



Közzététel: 2022. június 14.

A tanulmány címe:

**Európai tőzsdeindexek kockázattovábbító tulajdonságának vizsgálata**

Szerzők:

**SALLAI DÓRA,**

a Szegedi Tudományegyetem PhD-hallgatója

E-mail: [sallaidora9@gmail.com](mailto:sallaidora9@gmail.com)

**KISS GÁBOR DÁVID,**

a Szegedi Tudományegyetem egyetemi docense

E-mail: [kiss.gabor.david@eco.u-szeged.hu](mailto:kiss.gabor.david@eco.u-szeged.hu)

DOI: <https://doi.org/10.20311/stat2022.6.hu0529>

**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 (Sztj.) 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 Sztj. 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 100. évfolyam 6. számában megjelent, **Sallai Dóra, Kiss Gábor Dávid** által írt, 'Európai tőzsdeindexek kockázattovábbító tulajdonságának vizsgálata' 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.

Sallai Dóra – Kiss Gábor Dávid

## **Európai tőzsdeindexek kockázattovábbító tulajdonságának vizsgálata**

### **Analysis of the risk-transmitting nature of European stock indices**

SALLAI DÓRA,  
a Szegedi Tudományegyetem  
PhD-hallgatója  
E-mail: sallaidora9@gmail.com

KISS GÁBOR DÁVID,  
a Szegedi Tudományegyetem  
egyetemi docense  
E-mail: kiss.gabor.david@eco.u-szeged.hu

A tanulmány az európai részvénypiacok szerkezeti változásait elemzi minimális feszítőfa és Markov-féle rezsinváltó modell segítségével, amely a topológiai változások mellett a közelség és a közöttség segítségével vizsgálja az adatokat. A szerzők célja, hogy rámutassanak a korábbi recessziók hasonlóságaira és különbségeire, nevezetesen a 2008-as másodlagos jelzálogpiaci válságra, a 2010-es évek európai államadósság-válságára és a közelmúltban a Covid19-járvány időszakára. A szerkezeti változásokra fókuszálva egy sokkokat továbbító központi index megjelenését keresik. Folyamatos változást tapasztalnak a tőzsdei hálózatban, ahol a tőzsdeindexek a turbulens időszakokban főként egy központi indexen keresztül kapcsolódnak egymáshoz, míg a nyugodt időszakokban a kapcsolatok diverzifikáltabbá válnak.

TÁRGYSZÓ: minimális feszítőfa, közöttség, közelség

This study analyses the structural changes in European stock market indices using a minimal spanning tree and a Markov-switching model that examines the regime-changes in betweenness and closeness in addition to topological changes. The authors aim is to highlight the similarities and differences of previous recessions, namely the subprime mortgage crisis of 2008, the European sovereign debt crisis of 2010, and the recent period of Covid-19. Focusing on the structural changes in the graph, the appearance of a central index transmitting shocks is sought. The results show that there is a constant change in the stock market network, where stock market indices are linked to each other mainly through a central index in turbulent periods, while relationships become more diversified in calm periods.

KEYWORD: minimum spanning tree, betweenness, closeness

A tőkepiac a hosszú lejáratú befektetések, elsősorban a részvények és a kötvények nyilvános kereskedelmének a helyszíne. A tőkepiac hosszú távú tőkeallokációban betöltött szerepe miatt indokolt feltárni mindazokat a tényezőket, amelyek az eszközök árazását befolyásolják. A részvényindexek egyszerre követik le a vállalati jellemzők (például a jövedelmezőség) és a makrogazdasági tényezők (például az infláció negatív hatásának) jövőbeli állapotával kapcsolatos várakozások változásait (*Sabilla–Kurniasih* [2020]) – reprezentálva az adott országban működő cégek és az általuk képviselt iparágak állapotát (*Nugroho et al.* [2020]). A gyakorlatban azonban nehezen különíthető el, hogy egy részvényindex értéke az általa képviselt vállalatok jövőbeli készpénztermelő képessége (azaz a fundamentális értéknek) változásának vagy más tőkepiacokon kialakuló kollektív árazási anomáliák (például eladási pánik) hatására változik-e meg. Kollektív árazási anomáliák közé sorolhatjuk a fertőzéseket<sup>1</sup> és a divergenciákat, amikor az eszközárak együttmozgása külső sokk hatására szignifikánsan nő vagy csökken (*Csiki–Kiss* [2018]).

Számos tanulmány jelent meg a tőkepiacok közötti kapcsolatok, az egyes piacokon megvalósítható diverzifikációs stratégiák és az azokat korlátozó fertőzések vizsgálatáról. Amennyiben ugyanis az egyes piacok együttmozgása időben változó, és válságosnak tekintett időkben megnő, akkor épp az egyedi kockázatok diverzifikációporlasztása által nyújtott előnyöket veszítik el a befektetők (*Hull* [2018]). Kutatásunk célja, hogy az európai részvényindexek dinamikus feltételes együttmozgása alapján felírható minimális feszítőfa gráfszerkezetének (csomóponti átrendeződéseinek) két állapot („normális” és „stresszes”) közötti eltérését elemezzük Markov-féle rezsimváltó modellek segítségével. Ugyanis ezáltal nem csupán az ún. vezető piacok válnak elkülöníthetővé, de a kontinens részvénypiaci együttmozgásainak változásából fakadó hálózati átrendeződések főbb tendenciái is. Ehhez először a 21 európai részvényindex<sup>2</sup> heti záró idősorain megbecsültük azok együttmozgását DCC-GARCH-modell (dynamic conditional correlation-generalized autoregressive conditional heteroskedasticity – dinamikus feltételes korrelációáltalánosított autoregresszív feltételes heteroskedaszticitás) illesztésével 2001. július 6. és

<sup>1</sup> A több országot vagy országcsoportot érintő folyamatokat fertőzéseknek nevezzük.

<sup>2</sup> A vizsgálatba bevont országok (és a részvényindexek Refinitiv Eikon adatbázisban szereplő RIC-kódja): Németország (GDAXI – DAX), Franciaország (FCHI – CAC 40), Olaszország (FTMIB), Spanyolország (IBEX), Hollandia (AEX), Svájc (SSMI), Svédország (OMXS30), Lengyelország (WIG20), Magyarország (BUX), Románia (BETI), Szlovákia (SAX), Bulgária (SOFIX), Csehország (PX), Belgium (BFX), Norvégia (OBX), Ausztria (ATX), Dánia (OMXC20), Görögország (ATG), Finnország (OMXHPI), Portugália (PSI20), Izland (OMXIPI).

2021. április 2. között, majd negyedévről negyedévre meghatároztuk a minimális feszítőfagráf fő tulajdonságait (gyakoriság, közöttség, közeliség), hogy utána ezek időben dinamikus, Markov-féle rezsimbe sorolhatóságát vizsgáljuk meg. Ennek során megállapítottuk, hogy az európai részvénypiaci hálózat felépítése valóban más formát öltött válságos időszakok alatt, azaz az indexek értékére a hálózati szinten jelentkező árazási anomáliák sokkal jobban hatnak, mint az általuk reprezentált vállalatok fundamentális értékének változásai. Befektetői szempontból mindez egyaránt befolyásolja a portfólió diverzifikációjával és alulárazottságával kapcsolatos döntéseket.

Tanulmányunkban először a részvényárfolyamot befolyásoló tényezőket leíró szakirodalmat foglaljuk össze, nagyobb hangsúlyt fektetve a tőzsdei tapasztalatokra és a piacok közötti transzferekre. Ezt követően az elméleti modellt és az alkalmazott módszertant ismertetjük. Végül bemutatjuk az eredményeket és a kapcsolódó következtetéseket.

## 1. Szakirodalmi áttekintés

### 1.1. A tőzsdéket befolyásoló tényezők

A hatékony piacok hipotézise alapján az eszközárak a várható jövőbeni készpénztermelő képesség jelenértéke alapján alakulnak, amely körül az árfolyamok véletlenszerűen változhatnak (*Fama* [1965]). E hipotézis nyomán feltételezhetjük a véletlen bolyongás, illetve a martingál modellek alkalmazhatóságát (*Nagy-Ulbert* [2007]). Fontos viszont kiemelni, hogy ez a hipotézis csupán egyfajta elméleti alapmodell a részvénypiac számára. A gyakorlatban ugyanis mind a befektetők racionalitásának foka, mind az árfolyamok statisztikai tulajdonságai lefelé térnek el ettől az idealizált képtől. *Malkiel* [2003] szerint egyes piaci szereplők bizonyíthatóan kevésbé racionálisak, ennek eredményeként idővel megjelenhetnek az árazási szabálytalanságok. *Grossman* és *Stiglitz* [1980] szerint pedig a piac nem lehet tökéletesen hatékony, különben nem lennének kész a szakemberek arra, hogy feltárják azokat az információkat, amelyek gyorsan tükröződnek a piaci árakban. A viselkedésközgazdaságtan szerint az ár több tényező hatására torzul, többek között a befektetői hibák és válaszok miatt. Az egyik ilyen tényező a „csordaszellem”, amely nagymértékben hozzájárul az extrém áringadozásokhoz és a rövid távú trendekhez. Ez a viselkedés abból fakad, hogy a befektetők a saját megérzéseik és döntéseik helyett más befektetők cselekedeteit utánozzák és másolják. Ennek több oka is lehet, például a

piaci változásoknak való megfelelés miatt a befektetők inkább a piaci trendeket követik, mint saját megérzéseiket. Más kutatások eredményei viszont azt mutatják, hogy a csordaszellem magatartás tudatos és ésszerű cselekedet. Két csoportot különböztetünk meg általában, a tudatos utánzókat, ahol a befektetők szándékosan másolják a többi befektető cselekedeteit, és a hamis utánzókat, ahol a hasonló helyzetben levő döntésképtelen befektetők ugyanúgy cselekednek (*Yao–Ma–He* [2006]).

