



Közzététel: 2024. január 22.

A tanulmány címe:

**Világkereskedelmi hálózatok idősoros vizsgálata**

Szerzők:

**FEHÉRVÖLGYI BEÁTA**

a Pannon Egyetem Gazdaságtudományi Karának dékánja, Innovációs Menedzsment Intézeti Tanszékének tanszékvezető egyetemi docense

E-mail: [fehervolgyi.beata@gtk.uni-pannon.hu](mailto:fehervolgyi.beata@gtk.uni-pannon.hu)

**KIRÁLY TÜNDE**

a Pannon Egyetem Kvantitatív Módszerek Intézeti Tanszékének ügyvivő szakértője

E-mail: [kiraly.tunde@gtk.uni-pannon.hu](mailto:kiraly.tunde@gtk.uni-pannon.hu)

**KOSZTYÁN ZSOLT TIBOR**

a Pannon Egyetem Kvantitatív Módszerek Intézeti Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára

E-mail: [kosztyan.zsolt@gtk.uni-pannon.hu](mailto:kosztyan.zsolt@gtk.uni-pannon.hu)

DOI: <https://doi.org/10.20311/stat2024.01.hu0038>

**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 (Szjt.) szerint szerzői műnek minősülnek. A szerzői jog jogosultja a KSH.
2. A KSH földrajzi és időbeli korlátozás nélküli, nem kizárólagos, nem átdadható, 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 Szjt. 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 102. évfolyam 1. számában megjelent, **Fehérvölgyi Beáta–Király Tünde–Kosztján Zsolt Tibor** által írt, **Világkereskedelmi hálózatok idősoros 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.

Fehérvölgyi Beáta – Király Tünde – Kosztyán Zsolt Tibor

## Világkereskedelmi hálózatok idősoros vizsgálata\*

### Dynamic network analysis of trade networks

Fehérvölgyi Beáta, a Pannon Egyetem Gazdaságtudományi Karának dékánja, Innovációs Menedzsment Intézeti Tanszékének tanszékvezető egyetemi docense

E-mail: fehevolgyi.beata@gtk.uni-pannon.hu

Király Tünde, a Pannon Egyetem Kvantitatív Módszerek Intézeti Tanszékének ügyvivő szakértője

E-mail: kiraly.tunde@gtk.uni-pannon.hu

Kosztyán Zsolt Tibor, a Pannon Egyetem Kvantitatív Módszerek Intézeti Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára

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

A kereskedelmi hálózatok vizsgálata a mai napig nagyon széles körben kutatott téma. Közgazdászok, hálózatkutatók vizsgálják egy-egy termékcsoport kereskedelmi hálózatainak dinamikáját. Ugyanakkor ahhoz, hogy megértsük, hogy a sokkok, a válságok vagy a technológiai változások hogyan hatnak a termékek kereskedelmére, ezen keresztül pedig a kereskedelmi hálózatokra, elengedhetetlen a hálózati mutatók mintázatainak és összefüggéseinek idősoros vizsgálata, amellyel eddig kevésbé foglalkoztak. Ez a kutatás a kereskedelmi hálózatok időbeli dinamikáját vizsgálja több módszertani megközelítés ötvözésével, ami magában foglalja a hálózat- és klaszterelemzéseket, valamint az oksági vizsgálatokat. Tanulmányunkban olyan módszereket javasolunk, amelyek meghatározzák a különböző termékek kereskedelmi hálózati, strukturális mutatóinak mintázatait, azok válságokra, sokkokra vonatkozó változásait, ok-okozati összefüggéseit. Az eredményeink azt mutatják, hogy a legtöbb termék kategória kereskedelmi hálózata viszonylag kis késéssel, egyformán reagál a sokkokra és a technológiai változásokra, függetlenül attól, hogy nyersanyagokról vagy feldolgozott termékekről van szó. Kutatásunk rámutat, hogy a 2008-as pénzügyi válság nem változtatta meg a reáliák kereskedési hálózatát, azonban a Covid19-járvány kitörése előtt a kereskedelmi hálózatok sérülékenyebbek, koncentráltabbak lettek, így a pandémia és a későbbi háborús konfliktusok egy sebezhetőbb kereskedelmi hálózaton sokkal erőteljesebben fejthették ki negatív hatásait. Ennek eredményeképpen közvetve jobban megéreztették a válság hatását, amely az ellátási láncokat is érintette.

Tárgyszavak: kereskedelmi hálózatok, válság, idősoros vizsgálatok, mintakeresés

The investigation of trade networks remains a highly explored subject in academia. Economists and academics in the field of network analysis investigate the dynamic characteristics of commercial networks pertaining to various product groups. Simultaneously, in order to comprehend the impact of shocks, crises, or technological advancements on product commerce and subsequently trade networks, it is imperative to analyze the temporal patterns and correlations of network indicators. This

\* A kutatás a K 142395 számú projekt keretében, a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a K\_22 „OTKA” pályázati program finanszírozásában valósult meg.

aspect has received comparatively less attention in prior research endeavors. The present study investigates the temporal dynamics of trade networks through the integration of various methodological approaches, including network and cluster, as well as causality analysis. In this study, we present methodologies for identifying trade network patterns and structural indicators of diverse products, as well as analyzing their fluctuations and establishing causal connections with crises and shocks. The findings of our study indicate that the trade network of various product categories exhibits a consistent response to shocks and technical advancements, irrespective of whether they pertain to raw materials or processed goods. This response is characterized by a relatively minimal time lag. Based on our research findings, it is evident that the financial crisis of 2008 did not significantly alter the trading network within the real estate sector. However, prior to the onset of the pandemic, the trading networks experienced increased vulnerability and concentration. Consequently, the pandemic and subsequent conflicts had a more pronounced negative impact on this more vulnerable trading network. As a result, the effects of the crisis indirectly influenced various aspects, including supply chains.

Keywords: trade network, crisis, gravity model, time-series analysis, pattern analysis

A kereskedelmi hálózatok vizsgálata a mai napig nagyon széles körben kutatott téma (*Garlaschelli–Loffredo, 2005; De Benedictis–Tajoli, 2011; Coquidé et al., 2020; Gutiérrez-Moya et al., 2023*). Közgazdászok, hálózatkutatók keresik a választ arra, hogy a kereskedelmi hálózatok miképpen reagálnak a technológiai változásokra, a sokkokra és a válságokra (*Coquidé et al., 2020; Gutiérrez-Moya et al., 2023*). A kereskedelmi hálózatok tanulmányozása segíthet megérteni, hogy a különböző szereplők és tényezők hogyan alakítják a globális gazdaságot és társadalmat (*Garlaschelli–Loffredo, 2005*), ezenkívül feltárhatja a kereskedelmi áramlások, politikák, intézmények és innovációk mintázatait, dinamikáját és hatásait a fejlődés különböző aspektusaira, például a növekedésre, a szegénységre, az egyenlőtlenségre, a környezetre, a kultúrára és a biztonságra. Ezen túlmenően a kereskedelmi hálózatok vizsgálata révén betekintést nyerhetünk a kereskedelmi integráció és együttműködés lehetőségeibe és kihívásaiba, és azonosíthatjuk azokat a bevált gyakorlatokat és stratégiákat, amelyek növelik a kereskedelem előnyeit és csökkentik a kockázatokat az összes érdekelt fél számára (*Shutters–Muneepeera-kul, 2012*).

A szakirodalomban fellelhető kutatások általában azt vizsgálják, hogyan kereskednek egymással az országok (*De Andrade–Rêgo, 2018; Garlaschelli–Loffredo, 2005*). Vagyis a klasszikus kereskedelmi és termelési modellek az elemzés fő egységeként az országokra fókuszálnak, és a függő és a független változókat az országokhoz rendelik. Azonban az országszintű termelés és a bilaterális kereskedelem

