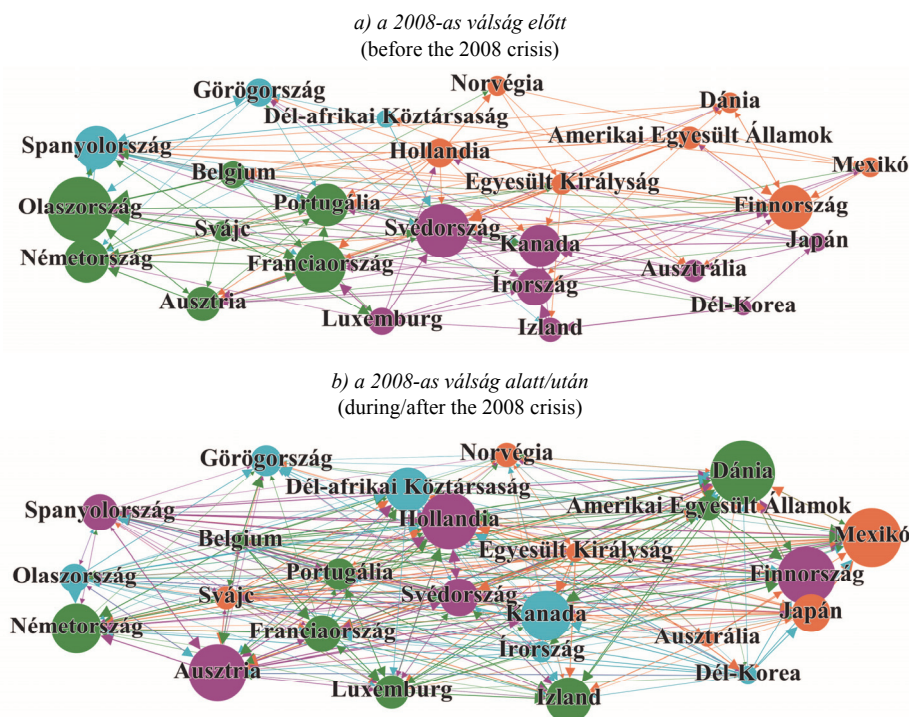
A 6. ábra alapján a válság előtti időszakban a legmagasabb súlyozott ki-fokszámmal (d_{ki}) Svájc ($d_{ki} = 2,6889$), az Egyesült Királyság ($d_{ki} = 2,4667$), Hollandia ($d_{ki} = 2,1556$), Kanada ($d_{ki} = 2,0889$) és Spanyolország ($d_{ki} = 2,0000$) rendelkezett, vagyis a vizsgált időszakban a felsorolt öt ország a leggyakoribb potenciális kiindulópontja az országok közötti sokktranszmisszióknak. Érdeemes megfigyelni, hogy az öt legnagyobb fokszámú ország négy különböző modulhoz tartozik. Az Egyesült Királyság, Svájc, Spanyolország és Kanada tehát a saját csoportjukban a legmagasabb fokszámú országok. A négy elkülönülő hálózati modul nem feleltethető meg egyértelműen az országok fejlettségi vagy földrajzi csoportjainak, azonban a lila színnel jelölt országcsoportjában található a legtöbb nem európai ország (Kanada,

Japán, Dél-Korea, Ausztrália), a narancssárga színnel jelölt csoportba az Egyesült Királyság, az észak-európai országok, valamint az Egyesült Államok és Mexikó tartozik. A zöld színnel jelölt modul országai földrajzi elhelyezkedésüket tekintve egymással szomszédosak: Svájc és az országot határoló valamennyi ország és azok néhány szomszédja alkotja. A kék színnel jelölt modul pedig három déli országot (Spanyolország, Görögország és Dél-Afrikai Köztársaság) foglal magába.

A 2008-as válság alatti és az azt követő időszakban szembevető a hálózat sűrűségének jelentős növekedése, ami egybevág a korábban tapasztalt időszerelemzéssel. Továbbra is 4 országcsoporthot (modult) különböztethetünk meg, azonban a modulok összetétele, tagjainak száma jelentős mértékben megváltozott. A legmagasabb ki-fokszámmal ebben az időszakban az Egyesült Királyság ($d_{ki} = 16,1778$), Belgium ($d_{ki} = 15,9112$) és az Egyesült Államok ($d_{ki} = 14,3334$) rendelkeznek.

A 7. ábrán a 6. ábrához hasonlóan a sokterjedési hálózat szerkezete látható, azonban itt a csúcsok méretét a be-fokszámok határozzák meg.

7. ábra. A Granger-okság-hálózat a csúcsok méretét meghatározó be-fokszám alapján
(Granger-causality network by in-degrees defining the node sizes)



A válság előtti időszakban a legnagyobb súlyozott be-fokszáma (d_{be}) Olaszországnak ($d_{be} = 3,3556$), Svédországnak ($d_{be} = 2,6445$), Franciaországnak ($d_{be} = 2,4667$), Németországnak ($d_{be} = 1,9778$) és Finnországnak ($d_{be} = 1,9778$) van, melyek közül három ország közös modulba tartozik. Az országcsoportot tekintve több ország is magas be-fokszámmal rendelkezik. Olaszország, Svédország és Finnország három országcsoport legmagasabb be-fokszám értékű, a negyedik modulban a legmagasabb Spanyolország ($d_{be} = 1,9556$) be-fokszáma.