A világ tőzsdéinek együttes mozgását gyakran használják a gazdasági globalizáció és a pénzügyi integráció mérőszámaként. A pénzügyi globalizáció előnyökkel és kockázatokkal is jár; egyrészt biztosítani tudja új tőkeforrások elérhetőségét alacsonyabb költségek mellett, és lehetővé teszi a kockázatok nagyobb mértékű diverzifikáltságát, ami jobb pénzügyi infrastruktúrához vezet. Másrészt növelheti a piacok közötti korrelációt, és ez pénzügyi válság kialakulásához és terjedéséhez vezethet. Az egyes országok külföldi befektetések iránti nagyobb nyitottsága a világgazdaságba integráltságukat tükrözheti, ezáltal növelve a tőzsdék országok közötti együttmozgását, de a nyitottság megnehezítheti a fertőzés megelőzését (*Huang* [2020]). A korreláció volatilitása azzal magyarázható, hogy az eszközök a szélektől függenek (farokfüggőség), és összefüggést mutat a farokfüggőséggel a nemzetközi részvénytőzsdék közötti kapcsolatot tükrözi. Ezért a nemzetközi részvénytőzsdék vizsgálata során két függőségi struktúrát kell megemlíteni: az egységes piacon belüli és a több piac közötti korrelációt. A makrogazdasági tényezők is befolyásolhatják a nemzetközi piacok együttmozgását. A világhírekre adott reakcióik esetén a befektetők viselkedése minden piacon hasonló (*Sun et al.* [2009]).

A korábbi kutatások során számos módszert alkalmaztak az összefüggések vizsgálatára. Ilyen például a GARCH-kopula-eljárás – amelynél a függőség szintje és mélysége azonosítható – a lineáris korrelációs teszttel szemben (például *Cozier–Watson* [2019]), kiegészítve ARMA-GARCH-kopulákkal (autoregressive and moving-average – autoregresszív és mozgóátlagmodell) (többek között *Sun et al.* [2009]) vagy a tőzsdék kockázatotvállaló hatásának mérésére a Markov-váltással kiegészített, időben változó kopulamodell (például *Ji et al.* [2020]). A volatilitás együttmozgását vizsgálta *Czelleng* [2019] wavelet és kopulatesztekkel; a visegrádi országok piacait elemezve eredményei azt mutatják, hogy azok konstans és tartós mértékben mozognak együtt. A korábbi kutatások szerint a tőkepiaci hozam előre jelezheti az üzleti ciklusokat, és a hozamok növekedése a munkanélküliségi ráta csökkenésével jár együtt. Ennek eredményeképpen többek között a pénzügyi piacok volatilitási elvárásainak alakítására és a monetáris politika jövőbeli alakulásával kapcsolatos bizonytalanságok felszámolására kell összpontosítani a pénzügyi instabilitás időszakában (*Holmes–Maghrebi* [2016]). Még válság esetén sem hagyhatjuk figyelmen kívül a monetáris hatóságok szerepét a hatékony monetáris politika

végrehajtásában, a stabil pénzügyi piacok fenntartásában, tekintettel arra, hogy a tőzsdék válság idején nem likvidek. Ezért a központi banknak fontos szerepe van a szükséges likviditási szint fenntartásában, mivel ez biztosít a piacoknak és közvetlenül a részvényekben hosszú pozíciókkal rendelkező nagybefektetőknek likviditást (Apergis [2015]). Továbbá hangsúlyozni kell, hogy a rugalmas kamatmechanizmus és a tőkepiacok fejlődése a fő tényezők, amelyek befolyásolják a pénzpiac és a tőkepiac közötti korreláció változását. Ezért a piacorientált kamatpolitika és a rugalmas kamatmechanizmusok felgyorsíthatják a monetáris politika pénzügyi piacok közötti átvitelének hatékonyságát, és segíthetik a központi bankot a kiigazítások, valamint a napi karbantartási műveletek végrehajtásában válság idején. Ugyanakkor megfigyelhetjük, hogy a kötvénypiaci reformok, beleértve a bankközi és a tőzsdéi kötvénypiacokat is, hatékonyabbá teszik a monetáris politikai szabályozást (Wang [2019]).

Az információs aszimmetriát illetően az eredmények azt sugallják, hogy a vezetők könnyen halmozhatnak rossz döntéseket. Ezek halmozódása gyorsan a tőzsde összeomlásához vezethet, ha a vállalatok kénytelenek a híreket nyilvánosságra hozni. A külföldi befektetők jelentősen növelhetik a piaci kudarcok kockázatát, továbbá a külföldi befektetők közötti pozitív kapcsolat és az összeomlás kockázata erősebb azon cégek esetén, amelyeknél magasabb az információs aszimmetria, vagy hatékony a belső ellenőrzés (Huang [2020]). A külföldi befektetők fokozzák a kereszt-korrelációt a különböző piacok között. A globális tőzsdék integrációjával az országok közötti kapcsolatok erősödnek, és ez az integrációs folyamat elősegíti a tőkeáramlást az optimális befektetési lehetőség megtalálásában, miközben a tőzsdék jelentős ingadozásoktól szenvednek (Xu-Li [2020]). A feltörekvő piacok fontosságát bizonyítja, hogy egyre több külföldi befektető vált a fejlett, érett piacokról a feltörekvő piacokra a magasabb hozam és a diverzifikáltabb portfólió reményében. A külföldi tulajdon pozitív hatással van a részvények informativitására, a külföldi befektetők javítják a feltörekvő gazdaságok tőzsdéjének információhatékonyságát, például a vietnami tőzsdén működő külföldi befektetők előmozdítják a részvényárak információs hatékonyságát (Vo [2017]).

## 1.2. Fertőzések és gazdasági sokkok

A fertőzések meghatározását három szinten lehet megkülönböztetni. Az első szinten a sokkok országok közötti terjedését, a másodikon az országok közötti kapcsolatrendszerből adódó magasabb szóródását, míg a harmadikon az országok közötti együttműködés szintjét értjük (Kiss [2017], Csiki-Kiss [2018]). E mechanizmusok tanulmányozása során meg kell említeni a csordaszellem magatartás jelenségét, különösen akkor, ha az alapok nem magyarázzák teljesen a sokkokat és azok terjedését

a pénzügyi rendszerben. A gazdasági szereplők túlzottan utánozzák mások viselkedését, ami hozzájárulhat a kialakult árbuborékok kitartásához és egyenletes növekedéséhez (*Angela-Maria–Maria–Miruna* [2015]). A kiterjedő pénzügyi nyitottság és a tőkeáramlás fokozott liberalizációja gyakran a rövid távú tőkemozgások gyors visszafordítását vonja maga után. A globalizáció ugyanis csökkenti az országspecifikus információgyűjtés szükségességét, és a befektetők maguk határozzák meg az egyensúlyt a portfólió diverzifikálása és a költséges kiegészítő információszerzés között, ami szintén a homogenizációt helyezi előtérbe.

A tőkepiacok túlzott integrációja lehetővé teszi a sokkok terjedését. Ezek kezelése fontos a gazdasági és társadalmi környezet egészsége szempontjából. Fennáll annak a veszélye, hogy a befektetők megváltoztatják portfóliójuk összetételét a helyi tőkepiacon, vagy áthelyezik befektetéseiket egy másik, biztonságosabb piacra. Az ebből eredő pánikhelyzeteket és a volatilitás tolvagyűrűző hatásait már korábban is megfigyelték, például az 1987-es fekete hétfő, a 2001-es dotcom-válság vagy a 2008-as subprime-válság idején. A pénzügyi idősorok eltérő viselkedést mutatnak különböző események, például politikai vagy gazdasági sokkok esetén. A koronavírus megjelenése arra is rávilágított, hogy a pénzügyi piacok is kitéttek a járványok által okozott sokkoknak, ami pánikot gerjeszt, valamint fertőzést okoz a piacok globalitása miatt (*Gunay* [2020]). A korábbi szakirodalom szerint a pénzügyi fertőzés terjedése elsősorban a közös globális sokkok vagy a közvetlen gazdasági (például a szoros kereskedelmi és pénzügyi) kapcsolatok, illetve a közvetett hatások (például a globális befektetői attitűd megváltozása) miatt következik be (*Calvo–Leiderman–Reinhart* [1996], *Corsetti–Pericoli–Sbracia* [2005]).

