



Közzététel: 2025. szeptember 12.

A tanulmány címe:

Többrétegű kereskedelmi hálózatok dinamikus vizsgálata

Szerzők:

KOSZTYÁN ZSOLT TIBOR

PhD habil., a Pannon Egyetem Menedzsmentintézete Kvantitatív Módszerek Intézeti Tanszékének egyetemi tanára, a közszegi Felsőbbfokú Tanulmányok Intézete vezető kutatója

E-mail: kosztyan.zsolt@gtk.uni-pannon.hu

KOSZTYÁNNÉ MÁTRAJ RITA

PhD, a Pannon Egyetem Menedzsment Intézete Kvantitatív Módszerek Intézeti Tanszékének egyetem adjunktusa

E-mail: kosztyanne.matrai.rita@gtk.uni-pannon.hu

DOI: <https://doi.org/10.20311/stat2025.09.hu0811>

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 103. évfolyam 9. számában megjelent, Kosztyán Zsolt Tibor – Kosztyánné Mátrai Rita által írt, Többrétegű kereskedelmi hálózatok dinamikus vizsgálata című tanulmány (link csatolása)*”

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

Kosztján Zsolt Tibor – Kosztjáné Mátrai Rita

Többrétegű kereskedelmi hálózatok dinamikus vizsgálata

Dynamic analysis of multilayer trade networks

Kosztján Zsolt Tibor, PhD habil., a Pannon Egyetem Menedzsmentintézete Kvantitatív Módszerek Intézeti Tanszékének egyetemi tanára, a községi Felsőbbfokú Tanulmányok Intézete vezető kutatója

E-mail: kosztjan.zsolt@gtk.uni-pannon.hu

Kosztjáné Mátrai Rita, PhD, a Pannon Egyetem Menedzsment Intézete Kvantitatív Módszerek Intézeti Tanszékének egyetem adjunktusa

E-mail: kosztjanne.matrai.rita@gtk.uni-pannon.hu

Tanulmányunk a Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet (OECD) országai többrétegű globális világkereskedelmi hálózatának (Inter-Country Input-Output, ICIO) 1995 és 2020 közötti dinamikus fejlődését vizsgálja. A kutatás ötvözi a többrétegűhálózat-elméleti módszereket, valamint a statisztikai és az ökonometria eljárássokat, ideértve a dinamikus többrétegű hálózatok vizsgálatának módszereit, a (bi)klaszterezési és oksági elemzéseket azért, hogy meghatározhassuk a globális kereskedelmi hálózat strukturális, ágazati és az országokra vonatkozó mutatóinak időbeli összefüggéseit és egymásra hatását. A tanulmány elsődleges célja az oksági kapcsolatok mintázatainak azonosítása a többrétegű kereskedelmi hálózat struktúráiban, és feltárni az egyes országok és gazdasági ágazatok szerepét a globális kereskedelem dinamikájában. Az eredmények azt mutatják, hogy a kereskedelmi hálózatok, valamint a szereplők/ágazatok strukturális mutatói gyakran egységesen mozognak, és az egyik országban/gazdasági ágazatokban végbemenő változások gyors átalakulást idézhetnek elő az egész hálózaton. A tanulmány feltárja a gazdasági zavarok kereskedelemre gyakorolt lépcsőzetes hatásait is, vizsgálva az országok és a gazdasági ágazatok összekapcsolódását a globális gazdasági változásokkal szemben. Ezek a felismerések kulcsfontosságúak a politikai döntéshozók és az üzleti vezetők számára, hangsúlyozva, hogy adaptív stratégiákra van szükség a tartós globális gazdasági ingadozásokkal és válságokkal szembeni ellenálló képesség fokozása érdekében.

Kulcsszavak: Többrétegű kereskedelmi hálózatok, kauzális elemzések, globális változások, minta-elemzés

This study examines the dynamic evolution of global trade networks from 1995 to 2020 using the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)'s Inter-Country Input-Output data. The research combines multilayer network theory methods with advanced statistical and econometric procedures, including dynamic multilayer network analysis methods, (bi)clustering, and causal analyses to evaluate temporal nature of structural, sectorial and country-wise indicators. The study's primary objective is to identify causal patterns in multi-layer trade network structures and reveal the roles of specific countries and industries as drivers of change in global trade dynamics. The analysis reveals significant shifts in structural indicators, highlighting the evolving roles of major players like China and the United States. Findings indicate that structural indicators of trade networks/industries/countries often move in unison, with changes in one country/industry potentially triggering rapid transformations

across the entire network. The study also uncovers the cascading effects of economic disruptions on trade patterns, emphasizing the interconnectedness of countries and industries in the face of global economic changes. These insights are crucial for policymakers and business leaders, underscoring the need for adaptive strategies to enhance resilience against persistent global economic fluctuations and crises.

Keywords: multilayer trade networks, causality analysis, global changes, temporal patterns

A tanulmány elkészültével egy időben (2025. április) jelentette az amerikai kormányzat a vámok nagymértékű emelését, amellyel egy új korszak kezdődött a világkereskedelemben, így a globális kereskedelem szereplőinek, gazdasági ágazatának, illetve strukturális viszonyainak feltárását célzó cikkünk talán nem is lehetne aktuálisabb. A kereskedelmi hálózatok szerkezeti változásainak vizsgálata – különösen ebben a gyorsan változó gazdasági környezetben – nagyon fontos kutatási terület (*Rauch, 2001; He–Deem 2010; Guo et al., 2023*), mivel ezek a változások gyakran széles körű gazdasági és társadalmi átalakulásokat jeleznek a gazdaságon és a társadalmon belül (*Mahutga, 2006; Stolte–Emerson, 2021*). A kereskedelmi szokások változásai jelezhetik a fogyasztói preferenciák megváltozását (*Janeba, 2007*), a technikai fejlődést (*Guerrieri, 1999*), az új piacok megjelenését (*Antonelli, 2002*), feltörekvését (*Alamsyah et al., 2023*) vagy a geopolitikai átrendeződést, amely hatással lehet a helyi gazdaságokra és a globális piac dinamikájára (*Antonelli, 2002*). Ezen túlmenően egy ilyen vizsgálat feltárhatja az országok és a gazdasági ágazatok kereskedelmi hálózatokban betöltött szerepeinek változását (*Li et al., 2024b*), amely egyszerre lehet politikai gazdasági döntések következménye (*Kosztján et al., 2024b*), és befolyásolhatja a további politikai döntéseket (*Milner, 2017*), valamint rávilágíthat a gazdaságok egymásra utaltságára egy fokozatosan globalizálódó környezetben. Ezeknek a szerkezeti változásoknak a megértése nemcsak a jövőbeli gazdasági trendek előrejelzését segíti elő, hanem lehetővé teszi a kereskedelmi rendszereken belüli gyengeségek és lehetőségek felismerését (*Sun et al., 2022*), elősegíti a stratégiai döntéshozatalt és a fenntartható fejlődést (*Xu et al., 2025*).

A legfrissebb kutatások (*Li et al., 2024b; Xu et al., 2025*) hangsúlyozták a kereskedelmi hálózatok különféle nézőpontból való vizsgálatának fontosságát. Az elemzések ugyanis segíthetnek a hipotetikus forgatókönyvek felállításá helyett a tényleges politikai változások következményeire fókuszálni (*Kosztján et al., 2024b*). A kereskedelmi hálózatok átfogó vizsgálata pontosabban tükrözi a kereskedelempolitika gazdasági eredményekre gyakorolt hatását (*Goldberg–Pavcnik, 2016*). *He és Deem (2010)*, valamint *Guo és szerzőtársai (2023)* a kereskedelmi

hálózatok szerkezeti változásainak vizsgálatának jelentőségét emelték ki, míg *Ma-hatuga (2006)*, *Stolte és Emerson (2021)*, illetve *Kosztján és szerzőtársai (2024b)* azt vizsgálták, hogy ezek a változások hogyan tükrözik a széles körű gazdasági és társadalmi átalakulásokat, valamint a politikai és gazdasági döntéseket. *Janeba (2007)* a fogyasztói preferenciáknak a kereskedelmi szokások alakításában betöltött szerepére összpontosított, *Antonelli (2022)* könyvében pedig a technológiai fejlődés és az új piacok megjelenésének a globális kereskedelem dinamikájára gyakorolt hatását vizsgálta. Az újabb tanulmányok, mint például *Li és szerzőtársaié (2024b)*, az országok kereskedelmi hálózatokban betöltött szerepeinek változásaival és a kereskedelmi hálózatok politikai és gazdasági döntések, illetve válságok okozta strukturális változásaival foglalkoztak.

Az ezen a területen végzett kiterjedt kutatási tevékenység ellenére továbbra is jelentős hiányosságok vannak a kereskedelmi hálózatokon belüli ok-okozati kapcsolatok megértésében, valamint az országok és az ágazatok közötti változás kulcsfontosságú mozgatórugóinak azonosításában. A korábbi vizsgálatok gyakran a statikus elemzésekre vagy a korlátozott időkeretekre összpontosítottak, és nem voltak képesek megragadni a kereskedelmi kapcsolatok dinamikus természetét és azok hosszú távú alakulását. Éppen ezért a statikus vizsgálatok mellett idősoros és ok-okozati vizsgálatokra is szükség van, amelyek felderíthetik a gazdasági, a politikai és a társadalmi tényezők közötti összetett kölcsönhatásokat. Ezenkívül számos tanulmány vagy csak egyrétegű hálózatokkal foglalkozott, vagy nem tárta fel teljesen a kereskedelmi hálózatok többrétegű természetét és azok időbeli kapcsolatát, pedig az ilyen vizsgálat mélyebb betekintést nyújthat a különböző ágazatok és országok közötti összetett kölcsönhatásokba.

Ebben a tanulmányban ötvözzük a többrétegű hálózatok vizsgálatát statisztikai, pl. klaszterezési és biklaszterezési, ökonometriai idősorelemzésekkel, előrejelzésekkel és oksági elemzésekkel. E módszerek lehetővé teszik szerkezeti, ország- és ágazatszintű strukturális mutatók dinamikus és oksági vizsgálatát. Ezeknek a technikáknak a használatával feltárhatjuk az ágazatok és az országok kereskedelmi kapcsolatainak egymásra hatását, amely a cikk írásakor küszöbön álló kereskedelmi háború előestéjén különösen aktuális. Ma már a kereskedelemben megkezdhetetlen a multinacionális szervezetek kereskedelemalakító szerepe (*Alfaro et al., 2025*), ugyanakkor a kereskedelmi megállapodások és vámrendelkezések általában országok bilaterális megállapodásainak eredményei, éppen ezért ennek vizsgálata nem csupán kereskedelempolitikai szempontból lehet érdekes. Ez a megközelítés különösen fontos a tartós globális gazdasági ingadozások és válságok összefüggésében, mivel mélyebben megérthetjük, hogy a gazdasági zavarok hogyan befolyásolják a kereskedelmi kapcsolatokat és a hálózat struktúráját, ami által hatékonyabb politikai döntéshozatalt és üzleti stratégiákat fogalmazhatunk meg a jövő kihívásaival szembeni ellenálló képesség fokozására.

Fő kutatási kérdésünk: milyen ok-okozati mintázatok azonosíthatók a többretegű kereskedelmi hálózati struktúrákban, és ezek a mintázatok hogyan mutatják meg az egyes országok és ágazatok szerepét a globális kereskedelem dinamikájának változásában?

1. Szakirodalmi áttekintés

A jelenlegi gazdasági környezetben, különösen egy újabb vámháború kezdetén különösen fontos, hogy megértsük a kereskedelmi hálózatok dinamikáját, a szereplők és az ágazatok egymásra hatását. A hálózattudomány fejlődése új perspektívákat nyújtott a kutatók és a gyakorlati szakemberek számára a bonyolult kereskedelmi folyamatok megértése, modellezése területén (Xu et al., 2025). A politikai konfliktusokból, gazdasági válságokból és egészségügyi vészhelyzetekből fakadó recessziók és fellendülések váltakozása rávilágított a kereskedelmi kapcsolatok egymásra és a gazdasági stabilitásra gyakorolt hatásaira (Wang et al., 2023). Közben az egyes országok küzdöttek a zavarok következményeivel, megpróbáltak ellenintézkedéseket hozni a hatások csökkentése érdekében, ám a kereskedelmi hálózatok összekapcsoltsága miatt ezek az intézkedések meglehetősen korlátozottak (Li et al., 2024a) voltak. A kereskedelmi hálózatok összekapcsoltságának növekedése pedig felerősítette az esetleges zavarok terjedésének kockázatát is (Kang et al., 2024). A kereskedelmi hálózatok idősoros elemzésével kapcsolatos kutatások túlnyomórészt dinamikus hálózatelméletet alkalmaztak a kereskedelmi kapcsolatok időbeli vizsgálatára (Yazawa, 2023). Ugyanakkor nagyon kevés tanulmány foglalkozott a kereskedelmi hálózatok strukturális jellemzőinek ok-okozati vizsgálatával, illetve a hatásmechanizmusok feltárásával. A szerzők Granger-okosági tesztek és vektor-autoregressziós (VAR-) modelleket alkalmaztak a különböző országok gazdasági tevékenységei közötti ok-okozati összefüggések meghatározására, betekintést nyújtva abba, hogy az egyik országban bekövetkezett változások hogyan befolyásolhatják a többi ország kereskedelmi dinamikáját (Saimul-Darmawan, 2020). Egy tanulmány a gráf neurális hálózatokat (GNN) használta az ok-okozati összefüggések modellezésére kereskedelmi hálózatokban (Monken et al., 2021), különösen olyan jelentős gazdasági eseményekre reagálva, mint a kereskedelmi háborúk vagy a pénzügyi válságok.

Idősoros adatok vizsgálatával már foglalkoztak országok közötti kereskedelmi kapcsolatok időbeli alakulásának előrejelzésére (Chen, 2024). Az alkalmazott el-

járások fontos szerepet játszottak a kereskedelmi hálózat fejlődésének, kulcsfontosságú szereplőinek azonosításában és a jövőbeli kereskedelmi minták előrejelzésében. Ugyanakkor legjobb tudomásunk szerint eddig nem született olyan tanulmány, amely az országok mellett az ágazatok és a hálózat strukturális tulajdonságainak ok-okozati összefüggéseit és a hatások mechanizmusát is feltárta volna. Ezen túlmenően a kereskedelmi hálózatok elemzésében a biklaszterezési eljárásokat egyelőre egyáltalán nem alkalmazták, pedig e módszert kombinálva a kauzálitáselemzéssel, lehetőség nyílik olyan szoros kauzális csoportok meghatározására, amelyek egy időben hatnak más tényezőkre. A biklaszterezés (*Silva et al., 2024*) lehetővé teszi a hasonló kereskedelmi magatartással rendelkező országok és ágazatok alcsoportjainak azonosítását, felfedve a rejtett kereskedelmi mintákat és függőségeket. Ez a megközelítés javíthatja annak megértését, hogy a kereskedelmi klaszterek hogyan reagálnak a globális sokkhatásokra.

Bár a korábbi kutatások jelentős hozzájárulást nyújtanak a kereskedelmi hálózatok dinamikájának megértésébe, a jelenlegi módszertannak vannak olyan korlátai, amelyek további fejlesztést, illetve módszerek együttes alkalmazását igénylik. A legtöbb tanulmány leegyszerűsíti a nemzetközi kereskedelem összetettségét azáltal, hogy az indikátorok között legtöbbször csak kétváltozós statisztikai és ökonometriai kapcsolatokat vizsgál, illetve kevés hálózati, strukturális paraméterre összpontosít, azok időbeli oksági kapcsolatát nem vizsgálja. Ez az egyszerűsítés a globális kereskedelmi kapcsolatok megértését ronthatja, ugyanis az összekapcsolódás és főleg az időbeli dinamika, valamint az oksági kapcsolatok feltárása kritikus fontosságúak. Úgy gondoljuk, a hálózattudomány, a statisztikai módszerek, mint a különböző klaszterezési és biklaszterezési eljárások, valamint az ökonometriában alkalmazott idősorok és oksági elemzések új lehetőségeket kínálnak az országok közötti kereskedelem hatásmechanizmusainak feltárására.