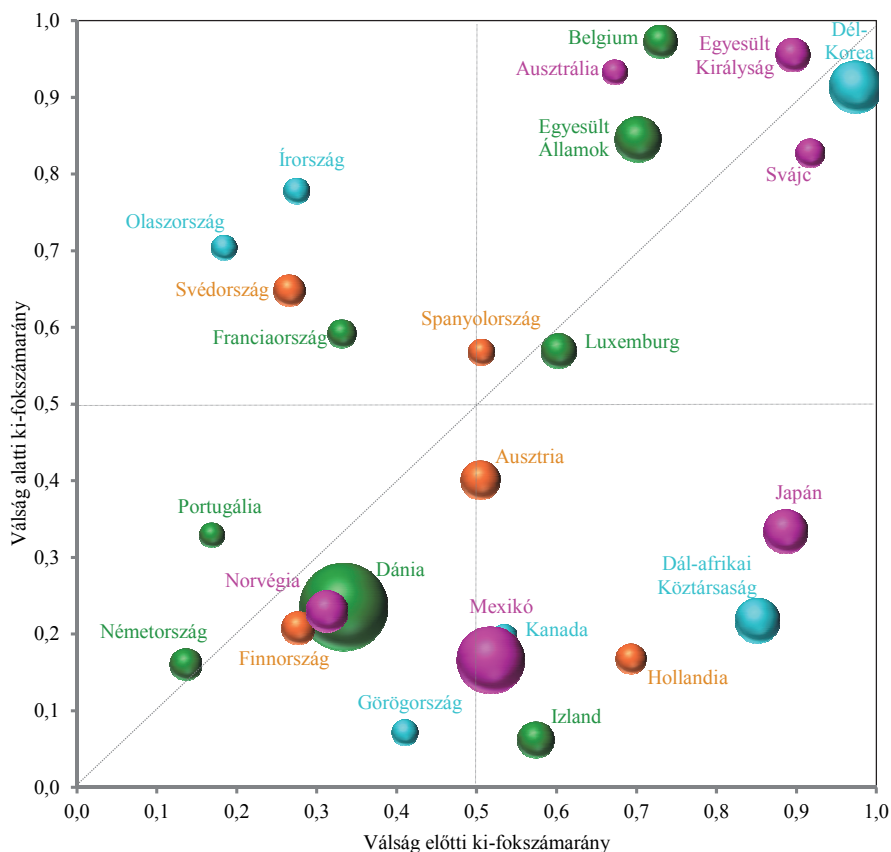
A 2008-as válság alatt és azt követően a sokkokra legérzékenyebb, azaz a legnagyobb be-fokszámú országok Dánia ($d_{be} = 14,8000$), Mexikó ($d_{be} = 13,1556$), Finnország ($d_{be} = 12,7778$) és Ausztria ($d_{be} = 12,6889$). Szembetűnő, hogy a korábban bemutatott három legmagasabb ki-fokszámú országra egyaránt jellemző, hogy a válság utáni időszakban alacsony súlyozott be-fokszámmal rendelkeznek, ezek az országok tehát elsősorban a sokkok potenciális terjesztői, viszont őket a vizsgált nemzetgazdaságok esetleges sokkjai kevésbé vagy lassabban befolyásolják.

A súlyozott ki-fokszámok súlyozott teljes fokszámhoz viszonyított aránya segítségével megállapíthatjuk, hogy mely országokra jellemző inkább az, hogy a sokkok forrásaként, illetve elnyelőiként jelennek meg ebben a hálózatban. Ha egy ország 0 értékkel jelenik meg, ez azt jelenti, hogy csak a sokkok elnyelőjeként jelent meg a hálózatban, forrásként egyszer sem, míg ellenkező esetben 1-es értéket kapunk. Ezt az arányszámot a továbbiakban fokszámaránynak nevezzük.

A 8. ábra a válság előtti és a válság alatti/utáni fokszámarányokat mutatja egy buborékdiaagramon, ahol a buborékok színei továbbra is a modulokra utalnak, méretei az országok súlyozott, teljes fokszámának növekedési arányát szemléltetik a válság előtti időszakhoz képest.⁸ Így minden ország esetében láthatjuk, hogy milyen mértékben részesült a válság során bekövetkezett drasztikus fokszámnövekedésből, és hogy a fokszám növekedése jellemzően a kifelé vagy a befelé mutató kapcsolatoknál jelentkezett-e erőteljesebben. A válság során a fokszámarány szóródási tartománya megnőtt. A válság előtt 10 ország jellemezhető 50 százalék alatti ki-fokszámaránnyal, a ki- és be-fokszámok 5 ország esetében nagyjából egyenlők, és 10 ország rendelkezik erős ki-fokszámaránnyal. Ezzel szemben a válság alatt az egyenlő ki-fokszám és be-fokszám kevésbé jellemző. 13 ország be-fokszáma és 12 ország ki-fokszáma magasabb a teljes fokszámukhoz viszonyítva. Mindebből az látszik, hogy a válságot követően az országok a kiegyensúlyozottabb terjesztő/fogadó pozíciók felől jellemzően szélsőségesebb pozíciók felé mozdultak el, tehát inkább terjesztőkké vagy inkább fogadókká váltak.

⁸ A válság alatti/utáni 45 időszak aggregált hálózatának teljes fokszáma a válság előtti 45 időszak teljes fokszámához viszonyítva.