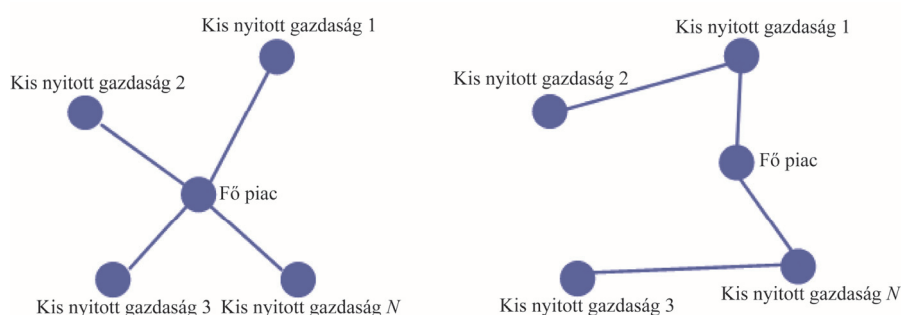
## 2. Elméleti modell

A részvények közötti kölcsönhatások létezése jól ismert tény. A tőzsdén forgalmazott részvények kölcsönösen befolyásolják egymást, és ez érvényes a forgalmazott részvényekre is. Matematikailag a részvények közötti kapcsolatok általában a részvényhozamok logaritmusai közötti összefüggésekkel azonosíthatók. A korrelációs struktúra a megfelelő állományokkal együtt egy komplex rendszert alkot, hálózat vagy ennek megfelelő, irányítatlan súlyozott teljes gráf formájában, véges számú csomóponttal (*Lee–Djauhari* [2012]).

A komplex vagy a skálamentes hálózat képes leírni a piac oligopolisztikus jellegét, ahol a kulcsfontosságú piaci szereplőket a csomópontokkal, valamint azok fontosságát a preferenciákkal szimbolizálják. Az olyan statisztikai jelenségek, mint a

vastag farkúság, a heteroszkedaszticitás, az autokorreláció vagy akár a kollektív hatások, ennek a piaci szerkezetnek az eredményei. A skálamentes komplex hálózatok a preferenciális kötődéseken alapulnak, ami *Barabási–Albert* [1999] nyomán hub-alapú struktúrát okoz. Ez a szerkezet a két szélső állapot (szabályos [rács] és véletlenszerű hálózat) között van (*Watts–Strogatz* [1998]).

1. ábra. Minimális feszítőfa fertőzésekkel és anélkül  
(Minimal spanning tree with and without contagions)



A gráf előfordulási gyakorisága leírja az egyik csomópont (esetünkben az ország) és egy másik közötti kapcsolatok számát, a közöttség a csúcson áthaladó leg-rövidebb utak számát jelenti, míg a közelség ennek az összefüggésnek az erősségét adja meg. Egy minimális feszítőfa kialakításakor feltételezhetjük, hogy csak a legjelentősebb élek (csomópont-csomópont kapcsolatok) ábrázoltak, így egy kialakuló hub-struktúra bizonyítani tudja a fertőzések erősen szinkronizált állapotát. Egy teljesen stresszes globális fertőzési forgatókönyv szerint egyetlen egységes piac kialakulására számíthatunk, amely a válság terjedése miatt szinkronizálja a hálózat többi részét. Ennek a hubnak nagy gyakorisága és közöttsége lesz (a hálózaton belüli relatív fontossága miatt), és erős kapcsolata a többi csomóponttal. Országspecifikus stressz esetén azonban a hálózat atomizált (vagy nem központosított) állapotban marad, így nem tudjuk azonosítani az aszimmetrikus tulajdonságokkal rendelkező csomópontokat.

Fontos a hálózatok fogalmának megismerése és bemutatása. Számos komplex rendszer vesz körül bennünket, amelyekre egyre több figyelem irányul. Ez a fókusz nagyrészt abból fakad, hogy a bonyolult rendszerek nyilvánvaló sokszínűsége ellenére az egyes rendszerek mögött álló hálózatok felépítését és fejlesztését egy közös alaptörvény, illetve elv vezérli. Ezért a valódi hálózatok formájának, méretének, jellegének, korának és hatókörének különbözősége mellett a legtöbb hálózatot közös szervezési elvek szabályozzák. Ha figyelmen kívül hagyjuk az összetevők és a közöttük levő kölcsönhatások pontos jellegét, a kapott hálózatok inkább hasonlítanak



egymásra, mint különböznek egymástól (*Barabási* [2016]). Mivel a tőkepiacok maguk is összetett rendszereknek tekinthetők, ezért ez a fertőzési hajlamot erősítheti, valamint tovagyűrűző hatást eredményezhet (*Kiss* [2017]).

Ezek alapján a tőkepiacok, például a tőzsdeindexek is alkalmasak lehetnek a komplexitás szempontjából a hálózatalapú elemzésre, aminek egyik legszélesebb körben elfogadott módszere a minimális feszítőfa (*Chong–Han–Park* [2017], *Zhao et al.* [2018]). Ennek lényege, hogy a kapcsolatokat egy olyan gráf segítségével ábrázolja, amely tartalmazza az egyes részvényindexeket legalább egy élhez csatolva – így az élek összege minimális –, és nem foglal magában ciklusokat (*Sandoval* [2014]). *Zhao et al.* [2018] a maximálisan szűrt síkgráfot (planar maximally filtered graph, PMFG) használták a tőzsdei hálózatok elemzéséhez válság idején, és arra a következtetésre jutottak, hogy a PMFG-hálózat  $\gamma$  heterogenitási indexe jelentősen nő a válság során. Azt is megállapították, hogy az Egyesült Államok és az Egyesült Királyság piacai hasonló mintákat mutattak a 2008-as válság után. *Sandoval* [2014] korrelációs mátrixokat készített a különböző országok 79 tőzsdeindexének idősorán 2003 és 2012 között, és összehasonlította a 2003–2007 (alacsony volatilitási időszak), illetve a 2008–2012 (magas volatilitási időszak) közötti eredményeket a véletlenmátrix-elmélet alapján. Számos megállapítást tett, többek között azt, hogy egyes közép-európai piacok erősen korrelálnak egymással, és két másik klaszter – az egyik az Egyesült Államokban, a másik az ázsiai-csendes-óceáni piacon – alacsonyabb korrelációs értékek mellett alakul ki. *Chunxia et al.* [2014] maximális feszítőfát alkalmaztak az állománykorrelációk és válságok vizsgálatára. A maximális feszítőfa topológiai szerkezete először kompakt csillagszerű, majd laza láncszerű és ismét kompakt csillagszerű alakzatot vett fel. Ezért arra lehet következtetni, hogy a válság valóban megváltoztatja az állomány korrelációját, először gyengéről erősre, majd ismét gyengévé válik.

A minimális feszítőfa (minimal spanning tree, MST) egy klaszterezési módszer, amely lehetővé teszi egy gazdaságilag jelentős piaci struktúra kialakulását az eszközhozamok bemenetként történő felhasználásával. *Brida és Risso* [2008] figyelembe vették modelljükben a hozam mellett a kereskedelmi forgalmat, ezáltal a többdimenziós minimálfa (multidimensional minimal spanning tree, MMST) építését is. Az MST-gráfok azt mutatták – megerősítve a korábban regressziós módszerekkel kapott eredményeket –, hogy a tőzsdeindexek közötti kapcsolatokat erősen befolyásolja a tőzsdék földrajzi elhelyezkedése, mivel vannak jól meghatározott klaszterek, amelyek a kontinensekhez kapcsolódnak. Továbbá a kulturális kapcsolatok vagy a nemzetközi szerződések jelentősen hatnak a részvényindex-korrelációkra. Az amerikai tőkepiac viszonylag elszigetelt, más amerikai tőzsdékhez szorosan, de Európához viszonylag gyengén kapcsolódik. Ez valószínűleg összefügg azzal, hogy a részvénypiacok különböző órákban működnek, így a legtöbb európai piac kereskedési ideje kevésbé egyezik meg az amerikaiak nyitvatartási idejével (*Sandoval* [2012]). A föld-

rajzi elhelyezkedés mellett más tényezők, például a gazdasági kapcsolatok is fontos szerepet játszhatnak. A közép- és kelet-európai országokban korlátozottan tapasztalható, hogy szorosabb kapcsolatban állnak a fejlettebb uniós országokkal (Coelho et al. [2006]).