mégsem jellemzi teljesen az összekapcsolt globális kereskedelmi és termelési hálózatokat a kölcsönös függőségeik miatt (Shen–Lovrić, 2022). Paradox módon viszont mégis alkalmasak arra, hogy magyarázzák a globális kereskedelem olyan jelenségeit, mint a strukturális egyenlőtlenség (Yang et al., 2015) és a stabilitás (Nier et al., 2007). Számos kutatás fókuszál egy-egy termék vagy termékcsoport kereskedelmére is (Kostoska et al., 2020; Ren et al., 2020; Gutiérrez-Moya et al., 2023), és jóval kevesebb foglalkozik a kereskedések időbeli dinamikájával (Shutters–Muneepeerakul, 2012; Gutiérrez-Moya et al., 2023). A hálózati megközelítés szerint a kereskedelmi hálózat csúcsai az országok, az élek pedig azt mutatják, hogy mennyit vagy mennyiért importálnak/exportálnak egy adott termékből vagy termékcsoportból (Sajedianfard et al., 2021). A kereskedelmi hálózatok elemzésére használt mutatókat kétféleképpen osztályozhatjuk. A csúcshintű mutatók azt mutatják meg, hogy mennyire fontosak és hol helyezkednek el az adott országok a kereskedelmi hálózatban. A csúcshintű mutatók alakulásából láthatjuk, hogyan változik egy termék vagy ország szerepe az idő múlásával (Del Río-Chanona et al., 2017). A kereskedelmi hálózatok strukturáját viszont elsősorban a hálózati szintű mutatók írják le, amelyekhez a teljes elemzés érdekében minőségi és a termelési szerkezetben betöltött pozíciókat leíró, hierarchikus jellegű adatokat is célszerű kapcsolni. A hálózati tulajdonságok idősoros elemzése feltárhatja, hogy a kereskedelmi hálózatok hogyan tükrözik a technológiai változásokat, a globalizációt/deglobalizációt és a válságokat (Xu et al., 2019). A hálózat szerkezetének és viselkedésének megértése nagyon fontos kutatási terület (Piccardi–Tajoli, 2018). Ezek a mutatók rávilágítanak arra, hogyan tükrözik a kereskedelmi hálózatok a technológiai változásokat, újításokat, hogyan reflektálnak a globalizációs/deglobalizációs változásokra, valamint a válságokra (Xu et al., 2019). Ezenkívül a hálózati szintű mutatók leírják a kereskedelmi hálózatok rugalmasságát, a reciprocitásokat és a kereskedések aszimmetriáit (Garlaschelli–Loffredo, 2005).

A legtöbb korábbi tanulmány vagy az összes termék kereskedelmét vizsgálta aggregálva (De Andrade–Rêgo, 2018; Garlaschelli–Loffredo, 2005), vagy csak egy termék vagy termékcsoport kereskedelmére koncentrált (Kostoska et al., 2020; Ren et al., 2020; Gutiérrez-Moya et al., 2023). A különböző termékek és termékcsoportok kereskedelme azonban összefügg egymással (Shutters–Muneepeerakul, 2012; Gutiérrez-Moya et al., 2023). Éppen ezért ahhoz, hogy megértsük, hogy egy termék kereskedelmében bekövetkezett változás hogyan hat egy másik termék kereskedelmére, össze kell hasonlítanunk a csúcs- és a hálózati szintű mutatók alakulását a különböző termékek között. Ahhoz, hogy megtaláljuk, hogy mely termékek vagy termékcsoportok strukturális mutatói hasonlítanak egymásra, vagy melyik kereskedelmi hálózat befolyásol egy másikat, a kereskedelmi hálózatok tulajdonságai alapján kell csoportosítanunk őket. Alaposan áttekintve

a szakirodalmat, nem találtunk olyan korábbi tanulmányt, amely kereskedelmi hálózatok strukturális indikátorai között időbeli mintázatokat, valamint mintázatok közötti kapcsolatokat keresett volna. Ezek alapján a következő kutatási kérdéseket fogalmaztuk meg:

**K<sub>1</sub>:** A különböző termékcsoportok hálózati, strukturális indikátorainak milyen mintázatai azonosíthatók?

**K<sub>2</sub>:** A mintázatok hogyan reflektálnak a válságokra, mennyire erősítik fel azok hatásait?

**K<sub>3</sub>:** Hogyan hatnak egymásra a különböző termékcsoportok kereskedelmi hálózatainak strukturális indikátorai?

## 1. Szakirodalmi áttekintés

Számos ingyenesen elérhető adatbázis, például a The World Bank Open Data adatbázis,<sup>1</sup> az Eurostat,<sup>2</sup> a UN Comtrade adatbázis,<sup>3</sup> valamint az általunk is használt Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales (CEPII)–Bilateral Analysis of Correlated Intra-Industry Data (BACI) adatbázis<sup>1</sup> tartalmaz országok közötti kereskedelemmel kapcsolatos, valamint az országokra vonatkozó egyéb gazdasági adatokat. A nem hálózati megközelítésekkel foglalkozó tanulmányok közül kiemelhetők *Hamdi és Hakimi (2022)*, továbbá *Contractor és munkatársai (2020)* kutatásai, amelyek országspecifikus változókat, például GDP-t, államadósságot, magánfogyasztást, munkaerőhiányt, kereskedelmi áramlást vagy külföldi közvetlen beruházást (*Foreign Direct Investment, FDI*) használnak a kereskedelem elemzésére (*OECD, 2021*). Ugyanakkor ezek a tanulmányok nem ragadják meg a nemzetközi kereskedelem összetettségét és sokszínűségét. Ahogy *Koopman és szerzőtársai (2014)*, valamint *De Benedictis és munkatársai (2014)* érvelnek, egy országot nem lehet egy adott termék egyetlen szállítójának vagy vásárlójának tekinteni a globális piacon, ezért célszerűbb az export-import adatok termékszinten történő kezelése (*De Benedictis et al., 2014; De Andrade–Rêgo, 2018*). Különböző módszereket fejlesztettek ki és alkalmaztak a kutatók erre a célra, például a CONCOR-algoritmust (*CONvergence of iterated CORrelations*) (*Smith–White, 1992*),

<sup>1</sup> <https://data.worldbank.org/indicator/TG.VAL.TOTL.GD.ZS?view=chart>

<sup>2</sup> <https://ec.europa.eu/eurostat/web/economic-globalization/early-warning-system>

<sup>3</sup> <https://comtradeplus.un.org/>

<sup>1</sup> [http://cepii.fr/cepii/en/bdd\\_modele/bdd\\_modele\\_item.asp?id=37](http://cepii.fr/cepii/en/bdd_modele/bdd_modele_item.asp?id=37)

a Heckscher–Ohlin-modellt (Baskaran et al., 2011), a társadalmi hálózatok elemzését (Social Network Analysis, SNA) (Shutters–Muneepeerakul, 2012; Dong, 2022; Wu et al., 2020). Ilyen továbbá Herman (2022) gravitációs modellje és a Fagiolo és munkatársai (2010) által kidolgozott komplex hálózatelemzési módszerek, mint például a Exponential Random Graph Model (ERGM) és a hálózati probit modell (Herman, 2022). Ezek a módszerek mind alkalmasak a kereskedelmi hálózatok elemzésére, azonban az általunk megfogalmazottaktól eltérő kutatási kérdésekre adhatnak csak választ.

A 1. táblázat bemutatja a szakirodalomban megtalálható fontosabb, a kereskedelmi hálózatok elemzésére szolgáló módszerek összehasonlítását.

1. táblázat

**A világgereskedelmi hálózatok elemzésében használt módszerek  
összefoglalása és összehasonlítása**

*Summary and comparison of methods used in the analysis of world trade networks*

Módszer	Legfontosabb megválaszolható kérdések	Előnyök	Hátrányok
Gravitációs modellek	Hogyan befolyásolják a gazdasági teljesítmények és az országok közötti távolságok kétoldalú kereskedelmi áramlásait?	Egyszerű. A legtöbb kereskedelmi elmélettel, modellel összeegyeztethető. Képes megragadni a kereskedelmet befolyásoló tényezők hatását.	Nem veszi figyelembe a termékcsopontonkénti kereskedelmi hálózatok függőségét. Lehetnek torzítások, endogénitási problémák. Nem magyarázza a hasonló országok közötti, iparágon belüli kereskedelmet.
CONCOR-algoritmus	Hogyan csoportosíthatók az országok a kereskedelmi hasonlóságuk alapján?	Megmutatja a kereskedelmi hálózat mag-periféria szerkezetét. Megtalálja azokat az országokat, amelyek hasonlóan kereskednek és hasonló partnerekkel rendelkeznek.	Nem tükrözi a kereskedés valós mértékét vagy értékét. Érzékeny lehet a paraméterek vagy a küszöbértékek megválasztására.
Heckscher–Ohlin-modell	Hogyan határozzák meg az országok adottságai, erőforrásai a kereskedelemben létrejövő komparatív előnyüket?	Erős elméleti alapja van. Megmagyarázza a különböző erőforrásokkal rendelkező országok közötti, iparágak közötti kereskedelmet.	Nem magyarázza a hasonló országok közötti, iparágon belüli kereskedelmet. Nem feltétlenül egyezik az empirikus eredményekkel.

(A táblázat folytatása a következő oldalon)

*(folytatás)*

Módszer	Legfontosabb megválaszolható kérdések	Előnyök	Hátrányok
Közösségi hálózat elemzése	Hogyan hatnak a kereskedelmi hálózat strukturális jellemzői az országok kereskedelmére és teljesítményére? Hogyan változik idővel a kereskedelmi hálózat, és ezt milyen tényezők befolyásolják?	Egészében és kapcsolatokban nézi a kereskedelmet. Mérhet és ábrázolhat különböző hálózati mutatókat. Feltárhatja a hálózati mintázatok és függőségek hatásait.	Felmerülhetnek adatminőségi, ok-okozati, következtetési problémák.
ERGM	Hogyan modellezhető a kereskedelmi hálózat több tényező alapján? Hogyan befolyásolják a bonyolult hálózati minták és függőségek a kétoldalú kereskedelmi kapcsolatok kialakulását?	Modellezi a kereskedelmi hálózatot több magyarázó tényező függvényében. Megragadja a hálózati konfigurációk helyi és globális hatásait.	Számítási nehézségek merülnek fel a nagy, dinamikus hálózatok esetén. Problémák lehetnek a modell választásával, értelmezésével és az eredmények validálásával kapcsolatban.