8. ábra. Az országok ki-fokszámáránya a 2008-as válság előtt és a 2008-as válság alatt/után
(Out-degree ratio of countries before the 2008 crisis and during/after the 2008 crisis)



Négy országcsoportot különböztethetünk meg a ki-fokszámárányok segítségével. Az *első csoportot* a válság előtt és alatt/után is 50 százaléknál magasabb ki-fokszámáránnyal rendelkező országok alkotják, amelyek a 8. ábra jobb felső részén találhatóak. Ausztrália, az Egyesült Államok, Belgium az Egyesült Királyság, Svájc, és Dél-Korea, valamint Luxemburg mindkét időszakban a sokkuk lehetséges terjesztői. Ezekre az országokra az jellemző, hogy 1. vagy nem növekedett jelentős mértékben a válság hatására a kapcsolataiknak száma, 2. vagy a befelé és kifelé mutató kapcsolatok aránya nem változott jelentős mértékben. A buborékok mérete e két lehetőség közötti különbségre világít rá. Az Egyesült Államokban és Dél-Koreában például jelentős fokszámnövekedés történt, az Egyesült Államokban a ki-fokszámárány alacsony mértékben emelkedett, Dél-Korea esetében minimálisan csökkent. Ausztráliát tekintve azonban nem történt jelentős mértékű fokszámnövekedés, ellenben a fokszámok aránya erőteljesebben változott.

A koordináta-rendszer origóhoz közeli bal alsó részén a *második országcsoport* tagjai helyezkednek el, amelyek mindkét időszakban alapvetően a sokkok elnyelői (Németország, Portugália, Finnország, Norvégia, Dánia és Görögország). Dánia súlyozott fokszáma növekedett a legjelentősebb mértékben a 25 ország közül. A 45 fokos egyenes mentén e két országcsoportban tehát a fokszámárányokat stabilnak tekinthetjük. A válságmentes időszakban potenciális terjesztő országok valóban válságterjesztővé válnak, a válság elnyelői pedig továbbra is magas befelé irányuló kapcsolattal rendelkeznek.

A 8. ábra bal felső részén azok az országok találhatóak (*harmadik országcsoport*), amelyek a válság alatt/után a sokkok forrásai, azonban a válság előtti időszakokban inkább azok elnyelői voltak (például Olaszország, Írország, Svédország, Franciaország). Annak ellenére azonban, hogy a ki-fokszámárányaik emelkedtek, a teljes kapcsolati számuk növekedése elmarad az átlagostól.

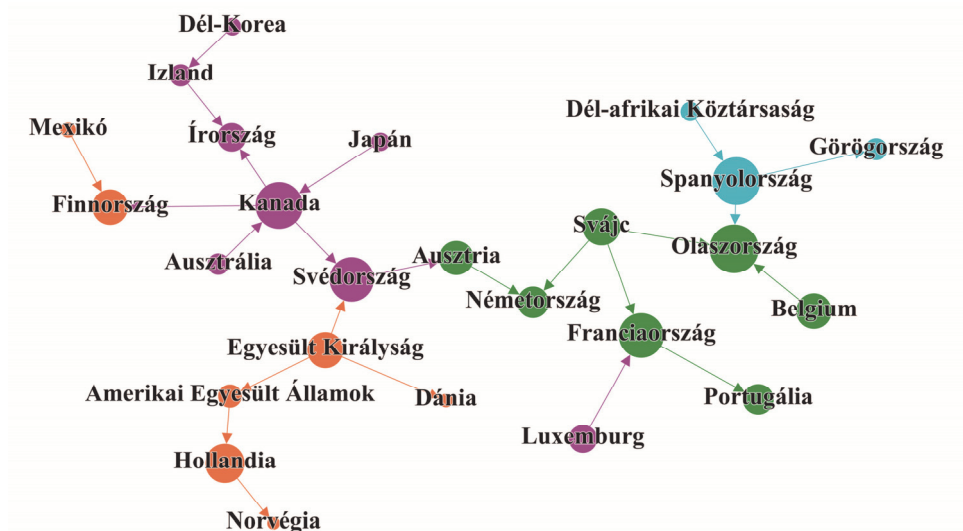
Az ábra jobb alsó részén a *negyedik országcsoport* tagjai (Izland, Hollandia, Dél-afrikai Köztársaság, Japán) szerepelnek, azok az országok, amelyek a válság előtt magasabb ki-fokszámáránnyal rendelkeztek. Általában az jellemző rájuk, hogy a kapcsolati számuk átlagon felül nőtt a válság hatására, és ez a be-fokszámok erősebb növekedéséhez vezetett, így a válság elnyelői lettek.

Fontos megállapítani, hogy a négy csoportba való tartozás nem mutat szoros összefüggést sem a korábban definiált modulokkal, sem azzal, hogy mennyiben változott az egyes országok hálózati kapcsoltsága a két vizsgált időszak között.