### 3. Módszertan

Munkánk során a következő lépésekre lesz szükség: először egy DCC-GARCH-modellt kell illesztenünk a teljes idősorra, hogy feltárjuk a heti záró index és a logaritmikus hozamok között mérhető feltételes együttmozgást. Ezt követően az így kapott korrelációs adatokra illesztjük az adott negyedévben a minimális feszítőfagráfot, hogy meghatározzuk a gyakorisági, közötteégi és közelségi értékeket. Majd minden egyes részvényindexre rendre egy Markov-féle rezsimmáltó modellt (2 rezsimmel) illesztünk, és megvizsgáljuk, mikor melyik rezsimben tartózkodik a vizsgált piac. Ezeket az eredményeket összegezzük valamennyi index esetében, hogy feltárjuk, vajon a valóságban válságosnak tekintett időszakokban megvalósul-e az alternatív rezsimben tartózkodás a hálózat szerkezeti felépítését illetően.

Több változó dinamikus variancia-kovariancia mátrixának felírását és az esetleges heteroszkedaszticitás torzító hatásának kiszűrését szolgálja a DCC-modell. Ennek becslése (1) során a  $\sigma_{(i,t)}^2$  feltételes varianciát, a  $\sigma_{(i,j,t)}$  feltételes kovarianciát a  $\Phi_{t-1}$  információk mellett elérhető  $r_t \parallel \Phi_{t-1} \sim N(0, H_t)$  hozamok segítségével becsüljük minden  $t - q$  időpontban (Engle [2002]):

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \sigma_{i,t}^2 & \dots & \sigma_{i,j,t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{j,i,t} & \dots & \sigma_{j,t}^2 \end{bmatrix} = \\ & = \sum_{i=1}^p \alpha_{i,j} \begin{bmatrix} e_{i,t-p}^2 & \dots & e_{i,j,t-p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{j,i,t-p} & \dots & e_{j,t-p}^2 \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^q \beta_{i,j} \begin{bmatrix} \sigma_{i,t-q}^2 & \dots & \sigma_{i,j,t-q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{j,i,t-q} & \dots & \sigma_{j,t-q}^2 \end{bmatrix}. \end{aligned} \tag{1}$$

A minimális feszítőfa ( $T = (V, E')$ ) olyan algráfja egy minden csúcspontot ( $V$ ) magában foglaló, nem irányított ( $E \subset V \times V$ ) és súlyozott ( $w: E \rightarrow \mathbb{R}$ ) gráf-

nak, amely tartalmazza a hálózat összes csúcspontját ( $|E'| = |V| - 1$ ), miközben a fa súlyát leíró  $w(T) = \sum_{(e) \in E'} w(e)$  értéke minimális az összes  $T$  feszítőfára nézve.

Az így kapott gráf segítségével meghatározhatjuk a piacok fontosságát az alapján, hogy az egyes piacoknak hány másikkal van kapcsolata (gyakoriság), melyiknek van közvetítő szerepe a többi között (közöttiség), és mennyire tölt be központi szerepet (közelség), azaz átlagosan milyen hosszúak a pontból induló legrövidebb utak a hálózat többi pontjába. Alapvetően a közelség annak mértéke, hogy egy index milyen közel van az összes többi indexhez. Minél magasabb egy adott index pontszáma, annál gyorsabban terjeszti az információt az összes többi felé (*Lee–Djauhari* [2012]).

A Markov-féle rezsinváltó modell (Markov switching, MS) használatát feltételezi, hogy a hálózat felépítését egy nem megfigyelhető folyamat változtatja a háttérből, és szükségünk van fordulópontok meghatározására. A kovarianciastacionárius MS-modellben (2) a tranzíciós változó nem figyelhető meg közvetlenül, azonban feltételezhetjük, hogy egy elsőrendű két rezsimből álló Markov-láncot követ ( $MS(2) - AR(p)$ ):

$$x_t - \mu(S_t) = \sum_{i=1}^p \varphi_i(S_t)(x_{t-i} - \mu(S_{t-i})) + \sigma(S_t)e_t, \quad (2)$$

ahol a nem megfigyelhető folyamat ( $S_t$ ) egy ergodikus Markov-lánc, megragadva a nem megfigyelhető rezsimbe tartozást  $t$  időpontban, az  $(e_t)$  egy standardizált fehérzaj-folyamat, az  $\mu(S_t)$ ,  $\varphi_1(S_t), \dots, \varphi_p(S_t)$  és  $\sigma(S_t)$  paraméterek időben változnak, és leírják az  $x_t$  változó függését az aktuális  $S_t$  rezsimtől (*Hamilton* [1989]). Minden  $S_t$  rezsim leírja a gráf szerkezetét adott  $t$  időpontban, majd a következő  $t + 1$ -es időállapotban megmarad, vagy átvált egy alternatív rezsimbe, amely a valószínűségi tranzíciós mátrix segítségével  $\boldsymbol{\eta} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{21} \\ p_{12} & p_{22} \end{pmatrix}$  adható meg<sup>3</sup>. Ezáltal az idő

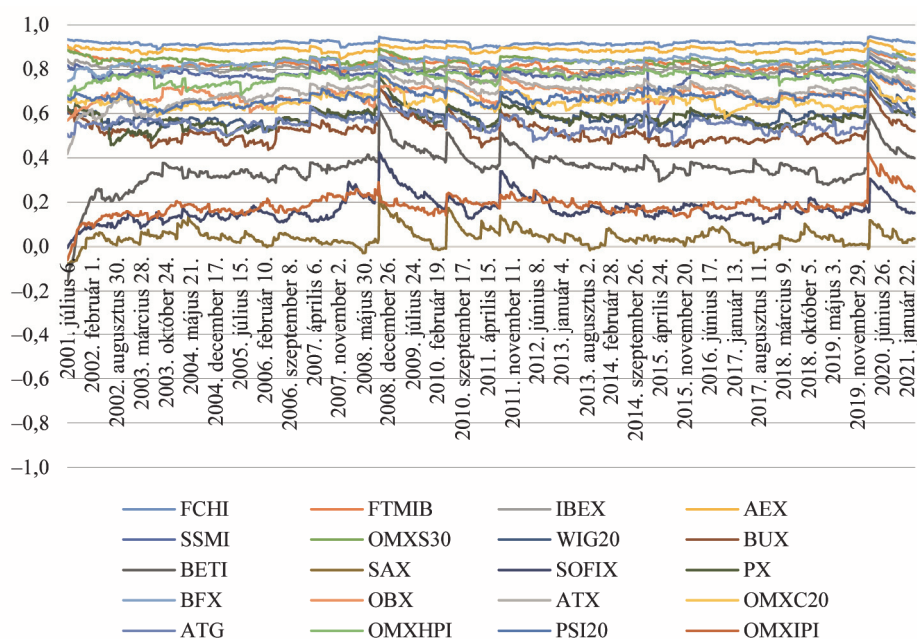
függvényében fel tudjuk írni a gráf szerkezetének módosulását a különböző rezsimekben tartózkodáson keresztül, a valószínűségek pedig segítenek eldönteni azt, hogy az ott-tartózkodásuk mennyiben tekinthető átmenetinek. A két rezsim által leírható két szélsőséges esetet összehasonlítva az indexek hálózaton belüli helyzete gyökeresen eltérő.

<sup>3</sup>  $P(S_t = j | S_{t-1} = i) = p_{ij}$ , ahol  $0 < p_{ij} < 1$  minden  $i, j = 1, 2$ -re, és az egyes valószínűsége összege  $p_{ij} = 1$ .

## 4. Eredmények

Első lépésként megvizsgáltuk az összes piac dinamikus feltételes együttmozgását a teljes idősorra a Refinitiv Eikon-adatbázisból letöltött heti részvénypiaci idősorokon. (Lásd a 2. ábrát.) Néhány kivételtől eltekintve a német és a többi európai részvényindex között 0,5 fölötti együttmozgást tapasztaltunk, amely érték recessziós időszakokban további emelkedést mutatott. Természetesen a továbbiakban az összes lehetséges piac közötti együttmozgást vizsgáltuk, a német piac esetét csupán reprezentatív jellege és ábrázolástechnikai szempontok miatt emeltük ki.