Tanulmányunk a következő hozzájárulásokat teszi a meglévő szakirodalomhoz:

J₁: Feltárja a globális kereskedelmi hálózat szerkezetének dinamikus fejlődését és a változás katalizátorait.

J₂: Feltárja a kereskedelmi kapcsolatok időbeli változásait, országok és ágazatok közötti nemzetközi kereskedelmi kapcsolatokra gyakorolt zavarok hatásainak terjedését, együtt mozgását.

J₃: Beavatkozási pontokat azonosít a döntéshozók számára, az esetleges eszkalációk megfékezését és a válságok okozta zavarok mérséklését elősegítve.

Tanulmányunkban többrétegű kereskedelmi hálózatokkal foglalkozunk, ami jelentős előnyöket kínál az egyrétegű kereskedelmi hálózatok vizsgálatához képest. A többrétegű hálózatok lehetővé teszik a globális kereskedelem dinamikájának átfogóbb és árnyaltabb elemzését azáltal, hogy egyidejűleg rögzítik a különböző gazdasági ágazatok és országok közötti összetett kapcsolatokat (J₂). Ez a

megközelítés lehetővé teszi a kutatók számára, hogy megvizsgálják, hogyan gyűrűzhetnek át egy-egy szektor vagy ország változásai a kereskedelmi hálózat különböző rétegein (J_1), és valóságghű ábrázolást nyújtanak a bonyolult globális gazdasági mechanizmusokról. A többrétegű szerkezet megkönnyíti a rejtett minták és kapcsolatok azonosítását is, amelyek esetleg nem jelennek meg, ha csak az egyes rétegeket elszigetelten vizsgáljuk. Ez a megközelítés különösen értékes a gazdasági zavarok és a szakpolitikai változások hatásainak megértéséhez a különböző ágazatokban és országokban, ami végső soron megalapozottabb döntéshozatalhoz vezet a nemzetközi kereskedelmi politika és stratégia kialakításában (J_3).

2. Az alkalmazott módszertan és a felhasznált adatok bemutatása

Kutatásunkban megvizsgáltuk az Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) -országok többrétegű globális világkereskedelmi hálózatát (Inter-Country Input-Output, ICIO), amelynek az 1995 és 2020 közötti időszakra vonatkozó adatai állnak rendelkezésre. A többrétegű hálózaton strukturális hálózati szintű és ágazati, illetve országszintű csomóponti indikátorok időbeli alakulását számítottuk ki erre az időszakra. Meghatároztuk az ágazatok és az országok szerepének időbeli változását, majd ezekből idősorokat alakítottunk ki előrejelzések vizsgálatára, valamint az indikátorok közötti ok-okozati vizsgálatok alapján kauzális hálózatok meghatározására. A hatásokat klaszterezési és biklaszterezési eljárásokkal csoportosítottuk. Célunk az volt, hogy megtaláljuk, mely strukturális tényezők, szektorok és országok a változások mozgatórugói, illetve hogyan térképezhető fel a strukturális változások időbeli dinamikája.

2.1. A többrétegű kereskedelmi adattábla bemutatása

A Függelék F1. a)–h) ábrája mutatja be kutatási keretrendszerünket.

Az OECD ICIO-táblái (F1. a) ábra) leképezik a termelést, a fogyasztást, a beruházásokat, valamint az áruk és szolgáltatások nemzetközi kereskedelmét. A Függelék F4. és F5 táblázatában 45 ágazat és 77 ország van nevesítve.

Az ICIO-tábláknak több fő szegmensük van:

- Közbenső felhasználás (Z): egyéb gyártásban inputként használt áruk és szolgáltatások, megmutatja az országokon belüli és országok közötti ágazati

kölcsönhatásokat. Tanulmányunkban mi ezt a szegmenst elemeztük részletesen.

- Az áruk és szolgáltatások iránti végső kereslet (*final demand*, FD) egy országban magában foglalja a háztartások fogyasztását, a kormányzati kiadásokat, a beruházásokat és a nettó exportot. A gazdasági javak és szolgáltatások fogyasztását mutatja.
- Egy ágazat vagy szektor áruinak és szolgáltatásainak összértéke a kibocsátás (X). Lefedi a közbenső felhasználást és a végső keresletet. Ez a szegmens az adók és a támogatások termelésre gyakorolt nettó hatását mutatja be. Tartalmazza a közvetett adókat, például az áfát és a különböző ágazatoknak nyújtott állami támogatásokat.
- Hozzáadott érték (*value added*, VA): Egy ágazat vagy szektor hozzáadott értéket adja. A kibocsátás és a folyó termelőfelhasználás közötti különbség a munkaerő és a tőke termeléshez való hozzájárulását jelenti.
- Ebben a tanulmányban a közbenső felhasználás szegmens (*intermediate use*, Z) segítségével alakítottunk ki többrétegű dinamikus hálózatot, amelynek strukturális, ágazati és országszintű változását vizsgáltuk.

2.2. Adatok összegyűjtése és előkészítése

Ebben a tanulmányban a közbenső felhasználás szegmens (*intermediate use*, Z) segítségével alakítottunk ki többrétegű dinamikus hálózatot, amelynek strukturális, ágazati és országszintű változását vizsgáltuk. Az elemzés alapjául szolgáló dinamikus többrétegű adattábla éllistáját a következőképpen kódoltuk:

Év | Ágazat (forrás) | Ország (forrás) | Ágazat (cél) | Ország (cél) | Érték (millió USD)

Az ország- és az ágazati kódok helyett számozott azonosítókat használtunk, az ország- és ágazati kódok listája a Függelék F4. és F5. táblázatában olvasható. Példa egy adatsorra a következő:

1995 | 1 | 1 | 1 | 2 | 8.5029

Ez azt jelenti, hogy 1995-ben az 1. országból (Argentína, ARG) az 1. szektorban (Mezőgazdaság, vadászat és erdőgazdálkodás, A01_02) a 2. országba (Ausztrália, AUS, lásd az F4. táblázatot) irányuló kereskedelem teljes összege 8,5029 millió USD volt. Ez az alkalmazott adatstruktúra lehetővé tette a dinamikus többrétegű hálózat megadását (F1. b) ábra).

Fontos megjegyezni, hogy gazdaságstatisztikai szempontból a kereskedelmi adatokra vonatkozó precizitás és adatminőség sokszor hagy maga után kívánnivalót. Ugyanakkor ezen adatforrások közül az egyik leghitelesebbnek tekinthető az OECD ICIO-adatbázisa.

2.3. Többdimenziós hálózati és csomóponti szintű adattáblák megadása

A dinamikus többretegű hálózat összeállítása után háromféle adatkészletet határoztunk meg a vizsgálatok céljából. A többretegű hálózat szerkezeti tulajdonságait minden évre kiszámítottuk. Ezt az eredményt egy kétdimenziós táblázatban tároltuk (lásd a Függelék F1. c) ábráját), ahol az oszlopok a hálózat strukturális tulajdonságait, a sorok pedig az adott évet tartalmazták. Az elkészített táblázatot felhasználva elemeztük a kereskedelmi hálózat szerkezeti változásait. Hasonlóan kiszámításra került egy 3D-s adattábla is, ahol a dimenziók gazdasági ágazatok (szektorok), (összesített) csomóponti mutatók és évek voltak. Ugyanígy készítettünk egy aggregált adattáblát az országokra is. A javasolt 3D-s adatkészlet segítségével választ adhatunk arra a kérdésre, hogy a különböző ágazatok szerepének változása mennyire függ más ágazatoktól (F1. e) ábra), illetve ezek a jellemzők milyen mértékben mozognak együtt. Végül készítettünk egy 4D-s adatkészletet is (F1. f) ábra), ahol a dimenziók az ország, az ágazat, a vizsgált csomópont-tulajdonság és az idő. Ebben az esetben arra kaptuk meg a választ, hogy az országok kereskedelme a különböző szektorokban hogyan változik az idő múlásával.

2.4. Alkalmazott módszerek

A tanulmányban megfogalmazott kutatási kérdés megválaszolásához több módszer együttes alkalmazására volt szükség. Egyrészt kiszámítottuk a dinamikus többretegű kereskedelmi hálózat hálózati és csomóponti mutatóinak időbeli változásait, majd ezek alakulását előre is jeleztük (lásd a Függelék F1. d)–f) ábráját és részletesen a 2.4.2. fejezetet). Másrészt csoportosítottuk ezeket a tényezőket, hogy megtudjuk, mely országok és szektorok rendelkeznek hasonló szerkezeti mutatókkal (lásd a 2.4.3–2.4.4. fejezetet). Ezután Granger-oksági vizsgálatokkal (lásd az F1. g) ábrát és részletesen a 3.4.5. fejezetet) elemeztük a hálózati és csomóponti mutatókhoz kapott idősorokat. Az oksági vizsgálatok alapján felrajzoltuk a kauzális hálózatokat mind a strukturális, mind pedig a gazdasági ágazatok és országmutatók között (F1. h) ábra). Biklaszterezési eljárásokkal csoportosítottuk a kapcsolatokat és modulkeresési eljárásokkal azokat az indikátorcsoportokat, amelyek között szorosabb a kapcsolat (lásd az F1. g)–h) ábrát és a 2.4.6. alfejezeteket). Ezek után pedig meghatároztuk az indikátorok közötti hatásmechanizmusokat (F1. i) ábra).

2.4.1. A dinamikus többretegű kereskedelmi hálózat megadása

A dinamikus többretegű (kereskedelmi) hálózat egy $G(t) = (V(t), E(t), W(t))$ hármas, ahol a csúcsok ($V(t)$) különböző rétegekben (L) is megjelenhetnek egy adott $t \in T$ időben, és minden csomópont (csúcs) egy szereplőnek ($A(t)$) felel meg egy adott rétegben. Formálisan $V(t) \subseteq A(t) \times L$. $E(t) \subseteq V(t) \times V(t)$ egy adott t időpontban két csúcspont közötti élek halmaza. $W(t) : E(t) \rightarrow \mathbb{R}_0^+$ az egyes élek súlyát jelenti a t időpillanatban. Egy dinamikus él négy taggal van ábrázolva: $e_{ip,jq}(t) = (a_i(t), l_p, a_j(t), l_q)$, valamint egy dinamikus él súlya $w(e_{ip,iq}(t)) \in \mathbb{R}_0^+$, ahol ebben a vizsgálatban $t \in T := \{1995, \dots, 2020\}$, $a_i, a_j \in A$ az exportőr (i) és importőr (j) szereplő (azaz itt ország), az $l_i, l_j \in L$ az exportőr és az importőr rétege; $c_{ip} = (a_i, l_p) \in V$ a csomópont, ahol $a_i \in A$ az $l_p \in L$ réteg szereplője. Ha rögzítjük a t időpontot, akkor egy statikus, többretegű kereskedelmi hálózatot kapunk.

2.4.2. Alkalmazott csomóponti mutatók

Az alkalmazott központi mértékszámok országonként minden ágazati rétegben kiszámíthatók, és ágazati vagy országos szinten összesíthetők. A magas bejövőfokszám-központság (*indegree centrality*, DCI) azt jelzi, hogy egy ország jelentős importcélpont az ágazaton belül, ami tükrözi vonzerejét, illetve tükrözi az importált áruk iránti keresletet. Ezzel szemben a kimenőfokszám-központság (*outdegree centrality*, DCO) megadja az országból a többi országba kimenő kereskedelmi kapcsolatok számát egy meghatározott ágazati rétegen belül. Ez a mutató jelzi az ország exportképességét és aktív részvételét a globális kereskedelemben, megmutatva, hogy hány kereskedelmi kapcsolatot kezdeményez másokkal. A súlyozott bejövőfokszám-központság (*instrength centrality*, SCI) a teljes kereskedelem azon volumenét méri, amely egy adott ágazati rétegben egy ország felé irányul. A magas érték jelentős keresletet és importfüggőséget jelez. A súlyozott kimenőfokszám-központság (*outstrength centrality*, SCO) összegzi a teljes kereskedelmi volument, amelyet egy ország exportál másoknak egy adott ágazati rétegben. A közteségi központság (*betweenness centrality*, BC) azt határozza meg, hogy egy ország milyen mértékben működik közvetítőként a kereskedelmi hálózat többi országa között. A magas közteségi központság azt sugallja, hogy az ország jelentős mértékben kontrollálja a kereskedelmi áramlásokat, és kapcsolatain keresztül befolyásolni tudja a piaci dinamikát. A közelségi központság (*closeness centrality*, CC) megmutatja, hogy egy ország milyen gyorsan tudja elérni a keres-

kedelmi hálózat többi országát. A magas érték azt jelzi, hogy egy ország hatékonyan képes elérni számos kereskedelmi partnert, erősítve stratégiai pozícióját a globális kereskedelmi kapcsolatokban. A más befolyásos országokhoz erősen kötődő országsajátvektor-központisági (*eigenvector centrality*, EC) értéke magas lesz, ami megmutatja az adott ország kulcsszerepét az adott ágazatban. A tekintélyközpontiság (*authority centrality*, AUT) azt mutatja meg, hogy mely országok fontos célpiacok egy ellátási láncban. A hubközpontiság (*hub centrality*, HUB) azt mutatja, hogy egy ország képes-e a kereskedelmét más jelentős partnerek felé irányítani. A nagy csomóponttal rendelkező országok jelentős exportörként szolgálnak, ami befolyásos importörökhöz vezet, ami arra utal, hogy kulcsfontosságú csomópontként játszanak szerepet a kereskedelmi hálózatban. A PageRank-központiság (*PageRank centrality*, PRC) a Google PageRank algoritmusához hasonlóan értékeli egy ország jelentőségét a kereskedelmi partnerei kereskedelmi volumene és kapcsolati lehetőségei alapján. A magas PageRank-érték azt jelzi, hogy egy országnak nemcsak sok kapcsolata van, hanem más nagy tekintélynek örvendő export/import országokkal is kapcsolatban áll. A homofília mint relatív központi mérőszám rávilágít az adott ágazat/ország más ágazatoknak/országoknak való kitettségére. Egy ágazathoz viszonyított homofília összesített értéke időben megmutathatja, hogy az összes kapcsolat hány százaléka származik az adott ágazaton belül. Ezek a mutatók együttesen széles körű perspektívát kínálnak számos ország szerepére és befolyására a többretegű kereskedelmi hálózaton belül. Felhasználásuk lehetővé teszik az országok kereskedelmi kölcsönhatásainak, a globális kereskedelmi belüli helyzetének elemzését. Idősoros elemzésük feltárhatja, hogy az egyes országok vagy szektorok szerepe hogyan alakult az idők során. A Függelék F1. táblázata tartalmazza a csomóponti indikátorok matematikai leírását.

2.4.3. Alkalmazott hálózati szintű mutatók

Az ágazatok és a hálózat csomóponti szintű mutatóinak aggregálása mellett lehetőség van hálózati szintű mutatók kiszámítására is. Egy dinamikus többretegű kereskedelmi hálózatban az ún. asszortativitás magas értéke azt jelzi, hogy a hasonló kereskedelmi volumenű országok hajlamosak kapcsolatokat kialakítani egymással, ami stabil kereskedelmi környezetre utal, míg ennek ellenkezője esetén eltérő kereskedelmi kapacitással rendelkező országok kötnek inkább kereskedelmi kapcsolatot. Ehhez hasonló a gazdagok klubja együttható (*rich club coefficient*, RCC), ahol a magas érték arra utal, hogy a magas fokszámú, sok kereskedelmi kapcsolattal rendelkező országok inkább egymással kereskednek. A mutató növekedése azt jelzi, hogy a magországok kereskedelmi volumene növekszik. Mivel a csomóponti aszimmetria egy adott ország adott ágazatban lévő kereskedelmi mérlegét mutatja,

ennek átlagos értéke (*mean vertex asymmetry*, MVA) a kereskedelem egyensúlytalanságát jelzi.