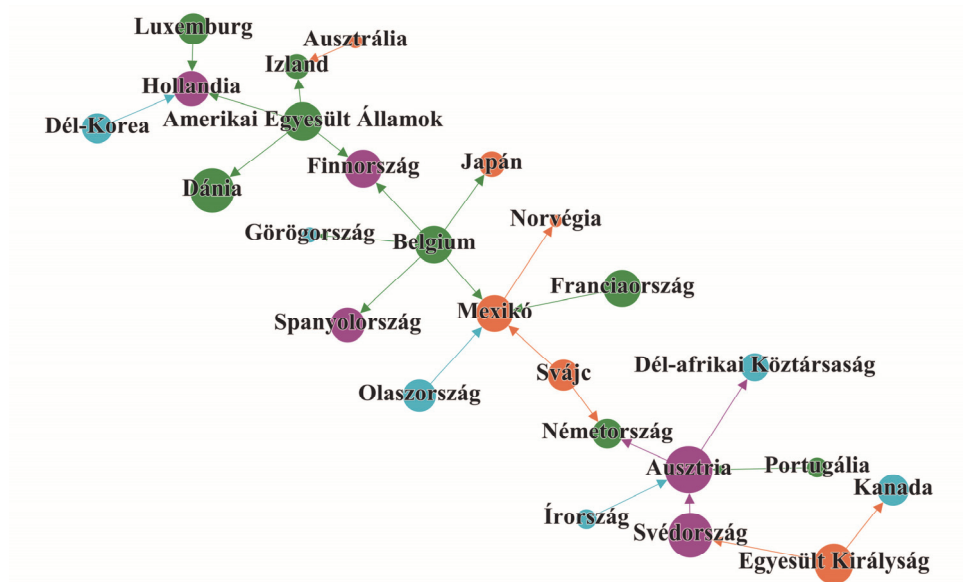
Bár a 6. és 7. ábrák alkalmasak a hálózat moduljainak személtetésére, a viszonylag sűrű szerkezet miatt a finomabb topológiai jellemzők feltárását nem teszik lehetővé. Ezt a problémát áthidalandó maximális feszítőfa alkalmazásával redukáltuk a megjelenített kapcsolatok számát és a válság előtti és utáni hálózatokra ábrázoltuk a kapott szerkezeteket a 9. és a 10. ábrán, melyeken a csúcsok színei továbbra is a korábban meghatározott modulokat jelölik, méretük a teljes súlyozott fokszámot mutatja. A módszer segítségével a legmagasabb élsúlyú irányított kapcsolatok vizsgálhatók, ezek esetünkben az országpárok között a válság előtt vagy után leggyakrabban előfordulók. Így az eljárást használhatjuk a hálózat legstabilabb, leginkább meghatározó kapcsolatainak feltárására.

A válság előtti időszakra jellemző, hogy a legnagyobb élsúlyok elsősorban az egy modulhoz tartozó országok között jönnek létre. Látható az is, hogy a válság előtt a legtöbb magas élsúlyú kapcsolata Kanadának van, amelyek közül három kifelé, kettő befelé mutató. Kanada a negyedik legmagasabb ki-fokszámú ország ebben az időszakban. Továbbá hat ország három olyan kapcsolattal rendelkezik, amelyek a válság előtti időszakban a leggyakrabban fordultak elő. Közülük Svédországnak, Franciaországnak és Olaszországnak van a legtöbb befelé mutató, leggyakoribb kapcsolata. Az Egyesült Királyságnak, Spanyolországnak és Svájcnak több kifelé mutató leggyakoribb kapcsolata van. A legtöbb ország azonban egy vagy két kapcsolattal került a maximális élsúlyú feszítőfába.

9. ábra. A 2008-as válság előtti hálózat maximális feszítőfája
(Maximum spanning tree of the pre-2008 crisis network)



10. ábra. A 2008-as válság alatti/utáni hálózat maximális feszítőfája
(Maximum spanning tree of the network during/after the 2008 crisis)



A válság alatt/után a legtöbb gyakori kapcsolata Belgiumnak, Mexikónak és Ausztriának van. Belgium 5 leggyakoribb kapcsolata egységesen kifelé mutató, ezzel szemben Mexikó egyetlen gyakori kifelé mutató kapcsolattal rendelkezik, Ausztria pedig kettővel. Továbbá az Egyesült Államok (4 leggyakoribb ki-fokszám) és Hollandia (3 leggyakoribb be-fokszám) stabil kapcsolatainak száma kiemelkedő a maximális élsúlyú feszítőfán. A válság alatt/után is a legtöbb ország egy vagy két kapcsolattal került be a maximális feszítőfába. (Lásd a 10. ábrát.)

A fokszámok gyakoriságában kisebb mértékű változás figyelhető meg a két időszak maximális feszítőfája között. Mindkét esetben a legtöbb ország egy vagy két gyakori kapcsolattal (a leggyakoribb kapcsolatok közül), míg néhány ország több kapcsolattal is a maximális feszítőfába került. A válság után azonban az egy kapcsolattal rendelkező országok száma növekedett, de adódik olyan is, amelynek öt kapcsolata van. Mindkét időszakban a gyakori kapcsolatok eloszlását pozitív ferdeség jellemzi, amely a válság hatására növekszik a ki-fokszámok (1,0831/1,9199),⁹ a be-fokszámok (0,4694/1,1968) és a teljes fokszám (1,1438/1,4929) esetében is.

Szintén jellemző, hogy a válságot követően az országok láncszerűen helyezkednek el a hálózatban, ami megerősíti a longitudinális elemzés kapcsán levont, a szerkezetre vonatkozó következtetést. A hálózati modulok tekintetében az is látható, hogy ezek nem különülnek el élesen a maximális feszítőfában, egyes modulok blokkjai „beékelődnek” más modulok országblokkjai közé. Ez azt jelzi, hogy bár a modulok detektálhatók a hálózatban, és a legerősebb kapcsolatok jellemzően ezen országcsoportok között találhatók, a modulok között is vannak erősebb összekötő kapcsolatok. Tehát vannak olyan országpárok, amelyek ugyan más-más modulba tartoznak, mégis jellemző közöttük a sokkterjedés. Ezek a modulok közötti erősebb kapcsolatok ugyanakkor azt eredményezik, hogy a hálózat egészében gyorsabban terjednek a sokkok.

Összefoglalva a pozíciók és modulok vizsgálatának eredményeit, több szerkezeti változást is tapasztaltunk. A 2008-as válság után egyrészt a Granger-oksághálózat súlyozott fokszámai kétszeresére növekedtek, tehát jellemzőbb lett az országok közötti sokkterjedés, másrészt a sokktranszmisszió stabilabban, tartósabban jelentkezett adott országpárok esetén. Valamelyest átrendeződött a ki- és be-fokszámok aránya is: jellemzővé vált, hogy az országok a kiegyensúlyozottabb pozícióból egy szélsőségesebb, sokkterjesztő vagy sokkelnyelő pozícióba kerültek a válság után. Megfigyelhető a legjelentősebb kapcsolatokat tartalmazó maximális feszítőfa átalakulása is: megváltozott a centrális pozíciót betöltő országok köre.