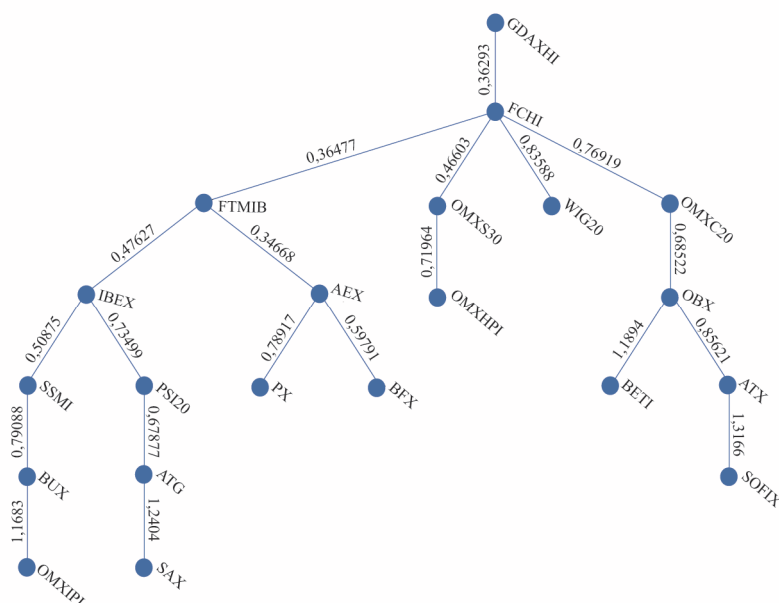
2. ábra. A piacok dinamikus feltételes együttmozgása a német DAX-indexszel  
(Dynamic conditional co-movement of markets with the German DAX index)



A teljes idősoron számított gráf segítségével meghatároztuk az egyes piacok fontosságát az alapján, hogy azoknak hány másikkal volt kapcsolata (görög piac: 5; svéd, spanyol, holland, norvég: 3). Emellett képet kaptunk arról is, hogy mely piacok bizonyultak közvetítőnek a többi piac között (közöttség: francia: 124 és olasz: 121, a többi piac egy nagyságrenddel kisebb), és mennyire töltöttek be központi szerepet (közelség: francia és olasz: 0,031), azaz átlagosan milyen hosszúak a pontból induló legrövidebb utak a hálózat többi pontjába. A teljes időszakra vetítve az árazási hatá-

sok szétterítésében központi szerepe volt a francia (FCHI) és az olasz (FTMIB) piacoknak, amelyek alatt további kisebb csomópontok helyezkedtek el – adott esetben nem is a regionális szomszédság elve szerint rendeződve.

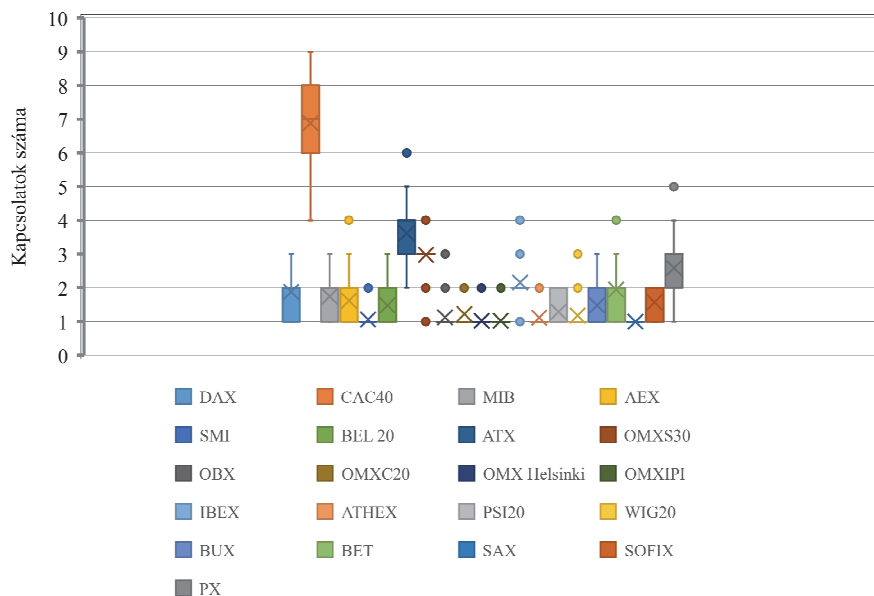
3. ábra. A teljes időszoron mért feszítőfa-gráf  
(Graph of the spanning tree measured on the entire time series)



Az általános kép alapján a gráfok dinamikusan változtak negyedévről negyedévre, így inkább az őket leíró statisztikákat (a közöttséget és a közelséget) vizsgáltuk. A teljes vizsgált időszakot tekintve várhatóan az európai magországok (Németország, Franciaország, Olaszország, Hollandia, Belgium, Svájc, Ausztria) tőzsdéi gyakorolják a legnagyobb hatást a többi piacra (skandináv, mediterrán és kelet-közép európai alminták).

A 4. ábra szerint a francia tőzsdeindexnek van a legtöbb kapcsolata a vizsgált időszakban, emellett az osztrák index rendelkezik nagy kapcsolati hálóval. Ebből arra következtethetünk, hogy a francia index súlya a legnagyobb, azaz leginkább a CAC40 befolyásolja a legtöbb index alakulását. Emellett erős az osztrák index hatása is.

4. ábra. Piacok száma, melyekkel az egyes piacok negyedévről negyedévre kapcsolatban állnak  
(Number of markets to which the various markets relate)



A közöttséget – a lehetséges legrövidebb út összessége bármely részvények között – a hálózaton belüli információáramlás elemzésére használják. Tehát a legmagasabb pontszámot elért index a hálózatban zajló információáramlás koordinálásában betöltött szerep szempontjából jelentős indexnek minősül (Lee–Djauhari [2012]). A 4. ábrához hasonló eredményre jutunk a közöttség vizsgálata kapcsán. (Lásd a Függelék F1. ábráját.) Mivel ez esetben a francia index pontszáma a legnagyobb (0,043), így az európai tőzsdeindexek között a vizsgált időszakban a francia index számít a legjelentősebbnek információáramlás-koordináció szempontjából.

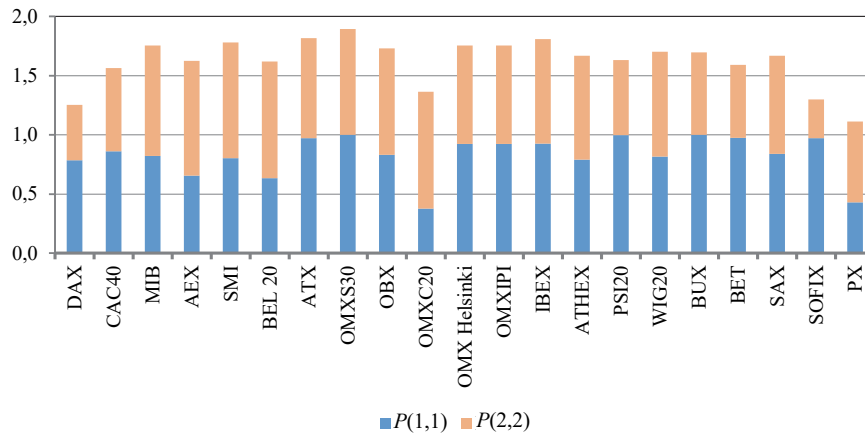
A közelség a hálózat összes lehetséges indexpárja közötti legrövidebb utat is magában foglalja, tehát definíció szerint egy index és az abból elérhető összes többi index közötti legrövidebb utak átlagos számát jelenti. A központinak tekinthető piacok súlyát a közelség rajzolja ki jobban (lásd az F2. ábrát); ezek a piacok valóban közelebb helyezkednek el az összes többihez a gráfon; ilyen piacoknak tekinthetők a skandináv (a svéd OMX30-index vezetésével), a mediterrán (a spanyol IBEX-index vezetésével) és a kelet-közép-európai piacok (a cseh PX-index vezetésével). A közöttség és a kapcsolatok elemzése esetén kapott eredményhez hasonlóan a közelség vizsgálatakor is a francia index kapja a legnagyobb pontszámot (169), tehát ez terjeszti a leggyorsabban az információt a többi index felé. Nem elhanyagolható a német és az osztrák index befolyása sem (128 pont).

A centralitási mérőszámok vizsgálata során a várakozásaink beigazolódtak, ugyanis az európai magországok a legmeghatározóbbak. Ha az első 20 százalékot

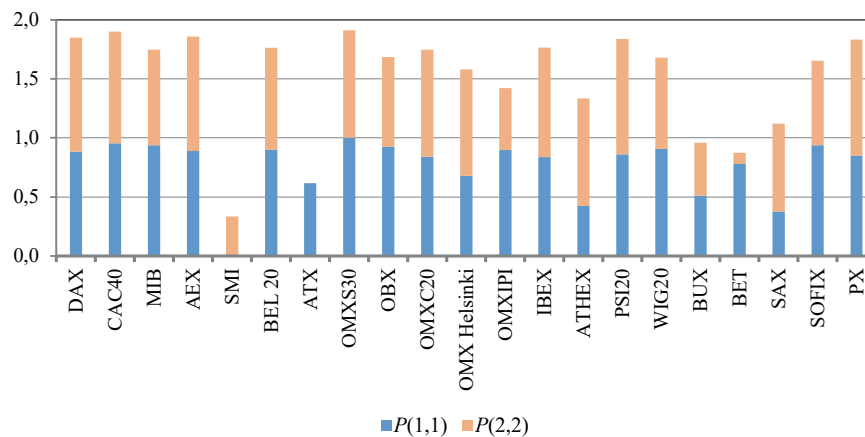
tekintjük, akkor a német, a francia, az olasz, valamint az osztrák tőzszeindex érte el a legmagasabb pontszámot, tehát ezek hatnak leginkább a többi európai tőzszeindexre. Eredményeinket alátámasztja többek között *Eryiğit* és *Eryiğit* [2009] kutatása is, akik átfogó elemzést végeztek, nem csak az európai tőzszeindexekre. Az európai indexek esetén azt találták, hogy a francia a leginkább meghatározó, mellette még a német DAX-index nagyobb jelentőségű.