A denzitás vagy hálózati sűrűség a tényleges kereskedelmi kapcsolatok és a lehetséges kereskedelmi kapcsolatok arányát méri; a nagy sűrűség szorosan összefüggő hálózatot jelez, amely elősegítheti az együttműködést, míg a sűrűség csökkenése a kereskedelmi kapcsolatok gyengülésére utalhat. Az átlagos úthossz (*average path length*, AVPL) a csomópontok közötti átlagos hálózati távolságot jelöli, ahol az alacsony értékek hatékony kereskedelmi útvonalakra és a hatékonyság növelésére utalnak, míg a magas értékek arra utalnak, hogy a hálózat fragmentált. A magas hálózati tranzitivitás az országok közötti klaszteresedési tendenciát tükrözi. A mutató emelkedése jelzi, hogy a kereskedelmi útvonalak kevésbé sérülékenyek, hiszen alternatív útvonalakon is beszerezhetők a termékek. A hálózati reziliencia azt mutatja, hogy véletlenszerűen vagy szisztematikusan egy magas fokszámú csomópontot elhagyva a hálózathoz hogyan változik a legnagyobb összefüggő hálózati komponensben lévő csomópontok száma. A véletlen és szisztematikus támadások esetén elért magas rezilienciaérték olyan robusztus hálózatokat jelez, amelyek ellenállnak a zavaroknak. A reziliencia csökkenése azt jelzi, hogy egy-egy ország kiesése után töredezetté válhat a hálózat.

A modularitás a közösség struktúrájának tagoltságát mutatja: a magas értékek azt jelzik, hogy jól szétválaszthatók olyan közösségek, ahol a kereskedelmi kapcsolatok sűrűbbek, mint a közösségek között. A modularitási érték csökkenése arra utal, hogy a kereskedelmi kapcsolatok a hálózatban egyre inkább véletlenszerűek. A többretegű hálózat globális klaszterezettsége (*multilayer global clustering*, MIGlClu) a különböző kereskedelmi rétegek közötti összekapcsolódást méri. A növekvő klaszteresedés a különböző ágazatok közötti növekvő integrációt jelezheti, míg a csökkenés a kereskedelmi tevékenységek széttöredezettségére vagy specializálódására utalhat. Az átlagos lokális hatékonyság (ALE) azt mutatja, hogy átlagosan egy országnak mekkora a kereskedelmi volumen megoszlása a partnerei között. A globális hatékonyság (GLE) azt jelzi, hogy az áruk és a szolgáltatások mennyire gyorsan és kiegyensúlyozottan áramlanak a szereplők között. Magas globális hatékonyság esetében a teljes hálózatot kevés közvetítő országon keresztül lehet hatékonyan elérni, míg alacsony hatékonyságnál sokszoros közvetítésre van szükség, ezért a kereskedelmi stratégiák célja lehet a lokális hatékonyság növelése a regionális kapcsolatok erősítésével, illetve a globális hatékonyság javítása a nemzetközi kereskedelmi infrastruktúra optimalizálásával.

A hálózati centralizációt úgy számoljuk, hogy először meghatározzuk az egyes csomópontok központisági értékeit, utána kiszámoljuk a különbséget a legmagasabb központisági érték és az összes többi csomópont központisági értéke között, végül összegezzük ezeket a különbségeket, és elosztjuk a maximálisan lehetséges különb-

ségek összegével. A magas bejövő/kimenőfokszám-centralizáció (*indegree/outdegree centralization*, DZI, DZO) néhány országot jelez jelentős importörként/exportörként, ami azt jelzi, hogy az import/export bizonyos országoktól függ elsősorban, az alacsony érték nagyobb diverzifikációt jelez. A magas közteségi centralizáció (*betweennes centralization*, BZ) azt mutatja, hogy bizonyos országok befolyásolják a kulcsfontosságú kereskedelmi útvonalakat. A PageRank-centralizáció az országok általános befolyását tükrözi, a magas értékek erős globális koncentrációt jeleznek. A hálózati mutatók formális leírását a Függelék F2. táblázata tartalmazza.

2.4.4. Rétegek hasonlósági mérőszámai

A hasonlósági mérőszámok számításánál az egyes rétegekben lévő hálózatokat hasonlítottuk össze, így kaptunk egy ágazati mátrixot, amelyből átlagos hasonlósági értéket is számoltunk. A csomópontok hasonlósága (*node similarity*, NS) kifejezi, hogy az egyes rétegekben átlagosan mennyire azonos szereplők vesznek részt a kereskedésekben. Az évenként számolt átlagos csomóponti hasonlóság magas értékei azt jelzik, hogy a különböző ágazati rétegekben lévő országoknak számos közös kereskedelmi partnerük van, ami egy összefüggő és összekapcsolt hálózatra utal, ahol hasonló kereskedési magatartás és piaci dinamika érvényesül. Ezzel szemben az alacsony csomóponti hasonlóság azt jelenti, hogy az országok különböző kereskedelmi partnerekkel működnek együtt, ami versenyhelyzetre vagy széttöredezett piacokra utalhat. Míg a csomóponti hasonlóság a rétegekben szereplő közös szereplők számát mutatja, addig az élhasonlóság (*edge similarity*, ES) a szereplők között több rétegben is megjelenő éleket veszi számba. Az élhasonlóság esetében a magas értékek azt jelentik, hogy az országok konzisztens kereskedelmi partnerkapcsolatokat alakítanak ki, míg az alacsony értékek a különböző ágazatok közötti kereskedelmi áramlások nagyobb ingadozását jelzik. Az élek és a csomópontok hasonlósága mellett ki lehet számolni az egyes rétegekben szereplő országok fokszámainak hasonlóságát is pl. Pearson-korreláció segítségével (*Pearson correlation of degree centralities*, PD). Ez a hasonlóság megmutatja, hogy milyen mértékben igazodnak egymáshoz a kereskedelmi volumen változásai az egyes ágazatokban. A magas korrelációk azt jelzik, hogy az országok hasonló pozícióban vannak a különböző ágazatokban, miközben az alacsony korrelációk arra utalnak, hogy a különböző ágazatokban betöltött szerepük jelentősen eltér, ami ágazati sebezhetőséghez vezethet. A fokszám-korrelációk mellett ki lehet számolni a rétegekben szereplő országok között az átlagos legkisebb hálózati távolságot (*shortest path distance*, SP) is. Ha ezek a hasonlósági mutatók idővel növekszenek, az az ágazatok közötti nagyobb összekapcsolódás és egységesség irányába mutató tendenciára utal, jelezve, hogy az országok összehangolják kereskedelmi stratégiáikat, és megerősítik a kialakult partnerségeket. Ezzel szemben a csökkenő tendencia

a kereskedelmi környezet növekvő szegmentációját vonhatja maga után, ahol az ágazatok egyre jobban elszigetelődnek egymástól, például a gazdaságpolitika, a versenydinamika vagy a globális piaci változások miatt, ami a gazdasági integráció megzavarásához vezethet. A mutatók formális leírását a Függelék F3. táblázata tartalmazza.

2.4.5. Alkalmazott előrejelzési és oksági vizsgálatok

A 2021 és 2030 közötti értékekre ARIMA-moddelllel előrejeleztük a különböző hálózati mutatókat. Ez nyilvánvalóan nem tudja figyelembe venni a Covid19-járvány utóhatásait, az orosz–ukrán konfliktus következményeit vagy a Trump-kormányzat kereskedelmi háborúinak hatásait, azonban fontos képet kapunk arról, mi történt volna, ha ezek a hatások nem következtek volna be. Az ARIMA-moddell egy széles körben használt statisztikai módszer az idősoros adatok előrejelzésére. Az ARIMA-moddell három paraméter jellemzi: p az autoregresszív tagok száma, d az idősor stacionáriussá tételéhez szükséges differenciálás mértéke, q pedig az előrejelzési egyenlet késleltetett előrejelzési hibáinak száma. A stacionaritást ADF-tesztekkel végeztük, a tagokat autokorrelációs és parciális autokorrelációs függvényekkel határozzuk meg.

Az ok-okozati összefüggések vizsgálatának célja annak meghatározása, hogy a kereskedelmi hálózat szerkezetében, illetve az országok és ágazatok szerepének időbeli változásai hogyan befolyásolják a többi entitást. Az alkalmazott Granger-féle ok-okozati összefüggés, a *Clive Granger (1969)* közgazdászról elnevezett fogalom egy statisztikai hipotézis tesztre utal, amely meghatározza, hogy Y idősor múltbéli adatainak felhasználásával pontosabb becslés adható egy X idősor előrejelzésére. A Granger-féle ok-okozati, más néven Granger-oksági vizsgálat esetében meg kell említeni, hogy nem jelenti a filozófiai értelemben vett valódi kauzalitást, kizárólag az időbeli elsőbbségen alapuló prediktív viszonyra utal. Ezért érdemes inkább az idősorok közötti precedenciát használni, mint valódi oksági kapcsolatokat mondani. A pillanatnyi korreláció ezzel szemben felméri, hogy két változó korrelál-e egy adott pillanatban, általában korrelációs együtthatókon keresztül mérve.

A Granger-oksági vizsgálat megfelelő késleltetésének kiválasztásához információs kritériumokat számoltunk. Ezek a kritériumok értékelik a változó késleltetésű modellek illeszkedését, és a túlillesztés megelőzése érdekében büntetik a bonyolultságot. A fentiekén kívül általában statisztikai tesztet, F-tesztet használnak a Granger-oksági eredmények szignifikanciájának megállapítására. A rövid idősorok miatt csak a $p = 0,01$ szinten szignifikáns kapcsolatokat fogadtuk el. A módszer legfontosabb limitációja, hogy nem képes detektálni az ún. közös okokat, amikor két idősorra egy harmadik, nem megfigyelt idősor is hat.

A csomóponti mutatók, az ágazati hasonlósági és a hálózati tulajdonságok idő-sorai közötti kapcsolatok és precedenciaviszonyok elemzéséhez oksági gráfot rajzoltunk fel, ahol egy csomópont egy adott mutatót jelöl, és a csomópontok között él van, ha a mutatók között Granger-oksági összefüggések vannak. A késéseket feljegyeztük, de nem használtuk a késéseket súlyként. Ezért kaptunk egy irányított súlyozatlan oksági gráfot a Granger-oksági vizsgálathoz, és kaptunk egy irányítatlan súlyozatlan pillanatnyi korrelációs gráfot.

2.4.6. Klaszterezési és biklaszterezési eljárások

A kapott korrelációs és kauzális gráfokat klaszterezve modulokat határoztunk meg, amely közösségek megadják azon indikátorok halmazát, ahol sűrűbb oksági összefüggések vannak a csomópontok között, mint a különálló modulok között. Ezt a módszert továbbfejlesztve, egy adott távolságmértéket megadva változók és adatok között is lehet modulokat, ezáltal indikátorcsoportokat keresni. Ezt az eljárást használja fel az általánosított hálózatalapú modellredukciós eljárás (*generalized network-based dimensionality analysis*, GNDA), amely segítségével előre nem kell megadnunk a klaszterek számát (Kosztján *et al.*, 2024a). A valós és a szintetikus teszteken a módszer helyesen találta el a klaszterek számát, így mi is ezt a megközelítést alkalmaztuk ágazati idősoros mintázatok szétválasztására. Biklaszterezési eljárást is végeztünk a csomópontok közötti élek klaszterezésére (Silva *et al.* 2024), hogy azonosítsuk, hol vannak sűrűbb oksági kapcsolatok. A biklaszterezési eljárás egy adjacenciamátrixban homogén (akár egymással is átfedő) rész-mátrixokat határoz meg, amely ebben az esetben élek halmaza lesz. Itt is lehet szignifikanciavizsgálatot végezni mind a sorokra, mind az oszlopokra, ezáltal biztosítva, hogy a kiválasztott élek halmaza szignifikánsan sűrűbb kapcsolatokat adjon meg, mint azok, amelyek nem lettek kiválasztva.

3. Eredmények

3.1. A többrétegű dinamikus kereskedelmi hálózat szerkezetének időbeli elemzése

A Függelék F2. ábrája a többrétegű hálózat tulajdonságainak időbeli változásait mutatja. A hálózati, strukturális mutatók idősorát az ARIMA-modell segítségével jeleztük előre a 2021-től 2030-ig tartó időszakra vonatkozóan, és az előrejelzéshez 95%-os konfidenciaintervallumot is meghatároztunk.

Az 1995-től 2020-ig vizsgált időszakban a dinamikus többrétegű kereskedelmi hálózat szerkezeti mutatóiban több elkülöníthető időszak is kirajzolódik. Az egyik figyelemre méltó megfigyelés a foksám- (DZI) és a köztességi (BZ) centralizációk jelentős növekedése, ami azt jelzi, hogy bizonyos országokat vagy ágazatokat képviselő csomópontok egyre nagyobb befolyást gyakorolnak a hálózaton belül. Ezek a centralizációnövekmények az erőforrások koncentrációját tükrözik. Ezenkívül az eredmények jelentős javulást mutatnak a hálózati rezilienciában, a lokális és a globális hálózati hatékonyságban, valamint az átlagos úthossz csökkenését mutatják, ami arra utal, hogy a hálózat idővel egyre jobban összekapcsolódik és hatékonyabbá válik. Ezek az elmozdulások a technológiai fejlődésnek tulajdoníthatók, amelyek megkönnyítik a kommunikációt és az áruk határokon átnyúló áramlását, fokozva a globális együttműködést. Az összekapcsolhatóság növekedésével a hálózat sűrűsége kismértékben növekszik, miközben az egyre diszasszortatívabb hálózattá válás az ágazatok diverzifikációját és az ágazatok közötti együttműködések tükrözi. Ez azt sugallja, hogy az országok nemcsak arra törekszenek, hogy több gazdasági ágazatban is javítsák jelenlétüket, hanem különféle ágazati kapcsolatokba is beágyazódnak, elősegítve az innováció és a technológia elterjedését. Érdekes módon a csomópontok hasonlóságának párhuzamos növekedése az ágazatok között azt a tendenciát jelzi, hogy az országok hasonló gazdasági ágazatokban jelennek meg, és a globalizáció nyomán összehangolják kereskedelmi stratégiáikat. Ezzel szemben az egyre diverzifikáltabb kapcsolatrendszerek jelentek meg az egyes gazdasági ágazatokon belül, amit a kismértékben csökkenő ágazati átlagos foksámhasonlóság mutat. Ezt az evolúciót a globális kereskedelem változó dinamikája befolyásolja, és olyan szereplők, mint Kína, kulcsfontosságú szerepet játszanak a külső gazdasági kapcsolatok átalakításában.

A 2008-as pénzügyi válság nemcsak pillanatnyi sokként jelentkezett, hanem lelassította a globális trendeket. Ezt hívták később *slowbalization* jelenségnek (Benabed–Moncea, 2024). A pénzügyi válság után a kormányok a hazai stabilitást és a gazdasági fellendülést helyezték előtérbe a nemzetközi együttműködéssel és

integrációval szemben, lassítva a globalizációt. A protekcionista kereskedelmi politikák kereskedelmi korlátozásokhoz és a globális pénzügyi rendszerek fokozott ellenőrzéséhez vezettek, ami megtörte a legtöbb strukturális mutató prosperitását.

A legtöbb mutatóban 2016 újabb trendfordulót jelentett. Ekkor ismét megtörte a trendet a kibontakozó amerikai–kínai vámháború, amely Donald Trump beiktatása idején erősödött fel, és 2025-ben új szakaszba léphet. A legtöbb mutató ebben az időszakban stagnált, majd 2018-ban, nem sokkal a Covid19-járvány és az orosz–ukrán konfliktus és a kapcsolódó szankciók előtt már romlásnak indult.