⁹ A számlálóban válság előtti, a nevezőben a válság utáni értékek szerepelnek.

4. Összegzés

Tanulmányunkban 25 ország GDP-növekedési rátáinak együttmozgását, illetve Granger-okság-kapcsolatát vizsgáltuk 1961 és 2019 között. Az országpáronkénti információkból hálózatot rajzoltunk, és e hálózat szerkezetének időbeli alakulásait kutatva arra a kérdésre kerestük a választ, hogy változott-e a sokkok országok közötti terjedésének szerkezete, és ha igen, milyen minták szerint. Amennyiben átalakul a sokkterjedési hálózat szerkezete, az arra utalhat, hogy az üzleti ciklusok szinkronizáltságának növekedése mögött nem kizárólag a globális sokkok gyakoriságának növekedése áll, hanem az is, hogy az országok közötti gazdasági-pénzügyi integráció erősödése szükségképpen szelektíven, aszimmetrikusan zajlik, így átrendezi a különböző csatornákon terjedő sokkok hálózati mintázatát. A GDP-növekedési rátákból kétféle módszerrel hoztunk létre hálózatot: egyrészt a növekedési ráták korrelációját vizsgáltuk egyperiódusos késleltetéssel, másrészt a növekedési ráták közötti Granger-okságot teszteltük. Az elemzéshez használt mozgó időablakos módszer lehetővé tette, hogy hosszú idősoron dinamikus vizsgálatot végezzünk a hálózati szerkezet átalakulására vonatkozóan.

Eredményeink alapján a 2008-as válság jelentős strukturális változásokat idézett elő az országok közötti sokkterjedés hálózatában. A kapcsolatok sűrűsége hirtelen és nagymértékben növekedett a válság alatt, amely elsősorban annak globális kiterjedtségére utal. A Granger-okság-hálózat elemzése is a sűrűség növekedését mutatja, amely alapján megállapíthatjuk, hogy a 2008-as válság során a sokkok terjedése felerősödött a korábbi időszakokhoz képest. A sűrűség változása már a Lehman Brothers szeptemberi összeomlása előtt kimutatható. További hálózati mutatókat is elemeztünk, amelyek pontosabb képet adhatnak a szerkezet változásáról. A 2008-as válság minden esetben egy jelentősebb cezúrát jelent a szerkezeti viszonyokban, azonban azt megelőzően/követően is láthatók szerkezeti változások. A vizsgált hálózatokat véletlen hálózati szerkezethez viszonyítottuk, amely egy olyan világot ír le, amelyben a sokkok véletlenszerűen, egymástól függetlenül terjednek országok között. Megállapítottuk, hogy az elérési utak jellemzően növekednek, míg a klaszterezettség (csoportképződés) a korrelációs hálózatnál magasabb, a Granger-okság-hálózat esetében azonban a véletlen hálózathoz hasonlóan alakul. Mindez azt jelenti, hogy érdemi szerkezeti változás ment végbe a sokkterjedés hálózatában: a rövid elérési utakkal és magasabb klaszterezettséggel jellemezhető szerkezet egy fordított, láncszerű struktúra felé mozdult el.

A hálózat mikroszkopikus jellemzőinek elemzéséhez a vizsgált időablakokat aggregáltuk a válság előtti és alatti/utáni időszakra, így a sokkterjedési hálózat két részletes térképét tudtuk megrajzolni. Fő konklúzióink, hogy a válság alatt/során a hálózat szerkezete érdemben átalakult, súlyozott fokszáma a kétszeresére növekedett,

ami tükrözi a válság után sűrűbben összekapcsolt hálózatok szerkezetét. Ezen túlmenően megváltozott a hálózatban központi szerepet betöltő országok köre, valamint elmozdulás történt a tekintetben is, hogy mely országokra jellemző a sokkok terjesztése és fogadása. A válság előtt az országok jellemzően szimmetrikusabb pozíciót tölthettek be: a sokkok forrásaiként vagy elnyelőiként jelentek meg a hálózatban. A válságot követően azonban jellemzőbbé váltak a kevésbé kiegyensúlyozott, aszimmetrikus pozíciók, amiből arra következtethetünk, hogy a sokkok terjedésének gyakorisága nem azonosan vagy azonos valószínűséggel növekedett valamennyi országpár esetén, hanem oly módon, hogy az az egyes országok sokkot terjesztő vagy elnyelő tulajdonsága erősödött.

Ez a kapcsolati szerkezet (néhány gazdaságilag kevésbé befolyásolható ország sok országra van hatással, viszont más erőteljesebben befolyásolható országok kevésbé gyakorolnak hatást a többi országra) az országok közötti átlagos elérési utak növekedéséhez vezethet, ugyanis több olyan országpár alakulhat ki, amelyek között nem létezik elérési út.

A bemutatott elemzés lényeges korlátja, hogy csupán 25 országot szemlél – ennek oka, hogy a hosszú vizsgálati időszak érdekében szűkítettük az országok körét úgy, hogy minden hálózati csúc (ország) minden időpontban rendelkezzen megfigyeléssel (vagyis a hálózat mérete állandó legyen). Egyrészt a negyedéves frekvencia évesre cserélésével lehetne az országok körét bővíteni, ez azonban az információvesztés mellett azzal is járhat, hogy nem állna rendelkezésre elegendő megfigyelés a Granger-okság érdemi tesztelésére. Másrészt az országok körnek bővítése abból a szempontból is fontos további eredményeket adhat, hogy érdemben befolyásolhatják a sokkterjedési hálózat szerkezetét. A kutatáshoz használt adatok bővítése mellett érdekes további tanulságokkal szolgálhat a hálózatok stabilitásának pontosabb módszerekkel történő elemzése, valamint finomabb időbeli felbontás használatával pontosabban végezhető el a közvetlen válságok előtt és után tapasztalható szerkezeti változások vizsgálata.