Bár ezek a mutatók jól leírják a teljes vizsgált időszakot, fontosnak tartottuk megvizsgálni a gráfjellemzők dinamikus természetét, azaz, hogy mennyiben bonthatók két rezsimre a közöttiség- és közelségértékek, valamint mennyire esnek egybe ezek a szétválások a nagyobb válságidőszakokkal.

5. ábra. Tranzíciós valószínűségi mátrixok – közöttiség  
(Transition probability matrices – betweenness)



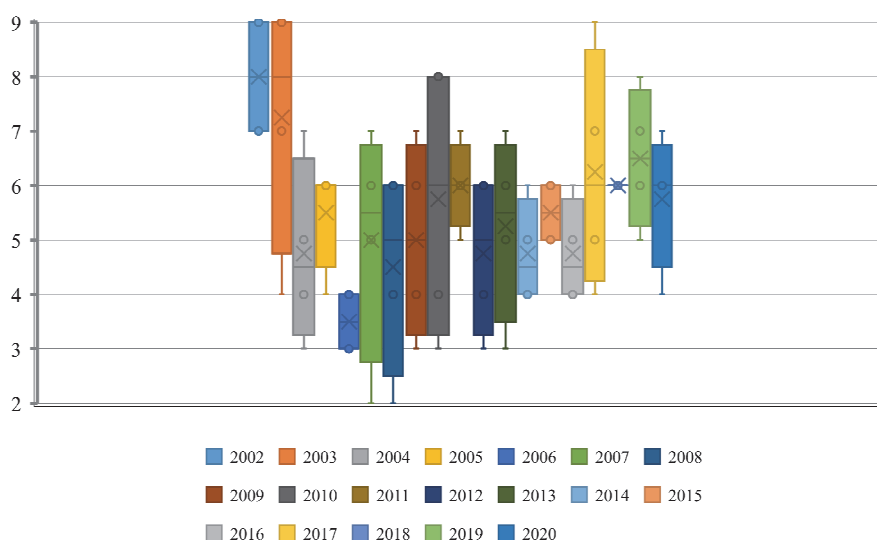
6. ábra. Tranzíciós valószínűségi mátrixok – közelség  
(Transition probability matrices – closeness)



Az 5. és a 6. ábra bemutatja, hogy a rezsimekben tartózkodás valószínűsége jellemzően meghaladja a 70 százalékot, azaz az egyes piacok hálózaton belüli súlya nem változik túl gyakran, de ha igen, akkor az új hálózati felépítés is stabilnak bizonyul. A következő piacokat ki kellett hagyni a további vizsgálatból a rezsimben tartózkodás instabilitása miatt: SMI, ATX, BUX, BET, de ezeket leszámítva a hálózati hubok stabilak.

Ezt követően azt vettük górcső alá, hogy az egyes centrális mutatók szerint rezsimenként milyen változásokat figyelhetünk meg az évek során.

7. ábra. A közöttség rezsimenként  
(Betweenness by regime)

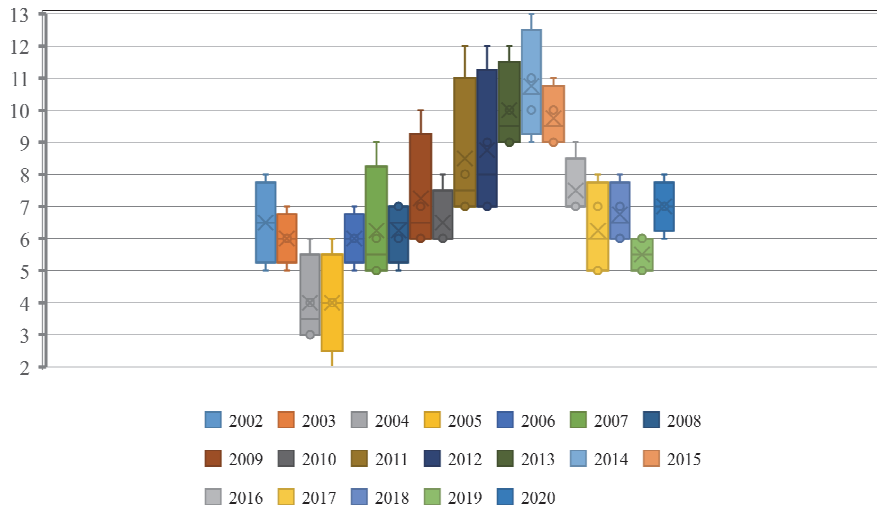


A 7. és a 8. ábra alapján megállapítható, hogy az indexek jellemzően nem „akarnak” a rezsimben tartózkodni sok hatására, azaz, ha a piac struktúrát vált, az semmi jót nem jelez a következő időszakokra nézve. A közelségi mutató emellett a gyakorlatban jobban alkalmazhatónak tűnik a Markov-féle rezsimváltások leírására. A hálózat egyik szélsőséges állapotát jól ragadja meg a 2005. év (ekkor a centralitási mérőszámok jellemzően inkább az egyes rezsimben „szerettek” tartózkodni), míg a másikat az eurozóna szuverén adósságválságával jellemezhető 2014. év (ekkor a másik rezsimbe kerültek át a mérőszámok). A kelet-közép-európai régióban az osztrák ATX-tőzsdeindex dominanciája érvényesül, amely a cseh és a román indexeken keresztül hat a többi regionális piacra. Hasonló regionális hatások tapasztalhatók a skandináv régióban is a svéd index dominanciája mellett, azonban érdekes módon 2014-re az izlandi index átkerült a kelet-közép-európai indexek közé. A mediterrán országok alkotják az utolsó stabil regionális csoportot, amelyben az olasz tőzsde



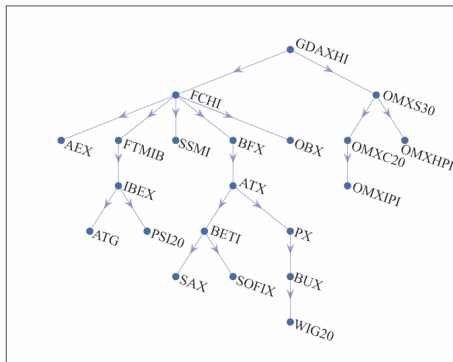
dominál a spanyol, portugál és a görög indexek fölött. Látható, hogy válságos időszakban a vezető piacok szerepe sokkal jobban megnő a hálózaton belül, miközben egyúttal „messzebb” is kerülnek egymástól a közösségi mutató esésével a kisebb indexek.

8. ábra. A közelség rezsimenként  
(Closeness by regime)

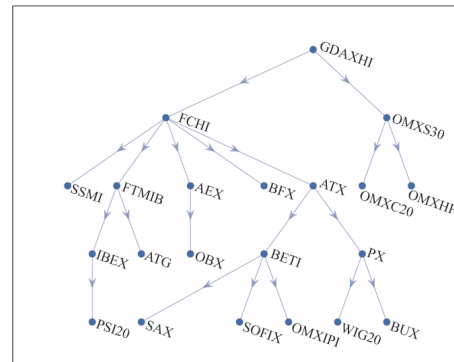


9. ábra.: A 2005. évi és a 2014. évi első negyedéves hálózatok felépítése  
(Networking, Q1 2005, Q1 2014)

2005. évi első negyedév



2014. évi első negyedév



Sajátos tapasztalat, hogy a 2020. év során a Covid19-járvány hatására az európai tőzsdeindexek hálózati felépítése nem mozdult el drámaian egyik szélsőséges

állapot irányába sem, hanem javarészt az előző éves struktúrát követte (azaz hálózati szinten nem tapasztalhattunk olyan, árazás szintjén megjelenő túlzott reagálást, mint amelyről *Saleem–Bárczi–Sági* [2022] is írt). Ebből a szempontból tehát messze nem érzékelhettünk olyan mélyreható változásokat, mint amilyenek a 2008-as globális pénzügyi válság idején vagy még inkább a 2010-es évek első felében, az eurózána adósságválsága nyomán jelentkeztek a piacokon.

## 5. Összefoglalás

Tanulmányunkban az európai tőzsdeindexek viselkedését vizsgáltuk hálózat- és idősorelemzési megközelítéssel. Az indexeket az indexhozamok logaritmusai közötti összefüggésekkel együtt komplex korrelációalapú hálózatnak tekintettük, amelyet minimális feszítőfaként ábrázoltunk, és az egyes részvénytőzsdék relatív jelentőségét a közöttség, valamint a közelség centralitási mérőszámok segítségével határoztuk meg.

Alapfeltevésünk, miszerint leginkább az európai magországok (Németország, Franciaország, Olaszország, Hollandia, Belgium, Svájc, Ausztria) tőzsdéi gyakorolják a legnagyobb hatást a többi piacra (skandináv, mediterrán és kelet-közép európai alminták), beigazolódott, kiegészítve azzal a megállapítással, hogy ezek közül is a francia tőzsdeindex (CAC40) a legnagyobb befolyású. Ez az index a legerősebb az európai tőzsdeindexek között a hagyományos mértékeket tekintve.