Ha a kereskedelmi hálózatok nem lennének kitéve az orosz–ukrán konfliktus szankciói vagy a pandémia utáni, ellátási lánc okozta problémáknak, illetve a Trump-kormányzat védővámjai miatti zavaroknak, az előrejelzések szerint több strukturális mutató is kedvezőbb dinamikát mutatna, illetve mutatott volna. Egy ilyen forgatókönyv szerint a kereskedelmi hálózaton belüli rugalmasság várhatóan folyamatosan növekszik, nem töredeznének tovább az ellátási láncok. E problémák nélkül a rezilienciaértékek javulnának, helyreállva a korábbi stagnálásból. A hálózatban nagyobb kohézió volt várható, amely jobban alkalmazkodik a kisebb léptékű zavarokhoz. Bizonyos mutatók, például a modularitás és a PageRank-koncentráció az előrejelzések szerint csökkentek volna. Ez aláhúzza a kereskedelmi hálózat elmozdulását a nagyobb összekapcsolhatóság és a kisebb szegmentáció felé. Az átlagos úthosszak lerövidülése és a sűrűség növekedése valószínűleg felgyorsul, ami az ellátási lánc folyamatos lerövidülését és az összekapcsoltabb hálózatot tükrözi. Ez a külső sokkaktól nem befolyásolt dinamika növelhette volna a hatékonyságot, és csökkenthette volna a kereskedelmi aszimmetriákat, elősegítve egy rugalmasabb és igazságosabb globális kereskedelmi hálózatot a jövőbeli bizonytalanságokkal szemben.

Bár az előrejelzésekből nem derül ki, hogy például a Trump kormányzat védővámjainak vagy az orosz–ukrán konfliktus elhúzódásának milyen hatása lesz, az oksági elemzéssel kimutatható, hogy mely strukturális mutatók mozognak egyszerre, és melyekben van időeltolódás. A Függelék F3. ábrája mutatja a hálózati tulajdonságok közötti ok-okozati összefüggéseket.

A Függelék F3. a) és az F3. b) ábrája a Granger-okozati összefüggések (a) és a pillanatnyi korrelációs kapcsolatok hőtérképeit és biklasztereit ábrázolja a hálózati jellemzők összefüggései szerint. Az F3. a) ábrán látható sötétbarna cellák hosszabb késleltetéseket jeleznek, azonban a pillanatnyi korrelációkban nincs időbeli késés, csak a szignifikáns cellákat jelöltük ezzel a színnel. Mindkét összefüggésben két biklaszter azonosítható, amelyek közül csak az első szignifikáns mind a sorok, mind az oszlopok szerint. Az F3. c) ábra egy irányított Granger-okozati hálózatot mutat be, fastruktúra szerinti elrendezésben. Ezen elrendezés és a klaszterezések alapján elkészítettük a hatásmechanizmusok blokkdiagramját, amelyet az F3. e) ábra szemléltet. Az F3. d) ábra egy irányítatlan gráfot ábrázol, amely a pillanatnyi

korrelációs összefüggéseket mutatja meg a hálózati indikátorok között. A Leiden-féle modulkereső módszer segítségével lettek meghatározva az egyes kauzális csoportok, amelyeket különböző színekkel jelöltünk a gráfban. A csomópontok méretei arányosak az egyes csomópontok fokszámközpontiségaival, a sötétvörös élek az első, a sötétzöld élek a második biklaszter tagjait (kapcsolatokat) jelentik.

Az F3. a)–e) ábra azt mutatja, hogy a legtöbb strukturális változás azonnal és együttesen történik, az oksági mechanizmusok elemzésével, az ok-okozati összefüggések három egymást követő kategóriába sorolhatók. Az első csoport olyan strukturális mutatókat foglal magában, mint a tranzitivitás és a globális klaszterezettség, valamint a hálózati konfiguráció robusztussága, amelyet összekapcsolt kereskedelmi közösségek és a szisztematikus zavarokkal szembeni ellenálló képesség jellemez. Először tehát a kereskedelem robusztussága változik meg, majd a második csoport mutatói következnek, ahol a különböző centralizációs és hasonlósági mutatók dominálnak, ami a koncentráció és a fragmentáció változására utal. Végül az utolsó csoport tartalmazza az asszortativitást, további centralizációs és modularitási mutatókat. Ez a csoport a kereskedelmi közösségeket jellemzi. Ezek a mutatók csak később változnak, és idővel visszahatnak a második csoport mutatóira.

Bár ezek az adatok még nem tartalmazták a legújabb és kibontakozó válságokat, az oksági elemzések eredményei arra világítanak rá, hogy a sokkok vagy válságok, mint például a pénzügyi zavarok vagy geopolitikai konfliktusok, gyakran jelentős szerkezeti változásokhoz vezetnek a kereskedelmi hálózatokban. Zavarok esetén először a hálózatok robusztussága változik, majd a koncentráció és a fragmentáltság, végül pedig a kereskedelmi közösségek kapcsolatrendszere.

3.2. Ágazati elemzések

A Függelék F4. ábrája mutatja a vezető 10 gazdasági ágazat fő központossági értékeit. A 10 vezető ágazat jelen esetben azok, amelyek központossági értékei a legnagyobbak. Az F4. a) ábra az exportvolumen változását mutatja, amely hálózati központiséggel kifejezve a súlyozott kimenő élekre vonatkozó központiség. A kereskedelmi mérleg változása, amely az export- és az importvolumen különbsége, nem más, mint a súlyozott kimenő és a súlyozott bejövő központiségekre vonatkozó értékek különbsége, amely az F4. c) ábrán látható. A 10 vezető ágazat további relatív központossági értékeit az F4. b), valamint az F4. d)–g) ábra mutatja. Az egyes ágazatok relatív központiségét úgy számítjuk ki, hogy az ágazati központossági értékét elosztjuk az összes ágazat központossági értékével.

Az F4. a)–e) ábrán látható központossági értékek azt mutatják, hogy az ágazatok közötti megoszlások a különböző válságok ellenére is viszonylag változatlanok maradnak. A kulcsfontosságú gazdasági ágazatok, mint például a nagy- és kiskereskedelem, a pénzügyi szolgáltatások és a fémalapanyagok gyártása, őrzik kiemelkedő szerepüket az exportvolumen, a kereskedelmi mérleg és a relatív központossági értékek tekintetében. Figyelemre méltó, hogy nem figyelhetünk meg jelentős ipari szerkezetváltást az olyan mérőszámokban, mint a PageRank, a közteségi vagy a sajátvektor-központosság, ami azt jelzi, hogy ezeket az ágazatokat nem érintették a külső sokkok vagy a kereskedelmi háborúk. A hub- és az authority-központban bekövetkezett eltolódások azonban rávilágítanak az egyes ágazatokon belüli dominanciára, ahol a pénzügyi és a biztosítási szektor 2011 után elveszítette dominanciáját. A nyersanyagok kereskedelme és az építőipar fontos szerephez jutott az ellátási láncokban.

A tipikus ágazati trendek megállapítása érdekében a csomóponti szintű mutatókat a GNDA-módszer segítségével klasztereztük. A Függelék F5. a)–h) ábrája a csomóponti szintű mutatók időbeli mintázatait mutatja ágazatonként összesítve. Az alkalmazott GNDA-eljárás az időbeli jellemzők (vagyis a klaszterközpontok) számát is meghatározza. A klaszterközpontok időbeli mintázata azt mutatja meg, hogy az adott csoportba tartozó ágazatok összesített jellemzői átlagosan hogyan változtak. A jelmagyarázatban szerepel minden olyan ágazat, amely egy ilyen összesített (látens) jellemzőhöz tartozik.

Hat mutatót elemeztünk. Az első a kimenő élekre vonatkozó fokszámközpontosság (DCO), amely az exportpartnerek számának időbeli alakulását szemlélteti, jelezve, hogy egy ország átlagosan mennyi vásárlóval rendelkezik egy ágazaton belül (lásd a Függelék F5. a) ábráját). A második vizsgált mutató (F5. b) ábra) a homofília volt, amely azt jelzi, hogy egy adott gazdasági ágazatban az országok import- és exportkapcsolatainak hány százaléka származik az adott gazdasági ágazatból. A homofília időbeli fejlődése megmutathatja, hogy az ágazat mennyire integrálódott a nemzetközi piacba. Ha a mutató növekszik, az azt jelezheti, hogy az adott ágazat szereplői között erősödnek a kereskedelmi kapcsolatok. A harmadik elemzett mutató a modularitás (F5. c) ábra). A modularitás a klaszterek vagy modulok (közösségek) jelentős elkülönülését jelzi egy hálózati struktúrán belül. A modularitás értékelése segít annak megállapításában, hogy az egyes országok milyen mértékben alkotnak közösségeket az egyes ágazatokon belül. A Függelék F5. e)–g) ábrája a legfontosabb ágazati központossági mutatók időbeli alakulását szemlélteti. Míg a sajátvektor-központosság és a PageRank-központosság a hálózaton belüli ágazatok szerepét mutatja be, addig a közteségi központosság az ágazatok közvetítő szerepének változását szemlélteti.

A Függelék F5. a)–h) ábrája alapján az ágazati hálózati mutatók általában 2-3 jól elkülöníthető klaszterbe sorolhatók, amelyek a legtöbb központossági mutató

esetében hasonlóan különülnek el. A legtöbb ágazati hálózati központiségra hatással volt a 2008-as pénzügyi válság, ugyanakkor ennek mértéke az egyes klaszterekben eltérő. Az exportpartnerek számosságát jellemző kimenő élekre vonatkozó fokszámközpontiség, valamint a sajátvektor-központiség nagyon hasonló mintázatot mutat, és mindkét központiség esetén két főbb karakterisztika azonosítható, amelyek pályája a 2008-as pénzügyi válság után teljesen eltérő, ami azt jelzi, hogy e két szektor alkalmazkodóképessége a globális zavarok nyomán eltérő. Az első klaszterbe tartozó ágazatok, mint például a mezőgazdaság, az élelmiszeripari termékek gyártása, valamint az IT-szolgáltatások kereskedése (export, import) esetében folyamatos növekedést figyelhetünk meg, amelyet a 2008-as válság valamelyest megtört. Ezzel szemben a második klaszter ágazatai, köztük a bányászat, az építőipar és az oktatás, stagnálást mutatnak. Az előrejelzések ugyanakkor az exportpartnerségek bővülését jósolják mindkét klaszterben. A homofília és a modularitás klasztermintái is megerősítik az ágazati klaszterek közötti strukturális különbségeket. Az alacsonyabb homofíliaértékek a második klaszterben azt mutatják, hogy ezek az ágazatok jobban rá vannak utalva más ágazatokra. Ugyanakkor az előrejelzések szerint a két klaszter homofíliamutatói közeledést valószínűsítenek. A modularitás tekintetében az első klaszterben figyelhető meg jelentős csökkenés, míg a másik kettőben a koncentráció stagnál. A modularitás során meghatározott második csoport ágazatai erőteljesebb átalakuláson mennek keresztül, valószínűleg az ágazatok közötti kereskedelem fokozására és a függőségek diverzifikálására irányuló erőfeszítések hatására. Az első klaszterben szereplő ágazatok esetében csökkenő kötöttségi központosság arra utal, hogy ezen ágazatok közvetítői szerepe csökken. A második klaszter ágazatainak központiségi mutatói, amelyek több szállítási formát is magukban foglalnak, növekednek. Összességében elmondható, hogy a legtöbb ágazati mutatóban stagnálás vagy kismértékű változás, javulás lett volna várható. Ugyanakkor az is látszik, hogy egy válság megtörheti a trendeket, és bizonyos ágazatok jobban, míg mások kevésbé tudnak a változó körülményekhez alkalmazkodni.

A Függelék F6. ábrája az oksági elemzés végső eredményeit mutatja. Ez a számítás követi a hálózati szintű indikátorok okozati elemzésének lépéseit, lásd az F3. a)–e) ábrát. Először a Granger-okozati és a pillanatnyi korrelációs összefüggéseket számítottuk ki. Az oksági gráfokat fastruktúrában rendezzük. A fa minden szintjét egy-egy blokkba csoportosítottuk, és kiszámítottuk a két különböző blokk elem-párjai közötti átlagos időeltolódást.

Az F6. ábrán látható oksági elemzés eredményei azonosítják azokat az ágazatokat, ahol először jelentkeznek a strukturális változások jelei, jelezve a gazdasági zavarokkal és a politikai változásokkal szembeni sebezhetőségük különböző szintjét. Zavar esetén elsőként jelennek meg változások a mezőgazdaság és az élelmiszeripar, a vegyipari termékek, a számítástechnikai és elektronikai berendezések,

a szállítás, a raktározás, az informatikai szolgáltatások, valamint a tudományos és műszaki ágazatok exportkapcsolatainak területén. Ezek az eltolódások – akár a kereskedelempolitika, akár a globális ellátási lánc dinamikája miatt – jól mutatják az ágazatok érzékenységet a külső körülményekre, például a geopolitikai instabilitásra vagy a környezeti problémákra. Viszonylag hamar reagál a változásokra a szárazföldi szállítás, amely egyben a logisztika és az elosztás korai alkalmazkodási kihívásait jelzik. A közszolgáltatások és a védelem is kulcsszerepet játszik a strukturális átalakulásoknál (lásd pl. sajátvektor-központiságok mechanizmusát). Ezek a tendenciák azt sugallják, hogy az alapvető árukhoz, a technológiai innovációkhoz és a logisztikai infrastruktúrához kötődő ágazatok viselik majd a kereskedelmi szabályozás hirtelen változásainak vagy válságeseményeknek a terhét, míg a távközlés, informatika, elektronika csak jóval később reagál a strukturális átalakulásokra. Ezeknek az ágazatoknak a beszállítói a nyersanyagok, fémek bányászata ághoz tartozó vállalatok, amelyek szintén általában az okozati lánc végén helyezkednek el, de ha pl. vámok miatt megdrágul a beszerzés, akkor a zavarok visszahathatnak az elektronikai iparra is.

Számításaink szerint egy esetlegesen kibontakozó válságra vagy nagyobb háborús konfliktusra az alapvető szolgáltatások – például a közszolgáltatás és a védelem, a pénzügyi tevékenységek, az egészségügy és az energiaellátás – fognak először reagálni. Ezen túlmenően a mezőgazdaság és az élelmiszeripar, a vízellátás, a szálláshely-szolgáltatás és az élelmiszeripar lesz az, ahol a forgalom változása elsőként jelentkezik. Az oksági elemzés eredményei rámutatnak, hogy a kereskedelmi hálózatok összekapcsoltsága miatt a legtöbb ágazatban szinte egyszerre történik strukturális változás. Például egy éles vámemelés aránytalanul érintené a mezőgazdasági, az elektronikai és a fémalapú termékeket gyártó gazdasági ágakat. Különösen az olyan termékek, illetve ágazatok tűnnek leginkább érzékenynek a gazdasági ingadozásra, mint a finomított kőolaj, az orvosi felszerelések, a szállítás és a raktározás. Ezek az eredmények rávilágítanak arra, hogy a kulcsfontosságú gazdasági ágakon belül adaptív stratégiákra van szükség a globális átalakulások és a válság-forgatókönyvek jelentette kockázatok mérséklése érdekében.

Míg az olyan szektorokban, mint a számítástechnika, az elektronika, a pénzügy és a távközlés, korán megjelennek a (az ágazati kereskedelmi szerkezet megváltozására utaló) homofília és a (az ágazatok megváltozott szerepére utaló) központosági mutatók változásai, addig a strukturális változás hatásai sokkal később érik el az olyan ágazatokat, mint az oktatás, a szociális munka, a kiadók és az építőipar. Ez a késleltetett válasz rávilágít arra, hogy a válságok gyakran hullámokban bontakoznak ki, először a közvetlen kereskedelmi és pénzügyi csomópontokat érintve, majd a perifériás szektorokba szivároghat. Ha a válság eszkalálódik, akkor az olyan ágazatok, mint például a művészetek, a szórakoztatás és a szabadidő, valószínűleg a leghosszabb ideig tartó instabilitást fogják elszenvedni.