Függelék

F1. táblázat

A teljes mintára végzett stacionaritási teszt eredményei
(Results of the stationarity test performed on the whole sample)

Ország	ADF-teszt	KPSS-teszt
	<i>p</i> -érték	
Ausztrália	≤ 0,01	≥ 0,10
Ausztria	≤ 0,01	≥ 0,10
Belgium	≤ 0,01	≥ 0,10
Dánia	≤ 0,01	≥ 0,10
Dél-afrikai Köztársaság	≤ 0,01	≤ 0,01
Dél-Korea	≤ 0,01	0,08
Egyesült Államok	≤ 0,01	≥ 0,10
Egyesült Királyság	≤ 0,01	≥ 0,10
Finnország	≤ 0,01	≥ 0,10
Franciaország	≤ 0,01	0,02
Görögország	≤ 0,01	≥ 0,10
Hollandia	≤ 0,01	0,06
Izland	≤ 0,01	≥ 0,10
Írország	≤ 0,01	≥ 0,10
Japán	≤ 0,01	0,01
Kanada	≤ 0,01	≥ 0,10
Luxemburg	≤ 0,01	≥ 0,10
Mexikó	≤ 0,01	≥ 0,10
Németország	≤ 0,01	≥ 0,10
Norvégia	≤ 0,01	≥ 0,10
Olaszország	≤ 0,01	≥ 0,10
Portugália	≤ 0,01	≥ 0,10
Spanyolország	≤ 0,01	0,01
Svájc	≤ 0,01	≥ 0,10
Svédország	≤ 0,01	0,10

Megjegyzés. Itt, valamint az F2. és F3. táblázatban a tesztek az R program aTSA csomagjának segítségével végeztük, a KPSS-teszthez a kpss.test függvényt, az ADF-teszthez az adf.test függvényt alkalmaztuk.

F2. táblázat

A 183 időablakra elvégzett ADF-tesztek összefoglalója
(Results of the augmented Dickey–Fuller tests performed on the 183 time windows)

p -érték	Időablakok száma	Időablakok aránya	Stacioner időablakok aránya
		százalék	
$0,1 \leq p$	283	6,19	
$0,05 \leq p < 0,1$	348	7,61	93,81
$0,01 \leq p < 0,05$	857	18,73	86,21
$p < 0,01$	3 087	67,48	67,48

F3. táblázat

A 183 időablakra elvégzett KPSS-tesztek összefoglalója
(Summary of the Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin tests performed on the 183 time windows)

p -érték	Időablakok száma	Időablakok aránya	Stacioner időablakok aránya
		százalék	
$p < 0,01$	127	2,78	
$0,01 \leq p < 0,05$	363	7,93	97,22
$0,05 \leq p < 0,1$	423	9,25	89,29
$0,1 \leq p$	3 662	80,04	80,04

F4. táblázat

Az országok súlyozott fokszámárányai és súlyozott teljes fokszámai a 2008-as válság előtt és alatt/után
(Weighted degree ratios and weighted total degree ratios of countries before and during/after the 2008 crisis)

Ország	2008 előtt súlyozott ki-fokszámárány	2008 után súlyozott ki-fokszámárány	2008 előtt súlyozott teljes fokszám	2008 után súlyozott teljes fokszám	Teljes súlyozott fokszámváltozás
Ausztrália	0,56	0,93	8,51	9,09	1,07
Ausztria	0,50	0,39	11,22	26,67	2,38
Belgium	0,59	0,89	10,04	20,91	2,08
Dánia	0,19	0,31	6,18	27,87	4,51
Dél-afrikai Köztársaság	0,57	0,30	7,44	16,98	2,28
Egyesült Államok	0,67	0,80	8,22	20,67	2,51

(A táblázat folytatása a következő oldalon)

(Folytatás)

Ország	2008 előtt súlyozott ki-fokszámarány	2008 után súlyozott ki-fokszámarány	2008 előtt súlyozott teljes fokszám	2008 után súlyozott teljes fokszám	Teljes súlyozott fokszámváltozás
Egyesült Királyság	0,80	0,87	9,98	21,02	2,11
Finnország	0,44	0,23	11,84	19,51	1,65
Franciaország	0,35	0,58	13,91	20,96	1,51
Görögország	0,50	0,18	5,24	9,13	1,74
Hollandia	0,64	0,24	10,78	18,98	1,76
Írország	0,36	0,66	8,00	12,98	1,62
Izland	0,64	0,09	5,07	14,20	2,80
Japán	0,69	0,39	6,73	15,18	2,25
Kanada	0,50	0,25	16,09	18,31	1,14
Korea	0,73	0,84	4,36	16,02	3,68
Luxemburg	0,55	0,55	6,58	22,18	3,37
Mexikó	0,68	0,20	5,29	20,24	3,83
Németország	0,18	0,28	9,38	17,62	1,88
Norvégia	0,50	0,27	4,60	9,20	2,00
Olaszország	0,33	0,66	12,91	21,80	1,69
Portugália	0,41	0,40	9,20	12,82	1,39
Spanyolország	0,39	0,56	12,84	20,11	1,57
Svájc	0,79	0,78	9,82	19,82	2,02
Svédország	0,33	0,63	10,78	25,20	2,34