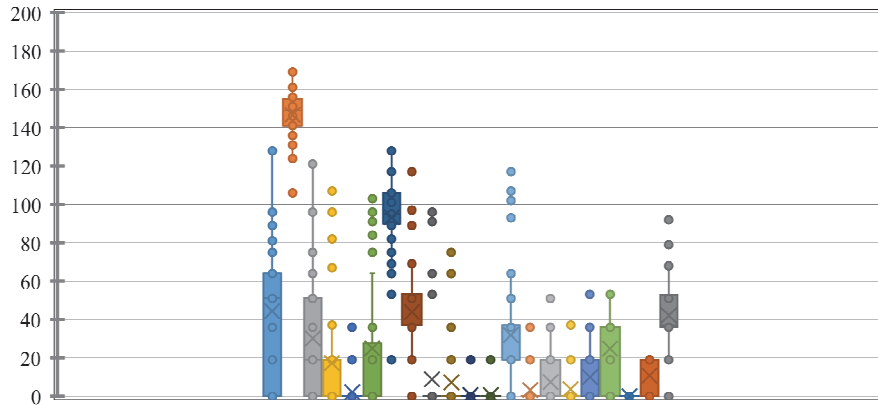
Összefoglalva, a magországok indexeinek több kapcsolatuk van a többi európai indexhez hasonlítva; képesek irányítani az információ elosztását a hálózatban; képesek gyorsan eljuttatni az információkat a többiekhez; és kapcsolataik vannak az erősebb részvényekkel. Az első főkomponensértékek alapján a fokcentralitásnak kisebb relatív súlya van a részvények jelentőségének tükrözésében. Ez megegyezik többek között *Eryigit* és *Eryigit* [2009] megállapításaival.

Eredményeink és feltevéseink bizonyítása előrelépést jelenthet a piaci sokkok terjedésének vizsgálatában, ugyanis ezen információk segítségével alaposabban és részletesebben tudjuk elemezni az indexek viselkedését különféle sokkok időszakában, valamint lehetőség nyílik egy bizonyos trendszemlélet kialakítására a jövőbeli sokkok esetén. A negyedéves idősorok elemezhetősége emellett biztosíthatja a bemutatott centralitási mérőszámok (mint változók) bevonását átfogóbb makropénzügyes modellekbe is.

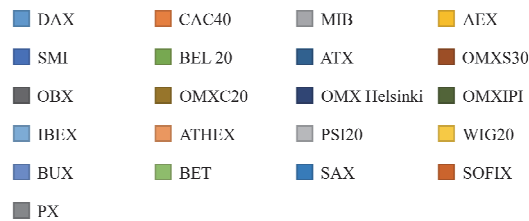
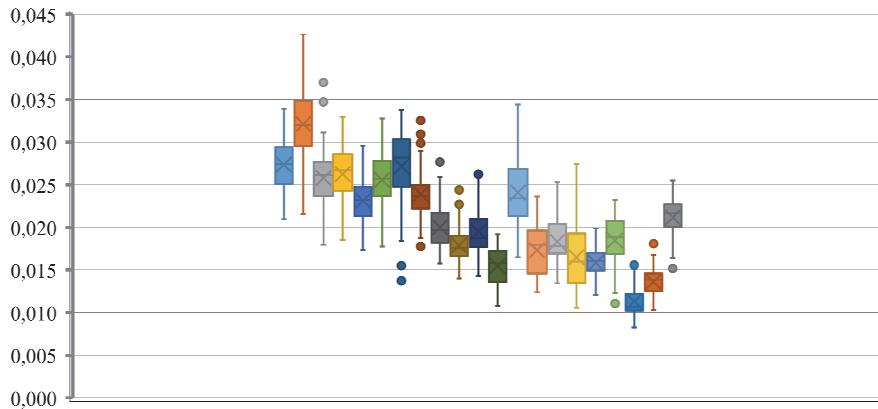
További konklúzió, hogy fontos az egyes országok tőzsdeindex-lokációjának megismerése az európai indexhálózatban, feltárva ezáltal befolyásuk mértékét, valamint a rájuk irányuló befolyások irányát.

## Függelék

F1. ábra. Az egyes piacok közöttsége  
(Betweenness of the markets examined)

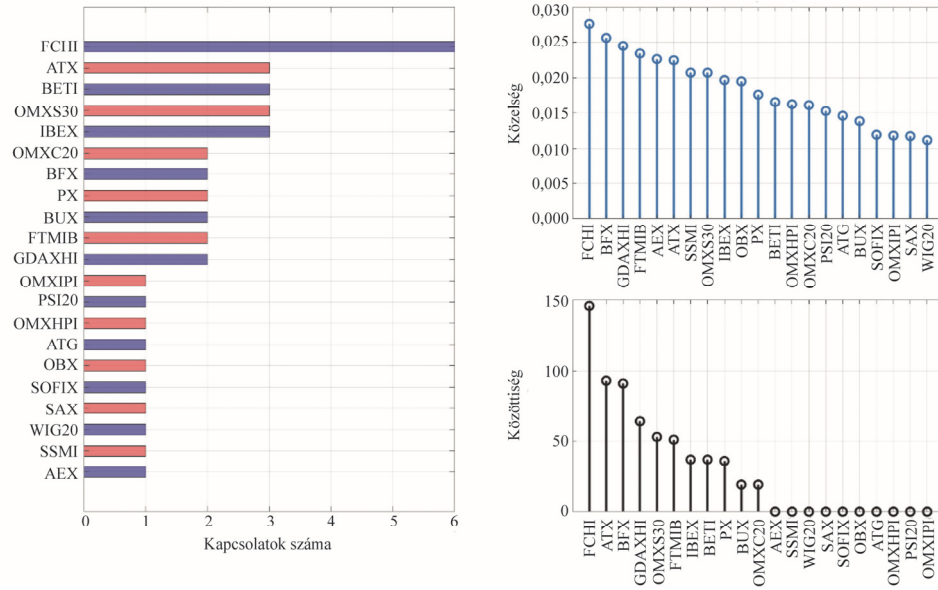


F2. ábra. Az egyes piacok közelsége  
(Closeness of the markets examined)

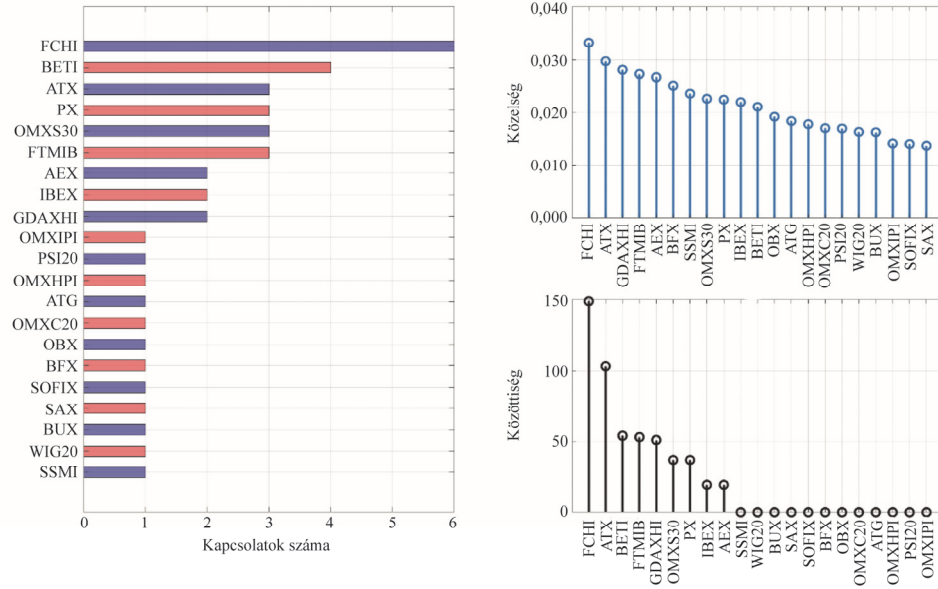


F3. ábra. A 2005. és 2014. évi első negyedéves hálózati centralitási mérőszámok (Network centrality measures, Q1 2005, Q1 2014)