3.3. Országsszintű elemzések

A Függelék F7. a)–g) ábrája azt a 10 országot mutatja, ahol a legnagyobb a központiérték. A súlyozott foksám-központiérték (SCO) az F7. a) ábrán valójában az export volumenét mutatja a 10 legnagyobb exportőr esetében, míg az F7. c) ábra a 10 kiválasztott ország SCO–SCI = export–import időbeli kereskedelmi mérlegét ábrázolja. Az F7. b), valamint az F7. d)–g) ábra a 10 legnagyobb relatív központiértékkel rendelkező országot mutatja, ahol az adott ország relatív központiértékét úgy számoltuk, hogy az adott ország összes ágazatára vonatkozó összegzett központiértékeit osztottuk az összes ország összes ágazatra vonatkozó központiértékének összegével. Ebből adódóan a 10 legnagyobb értékkel rendelkező ország relatív központiértékének összege az összes országhoz viszonyított szerepüket jelzi. Az értékek időbeli változása adja meg az első 10 ország relatív pozíciójának változását.

A Függelék F7. a)–g) ábrája legfőbb következtetése, hogy a vezető országok globális dominanciája csökken, miközben a vezető szerepek jelentősen átrendeződnek. Kína növekvő jelentősége több központiérték mutatóban is megjelenik. A vizsgált időtávban Kína szerepének növekedését az exportmennyiségek (F7. a) ábra) és a központiérték mutatók folyamatos növekedése jellemzi minden szektorban (F7. b), F7. d)–e) ábra), ellentétben más vezető országok csökkenő relatív központiértékével. Ez a tendencia rávilágít arra, hogy Kína stratégiai hangsúlyt helyez a kereskedelembe és az ellátási láncokban való részvételének fokozására, és a globális kereskedelem kulcsfontosságú közvetítőjévé válik (F7. f) ábra). A vezető szerep eltolódását az Egyesült Államoktól Kína irányába olyan mérőszámok jelzik, mint a PageRank (F7. b) ábra), a közteességi (F7. f) ábra) és az ellátási láncokat jobban jellemző hub- (F7. d) ábra) és tekintélyközpontiértékek. Mindezek a kereskedelmi kapcsolatok jelentős átalakulását jelzik, és hangsúlyozzák Kína növekvő erejét és alapvető szerepét a globális ellátási láncokban. A jelenlegi Trump-adminisztráció Kína-politikája racionális intézkedésnek tűnik, mindazonáltal fontos felismerni, hogy a globális összekapcsolódás miatt a vámkonfliktus következményei túlmutatnak Kínán, és negatívan befolyásolhatják a teljes kereskedelmi hálózatot.

Az F8. ábra az összes kereskedelmi tevékenység (import + export) változásának hatásmechanizmusát mutatja. A térképen az OECD-országok láthatók. A csomópontok mérete arányos a teljes kereskedelmi tevékenységgel (import + export), amelyet súlyozott foksámközpontiértéssel mérünk. A csomópontok színe jelzi, hogy az egyes országok melyik ok-okozati csoportba tartoznak. Az első okozati összefüggés azokra az országokra vonatkozik, amelyek kereskedelme először vál-

tozik. Az utolsó ok-okozati összefüggés azokra az országokra vonatkozik, amelyek kereskedelmi változásai utoljára változnak. A kapcsolatok biklaszterezésével (vörössel jelölt) egy szignifikáns kapcsolatcsoport azonosítható.

Az országok kereskedelmének Granger-oksági elemzése alapján megfigyelt csoportosítás rávilágít a kereskedelmi interakciók időbeli dinamikájára, amely a mögöttes gazdasági kölcsönös függőségekre. Az, hogy az első csoportban Észtország, az Egyesült Királyság és több ázsiai ország foglal helyet, azt jelzi, hogy ezek a gazdaságok gyorsan reagálnak a kereskedelem változásaira, exportvezérelt növekedési stratégiájuknak és a globális ellátási láncokba való integrációjuknak köszönhetően. A következő csoportba tartozó országok általában 2,24 év elteltével reagálnak a változásokra. Ez a csoport az országok sokszínűbb körét öleli fel, ami egy szélesebb gazdasági hálózatra utal, ez pedig a kereskedelem kezdeti változásaira úgy reagál, hogy ennek megfelelően igazítja exportját és importját, tükrözve a globális kereskedelmi áramlások összekapcsolódását. A harmadik csoport jelentős, 2,83 éves lemaradása rávilágít a nagyobb, stabilabb gazdaságok – például az Egyesült Államoké és Németországé – politikájának késedelmes reagálására, ezek a gazdaságok méretükből és összetettségükből adódóan kevésbé változékonyak, ugyanakkor nagyon jelentősek a világkereskedelem dinamikájában. A két középső csoport között megfigyelt, a harmadik csoport országaiból visszafelé ható, átlagosan 1,82 éves késéssel fellépő kauzális kapcsolat arra utal, hogy amennyiben a harmadik csoportban mégis történik változás, akkor az visszahat a második csoport országaira is, mint ahogyan ez a mostani amerikai és európai vámok esetében valószínűsíthető. Svédország és Ukrajna tartozik a legkésőbb reagálók csoportjába, ami azt sugallja, hogy esetükben az esetleges válságok hatásai a legkésőbb jelentkeznek, vagy azokat megfelelően csillapítani tudják.

A jelentős vámemelés kezdetben azokat a nemzeteket sújtaná, amelyek erősen integrálódtak a globális kereskedelmi áramlásokba – különösen a második csoportba tartozókat –, mint például Japán, Kína és Belgium, amelyek a növekvő költségekkel és a versenyelőnyök zsugorodásával küzdenének. Ezenkívül a zavarok súlyosan érintenék az erős ipari függőséggel rendelkező gazdaságokat, például Németországot és az Egyesült Államokét, ami késleltetett, de jelentős következményekkel járna a kereskedelmi kapcsolatokra világszerte. Ezek az eredmények összhangban vannak az ágazati szintű oksági eredményekkel, ahol az olyan ágazatok, mint a mezőgazdaság, az elektronika, a szállítás és a közszolgáltatások, mutatják a legkorábbi strukturális kiigazításokat a kereskedelem dinamikájában.

Kína és az Egyesült Államok kulcsszerepet játszik a globális kereskedelem dinamikájában, befolyásolják a szélesebb körű világ gazdasági változásokat. Az ok-okozati összefüggések elemzése alapján mindkét ország a harmadik ok-okozati csoportba tartozik, ami azt jelenti, hogy kereskedelmi ingadozásaik valamivel ké-

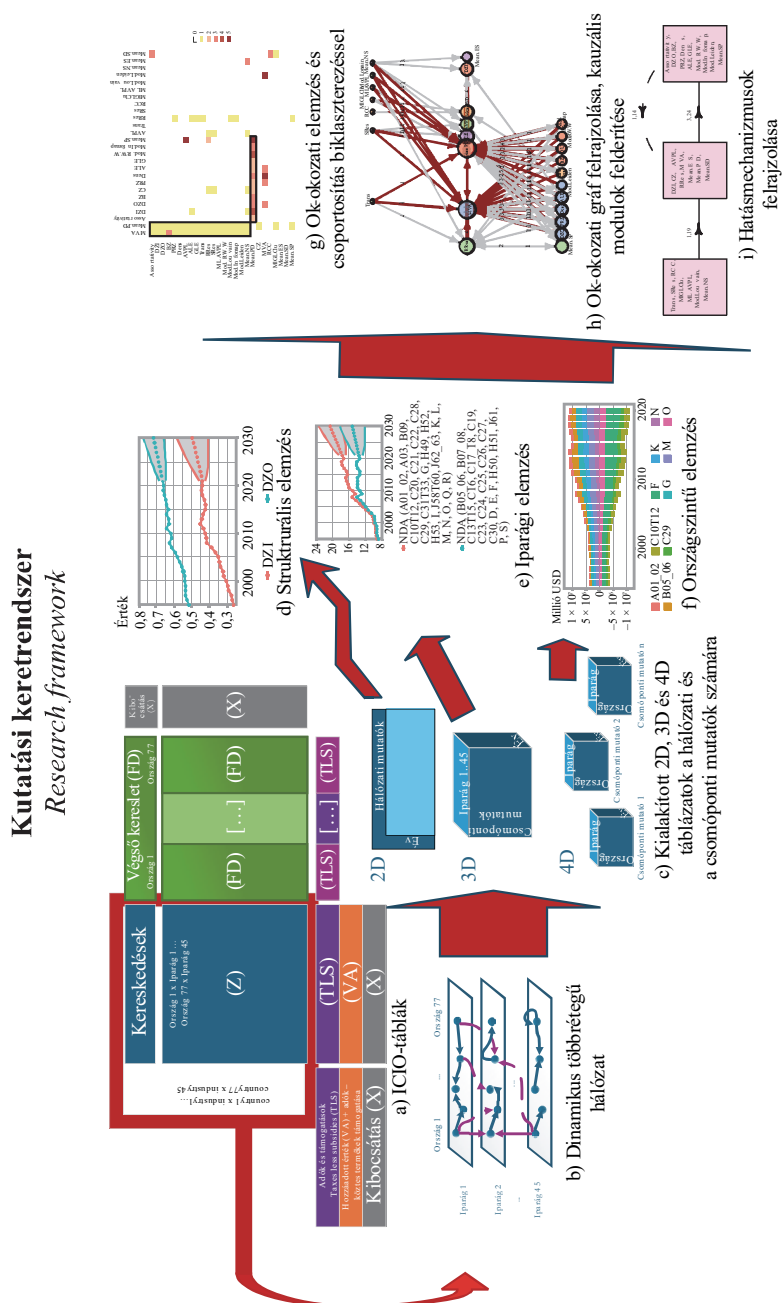
sőbb következnek be egy globális válságkor, mint a korai válaszdó országok esetében, de az összekapcsoltág és a kauzális hatások miatt szinte valamennyi gazdaság kereskedelmét megzavarják, ha itt következik be valamilyen radikális változás. Ha komolyabb vámintézkedéseket vezetnének be a kínai vagy az amerikai kereskedelemben, az megzavarná az ellátási láncokat, növelné a termelési költségeket, és az országokat kereskedelmi függőségeik átalakítására kényszerítené. Az ezekkel a gazdaságokkal erősen integrált országok – például Németország, Japán és Mexikó – azonnali kereskedelmi zavarokkal szembesülnének, ami az árak ingadozásához és lassabb gazdasági növekedéshez vezetne. A kínai gyártásra vagy az amerikai fogyasztói keresletre támaszkodó ágazatok nehézségekbe ütköznének, ami a regionális kereskedelmi megállapodások vagy a beszerzési stratégiák diverzifikációja felé mozdulna el. A tovagyrúzó hatások átstrukturálhatják a globális kereskedelmi hierarchiát, ami felgyorsíthatja a gazdasági széttagoltságot, és alkalmazkodásra kényszerítheti a kulcsfontosságú gazdasági ágazatokat.

4. Összefoglalás

Ez a tanulmány a Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet (OECD) globális többretegű kereskedelmi hálózatának (Inter-Country Input-Output, ICIO) 1995 és 2020 közötti időszakra vonatkozó adatait vizsgálja. Kutatásunkban több egymásra épülő statisztikai, ökonometriai és hálózatalméleti módszert alkalmaztunk. A tanulmány fő módszertani fejlesztései közé tartozik a Granger-féle ok-okozati összefüggések felhasználása a kereskedelmi hálózat dinamikájának meghatározására (lásd kutatási kérdésünket). A különböző ágazatokon és országokon átívelő hálózatokat vizsgálva a tanulmány feltárta a globális kereskedelem dinamikájának változását, a hatásmechanizmusok mintázatát, bemutatta a jelenlegi vámháborúban is kulcsszerepet játszó országok, mint pl. Kína és az Egyesült Államok szerepét érintő változásokat. Tanulmányunkban a globális kereskedelmi kapcsolatok különböző aspektusait vizsgáltuk, és átfogó képet alkottunk arról, hogy a gazdasági zavarok hogyan gyűrűznek át ágazatokon és országokon.

Függelék

F1. ábra



F1. táblázat

Többrétegű hálózaton alkalmazott csomóponti indikátorok táblázata
Node-level indicators in multilayer network

Rövidítés	Elnevezés (magyar, angol)	Képlet
DCI	Bejövő élekre vonatkozó fokszámközpontiság = importpartnerek száma, <i>indegree centrality</i>	$DCI(c_{jq}) = \sum_{c_{ip} \in I'} e_{ip,jq}$
DCO	Kimenő élekre vonatkozó fokszámközpontiság = exportpartnerek száma, <i>outdegree centrality</i>	$DCO(c_{jq}) = \sum_{c_{ip} \in I'} e_{jq,ip}$
DC	Fokszámközpontiság = kereskedelmi partnerek száma, <i>degree centrality</i>	$DC(c_{jq}) = DCI(c_{jq}) + DCO(c_{jq})$
SCI	Bejövő élekre vonatkozó súlyozott fokszámközpontiság = importvolumen értéke, <i>instrength centrality</i>	$SCI(c_{jq}) = \sum_{c_{ip} \in I'} w(e_{ip,jq})$
SCO	Kimenő élekre vonatkozó súlyozott fokszámközpontiság = exportvolumen értéke, <i>outstrength centrality</i>	$SCO(c_{jq}) = \sum_{c_{ip} \in I'} w(e_{jq,ip})$
BC	Köztességi központiság, <i>betweenness centrality</i>	$BC(c_{jq}) = \sum_{c_{ip} \neq c_{jq} \neq c_{kr}} \frac{\sigma_{i,k}(c_{jp})}{\sigma_{i,k}}$
CC	Közelségi központiság, <i>closeness centrality</i>	$CC(c_{jq}) = \frac{1}{\sum_{c_{ip} \in I'} d(c_{jq}, c_{ip})}$
EC	Sajátvektor-központiság, <i>eigenvector centrality</i>	$EC(c_{jq}) = \frac{1}{\lambda} \sum_{c_{ip} \in I'} w(e_{ip,jq}) EC(c_{ip})$
AUT	Tekintélyközpontiság, <i>authority centrality</i>	$AUT(c_{jq}) = \sum_{c_{ip} \in I'} HUB(c_{ip})$
HUB	Hubközpontiság, <i>hub centrality</i>	$HUB(c_{jq}) = \sum_{c_{ip} \in I'} AUT(c_{ip})$
PRC	PageRank-központiság, <i>PageRank centrality</i>	$PRC(c_{jq}) = (1 - d) + d \sum_{c_{ip} \in I'} \frac{PRC(c_{ip})}{DCO(c_{ip})}$
HOM	Homofília, <i>homophily</i>	$HOM_{jq}^c = C(c_{jq})\% = \frac{C(c_{jq}) _{l_q}}{C(c_{jq})}$

$\sigma_{i,k}(c_{jp})$ a c_{ip} és a c_{kr} csomópont közötti legrövidebb utak száma, amelyek áthaladnak a c_{jq} csomóponton. $\sigma_{i,k}$ az a_i és az a_k ország közötti legrövidebb utak teljes száma; $d(c_{jq}, c_{ip})$ a legrövidebb hálózati távolság a j országtól a q ágazatban a p ágazatban lévő i országig; λ a szomszédsági mátrix sajátértéke, amelyet a sajátvektor-centralitás kiszámításához használnak; A d a PageRank-számításoknál használt csillapítási tényező, amely általában 0,85 körül van beállítva; A HOM_{jq}^c egy relatív központiság vagy homofília mértéke egy adott C központossági mérőszámhoz, a j ország a q ágazatban, a $C(c_{jq})|_{l_q}$ egy adott központossági mérőszám, amely a q ágazatra korlátozódik; a $C(c_{jq})$ egy tetszőleges központossági érték, ágazati korlátozás nélkül.