Forrás: saját szerkesztés.

Bár a 1. táblázatban szereplő módszereket széles körben használják, mégis több alkalmazási korlátot is meg kell említenünk. Először is, csak korlátozottan alkalmasak ezek a módszerek dinamikus, időbeli vizsgálatokra, ugyanis a módszerek nem ragadják meg a kereskedelmi hálózatok nem lineáris, dinamikus természetét, amely különösen a sokkok, válságok, hirtelen technológiai váltások esetén jelentkezik. Másodszor, olyan egyszerűsítő feltételezésekre, közelítésekre támaszkodnak, amelyek nem feltétlenül tükrözik a kereskedelmi hálózatok működését, összetettségét, például figyelmen kívül hagyják a termékek, országok vagy kereskedelmi kapcsolatok heterogenitását. Harmadszor, nehéz meghatározni, hogy a kapcsolatok vajon kauzális vagy legalább precedenciális (időben egymást követő) kapcsolatok-e. Végül pedig – ami egyébként a legtöbb módszer esetén probléma – az adatok minősége, a mérési hibák vagy következtetlenségek a kereskedelmi adatforrásokban vagy besorolásokban szintén korlátokat jelentenek. Éppen ezért több, egymás erősségeit erősítő, gyengeségeit kiküszöbölő módszer egyidejű alkalmazását javasoljuk. Különösen a hálózati mutatók mintáinak meghatározásánál a legújabb, robusztus módszerek alkalmazására teszünk kísérletet. A módszerek kombinálásával pedig az általunk feltett kutatási kérdéseket kívánjuk megválaszolni.

A szakirodalomhoz képest a módszertani és kutatási hiányosságok orvoslására az alábbiakkal járulunk hozzá.

**J<sub>1</sub>:** A BACI-CEPII kereskedelmi hálózat adatbázisa alapján 1995-től 2020-ig minden termékre és termékcsoporthoz összeállítunk egy csomóponti és hálózati szintű indikátor-adatbázist.

**J<sub>2</sub>:** A közelmúltban végzett nem paraméteres klaszterelemzési eljárás továbbfejlesztésével azonosítjuk azokat a termékcsoportokat, amelyek kereskedelmi hálózati mutatói hasonló mintázatot követnek.

**J<sub>3</sub>:** Granger-féle oksági tesztekkel vizsgáljuk a különböző termékcsoportok kereskedelmi hálózatainak szerkezeti változásai közötti ok-okozati összefüggéseket.

**J<sub>4</sub>:** A javasolt klaszterezési eljárásunkkal a termékcsoportokat és az országokat a strukturális változások közvetítésében betöltött közvetítő szerepük szerint rangsoroljuk.

A javasolt módszertani megközelítésünk egyrészt a közösségihálózat-elemzésen alapul, hiszen a kereskedelmi hálózatok hálózati szintű mutatóit és az egyes országok hálózatban betöltött szerepét (azaz a csomóponti szintű mutatókat) is ezekkel a módszerekkel számítjuk. Ezen túlmenően azonban a mutatók időbeli alakulását is vizsgáljuk, időbeli mintázatokat keresünk a *Kosztján és munkatársai (2022, 2024)* által alkalmazott nem paraméteres klaszterezési eljárásokkal, amelyek csoportosítják a kereskedelmi hálózat strukturális jellemzőinek időbeli karakterisztikáit. Végül pedig az indikátorok időbeli változásai közötti ok-okozati összefüggéseket vizsgáljuk, hogy megfigyelhessük, hogy egy termék kereskedelmi hálózatának szerkezeti változása hogyan hat más termékek kereskedelmi hálózatának szerkezetére. Ezzel nemcsak a sokkok és a technológiai változások időbeli mintázatait jellemezzük, hanem a kereskedelmi hálózatok egymásrautaltságát is meghatározhatjuk, ami segíthet a sokkok, technológiai változások hatásainak modellezésében és jobb megértésében.

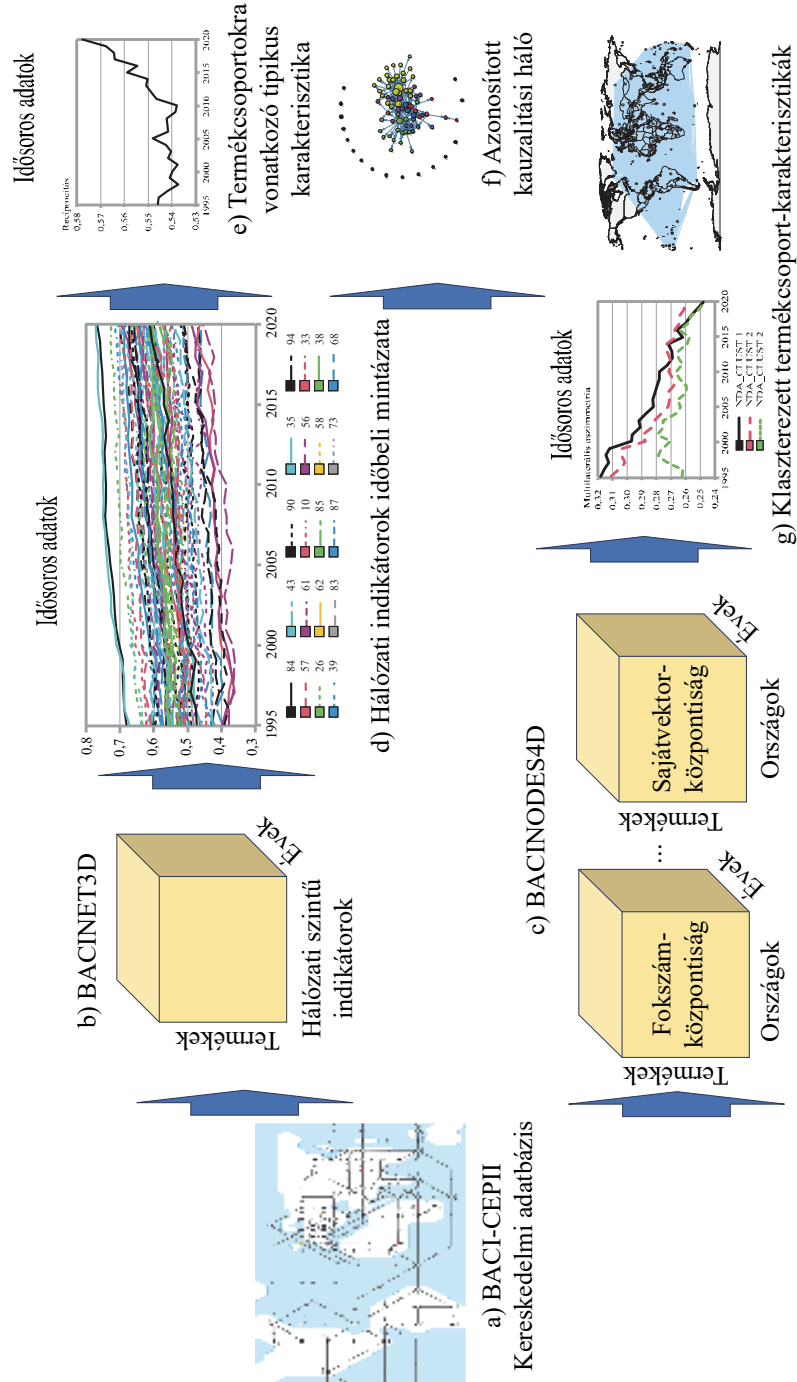
## 2. Az alkalmazott adatbázisok és módszerek bemutatása

Ahhoz, hogy meg tudjuk válaszolni a kutatási kérdéseket, a BACI-CEPII-adatbázis 1995–2020 közötti adatait alapul véve, kiszámítjuk az egyes termékcsoportok strukturális (azaz hálózati szintű) mutatóit. Meghatározzuk továbbá az országok szerepének (csomóponti mutatókkal jellemezhető) változásait ugyanebben az időszakban. Ezt követően csoportosítjuk az indikátorok időbeli mintázatait egy nem paraméteres dimenzióredukciós eljárással (*Kosztján et al., 2022*), amelyet most idősorok klaszterezésére használunk (*Kosztján et al., 2024*). Ezután Granger oksági tesztekkel hajtunk végre a különböző termékcsoportok szerkezeti változásai közötti ok-okozati összefüggések azonosítására. Ez lehetővé teszi számunkra, hogy észleljük a technológiai változások, sokkok és válságok kereskedelmi hálózatokra gyakorolt hatásait. Az oksági kapcsolatokat szintén az általunk javasolt nem paraméteres klaszterezési eljárással (*Kosztján, 2023*) csoportosítjuk. Az 1. ábra az adat-előkészítési és -elemzési folyamatot mutatja be.