2005. első negyedév



2014. első negyedév



## Irodalom

- ANGELA-MARIA, F. – MARIA, P. A. – MIRUNA, P. M. [2015]: An empirical investigation of herding behavior in CEE stock markets under the global financial crisis. *Procedia Economics and Finance*. Vol. 25. May. pp. 354–361. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00745-5](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00745-5)
- APERGIS, N. [2015]: Policy risks, technological risks and stock returns: New evidence from the US stock market. *Economic Modelling*. Vol. 51. December. pp. 359–365. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2015.08.021>
- ASTUTY, P. [2017]: The influence of fundamental factors and systematic risk to stock prices on companies listed in the Indonesian stock exchange. *European Research Studies Journal*. Vol. XX. Issue 4A. pp. 230–240. <http://dx.doi.org/10.35808/ersj/830>
- BARABÁSI, A. L. – ALBERT, R. [1999]: Emergence of scaling in random networks. *Science*. Vol. 286. No. 5439. pp. 509–512. <http://dx.doi.org/10.1126/science.286.5439.509>
- BARABÁSI, A. L. [2016]: *Network Science*. <http://networksciencebook.com/>
- BRIDA, J. G. – RISSO, W. A. [2008]: Multidimensional minimal spanning tree: The Dow Jones case. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 387. Issue 21. pp. 5205–5210. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2008.05.009>
- CALVO, G. A. – LEIDERMAN, L. – REINHART, C. M. [1996]: Inflows of capital to developing countries in the 1990s. *Journal of Economic Perspectives*. Vol. 10. No. 2. pp. 123–139. <http://dx.doi.org/10.1257/jep.10.2.123>
- CHONG, E. – HAN, C. – PARK, F. C. [2017]: Deep learning networks for stock market analysis and prediction: Methodology, data representations, and case studies. *Expert Systems with Applications*. Vol. 83. October. pp. 187–205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2017.04.030>
- CHUNXIA, Y. – XUESHUI, Z. – QIAN, LI. – YANHUA, C. – QIANGQIANG, D. [2014]: Research on the evolution of stock correlation based on maximal spanning trees. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 415. December. pp. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.07.069>
- COELHO, R. – GILMORE, C. G. – LUCEY, B. – RICHMOND, P. – HUTZLER, S. [2006]: The evolution of interdependence in world equity markets – Evidence from minimum spanning trees. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 376. March. pp. 455–466. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2006.10.045>
- CORSETTI, G. – PERICOLI, M. – SBRACIA, M. [2005]: ‘Some contagion, some interdependence’: More pitfalls in tests of financial contagion. *Journal of International Money and Finance*. Vol. 24. No. 8. pp. 1177–1199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jimonfin.2005.08.012>
- COZIER, J. G. – WATSON, P. K. [2019]: Co-movement in stock prices in emerging economies: The case of the CARICOM region. *International Economic Journal*. Vol. 33. No. 1. pp. 111–127. <http://dx.doi.org/10.1080/10168737.2019.1573265>
- CSIKI M. – KISS G. D. [2018]: Tőkepiaci fertőzések a visegrádi országok részvénypiacain a Heckman-féle szelekciós modell alapján. *Hitelintézet Szemle*. 17. évf. 4. sz. 23–52. old. <http://dx.doi.org/10.25201/HSZ.17.4.2352>
- CZELLENG Á. [2019]: A visegrádi országok pénzügyi integrációja: a részvény- és kötvénypiaci hozamok, valamint a volatilitás együttmozgásának vizsgálata wavelet és kopula tesztekkel. *Statisztikai Szemle*. 97. évf. 4. sz. 347–363. old. <http://dx.doi.org/10.20311/stat2019.4.hu0347>

- ENGLE, R. [2002]: Dynamic conditional correlation. *Journal of Business & Economic Statistics*. Vol. 20. Issue 3. pp. 339–350. <http://dx.doi.org/10.1198/073500102288618487>
- ERYİĞİT, M. – ERYİĞİT, R. [2009]: Network structure of cross-correlations among the world market indices. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 388. September. pp. 3551–3562. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2009.04.028>
- FAMA, E. F. [1965]: The behavior of stock-market prices. *The Journal of Business*. Vol. 38. No. 1. pp. 34–105. <http://dx.doi.org/10.1086/294743>
- GROSSMAN, S. J. – STIGLITZ, J. E. [1980]: On the impossibility of informationally efficient markets. *American Economic Review*. Vol. 70. No. 3. pp. 393–408. <https://www.jstor.org/stable/1805228>
- GUNAY, S. [2020]: *A New Form of Financial Contagion: Covid-19 and Stock Market Responses*. SSRN Working Paper. No. 04. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3584243>
- HOLMES, M. J. – MAGHREBI, N. [2016]: Financial market impact on the real economy: An assessment of asymmetries and volatility linkages between the stock market and unemployment rate. *The Journal of Economic Asymmetries*. Vol. 13. June. pp. 1–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeca.2015.10.003>
- HUANG, C. L. [2020]: International stock market co-movements following US financial globalization. *International Review of Economics Finance*. Vol. 69. September. pp. 788–814. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iref.2020.06.009>
- HULL, J. C. [2018]: *Risk Management and Financial Institutions*. Fifth Edition. Wiley. Hoboken.
- Ji, Q. – LIU, B. Y. – CUNADO, J. – GUPTA, R. [2020]: Risk spillover between the US and the remaining G7 stock markets using time-varying copulas with Markov switching: Evidence from over a century of data. *The North American Journal of Economics and Finance*. Vol. 51. Article No. 100846. <http://dx.doi.org/10.1016/j.najef.2018.09.004>
- KISS G. D. [2017]: *Volatilitás, extrém elmozdulások és tőkepiaci fertőzések*. JATEPress Kiadó. Szeged.
- LEE, G. S. – DJAUHARI, M. A. [2012]: An overall centrality measure: The case of U.S stock market. *International Journal of Basic & Applied Sciences*. Vol. 12. No. 6. pp. 99–103.
- MALKIEL, B. G. [2003]: The efficient market hypothesis and its critics. *Journal of Economic Perspectives*. Vol. 17. No. 1. pp. 59–82. <http://dx.doi.org/10.1257/089533003321164958>
- NAGY B. – ULBERT J. [2007]: Tőkepiaci anomáliák. *Statisztikai Szemle*, 85. évf. 12. sz. 1040–1032. old.
- NUGROHO, R. H. – ANDARINI, S. – WIJAYA, R. S. – PRABOWO, B. [2020]: Analysis of the effect of exchange value, inflation level, SBI interest rate and Hang Seng index for joint stock price index in Indonesia stock exchange (Study On IDX 2016 – 2019). *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology*. Vol. 17. No. 6. pp. 8304–8314.
- SABILLA, A. R. – KURNIASIH, A. [2020]: The effect of macroeconomics on stock index. *Journal of Economics and Management Studies*. Vol. 7. Issue 3. pp. 81–87. <https://doi.org/10.14445/23939125/IJEMS-V7I3P113>
- SALEEM, A. – BÁRCZI, J. – SÁGI, J. [2021]: COVID-19 and Islamic stock index: Evidence of market behavior and volatility persistence. *Journal of Risk and Financial Management*. Vol. 14. No. 8. p. 389. <https://doi.org/10.3390/jrfm14080389>

- SANDOVAL, L. [2012]: Pruning a minimum spanning tree. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 391. April. pp. 2678–2711. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2011.12.052>
- SANDOVAL, L. [2014]: Correlation and network structure of international financial markets in times of crisis. In: *Arouri, M. – Boubaker, S. – Nguyen, D. (eds.): Emerging Markets and the Global Economy – A Handbook*. Academic Press. Cambridge. pp. 795–810. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-411549-1.00033-8>
- SUN, W. – RACHEV, S. – FABOZZI, F. J. – KALEV, P. S. [2009]: A new approach to modeling co-movement of international equity markets: Evidence of unconditional copula-based simulation of tail dependence. *Empirical Economics*. Vol. 36. No. 1. pp. 201–229. <http://dx.doi.org/10.1007/s00181-008-0192-3>
- VO, X. V. [2017]: Do foreign investors improve stock price informativeness in emerging equity markets? Evidence from Vietnam. *Research in International Business and Finance*. Vol. 42. December. pp. 986–991. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ribaf.2017.07.032>
- WANG, L. [2019]: Measuring the effects of unconventional monetary policy on MBS spreads: A comparative study. *The North American Journal of Economics and Finance*. Vol. 49. July. pp. 235–251. <http://dx.doi.org/10.1016/j.najef.2019.03.020>
- WANG, X. F. – CHEN, G. [2003]: Complex networks: Small-world, scale-free and beyond. *Circuits and Systems Magazine*. Vol. 3. No. 1. pp. 6–20. <https://doi.org/10.1109/MCAS.2003.1228503>
- WATTS, D. J. – STROGATZ, S. H. [1998]: Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature*. No. 393. pp. 440–442. <http://dx.doi.org/10.1038/30918>
- XU, N. – LI, S. [2020]: Segment stock market, foreign investors, and cross-correlation: Evidence from MF-DCCA and spillover index. *Complexity*. Article ID 5836142. <http://dx.doi.org/10.1155/2020/5836142>
- YAO, J. – MA, C. – HE, W. P. [2006]: Investor herding behaviour of Chinese stock market. *International Review of Economics Finance*. Vol. 29. January. pp. 12–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iref.2013.03.002>
- ZHAO, L. – WANG, G. J. – WANG, M. – BAO, W. – LI, W. – STANLEY, H. E. [2018]: Stock market as temporal network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 506. September. pp. 1104–1112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2018.05.039>