Irodalom

- ACHARYA, V. V. – RICHARDSON, M. [2009]: Causes of the financial crisis. *Critical Review*. Vol. 21. Nos. 2–3. pp. 195–210. <http://dx.doi.org/10.1080/08913810902952903>
- ALBERT, R. – JEONG, H. – BARABÁSI, A.-L. [2000]: Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*. Vol. 406. July. pp. 378–382. <https://doi.org/10.1038/35019019>
- BALCILAR, M. – OZDEMIR, Z. A. [2013]: The export-output growth nexus in Japan: A bootstrap rolling window approach. *Empirical Economics*. Vol. 44. March. pp. 639–660. <https://doi.org/10.1007/s00181-012-0562-8>
- BARABÁSI A.-L. [2016]: *A hálózatok tudománya*. Libri. Budapest.
- BENJAMINI, Y. – HOCHBERG, Y. [1995]: Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*. Vol. 57. Issue 1. pp. 289–300. <http://dx.doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>
- BERLINGER E. – MICHALETZKY M. – SZENES M. [2011]: A fedezetlen bankközi forintpiac hálózati dinamikájának vizsgálata a likviditási válság előtt és után. *Közgazdasági Szemle*. LVIII. évf. Március. 229–252. old.

- BLONDEL, V. D. – GUILLAUME, J.-L. – LAMBIOTTE, R. – LEFEBVRE, E. [2008]: Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*. October. <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>
- BOLDI, R. [2020]: *Granger_Cause_1*. *MATLAB Central File Exchange*. https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/59390-granger_cause_1
- CSARDI, G. – NEPUSZ, T. [2006]: *The Igraph Software Package for Complex Network Research*. <http://igraph.org>.
- CECCHETTI, S. G. – KING, M. R. – YETMAN, J. [2011]: *Weathering the Financial Crisis: Good Policy or Good Luck?* BIS Working Paper. No. 351. Bank for International Settlements. Basel.
- CLEMENTE, G. P. – GRASSI, R. [2017]: Directed clustering in weighted networks: A new perspective. *Chaos, Solitons & Fractals*. Vol. 107. February. pp. 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2017.12.007>
- CROTTY, J. [2009]: Structural causes of the global financial crisis: A critical assessment of the ‘new financial architecture’. *Cambridge Journal of Economics*. Vol. 33. No. 4. pp. 563–580. <https://doi.org/10.1093/cje/bep023>
- CSERMELY P. [2005]: *A rejtett hálózatok ereje*. Vince Kiadó. Budapest.
- DE BENEDICTIS, L. – TAJOLI, L. [2011]: The world trade network. *The World Economy*. Vol. 34. No. 8. pp. 1417–1454. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9701.2011.01360.x>
- DOYLE, B. M. – FAUST, J. [2002]: An investigation of co-movements among the growth rates of the G-7 countries. *Federal Reserve Bulletin*. Vol. 88. October. pp. 427–437. <http://dx.doi.org/10.17016/bulletin.2002.88-10>
- DOYLE, B. M. – FAUST, J. [2005]: Breaks in the variability and comovement of G-7 economic growth. *Review of Economics and Statistics*. Vol. 87. No. 4. pp. 721–740. <http://dx.doi.org/10.1162/003465305775098134>
- EDIRISURIYA, P. [2010]: Financial deregulation, trade and co-movements among the GDP growth rates: Evidence from South Asian countries. In: *2010 International Conference on Management Science & Engineering 17th Annual Conference Proceedings*. Melbourne. pp. 719–729. <http://dx.doi.org/10.1109/icmse.2010.5719880>.
- ERDŐS, P. – RÉNYI, A. [1959]: On random graphs I. *Publicationes Mathematicae*. No. 6. pp. 290–297.
- FAGIOLO, G. – REYES, J. – SCHIAVO, S. [2009]: World-trade web: Topological properties, dynamics, and evolution. *Physical Review E*. Vol. 79. No. 3. pp. 19. <http://dx.doi.org/10.1103/physreve.79.036115>
- FARKAS P. [2009]: A jelenlegi világgazdasági válság jellegéről. (Egy nem neoliberalis vázlat.) In: *Magas I.* (szerk.): *Világgazdasági válság 2008–2009 – Diagnózisok és kezelések*. Aula Kiadó. Budapest. 131–146. old.
- FARMER, J. D. – FOLEY, D. [2009]: The economy needs agent-based modelling. *Nature*. Vol. 460. No. 7256. pp. 685–686. <http://dx.doi.org/10.1038/460685a>
- FOSTER, J. B. – MAGDOFF, F. F. [2009]: *The Great Financial Crisis: Causes and Consequences*. Monthly Review Press. New York.
- GARLASCHELLI, D. – BATTISTON, S. – CASTRI, M. – SERVEDIO, V. D. P. – CALDARELLI, G. [2005]: The scale-free topology of market investments. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*. Vol. 350. Nos. 2–4. pp. 491–499. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2004.11.040>