1. ábra

**Az adatfeldolgozás és -elemzés folyamata**  
*Process of data preparation and analysis*



Forrás: saját szerkesztés.

Minden általunk használt adat a BACI-CEPII-adatbázisból származott (részletes leírást a 2.1. alfejezet tartalmaz). Két hálózati adatbázist készítettünk a hálózati és a csomóponti szintű elemzéshez: a hálózati szintű elemzésekhez egy háromdimenziósat (BACINET3D), a csomóponti szintű elemzésekhez pedig egy négydimenziósat (BACINODE4D) (lásd részletesen a 2.2. alfejezetben). Csak azokat a hálózati mutatókat számítottuk ki, amelyeknek van gazdasági és kereskedelmi értelmezésük (lásd a 2.3. alfejezetet). Ezeket a hálózati szintű és csomóponti szintű mutatókat egy robusztus, nem paraméteres *Generalized Network-based Dimensionality Analysis* (GNDA-) eljárás segítségével csoportosítottuk (az alkalmazott módszer rövid ismertetése a 2.5. alfejezetben található). Ez a módszer nemcsak csoportosítja a termékcsoportokat, hanem megadja a termékcsoportok tipikus karakterisztikáit is. A GNDA-módszert továbbfejlesztve csoportosítottuk a hálózati szintű indikátorok idősorainak precedenciagráfját, amelyet a Granger-féle okozati összefüggések meghatározása alapján rajzoltunk fel (lásd részletesen a 2.4. alfejezetben), azután megadtuk a kereskedelmi hálózat szerkezeti tulajdonságainak okossági csoportjait (moduljait).

## 2.1. Az alkalmazott kereskedelmi adatbázis bemutatása

Elemzésünk adatforrásaként a BACI-CEPII-adatbázist használtuk, mely egy nemzetközi kereskedelmi adatbázis, háromszintű hierarchiaszinttel, termékbontással. A BACI több mint 200 országot fed le 1995 és 2020 között, és az országok által az Egyesült Nemzetek Szervezetének Statisztikai Osztálya (*United Nations Statistics Division*) számára jelentett adatokat olyan statisztikai eljárással egyezteteti, amely biztosítja a következetességet és a megbízhatóságot (*Gaulier–Zignago, 2010*). A BACI számos előnnyel rendelkezik a többi hasonló adatbázishoz képest, ilyen például a termékadatokból, a földrajzi lefedettségéből és a kétirányú riportolásból adódó egyeztetéseknek köszönhető, viszonylagos megbízhatóság (*De Benedictis et al., 2014; Disdier et al., 2010*). A BACI harmonizálja és javítja az ENSZ Comtrade adatbázisának adatait, amelyek gyakran hiányosak, ellentmondásosak vagy nem pontosak. Megkülönbözteti az exportőrök és importőrök által jelentett adatokat, és becsléseket készít a hiányzó értékekről és mennyiségekről. Az importőrök és az exportőrök által jelentett áramlások egyeztetésére a BACI saját becslést alakított ki, mivel az importértékeket CIF- (*Cost Insurance and Freight* – költség, biztosítás és fuvardíj), az exportot pedig FOB- (*Free on Board* – szabadon a fedélzeten) értékben jelentik. A tüköráramlások (*mirror flow*) lehetővé tétele érdekében megbecsülik és eltávolítják a CIF-költségeket a behozatali értékekből a FOB-importértékek kiszámításához. Azután az országjelentések megbízhatóságának értékelését súlyként felhasználják a tükörértékek és -mennyiségek átlagában.

A termékbesorolás alapja egy háromszintű hierarchikus rendszer, a *Harmonized System (HS)*, amely 6 számjegyből áll, és 5012 terméket tartalmaz. A HS-t ugyan 1989 óta használják, de néhány ország még mindig a korábbi besorolásban, a *Standard International Trade Classificationben (SITC)* szerepelt, amely csak körülbelül 1241 terméket fed le 4-5 számjegy szintjén. A BACI-adatbázis kitölti a kétoldalú kereskedelmi forgalom hiányzó értékeit legalább egy partnerország által közölt információk felhasználásával (Bénassy-Quéré et al., 2007; Mayer-Zignago, 2011).

A legfelsőbb szinten, amelyet mi is vizsgáltunk, 99 termékcsoporthat található (lásd a mellékletet). A termékértékek amerikai dollárban, míg a mennyiségek tonnában vannak kifejezve. Az adatok nem tartalmazzák az 1000 dollár alatti tranzakciókat. A BACI az egyes nyers adatok mértékegységeit (pl. méter, négyzetméter stb.), szintén saját becslési módszerrel alakítja át tonnára, hogy a mennyiségek ugyanúgy harmonizáljanak, mint a tüköradatokat használó értékek (Mayer-Zignago, 2011). A termékcsoporthatban nem szerepelnek a következő termékek: monetáris arany, a bizonyos feltételek mellett ideiglenes használatra szánt áruk, a javításra szánt áruk és az internetről letöltött szoftverek.

Ahogy az érték- és a mennyiségi adatok bemutatásánál olvashattuk, számos becslésen kell átesniük ahhoz, hogy a tanulmányban használt állapotukban tudjunk számításokat végezni velük. Annak ellenére, hogy ezek a becslések torzítják a valós adatokat, mégis szükségesek annak érdekében, hogy a termékek nemzetközi kereskedelmének adatait összehasonlíthassuk, a hiányzó adatokat kitölthessük, valamint összehasonlító elemzéseket lehessen készíteni az egyes értékekkel és mennyiségekkel.

## 2.2. A kialakított hálózati adatbázisok felépítése

Két hálózati adatbázist készítettünk hálózati szintű (BACINET3D), illetve csomóponti szintű elemzéshez (BACINODE4D). Egy kereskedelmi hálózat adatbázisában a csomópont egy országot jelöl, az irányított él pedig a két ország közötti kereskedelmi forgalom mennyiségét vagy értékét jelöli amerikai dollárban. Ezek a kereskedelmi hálózatok termékenként és évenként is meghatározhatók. Legyen

$G_t^g(V, E_t^g, W_t^g)$  egy kereskedelmi hálózat a  $g$  termék  $t$  évében, ahol  $V$  a csomópontok (országok) halmaza,  $E_t^g$  az országok közötti kereskedelmi forgalom halmaza, a  $W_t^g$  pedig egy  $n \times n$  pozitív súlymátrix, ahol  $w_{ij} = [W_t^g]_{ij}$  a súlya az  $(ij)$  élnek a  $i$ . csomóponttól a  $j$ . csomópontig. Feltételezzük, hogy  $e_{ij} \in E_t^g \Leftrightarrow w_{ij} > 0$ , és  $e_{ij} \notin E_t^g \Leftrightarrow w_{ij} = 0$ .

A kialakított, BACINET3D hálózati szintű mutatókat tartalmazó adatbázisnak három dimenzióját határoztuk meg: (1) évek (1995–2020), (2) termékek (6 számjegy esetén 5018 kategória szerint osztályozva) és (3) hálózati szintű mutatók. A hálózati szintű mutatókat a kereskedelmi forgalom mennyiségei és értékei alapján számítjuk ki. Ebben az adatbázisban egy cella egy adott termék hálózati szintű mutatójának értékét jelenti egy adott évben. A BACINODE4D-adatbázis négy dimenzióval rendelkezik: (1) országok, (2) évek (1995–2020), (3) termékek és (4) csomóponti szintű mutatók. A könnyebb kezelhetőség kedvéért a BACINODE4D-adatbázist indikátoronként 3D-s adatbázisokra bontottuk [lásd 1. c) ábra]. A BACINODE4D-adatbázis celláit a BACINET3D-adatbázishoz hasonlóan 2, 4 és 6 karakter szintű termékekre, valamint a kereskedelmi forgalom mennyiségeire és értékeire is kiszámítottuk. Csak azokat a csomóponti és hálózati szintű mutatókat vesszük figyelembe, amelyeknek könnyen értelmezhető közgazdasági meghatározása van. Terjedelmi korlátok miatt ebben a tanulmányban csak az összesített (2 karakterrel jellemezhető) termékcsoportokra vonatkozó eredményeket jelenítjük meg (lásd J<sub>1</sub>). A következő tanulmányokhoz azonban elkészítjük az adatbázisokat a hierarchia többi szintjére is, amelyek már 4, illetve 6 számjegyet tartalmaznak.