F2. táblázat

Alkalmazott hálózati szintű mutatók
Employed network-level indicators

Rövidítés	Elnevezés (magyar, angol)	Képlet
Assort	Asszortativitás, <i>assortativity</i>	$Assort = \frac{\sum_{ip} (DC(c_{ip}) \cdot DC(c_{jq})) - \frac{1}{M} \left(\sum_{ip} (DC(c_{ip})) \right)^2}{\frac{1}{M} \sum_i (DC(c_{ip}))^2 - \frac{1}{E} \left(\sum_{ip} (DC(c_{ip})) \right)^2}$
Dens	Hálózati sűrűség, denzitás, <i>density</i>	$Dens = \frac{M}{N(N-1)}$
AVPL	Átlagos úthossz, <i>average path length</i>	$AVPL = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{c_{ip} \neq c_{jq}} d(c_{ip}, c_{jq})$
MLAVPL	Rétegenkénti átlagos úthossz, <i>multilayer average path length</i>	$MLAVPL = \frac{1}{\sum_k L_k } \sum_k AVPL^k$
Tra	Tranzitivitás, <i>transitivity</i>	$Tra = \frac{3 \times \text{Triangles}}{\text{Connected triplets}}$
DZI	Bejövő élekre vonatkozó fokszám-centralizáció, <i>indegree centralization</i>	$DZI = \frac{1}{N-1} \left(\frac{\sum_{ip} (DCI(c_{ip}) - DCI_{max})}{(N-1)(DCI_{max} - DCI_{min})} \right)$
DZO	Kimenő élekre vonatkozó fokszám-centralizáció, <i>outdegree centralization</i>	$DZO = \frac{1}{N-1} \left(\frac{\sum_{ip} (DCO(c_{ip}) - DCO_{max})}{(N-1)(DCO_{max} - DCO_{min})} \right)$
BZ	Köztességi centralizáció, <i>betweenness centralization</i>	$BZ = \frac{1}{(N-1)(N-2)} \sum_{ip} BC(c_{ip})$
CZ	Közelségi centralizáció, <i>closeness centralization</i>	$CZ = \frac{1}{N} \sum_{ip} CC(c_{ip})$
PRZ	PageRank-centralizáció, <i>PageRank centralization</i>	$PRZ = \frac{1}{N} \sum_{ip} PRC(c_{ip})$
MVA	Átlagos csúcsaszimmetria = relatív kereskedelmi mérlegek átlaga, <i>mean vertex asymmetries</i>	$MVA = \frac{1}{N} \sum_{ip} DCI(c_{ip}) - DCO(c_{ip}) $
RRes, SRes	Véletlen/szisztematikus támadásokkal szembeni reziliencia, <i>resilience for random/systematic attack</i>	$\sum_p N_p^{\text{retain}}$
Mod	Modularitás, <i>modularity</i>	$Mod = \frac{1}{2M} \sum_{ip,jq} (A_{ip,jq} - DCI(c_{ip})DCO(c_{jq}))\delta(C_i, C_j)$
RCC	Gazdagok klubja együttható, <i>rich club coefficient</i>	$RCC = \frac{1}{N} \sum_{ip} N_{ip} $
MIGIClu	Többretegű hálózaton vett globális klaszterezettség, <i>multilayer global clustering</i>	$MLGLClu = \frac{1}{M} \sum_p Clu^p$

N a csomópontok (országok) száma, M az élek száma; N_p^{retain} a legnagyobb komponens csomópontjainak száma p szektorban a támadás után. Az $A_{ip,jq}$ egy él a többretegű hálózat adjacencia (hiper)mátrixában, amely az i és j csomópont közötti kapcsolatot jelzi a p és q szektorban. $|N_{ip}|$ az i csomópontból elérhető csomópontok száma a p ágazatban; Clu^p a klaszterezettségi együttható a p ágazatban.

F3. táblázat

Alkalmazott ágazati hasonlósági indikátorok táblázata*Table of employed layer-similarity indicators*

Rövidítés	Elnevezés (magyar, angol)	Képlet
NS	Csúchasonlóság, <i>node similarity</i>	$NS(p, q) = \frac{1}{A} \sum_i \frac{ N(c_{ip}) \cap N(c_{iq}) }{ N(c_{ip}) \cup N(c_{iq}) }$
ES	Élhasonlóság, <i>edge similarity</i>	$ES(p, q) = \frac{1}{A} \sum_i \frac{ T(e_{ip}) \cap T(e_{iq}) }{ T(e_{ip}) \cup T(e_{iq}) }$
PD	Fokszámközpontiságok korrelációja, <i>Pearson correlation of degree centralities</i>	$PD(p, q) = cor(DC(c_{ip}), DC(c_{iq}))$
SP	Legrövidebb utak, <i>shortest path distances</i>	$SP(p, q) = \frac{1}{A} \sum_i (\min \{d(c_{ip}, c_{iq})\})$

A a szereplők (országok) száma. Az i ország p ágazatában a szomszédok halmaza $N(c_{ip})$; $T(e_{ip})$ az i ország p ágazatában lévő kereskedelmi kapcsolatok ($e_{ip, iq}$ és $e_{iq, ip}$ élek) halmaza.

F4. táblázat

Országlista
List of countries

ID	Kód	Ország	ID	Kód	Ország
1	ARG	Argentína	40	KAZ	Kazahsztán
2	AUS	Ausztrália	41	KHM	Kambodzsza
3	AUT	Ausztria	42	KOR	Dél-Korea
4	BEL	Belgium	43	LAO	Laosz
5	BGD	Banglades	44	LTU	Litvánia
6	BGR	Bulgária	45	LUX	Luxemburg
7	BLR	Fehéroroszország	46	LVA	Lettország
8	BRA	Brazília	47	MAR	Marokkó
9	BRN	Brunei	48	MEX	Mexikó
10	CAN	Kanada	49	MLT	Málta
11	CHE	Svájc	50	MMR	Mianmar
12	CHL	Chile	51	MYS	Malajzia
13	CHN	Kína	52	NGA	Nigéria
14	CIV	Elefántcsontpart	53	NLD	Hollandia
15	CMR	Kamerun	54	NOR	Norvégia
16	COL	Kolumbia	55	NZL	Új-Zéland
17	CRI	Costa Rica	56	PAK	Pakisztán
18	CYP	Ciprus	57	PER	Peru
19	CZE	Csehország	58	PHL	Fülöp-szigetek
20	DEU	Németország	59	POL	Lengyelország
21	DNK	Dánia	60	PRT	Portugália
22	EGY	Egyiptom	61	ROU	Románia
23	ESP	Spanyolország	62	RUS	Orosz Föderáció
24	EST	Észtország	63	SAU	Szaúd-Arábia
25	FIN	Finnország	64	SEN	Szenegál
26	FRA	Franciaország	65	SGP	Szingapúr
27	GBR	Egyesült Királyság	66	SVK	Szlovákia
28	GRC	Görögország	67	SVN	Szlovénia
29	HKG	Hongkong, Kína	68	SWE	Svédország
30	HRV	Horvátország	69	THA	Thaiföld
31	HUN	Magyarország	70	TUN	Tunézia
32	IDN	Indonézia	71	TUR	Törökország
33	IND	India	72	TWN	Tajvan
34	IRL	Írország	73	UKR	Ukrajna
35	ISL	Izland	74	USA	Egyesült Államok
36	ISR	Izrael	75	VNM	Vietnám
37	ITA	Olaszország	76	ZAF	Dél-Afrika
38	JOR	Jordánia	77	ROW	A világ többi része
39	JPN	Japán			

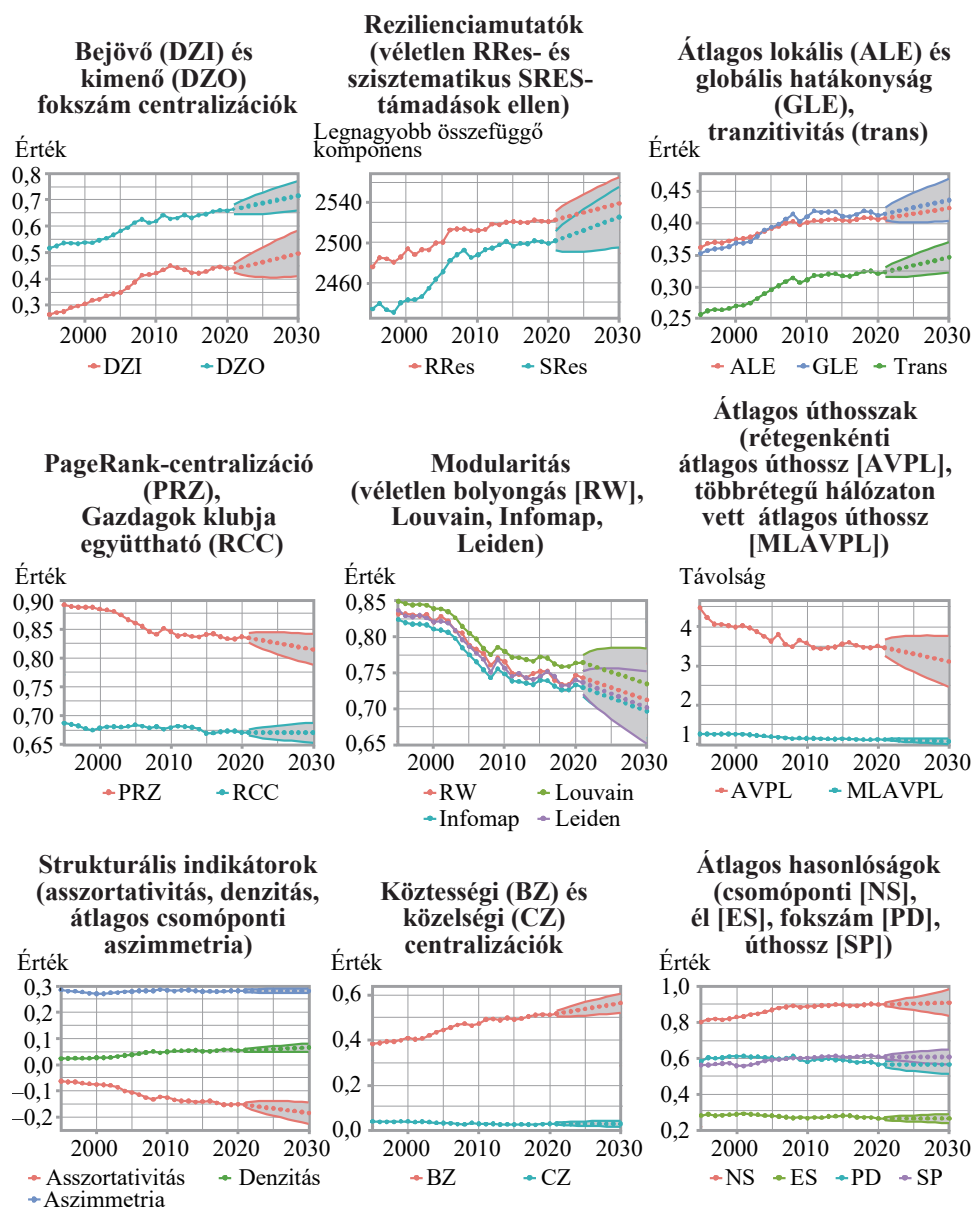
F5. táblázat

Gazdasági ágazatok felsorolása*List of sectors*

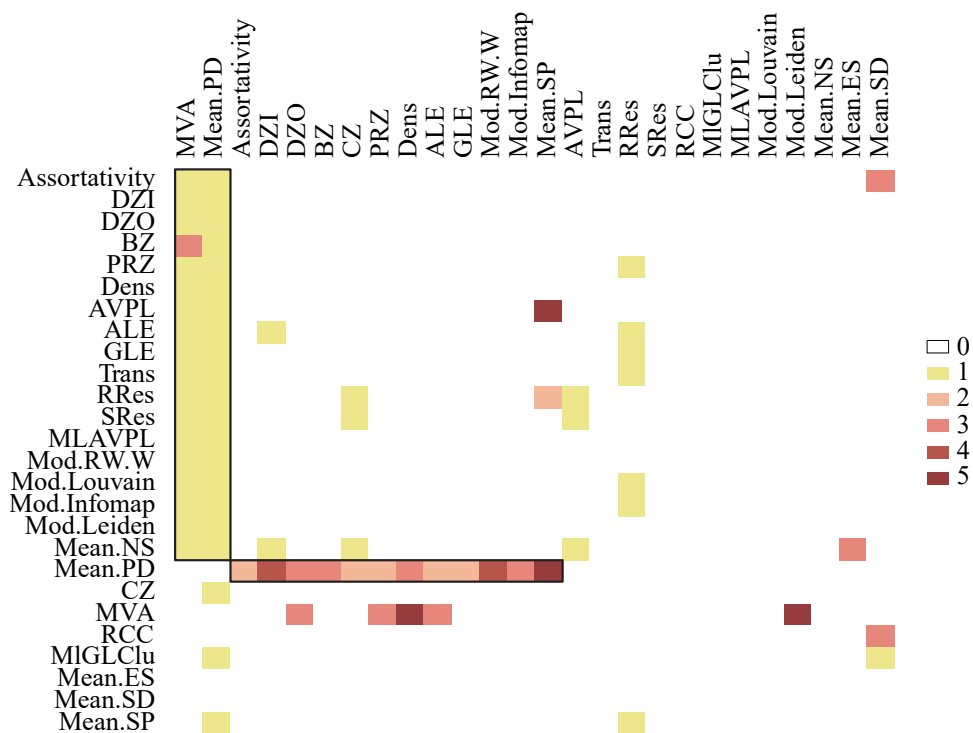
ID	Régi kód	Kód	Gazdasági ágazat
1	D01T02	A01_02	Mezőgazdaság, vadászat, erdőgazdálkodás
2	D03	A03	Halászat
3	D05T06	B05_06	Bányászat és kőfejtés, energiatermelő termékek gyártása
4	D07T08	B07_08	Bányászat és kőfejtés, nem energiatermelő termékek gyártása
5	D09	B09	Bányászati segédszolgáltatási tevékenység
6	D10T12	C10T12	Élelmiszerek, italok és dohányáru gyártása
7	D13T15	C13T15	Textilek, textiltermékek, bőr és lábbelik gyártása
8	D16	C16	Fa és parafatermékek gyártása
9	D17T18	C17_18	Papírtermékek gyártása és nyomtatás
10	D19	C19	Koksz és finomított kőolajtermékek gyártása
11	D20	C20	Vegyi áruk és vegyi termékek gyártása
12	D21	C21	Gyógyszerek, gyógyászati vegyi és botanikai termékek gyártása
13	D22	C22	Gumi- és műanyag termékek gyártása
14	D23	C23	Egyéb nem fém ásványi termékek gyártása
15	D24	C24	Földfémek bányászata
16	D25	C25	Fémből készült gyártmányok
17	D26	C26	Számítógépes, elektronikai és optikai berendezések gyártása
18	D27	C27	Elektromos berendezések gyártása
19	D28	C28	Máshová nem sorolt gépek és berendezések gyártása
20	D29	C29	Gépjárművek, pótkocsik és félpótkocsik gyártása
21	D30	C30	Egyéb szállítóeszközök gyártása
22	D31T33	C31T33	Máshová nem sorolt gyártás; gépek és berendezések javítása és telepítése
23	D35	D	Villamosenergia-, gáz-, gőz- és klímaellátás
24	D36T39	E	Vízszolgáltatás; csatornázás, hulladékgazdálkodási és kármentesítési tevékenység
25	D41T43	F	Építés
26	D45T47	G	Nagy- és kiskereskedelem; gépjárműjavítás
27	D49	H49	Szárazföldi és csővezetékes szállítás
28	D50	H50	Vízszállítás
29	D51	H51	Légi közlekedés
30	D52	H52	Raktározás és szállítást segítő tevékenység
31	D53	H53	Posta- és futárszolgálati tevékenység
32	D55T56	I	Szállás és vendéglátás
33	D58T60	J58T60	Kiadói, audiovizuális és műsorszórási tevékenység
34	D61	J61	Távközlés
35	D62T63	J62_63	IT- és egyéb információs szolgáltatások
36	D64T66	K	Pénzügyi és biztosítási tevékenység
37	D68	L	Ingatlanügyletek
38	D69T75	M	Szakmai, tudományos és műszaki tevékenység
39	D77T82	N	Adminisztratív és támogató szolgáltatások
40	D84	O	Közigazgatás és védelem; kötelező társadalombiztosítás
41	D85	P	Oktatás
42	D86T88	Q	Humán-egészségügyi és szociális munka
43	D90T93	R	Művészet, szórakozás és szabadidő
44	D94T96	S	Egyéb szolgáltatási tevékenységek
45	D97T98	T	Háztartások munkáltatói tevékenysége; háztartások saját felhasználású, differenciálatlan áru- és szolgáltatástermelő tevékenységei