- GARLASCHELLI, D. – LOFFREDO, M. I. [2005]: Structure and evolution of the world trade network. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*. Vol. 355. No. 1. pp. 138–144. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2005.02.075>
- GRANGER, C. W. J. [1969]: Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*. Vol. 37. No. 3. pp. 424. <http://dx.doi.org/10.2307/1912791>
- GROPPE, D. [2020]: *fdr_bh*. https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/27418-fdr_bh
- HE, J. – DEEM, M. W. [2010]: Structure and response in the World Trade Network. *Physical Review Letters*. Vol. 105. No. 19. pp. 4. <http://dx.doi.org/10.1103/physrevlett.105.198701>
- HOPPE, K. – RODGERS, G. J. [2015]: A microscopic study of the fitness-dependent topology of the world trade network. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*. Vol. 419. February. pp. 64–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2014.09.036>
- KAR, M. – NAZLIOĞLU, Ş. – AĞIR, H. [2011]: Financial development and economic growth nexus in the MENA countries: Bootstrap panel granger causality analysis. *Economic Modelling*. Vol. 28. Nos. 1–2. pp. 685–693. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2010.05.015>
- KIM, H.-J. – KIM, I.-M. – LEE, Y. – KAHNG, B. [2002]: Scale-free network in stock markets. *Journal of the Korean Physical Society*. Vol. 40. No. 6. pp. 1105–1108.
- KOSE, M. A. – PRASAD, E. S. – TERRONES, M. E. [2003]: How does globalization affect the synchronization of business cycles? *American Economic Review*. Vol. 93. No. 2. pp. 57–62. <http://dx.doi.org/10.1257/000282803321946804>
- LÁMFALUSSY S. [2008]: *Pénzügyi válságok a fejlődő országokban*. Akadémia Kiadó. Budapest.
- NOBI, A. – MAENG, S. E. – HA, G. G. – LEE, J. W. [2013]: *Network Topologies of Financial Market During the Global Financial Crisis*. Cornell University. New York. <https://arxiv.org/abs/1307.6974>
- OBSTFELD, M. – ROGOFF, K. [2009]: *Global Imbalances and the Financial Crisis: Products of Common Causes*. CEPR Discussion Paper. No. DP7606. Centre for Economic Policy Research. London. <https://ssrn.com/abstract=1533211>.
- PRIM, R. C. [1957]: Shortest connection networks and some generalizations. *Bell System Technical Journal*. Vol. 36. No. 6. pp. 1389–1401. <http://dx.doi.org/10.1002/j.1538-7305.1957.tb01515.x>
- QIU, D. [2015]: *Alternative Time Series Analysis (aTSA) R Package*. <https://cran.r-project.org/web/packages/aTSA/index.html>
- RADOVIĆ, O. – STANKOVIĆ, J. [2012]: Information asymmetry in the artificial financial market represented by scale-free network. In: *Dermol, V. – Širca, N. T. – Dakovic, G. – Lindav, U. (eds.): Knowledge and Learning: Global Empowerment; Proceedings of the Management, Knowledge and Learning International Conference 2012*. International School for Social and Business Studies. Celje. pp. 165–174.
- RAPPAI G. [2011]: Okság a statisztikai modellekben. *Statisztikai Szemle*. 89. évf. 10–11. sz. 1113–1129. old. http://www.ksh.hu/statszemle_archive/2011/2011_10-11/2011_10-11_1113.pdf
- REN, F. – ZHOU, W.-X. [2014]: Dynamic evolution of cross-correlations in the Chinese stock market. *Plos One*. Vol. 9. No. 5. e97711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097711>
- SCHWEITZER, F. – FAGIOLO, G. – SORNETTE, D. – VEGA-REDONDO, F. – WHITE, D. R. [2009]: Economic networks: What do we know and what do we need to know? *Advances in Complex Systems*. Vol. 12. Nos. 4–5. pp. 407–422. <http://dx.doi.org/10.1142/s0219525909002337>

- SELOVER, D. D. [2004]: International co-movements and business cycle transmission between Korea and Japan. *Journal of the Japanese and International Economies*. Vol. 18. No. 1. pp. 57–83. [https://doi.org/10.1016/S0889-1583\(03\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S0889-1583(03)00025-X)
- SERRANO, M. Á. – BOGUÑÁ, M. [2003]: Topology of the world trade web. *Physical Review E*. Vol. 68. No. 1. <http://dx.doi.org/10.1103/physreve.68.015101>
- SHENG, A. [2010]: Financial crisis and global governance: A network analysis. In: Spence, M. – Leipziger, D. (eds): *Globalization and Growth Implications for a Post-Crisis World*. The World Bank. Washington, D.C.
- SHIN, K – WANG, Y. [2005]: The impact of trade integration on business cycle co-movements in Europe. *Review of World Economics*. Vol. 141. No. 1. pp. 104–123. <http://dx.doi.org/10.1007/s10290-005-0017-9>
- SIENKIEWICZ, A. – GUBIEC, T. – KUTNER, R. – STRUZIK, Z. R. [2013]: Dynamic structural and topological phase transitions on the Warsaw Stock Exchange: A phenomenological approach. *Acta Physica Polonica A*. Vol. 123. No. 3. pp. 615–620. <http://dx.doi.org/10.12693/aphyspola.123.615>
- SIMS, C. [1972]: Money, income and causality. *American Economic Review*. Vol. 62. No. 4. pp. 540–552. <https://www.jstor.org/stable/1806097>
- TSENG, J.-J. – CHEN, S. H. – WANG, S. C. – LI, S. P. [2009]: Emergence of scale-free networks in markets. *Advances in Complex Systems*. Vol. 12. No. 1. pp. 87–97. <http://dx.doi.org/10.1142/s021952590900209x>
- WILIŃSKI, M. – SIENKIEWICZ, A. – GUBIEC, T. – KUTNER, R. – STRUZIK, Z. R. [2013]: Structural and topological phase transitions on the German Stock Exchange. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 392. No. 23. pp. 5963–5973. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2013.07.064>
- ZHENG, Z. – PODOBNIK, B. – FENG, L. – LI, B. [2012]: Changes in cross-correlations as an indicator for systemic risk. *Scientific Reports*. Vol. 2. No. 1. <http://dx.doi.org/10.1038/srep00888>