### 2.3. Az alkalmazott hálózati és csomóponti szintű mutatók

A kereskedelmi hálózatokon a hálózati és a csomóponti szintű indikátorok meghatározása különböző típusú elemzéseket tesz lehetővé, amelyek betekintést nyújthatnak a kereskedelmi áramlások szerkezetébe, dinamikájába és hatásaiba. Ezen túlmenően a hálózati szintű mutatók megragadhatják a kereskedelmi hálózat strukturális tulajdonságait, például a sűrűségét, központiságát, klaszterezettségét, aszimmetriáját és kölcsönösségét (reciprocitását). Emellett ezek a mutatók feltárhatják, hogy a kereskedelmi hálózat hogyan fejlődik, változik az idő múlásával, és hogyan reagál a technológiai változásokra, a sokkhatásokra vagy a válságokra. A csomóponti szintű mutatók időbeli változása a kereskedelmi hálózatokon tükrözheti az egyes országok vagy régiók helyi tulajdonságait és szerepét a kereskedelmi hálózatban, például központiságukat, periferikusságukat, aszimmetriájukat. Ezenkívül ezek a mutatók rávilágíthatnak az országok kereskedelmi sajátosságaira, továbbá lehetővé teszik annak vizsgálatát, hogy az egyik ország világkereskedelemben betöltött szerepe hogyan függ egy másiktól. Továbbá a hálózati és a csomóponti szintű mutatók kombinálásával és időben történő elemzésével átfogó képet kaphatunk a kereskedelmi hálózatról és annak kereskedelempolitikára és fejlesztésre gyakorolt hatásairól (lásd J<sub>2</sub>).

A kutatási kérdéseink megválaszolásához a következő csomóponti és hálózati szintű mutatókat alkalmazzuk (lásd a 2. táblázatot).

2. táblázat

**Csomóponti és hálózati szintű mutatók alkalmazása***Employing network- and node-level indicators***a) Csomóponti szintű indikátorok***Node-level indicators*

Csomóponti szintű indikátorok csoportjai	Rövid leírás	Tipikus megválaszolható kérdések	Elemzett mutatók
Aszimmetria, egyenlőtlenség	Az országok vagy régiók közötti kereskedelmi áramlások egyensúlyát és kölcsönösségét méri.	Mennyire igazságos vagy kölcsönös a kereskedelem két ország között?	Csúcsasszimmetria ( <i>Node Asymmetry, NA</i> ), Köztességi központosság ( <i>Bet-wennes Centrality, BC</i> )
Központosság ( <i>centralities</i> ), csomópont magfoka ( <i>coreness</i> )	Országok vagy régiók jelentőségét és befolyását méri a kereskedelmi hálózatban kapcsolataik és pozícióik alapján.	Mennyire központi vagy befolyásos egy ország a kereskedelmi hálózatban?	Harmónikus központosság ( <i>Harmonic Centrality, HC</i> ), Sajátvektor-központosság ( <i>Eigenvector Centrality, EC</i> ), Csomópont magfoka ( <i>Node Coreness, NC</i> )

**b) Hálózati szintű indikátorok***Network-level indicators*

Hálózati szintű indikátorok csoportjai	Rövid leírás	Tipikus megválaszolható kérdések	Elemzett indikátorok
Skálafüggetlen tulajdonság, asszortativitás	Méri a kereskedelmi hálózat csomópontjainak fokszám-eloszlását és attribútum-hasonlóságát.	Mennyire hasonlítanak a csomópontok fokszámuk vagy egyéb tulajdonságaik tekintetében?	Asszortativitás ( <i>Assortativity Coefficient, AC</i> )
Centralizáció, centrum-periféria	A kereskedelmi hálózatban a csomópontok koncentrációját és a struktúra kohézióját méri. Egy magas centralizációjú kereskedelmi hálózat általában kevésbé stabil és ellenálló a sokkokkal szemben.	Mennyire koncentrálnak a kereskedelmi aktivitás egy vagy néhány központi ország körül? Mennyire vannak összekapcsolva a hálózat központi országai egymással, és mennyire vannak elszigetelve a hálózat periferikus országai?	Köztességi centralizáció ( <i>Betweenness Centralization, BZ</i> ), Sajátvektor-centralizáció ( <i>Eigenvector Centralization, EZ</i> ), Centrum-periféria ( <i>Network Coreness, NR</i> )
Összefüggőség, klaszterezettség, reziliencia, robusztusság	Méri a kereskedelmi hálózat összekapcsoltságát, klaszterezettségét és rezilienciáját.	Hogyan kapcsolódnak össze, hogyan csoportosulnak az országok a kereskedelmi hálózatban? Hogyan reagál a kereskedelmi hálózat a külső vagy belső sokkokra?	Klaszterezettség ( <i>Global Clustering, GC</i> ), reziliencia véletlenszerű és szisztematikus támadások esetén
Aszimmetria, kölcsönösség	Az ország- vagy régiópárok közötti kereskedelmi forgalom aszimmetriáját és kölcsönösségét méri.	Mennyire aszimmetrikus vagy kölcsönös az országok közötti kereskedelem?	Bilaterális aszimmetria ( <i>Bilateral Asymmetry, BA</i> ), Multilaterális aszimmetria ( <i>Multilateral Asymmetry, MA</i> ), Reciprocitás ( <i>Reciprocity Value, RV</i> )

Forrás: saját szerkesztés.

## 2.4. Oksági kapcsolatok, időbeli precedenciák

A világkereskedelmi adatbázis 1995-től 2020-ig tartalmaz adatokat. Ha az egyes mutatók között megpróbálunk oksági kapcsolatokat ugyan nem, de legalább precedenciális kapcsolatokat feltérképezni, az segíthet egy-egy jelenség (pl. reziliencia) termékcsoportok közötti kapcsolatának vizsgálatában. Egy ilyen kauzális, vagy helyesebben inkább precedenciális hálózatban az egyik termékből vagy az egyik országból akkor mutat él a másikba, ha a hálózati jellemző időbeli változásában (pl. reziliencia, centralizáció) előidejűség van. Másképpen fogalmazva, az egyik termék strukturális jellemzőjének változása időben megelőzi egy másik termék(csoport) változását, és az így kapott többletinformációval a második termék(csoport) strukturális változása jobban becsülhető. Erre a feladatra mi a Grenger-féle kauzalitást használtuk, ami számos hátránya mellett viszonylag kevés megfigyelés esetén is detektálja az előidejűséget, amely persze a valódi oksági kapcsolatot még nem feltétlenül bizonyítja (*Reuveny–Kang, 1996*). Meg kell jegyezni, hogy a kis elemszám miatt, egyéves eltolással, csak  $p < 0,001$  szinten szignifikáns kapcsolatot fogadtunk el precedenciális kapcsolatnak. A vizsgálatunkban arra voltunk kíváncsiak, hogy mely (csomóponti) hálózati mutatók terjednek időben (országok vagy) termékek között. A  $K_3$ -as kérdés megválaszolása közelebb visz minket nemcsak a sokkhatások, a válságok, hanem a hálózati struktúra terjedésének megértéséhez is.

## 2.5. A hálózatalapú modellredukciós módszer alkalmazása

*Kosztján és szerzőtársai (2022)* egy hálózatalapú nem paraméteres modellredukciós módszert javasoltak (*Network-based Dimensionality Reduction Analysis, NDA*). E módszer a főkomponens- (*Principal Component Analysis, PCA*), valamint a főfaktorelemzéshez (*Principal Factor Analysis, PFA*) képest számos, a tanulmányban kardinális fontosságú előnnyel rendelkezik. Ezek közül is kiemelendő, hogy a módszer nem igényli a változócsoportok vagy a látens változók (*latent variables, LVs*) számának előre történő megadását. További előnye, hogy kevés megfigyelést tartalmazó, ún. *High-Dimension Low-Sample-Size (HDLSS)* adathalmazt is képes kezelni, ahol a változók száma akár jóval meghaladja a megfigyelések számát. Ennek köszönhetően a módszer nemcsak modellredukcióra, hanem klaszterezésre is alkalmas (*Kosztján, 2023*). *Kosztján és munkatársai (2024)* általánosították az eljárást, amely a *Generalized NDA (GNDA)* nevet kapta. Ez a módszer tetszőleges szimmetrikus vagy aszimmetrikus hasonlósági függvény

alapján is képes változókat és/vagy adatokat csoportosítani, valamint változók esetén látens változókat, klaszterek esetén klasztercentrumokat megadni. Így alkalmas euklideszi, korrelációs, parciális korrelációs, de akár oksági kapcsolatok alapján meghatározott hasonlóságokkal is számolni. A módszer robusztus, még nagy zaj vagy hiányzó elemek esetén is helyesen csoportosítja a változókat és/vagy az adatokat. Ezen túlmenően a számos szintetikus adaton és számos adatbázison validált alkalmazás R-programnyelven szabadon elérhető.