F2. ábra

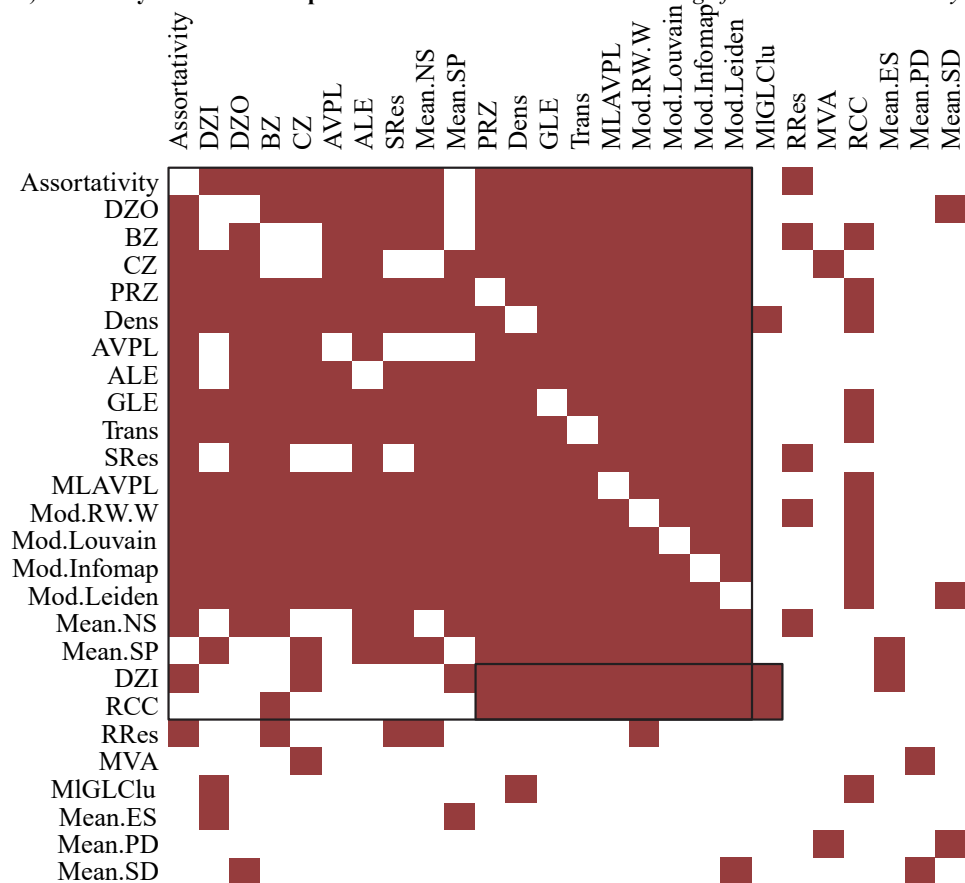
Hálózati, strukturális mutatók előrejelzése
Forecasting of network-level structural indicators



F3. ábra

Oksági és pillanatnyi korrelációs kapcsolatok elemzése*Analysing Granger and instantaneous causality relations***a) Oksági kapcsolatok biklaszterezése – Biclustering of Granger causalities**

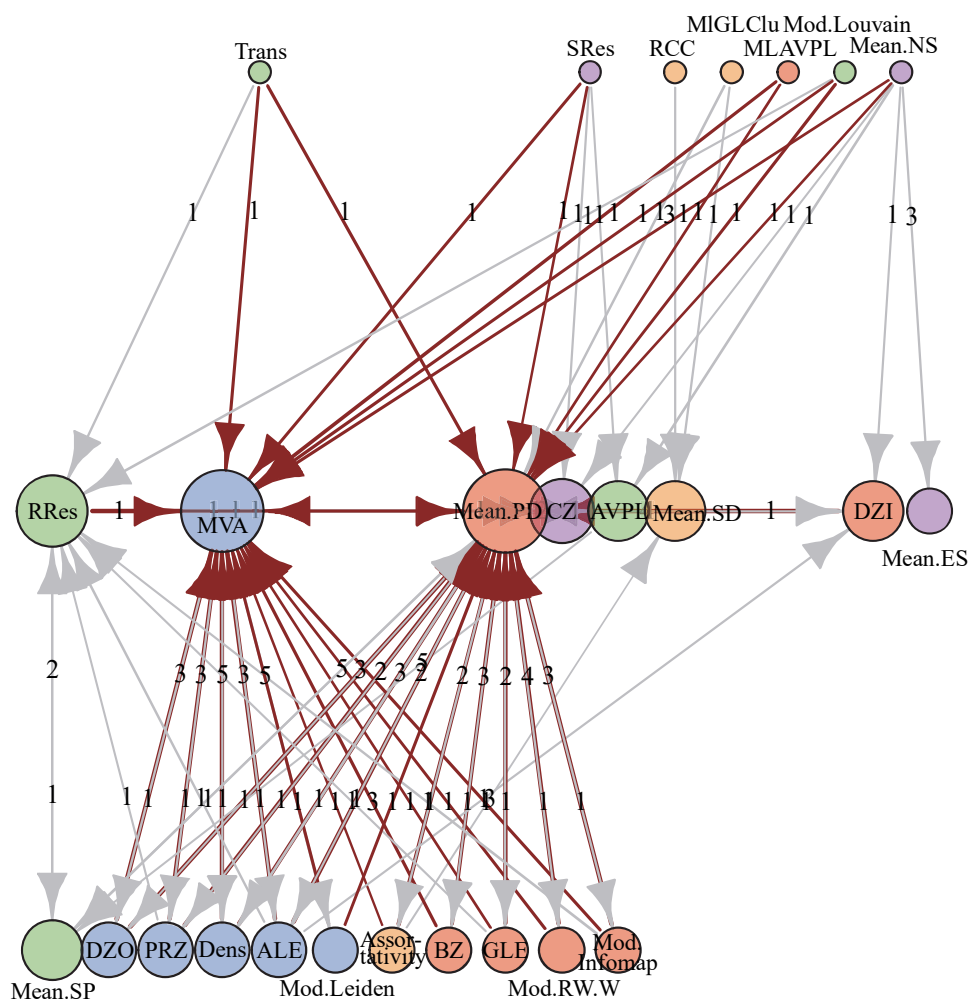
(folytatás)

b) Pillanatnyi korrelációs kapcsolatok biklaszterezése – *Biclustering of instantaneous causality*

(Az ábrák a következő oldalon folytatódnak)

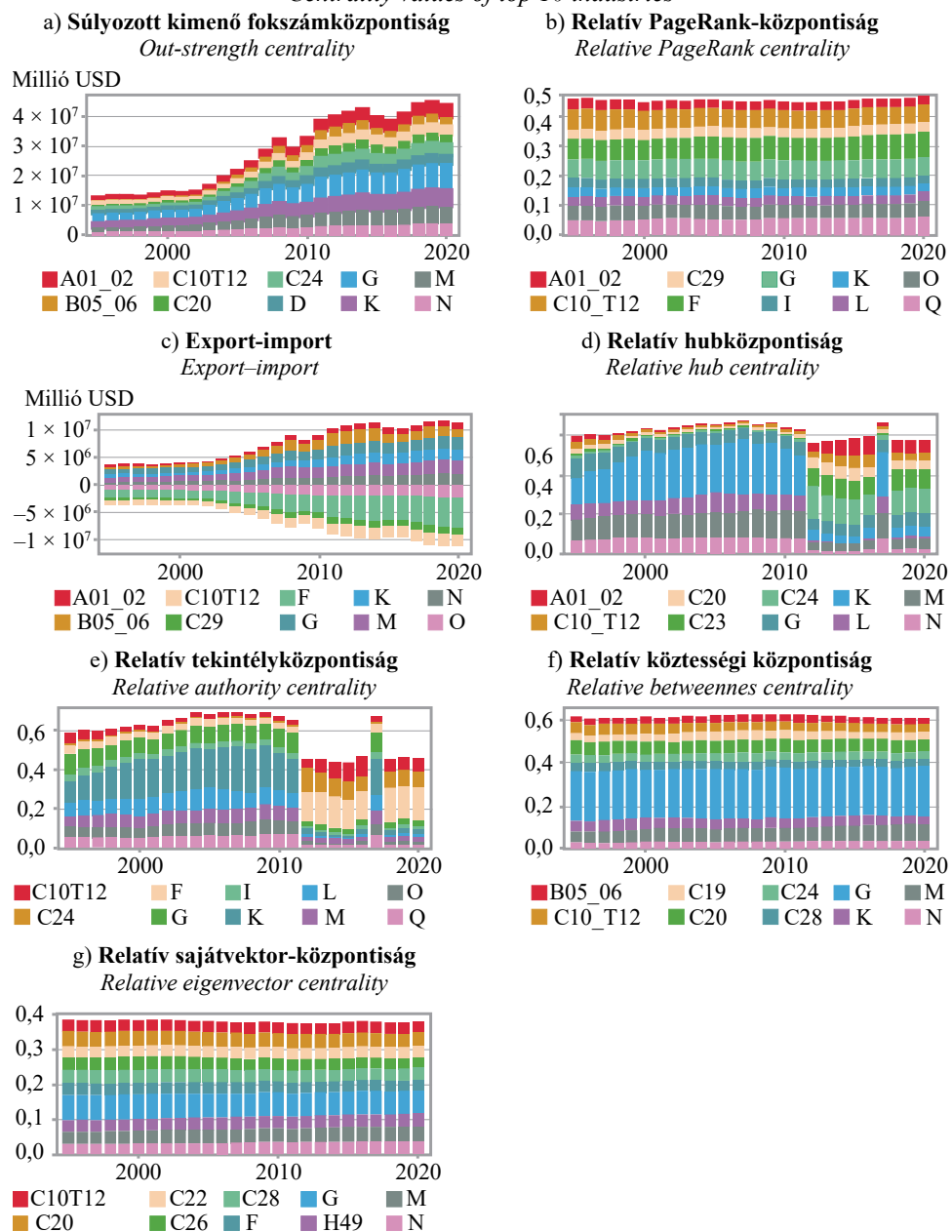
(folytatás)

c) Oksági gráf – Causality graph

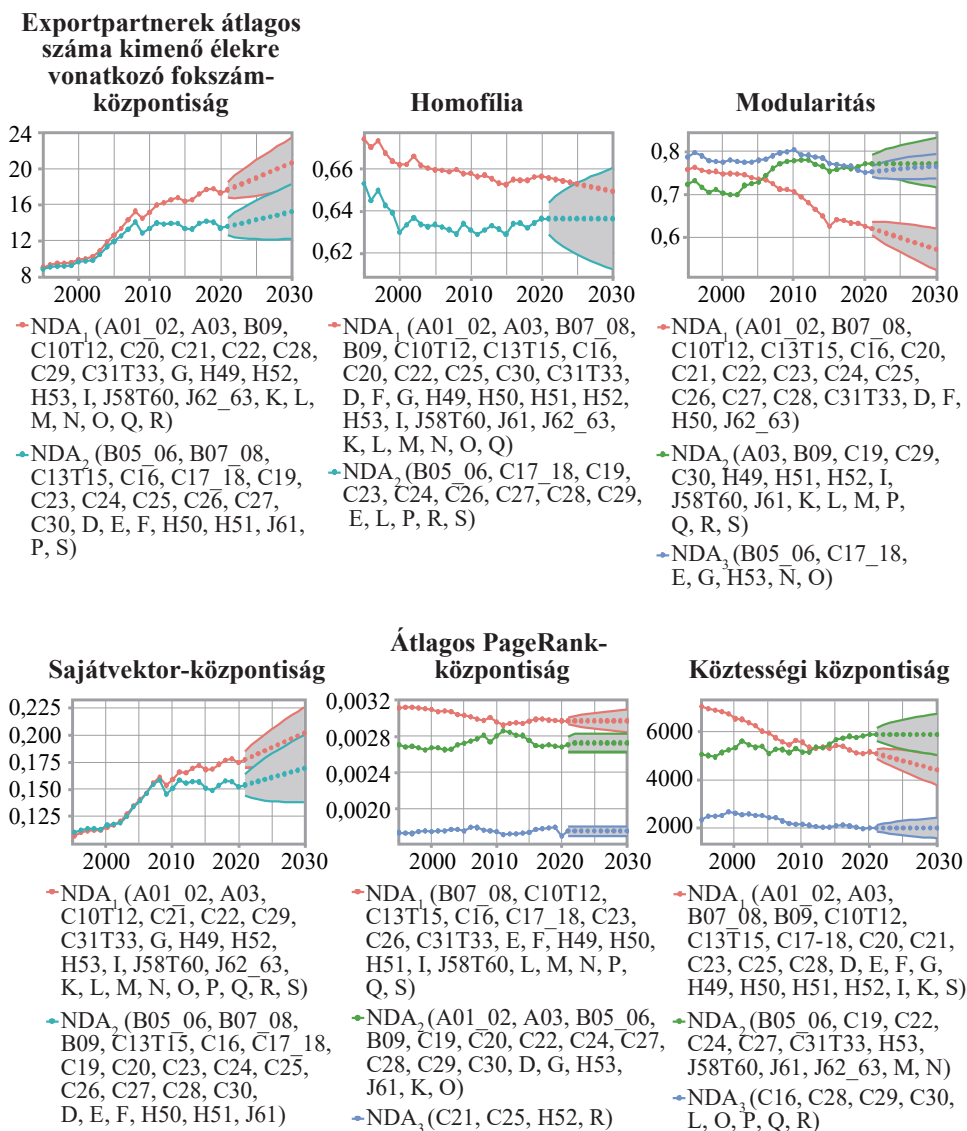


(Az ábrák a következő oldalon folytatódnak)

F4. ábra

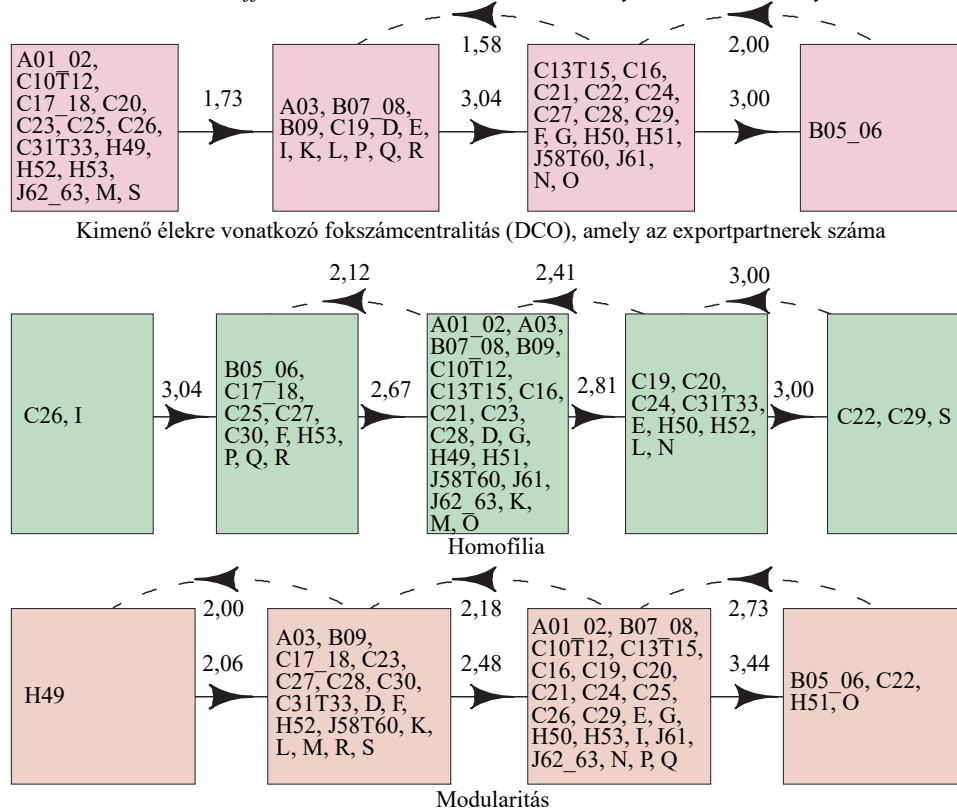
10 vezető gazdasági ágazat központisági mutatói*Centrality values of top 10 industries*