A GNDA egy ún. hasonlósági gráfot készít a változókból vagy adatpontokból, attól függően, hogy modellredukcióra vagy adatredukcióra használjuk a módszert. A hálózaton kialakított modulok jelölik azon csomópontokat (ezek vagy változók, vagy adatpontok), amelyek között sűrűbbek a kapcsolatok (vagyis hasonlóbbak) mint a csoportokon kívüli pontok. A közösségek (modulok) száma határozza meg a látens változók (adatredukciók esetén a centrumok) számát, amelyek a standardizált változók és a hasonlósági gráfban szereplő pontok sajátvektor-centralitásainak (*Eigenvector Centrality, EC*) lineáris kombinációi. Az NDA és a GNDA tartalmaz adat-, illetve változószelekciót is, így azokat az adatokat, változókat, amelyek nem illeszkednek a modellbe, eldobhatjuk.

Tanulmányunkban bemutatjuk, hogy a módszer alkalmazható oksági hálózatok, valamint rövid idejű idősorok klaszterezésére is. A GNDA oksági hálózatra történő alkalmazása azonosítja azokat a termékcsoportokat és azokat az országokat, amelyek strukturális mutatói között szoros ok-okozati összefüggések vannak. A kialakuló modulok, klaszterek központjától való távolság a más termékektől vagy országoktól való függőség mértékét jelöli. Ha a GNDA-módszert alkalmazzuk a strukturális mutatók idősoraira, olyan termékcsoportokat vagy országokat azonosíthatunk, amelyek hasonló idősorjellemezőkkel és tipikus mintázatokkal (amelyek itt a klasztercentrumok lesznek) rendelkeznek. A tipikus mintázattól való távolság a csoporttól való eltérés mértékét jelzi. Ezek alapján pedig az országok és a termékek rangsorolhatók (lásd J<sub>4</sub>).

### 3. Az eredmények bemutatása

Kutatási kérdéseink megválaszolását szem előtt tartva, az összeállított adatbázisokat használjuk a strukturális hálózati szintű indikátorok időbeli mintázatainak azonosítására (lásd J<sub>2</sub>), és a következtetéseket a 3.1. alfejezetben részletezzük. Ismertetjük az oksági elemzés eredményeit is (J<sub>3</sub>) a 3.2. alfejezetben, valamint egy termékcsoportot kiválasztva bemutatjuk a termékcsoport kereskedésében szerepet

játszó országokra jellemző központisági mutatók időbeli változásait ( $J_4$ ) is a 3.3. alfejezetben.

### 3.1. Strukturális hálózati szintű indikátorok időbeli mintázata

A tanulmány végén található Melléklet M1. ábrája a kereskedelmi hálózatokban az asszortativitás (a, b), a sajátvektor-centralizáció (c, d) és az átlagos centrum-periféria érték (*coreness*) (e, f) időbeli változásait mutatja be. Az asszortativitás a kereskedelmi partnerek közötti hasonlóság mértékének számszerűsítését jelenti tulajdonságaik alapján. Az asszortativitás jelensége felfogható a specializáció és a hasonló partnerekkel folytatott kereskedelem mértékének mérőszámaként. Az asszortativitás növekedése magasabb szintű specializációt és hasonló tulajdonságokkal rendelkező partnerekkel folytatott kereskedelmet jelent. Ezzel szemben az asszortativitás csökkenése magasabb szintű diverzifikációt és eltérő tulajdonságokkal rendelkező partnerekkel folytatott kereskedelemre utal. A sajátvektor-centralizáció és az átlagos centrum-periféria érték két egymással összefüggő mérőszám, amelyek megmutatják a koncentráció és a kohézió szintjét a világkereskedelmi hálózatokban. A növekvő centralizáció jelensége, más néven a csökkenő centrum-periféria érték néhány szorosan kapcsolódó csomópont vagy egy integráltabb közösség kialakulását jelzi. Ezzel szemben a csökkenő centralizáció, illetve a növekvő centrum-periféria érték töredezetebb hálózatot feltételez. A fent említett változókat számos tényező befolyásolhatja, beleértve a technikai fejlődést, a kereskedelmi politikákat, a komparatív előnyöket, a keresleti trendeket, a geopolitikai változásokat, a piaci dinamikát, a versenyerőket, a politikai instabilitást és az ellátási láncok zavarait. Az új technológiák bevezetése képes csökkenteni a termelési költségeket vagy növelni a működési hatékonyságot a kereskedelem területén. Következésképpen ez elősegítheti a csomópontok vagy a közösségek közötti szorosabb összekapcsolódást, ami olyan hálózatot eredményez, amely centralizáltabb, vagy kevésbé emlékeztet ún. magszerű struktúrára. Az új technológia bevezetése növelheti a csomópontok vagy a közösségek piaci erejét és versenyképességét. Ezen túlmenően az új technológia bevezetése képes új kínálat létrehozására vagy a jelenlegi ajánlatok bővítésére is, növelve a csomópontokon vagy a közösségeken belüli kapcsolatok választékát vagy heterogenitását. Ennélfogva ez kevésbé központosított hálózatot eredményezhet, amely magszerűbb struktúrához hasonlít. Ezenkívül az új technológia alkalmazása potenciálisan új komparatív előnyöket vagy keresleti mintákat biztosíthat az érintett csomópontok vagy közösségek számára. Ugyanakkor egy új technológia bevezetése megzavarhatja a kialakult termelési vagy kereskedelmi mintákat, és új problémákat vagy veszélyeket jelenthet.



Ezért ezek a csomópontok vagy a közösségek közötti kapcsolódás, vagy a függőség csökkenését eredményezhetik, ami végső soron olyan hálózat kialakulását segíti elő, amely kevésbé centralizált. Az új technológia bevezetése potenciálisan új geopolitikai dinamikák megjelenéséhez és az ellátási láncok megszakadásaihoz vezethet az ilyen fejlesztések által érintett csomópontok vagy közösségek számára.

Az M1. ábrán látható, hogy az euklideszi távolságok alkalmazása esetén a termékcsoportok egyetlen klaszterbe tartoznak. Ebből adódóan egyfajta jellemző karakterisztika azonosítható [lásd M1. a), c), e) ábra]. Az M1. b), d) és f) ábra a termékcsoportok éves klaszterközpontjait mutatja be mint tipikus asszortativitási, centralizációs és centrum-periféria karakterisztikákat. Az is látszik, hogy 2010-ig nő az asszortativitás, és 2018-ig a centrum-periféria érték is növekszik (ezzel párhuzamosan a centralizáció csökken). Ezt követően a trend megfordul.

Az M1. a) és b) ábra a világkereskedelmi hálózat termékcsoportjai asszortativitásának klaszterközpontját mutatja az idő függvényében. Ez olyan tényezőkre reflektál, mint a technológiai fejlődés és a fogyasztói preferenciák változása, ami összhangban áll a *Sturgeon–Van Biesebroeck–Gereffi (2008)*, *Disdier–Fontagné–Cadot (2015)* és *Di Crosta és munkatársai (2021)* tanulmányaiban leírtakkal. Ezek a tényezők 2010-ig nagyobb mértékű hasonlóságot és szabványosítást eredményeztek a termékcsoportokon belül. 2010 után viszont a növekvő verseny, a változó preferenciák és a változó technológiák miatt nagyobb differenciálódáshoz és sokszínűséghez vezethettek (*Kotler et al., 2019; Yenipazarli, 2019; Østergård et al., 2009*).

A centralizáció [M1. c), d) ábra] és a centrum-periféria [M1. e), f) ábra] szerkezeti változásai 8 éves késéssel követik az asszortativitás változásait. A sajátvektor-centralizáció 1995 és 2018 közötti csökkenése arra utal, hogy a hálózat széttagoltabbá vált, és kevesebb ország uralta a kereskedelmi áramlást. Ez a regionalizációnak, Kína gazdasági felemelkedésének, valamint a politikai és gazdasági instabilitásnak tudható be. Ezenkívül a centralizáció 2018 óta tartó közelmúltbeli növekedése megelőzte a Covid19-járvány kitörését, amely erre a hatásra, az alternatív útvonalak használatának nehezebbé válására még rá is erősített. E trendforduló tehát megelőzte a válságot, így annak hatásaira rá is erősített. A hálózat továbbra is globalizált kereskedelmi rendszer mintázatát mutatja, amelyben az országok egyre inkább integrálódnak a kereskedelmi forgalomba, ugyanakkor ez az integrálódás már a pandémia előtt lelassult, és egyfajta deglobalizációs jelenségnek lehetünk tanúi (*Arias et al., 2021*). Ami talán a legérdekesebb, hogy a trendek és a trendfordulók az összes termék esetében szinte egyidejűleg megfigyelhetők (*Arias et al., 2021*).

A globális klaszterezettség és reziliencia (lásd M2. ábra) a kereskedelmi hálózatok összekapcsolhatóságát és robusztusságát méri. Ezen belül a globális klaszterezettség azt mutatja, hogy a csomópontok mennyire jól alkotnak klasztereket

vagy közösségeket a kereskedelmi hálózatokban. A növekvő globális klaszterezettség nagyobb specializációt és kohéziót jelez a hálózaton belül, míg a csökkenő globális klaszterezettség a hálózat diverzifikációjára és töredezettségére utal. A reziliencia a hálózat azon képességére utal, hogy mennyire hatékonyan tud alkalmazkodni a különféle zavarokhoz, beleértve az olyan eseményeket, mint a gazdasági sokkok, a természeti katasztrófák vagy a politikai instabilitás, amely egy-egy ország, országcsoport kereskedését vagy épp a kereskedelmi útvonalak kihasználhatóságát megnehezíti. A reziliencia növekedése robusztusabb és alkalmazkodóbb hálózatra utal, míg a csökkenő reziliencia sebezhetőbb, illetve instabilabb kereskedelmi hálózatot jelez.

A 3 azonosított termékcsoport mintázata eltérő klaszterezettségi jellemzőkkel rendelkezik, amint az az M2. a)–f) ábrákon is látható. Az első csoportba azok a termékek tartoznak, amelyek forgalma 2018-ig növekedett, de a Covid19-járvány megállította a klasztereződés növekedését. A második csoportban szintén nő a klasztereződés, de ezt kevésbé érinti a 2018 utáni válság. A harmadik csoportban nem változik a klasztereződés. Az M2. g) és h) ábra azt mutatja, hogy a hálózat 2012 előtt reziliensebb volt, vagyis jobban ellenállt az ellátási láncokban megfigyelhető zavaroknak. A hálózat ellenálló képessége azonban 2012 után csökkent.

Az M2. a) és b) ábra elsősorban a high-tech csúcstechnológias eszközök, valamint a luxustermékek csoportjait, a műalkotásokat azonosítja (pl. 84., 61. és 97. termékcsoport – a termékcsoportkódokat lásd a Függelékben). Ezek a termékek fejlett gyártási technológiát, speciális szállítási módot igényelnek, így ezeket érintette a legsúlyosabban a járvány, mivel klasztercentrumuk 2019-től visszaesett.

Az M2. c) és d) ábra a természeti erőforrásokból, valamint zöldségekből, gyümölcsökből, húsból származó élelmiszerek csoportját jelöli (pl. 20., 21. és 16. termékcsoport). Ezeket a termékeket elsősorban helyben állítják elő és naponta fogyasztják. A világgjárvány idején kínálati hiányt tapasztaltak a kereslethez képest, de klaszterközpontjuk csak kis mértékben csökkent.

Az M2. e) és f) ábra a termékek legkisebb csoportját jelöli, amelynél lényegében alig volt csökkenés. E csoport magában foglalja a szerves vegyi anyagokat, robbanóanyagokat, acéltermékeket, vasúti járműveket, dohánytermékeket, lábbeliket, szöveteket és nemesfémeket (51., 36., 72., 80., 46., 60., 52. és 14. termékcsoport). Ezek a termékek nélkülözhetetlenek a közlekedéshez, a kikapcsolódáshoz vagy az egészséghez. Folyamatos keresletszintet tartottak fenn, és minimális vagy elhanyagolható változásokat mutattak a klaszterezettség időbeli karakterisztikájában.

Az M2. g) és h) ábra a kereskedelmi hálózatok rezilienciájának globális mintázatát ábrázolja. Az eredmények azt mutatják, hogy a kereskedelmi hálózatok ellenállóbbak voltak 2012 előtt, de 2012 után ez a rezilienciaérték csökkent. Ez azt sugallja, hogy a kereskedelmi hálózatok sérülékenyebbek lettek. Ráadásul ez

a csökkenés, sérülékenységnövekedés több mint hat évvel megelőzte a járványt és az ukrán–orosz háborút. Ezenkívül előrevetíthető, hogy a világjárvány valószínűleg felgyorsította ezt a csökkenést, ami a kereskedelmi hálózatokat még sebezhetőbbé tette.

Egy kereskedelmi hálózatban a reciprocitás és a bilaterális/multilaterális aszimmetria azt mutatja, hogy a két- és többoldalú kereskedelmi kapcsolatok mennyire kiegyensúlyozottak. A reciprocitás arra a feltételezésre épül, hogy a két ország közötti kereskedelem nagyjából egyenlő a kicserélt áruk vagy szolgáltatások értékét és mennyiségét illetően. A reciprocitás növekedése (vagyis az aszimmetria csökkenése) azt mutatja, hogy a hálózaton belüli kereskedelmi kapcsolatok egyre kiegyensúlyozottabbak. Ha a reciprocitás csökken (az aszimmetria nő) az azt jelezheti, hogy egyes országok kereskedelme kiegyensúlyozatlan. A reciprocitás és a bilaterális aszimmetria országpárok közötti kereskedelmi egyensúlyra, vagy annak hiányára vonatkozik, míg a multilaterális aszimmetria egy ország valamennyi országgal folytatott kereskedelmi egyenlegére.

Az M3. a)–d) ábra azt mutatja, hogy a reciprocitások (bilaterális aszimmetriák) vizsgálata esetén az általunk használt  $\{gnda\}$  két termékcsoport-klasztert azonosít. Az első, nagyobb csoportban a reciprocitás növekszik, míg a másodikban a növekedés mérsékeltebb. A bilaterális és multilaterális aszimmetriák azonosított időbeli mintázatainak jellemzői összhangban vannak a reciprocitás eredményeivel [lásd M3. e), f) ábra]. A multilaterális aszimmetria a globális klaszterezettségi együttthatókban azonosított termékcsoport-klaszterek termékeit azonosítja [M3. f) ábra], míg a reciprocitás esetén a két kisebb termékcsoport olvad össze [M3. a)–e) ábra].

A reciprocitásnövekedés leginkább a csúcstechnológias eszközök és a luxus-termékek esetében jelenik meg, és jóval mérsékeltebb a nyersanyagok, illetve más termékek esetében. Az általános, minden termékre vonatkozó reciprocitásnövekedés egyértelműen a globalizációnak köszönhető, és más mutatókkal ellentétben nem változott a járvány előtt. A nyersanyagkészletek reciprocitási értékének változása jól magyarázható a földrajzi adottságokkal. Itt érdekes, kutatandó kérdés lehet a Kína által bevezetett, ritkaföldfémek-exportkorlátozásának hatása, valamint az orosz–ukrán háború okozta, olaj és gázra kivetett embargó rövid és hosszabb távú hatása is.

Fontos megjegyezni, hogy valamennyi eredményünk a különböző termékcsoportok kereskedelmi hálózatainak szerkezeti hasonlóságát mutatja. E termékcsoportok egy vagy néhány globális időbeli mintázatot mutatnak, jelezve a globális változásokra és válságokra adott hasonló reakcióikat. A hasonló időbeli mintázat azonban nem jelenti azt, hogy a különböző termékek kereskedelme között ne lenne valamilyen kauzális kapcsolat. Az ilyen összefüggések kimutatásához azonban ok-okozati összefüggések vizsgálatára van szükség.

### 3.2. A strukturális mutatók időbeli összefüggései

A sajátvektor-centralizáció, a köztességi centralizáció, a globális klaszterezettség és a multilaterális aszimmetria esetében nagyon kevés ok-okozati összefüggést tudunk azonosítani az egyes termékcsoportok között. Mindazonáltal az asszortativitás [M4. a) ábra], a reziliencia [M4. b) és c) ábra] és a reciprocitások között találtunk kauzális kapcsolatokat, valamint kauzális csoportokat [M4. d) és e) ábra].

Az M4. ábra azt mutatja, hogy a GNDA 5-5 oksági csoportot azonosított a termékcsoportok asszortativitását [M4. a) ábra] és reciprocitását [M4. d) ábra], valamint 6 ok-okozati csoportot a rezilienciákat [M4. b), c) ábra] és 3 csoportot a kereskedési termékek kétoldalú aszimmetriájának oksági kapcsolatait vizsgálva.

Ezekben a vizsgálatokban elemeztük a termékcsoportok szerkezeti jellemzői közötti precedenciális (időbeli) függőségeket Granger-féle ok-okozati tesztekkel. Ahol találtunk szignifikáns kapcsolatot, ott a változókat összekötöttük, majd az így kapott hálózatot klasztereztük. Azokat a termékcsoportokat sorolta a módszer egy klaszterbe, ahol a klaszteren (modulokon) belül az oksági kapcsolatok sűrűbbek voltak, mint a klaszterek között. A modulkeresésen alapuló GNDA-módszer által kapott klaszterek termékcsoportjait azonos színűre festettük (lásd M4. ábra). A 3. táblázat tartalmazza az oksági klaszterekben lévő termékcsoportokat, valamint a GNDA-pontértékeit, amelyek a hálózatban betöltött szerepük alapján a beágyazottságukat jellemzik.