F5. ábra

Átlagos klaszterezett ágazati, csomópontszintű hálózati indikátorok*Average clustered industrial node-level indicators*

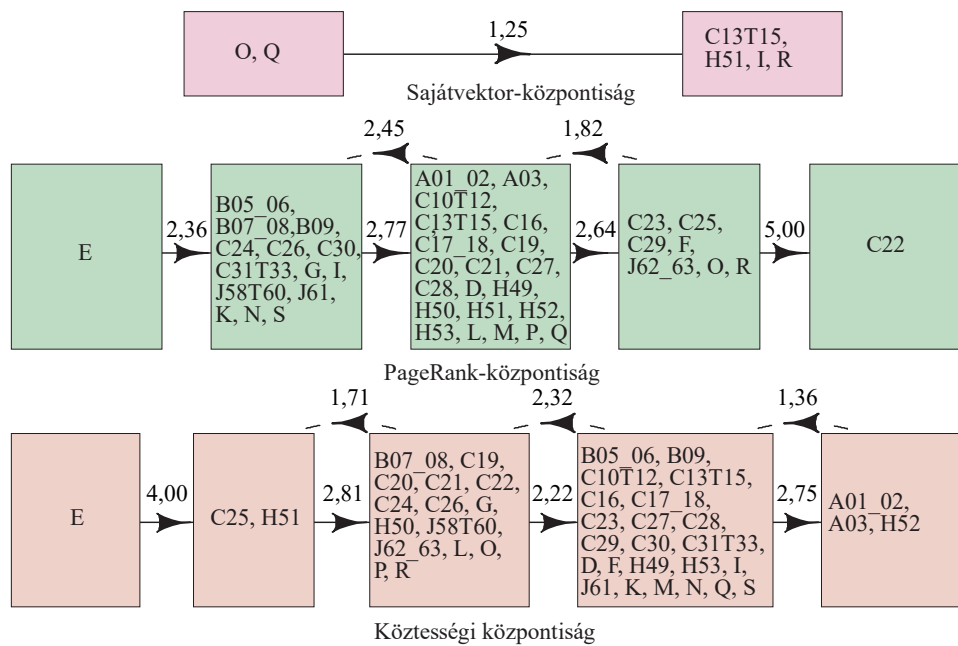
F6. ábra

Oksági és klaszterelemzésen alapuló ágazati hatásmechanizmusok
Industrial effect mechanisms based on causality and cluster analysis

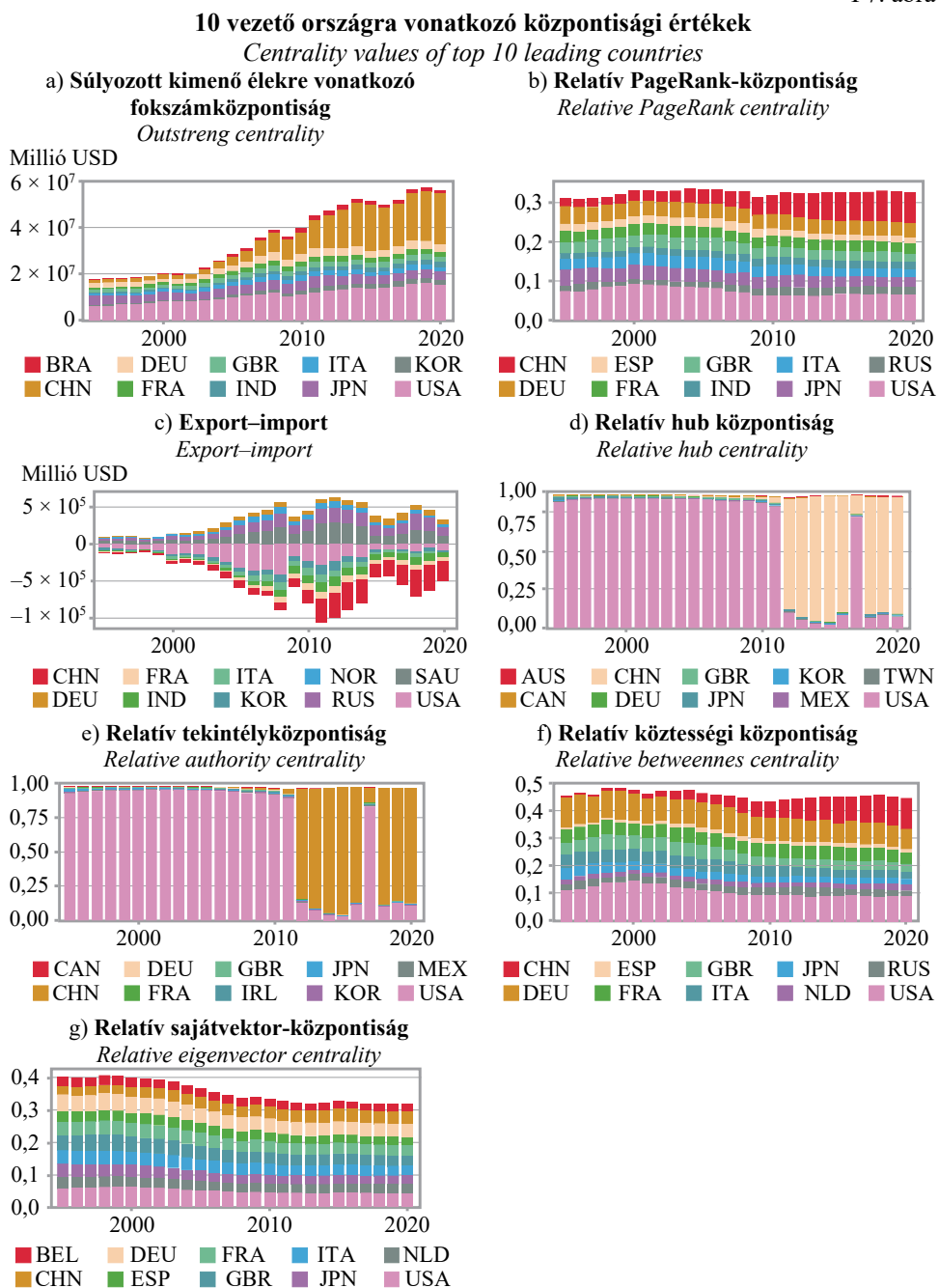


(Az ábra a következő oldalon folytatódik)

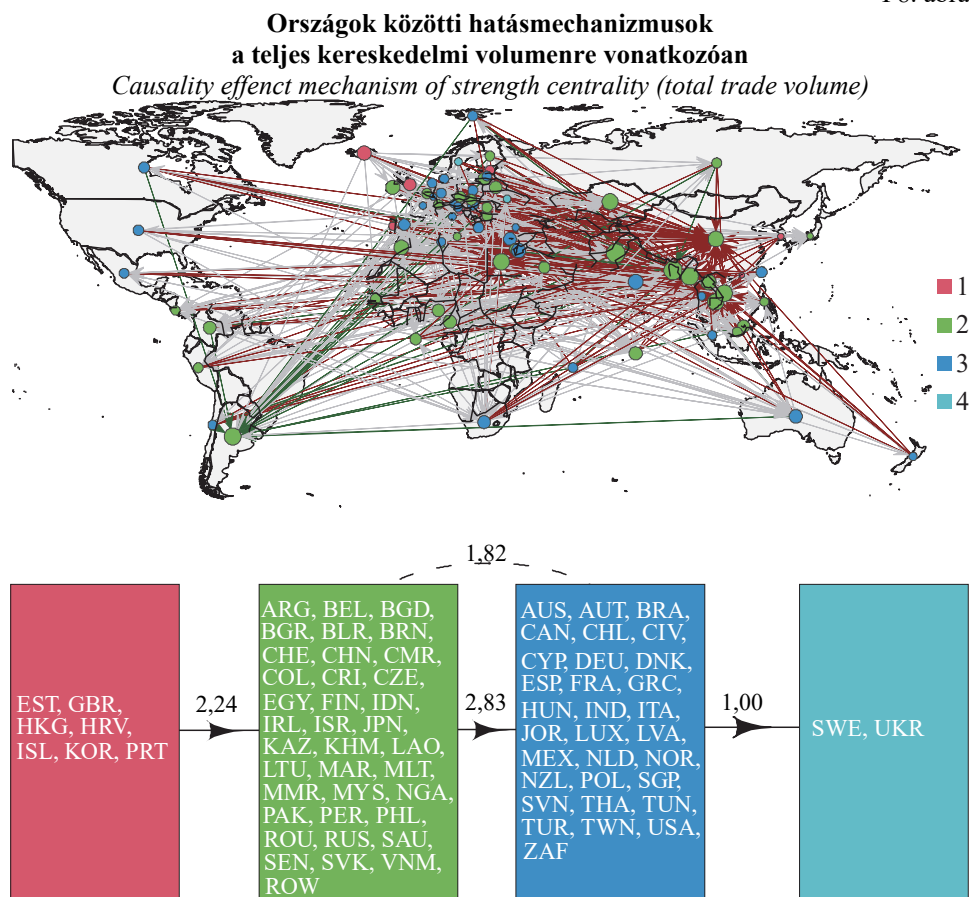
(folytatás)



F7. ábra



F8. ábra



Köszönetnyilvánítás

A kutatás az OTKA K 142395 számú projekt keretében a Kulturális és Innovációs Minisztériumnak a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával valósult meg. Köszönjük prof. Telcs András javaslatait a kauzális hálók értelmezésében. Köszönjük az opponens bírálatát és javító szándékú megjegyzéseit, valamint lányunk, Kosztyán Zsófia segítségét az elütések csökkentésében, a megfogalmazások közérthetőbbé tételében, valamint a képletek ellenőrzésében.

Irodalom

- Alamsyah, A. – Ramadhani, D. P. – Mulyani, L. S. (2023): Rise or fall? Discovering the global world trade network rise and fall under major situations. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(1), 100009. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100009>
- Alfaro, L. – Conconi, P. – Kamal, F. – Kroff, Z. (2025): *Trade Within Multinational Boundaries: Discussion Paper*. <http://dx.doi.org/10.18235/0013613>
- Antonelli, C. (2002): *Microdynamics of technological change*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203022702>
- Bartesaghi, P. – Clemente, G. P. – Grassi, R. – Luu, D. T. (2022): The multilayer architecture of the global input-output network and its properties. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 204, 304–341. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2022.10.029>
- Benabed, A. – Moncea, M. (2024): Slowbalization: Rising Trends for the Global Economy and Business. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 18(1), 283–294. <https://doi.org/10.2478/picbe-2024-0024>
- Chen, J. (2024): Prediction of global trade network evolution with uncertain multi-step time series forecasting method. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 23(3), 387–414. <https://doi.org/10.1007/s10700-024-09426-w>
- Goldberg, P. K. – Pavcnik, N. (2016): The effects of trade policy. In: *Handbook of commercial policy*, 1, 161–206. <https://doi.org/10.1016/bs.hescop.2016.04.002>
- Granger, C. W. (1969): Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 424–438. <https://doi.org/10.2307/1912791>
- Guerrieri, P. (1999): Technology and structural change in the trade patterns of the former centrally planned economies. In: *Innovation and Structural Change in Post-Socialist Countries: A Quantitative Approach*, pp. 339–383. Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4463-6_19
- Guo, Y. – Li, Y. – Liu, Y. – Zhang, H. (2023): The impact of geopolitical relations on the evolution of cobalt trade network from the perspective of industrial chain. *Resources Policy*, 85, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103778>
- He, J. – Deem, M. W. (2010): Structure and response in the world trade network. *Physical review letters*, 105(19), 198701. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.105.198701>
- Janeba, E. (2007): International trade and consumption network externalities. *European Economic Review*, 51(4), 781–803. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2006.07.002>
- Kang, H. – Lee, K. M. – Yang, J. S. (2024): The potential for cascading failures in the international trade network. *Plos one*, 19(3), e0299833. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299833>
- Kosztján, Zs. T. – Katona, A. I. – Kurbucz, M. T. – Lantos, Z. (2024a): Generalized network-based dimensionality analysis. *Expert Systems with Applications*, 238, 121779. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121779>
- Kosztján, Zs. T. – Kiss, D. – Fehérvölgyi, B. (2024b): Trade network dynamics in a globalized environment and on the edge of crises. *Journal of Cleaner Production*, 465, 142699. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142699>
- Li, Z. – Zhuoming, R. – Ziyi, Z. – Tongfeng, W. (2024a): Topological perturbations on resilience of the world trade competition network. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03045-x>

- Li, Y. – Zuo, Z. – Cheng, J. – Xu, D. (2024b): Evolutionary characteristics and structural dependence determinants of global lithium trade network: An industry chain perspective. *Resources Policy*, 99, 105381. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105381>
- Mahutga, M. C. (2006): The persistence of structural inequality? A network analysis of international trade, 1965–2000. *Social Forces*, 84(4), 1863–1889. <https://doi.org/10.1353/sof.2006.0098>
- Milner, H. V. (2017): The political economy of international trade. In: Kirton, J. J. (ed.): *Global Trade*. pp. 91–114. Routledge, London. <https://doi.org/10.4324/9781315254166-5>
- Monken, A. – Haberkorn, F. – Gopinath, M. – Freeman, L. – Batarseh, F. A. (2021): Graph neural networks for modeling causality in international trade. *The international FLAIRS conference proceedings*, 34. <https://doi.org/10.32473/flairs.v34i1.128485>
- Rauch, J. E. (2001): Business and social networks in international trade. *Journal of economic literature*, 39(4), 1177–1203. <https://doi.org/10.1257/jel.39.4.1177>
- Saimul, S. – Darmawan, A. (2020): Understanding causality relation among FDI, foreign trade and economic growth. *Economics Development Analysis Journal*, 9(4), 414–426. <https://doi.org/10.15294/edaj.v9i4.39044>
- Silva, M. G. – Madeira, S M. – Henriques, R. (2024): A comprehensive survey on biclustering-based collaborative filtering. *ACM Computing Surveys*, 56(12), 1–32. <https://doi.org/10.1145/3674723>
- Stolte, J. F. – Emerson, R. M. (2021): Structural inequality: Position and power in network structures. In: Hamblin, R. L. – Kunkel, J. H. (eds.): *Behavioral theory in sociology*. pp. 117–138., Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351319201>
- Sun, Q. – Hou, M. – Shi, S. – Cui, L. – Xi, Z. (2022): The influence of country risks on the international agricultural trade patterns based on network analysis and panel data method. *Agriculture*, 12(3), 361. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030361>
- Wang, X. – Ma, L. – Yan, S. – Chen, X. – Growe, A. (2023): Trade for food security: The stability of global agricultural trade networks. *Foods*, 12(2), 271. <https://doi.org/10.3390/foods12020271>
- Xu, S. – Liu, Z. – Youn, I. J. (2025): Evolution and Impact of the Global Trade Network for Strategic Environmental Products. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 2450016. <https://doi.org/10.1142/S1464333224500169>
- Yazawa, N. (2023): Dynamics of international Trade: A 30-year analysis of key exporting nations. *PLoS One*, 18(8), e0289040. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289040>