Az eredmények értelmezése során az M4. a) ábra azt mutatja, hogy egy termék asszortativitása az idő múlásával mely más termék asszortativitásától függ. Másképpen fogalmazva ez azt jelenti, hogy egy adott termék kereskedésével kapcsolatos szokásokat más termékek tulajdonságai és kapcsolatai befolyásolják. A magas sajátvektor-centralitással rendelkező termékek központi szerepet játszanak az oksági hálózatban, és különösen érzékenyek a sokkokra és a válságokra, valamint közvetítő szerepük van más termékcsoportok kereskedési hálózati struktúrájának változásában. Ha látjuk, hogy ezek az oksági hálózatok milyen mértékben vannak egymással összekötve, akkor magyarázatot kapunk arra is, miért azonosíthatunk olyan kevés mintázatot a termékcsoportok kereskedéseinek strukturális vizsgálatokor, vagyis miért annyira hasonlóak a kereskedési hálózatok, lényegében majdnem függetlenül attól, hogy milyen termékcsoportokat vizsgálunk. Ugyanakkor az is elmondható, hogy 16 termékcsoport (pl. 60., 29., 46., 50., 58., 54., 81.) nem kapcsolódik egyetlen más termékcsoporthoz sem, ami azt jelenti, hogy ezek a termékcsoportok egyedi jellemzőkkel és kereskedési magatartással rendelkeznek, amelyeket más termékcsoportok kereskedései nem befolyásolnak közvetlenül, vagy legalábbis nagyobb késéssel, mint a vizsgálatban használt egy éves időtartam.

A 3. táblázat mutatja oksági klasztercsoportonként a leginkább beágyazott termékcsoportokat. E termékcsoportok a sajátvektor-centralitásuk alapján vannak

rendezve, amelyek jelen esetben megegyeznek az NDA- (GNDA-) szóróértékekkel. A nagyobb szóróérték nagyobb beágyazottságot jelent, ami itt a termékcsoport többi termékcsoporttól való erősebb függését mutatja. A 3. táblázat az első 5 legnagyobb pontértékkel rendelkező termékcsoportot tartalmazza. Figyeljük meg, hogy 5 termékcsoport (33., 15., 38., 22. és 25.) több oksági hálózatban is központi szerepet játszik.

3. táblázat

**Az 5 legnagyobb sajátvektor-centralitási értékkel rendelkező termékcsoport asszortativitásának (a), rezilienciájának (b-c), reciprocitásának (d) és bilaterális aszimmetriájának (e) sajátvektor-centralitásai oksági klasztercsoportonként**

*Eigenvector centralities (as factor loadings) of assortativity (a), resilience (b-c), reciprocity (d), and bilateral asymmetry (e) of top 5 product groups*

**a) Asszortativitás vizsgálata esetén**

*Causal groups of assortativities*

Helyezés	PR <sub>1</sub>	NDA <sub>1</sub>	PR <sub>2</sub>	NDA <sub>2</sub>	PR <sub>3</sub>	NDA <sub>3</sub>	PR <sub>4</sub>	NDA <sub>4</sub>	PR <sub>5</sub>	NDA <sub>5</sub>
1	33	1,000	15	1,000	22	1,000	38	1,000	25	1,000
2	93	0,583	45	0,720	73	0,625	12	0,785	35	0,762
3	87	0,382	27	0,706	56	0,608	84	0,785	17	0,669
4	94	0,382	86	0,653	34	0,608	67	0,768	88	0,444
5	49	0,371	20	0,588	30	0,476	68	0,682	36	0,380

**b) Reziliencia véletlen támadások esetén**

*Causal groups of resiliences for random attacks*

Helyezés	PR <sub>1</sub>	NDA <sub>1</sub>	PR <sub>2</sub>	NDA <sub>2</sub>	PR <sub>3</sub>	NDA <sub>3</sub>	PR <sub>4</sub>	NDA <sub>4</sub>	PR <sub>5</sub>	NDA <sub>5</sub>	PR <sub>6</sub>	NDA <sub>6</sub>
1	76	1,000	39	1,000	10	1,000	46	1,000	30	1,000	14	1,000
2	90	0,935	61	0,905	23	0,798	66	0,869	97	0,790	24	0,764
3	82	0,888	67	0,636	79	0,640	49	0,781	84	0,769	43	0,747
4	25	0,828	38	0,576	72	0,631	26	0,762	96	0,723	53	0,528
5	63	0,798	68	0,514	58	0,442	86	0,723	92	0,620	88	0,504

**c) Reziliencia szisztematikus támadások esetén**

*Causal groups of resiliences for systematic attacks*

Helyezés	PR <sub>1</sub>	NDA <sub>1</sub>	PR <sub>2</sub>	NDA <sub>2</sub>	PR <sub>3</sub>	NDA <sub>3</sub>	PR <sub>4</sub>	NDA <sub>4</sub>	PR <sub>5</sub>	NDA <sub>5</sub>	PR <sub>6</sub>	NDA <sub>6</sub>
1	81	1,000	92	1,000	84	1,000	22	1,000	67	1,000	60	1,000
2	86	0,299	10	0,668	54	0,965	12	1,000	11	0,721	31	0,577
3	20	0,276	47	0,573	88	0,851	15	0,675	85	0,643	90	0,577
4	61	0,276	50	0,516	44	0,844	63	0,675	39	0,643	76	0,577
5	35	0,276	52	0,472	18	0,635	73	0,403	56	0,643		

(A táblázat folytatása a következő oldalon)

(folytatás)

**d) Bilaterális aszimmetria esetén**  
*Causal groups of bilateral asymmetries*

Helyezés	PR <sub>1</sub>	NDA <sub>1</sub>	PR <sub>2</sub>	NDA <sub>2</sub>	PR <sub>3</sub>	NDA <sub>3</sub>	PR <sub>4</sub>	NDA <sub>4</sub>	PR <sub>5</sub>	NDA <sub>5</sub>
1	50	1,000	55	1,000	32	1,000	88	1,000	69	1,000
2	31	0,611	92	0,953	17	0,860	46	0,834	57	0,852
3	68	0,588	51	0,895	11	0,596	19	0,784	95	0,695
4	76	0,541	15	0,835	34	0,572	66	0,638	64	0,547
5	83	0,502	97	0,826	61	0,572	60	0,581	40	0,547

**e) Reciprocitás vizsgálata esetén**  
*Causal groups of reciprocities*

Helyezés	PR <sub>1</sub>	NDA <sub>1</sub>	PR <sub>2</sub>	NDA <sub>2</sub>	PR <sub>3</sub>	NDA <sub>3</sub>
1	50	1,000	97	1,000	32	1,000
2	68	0,621	55	0,971	35	0,876
3	69	0,547	45	0,847	33	0,869
4	31	0,539	15	0,801	17	0,811
5	76	0,534	86	0,753	57	0,771

Megjegyzés: a PR<sub>i</sub> a termékcsoportok i-edik klasztercsoportját jelöli. Az NDA<sub>i</sub> a termékcsoportok GNDA-pontértéke, ami jelen esetben a sajátvektor-centralitási értékeket jelenti az i oksági klaszterben. Egy termékcsoport termékei a sajátvektor-centralitási értékei szerint csökkenő sorrendben jelennek meg.

Az M4. b) és c) ábra egészen más képet mutat akkor, ha a termékcsoportok kereskedésére vonatkozó sérülékenység oksági kapcsolatait véletlenszerű és célzott támadások esetén vizsgáljuk. Bár mind a két hálózat 6-6 klasztert azonosít, a célzott támadások [M4. c) ábra] esetén jóval kevesebb oksági összeköttetéssel találkozhatunk, ami nem azt jelenti, hogy a célzott támadásokkal szemben ellenállóbbak lennének a hálózatok, hanem sokkal inkább azt, hogy az ellátási láncban jelentkező zavarok egy-egy kulcsszereplő megbénulása esetén más termékek kereskedését kevésbé lehetetlenítik el, mintha ez a zavar véletlenszerűen lépne fel. Ugyanakkor az is látszik, hogy az oksági kapcsolatok így is több terméket érintenek, mint amennyit nem. A javasolt GNDA-módszer azonosította és sorba rendezte azokat a termékcsoportokat, amelyek leginkább közvetítik a sérülékenységet egy másik termékcsoport kereskedelmi hálózatába. A 3. b) táblázatban szereplő termékcsoportok legnagyobb sajátvektor-centralitással rendelkező csoportja (76., 39., 10., 46., 30. és 14.) nélkülözhetetlen az olyan ágazatokban, mint a távközlés, a műanyagipar, a gabonaipar, a dohányipar, a gyógyszeripar és a nemesfémgyártás. Széles piaci kereslet, széleskörű alkalmazás és alszektoraikon belüli sokszínűség jellemzi őket. Ezek a tényezők stabilitást és rugalmasságot biztosítanak a véletlenszerű zavarokkal szemben, ugyanakkor az e termékcsoportok ellátási láncában jelentkező zavarok más termékek esetében [lásd a 3. b) táblázat további termékcsoportjait] is zavarokat okozhatnak.

A 3. c) táblázatban szereplő legnagyobb sajátvektor-centralitási értékkel rendelkező termékcsoportok (81., 92., 84., 22., 67. és 60.) célzott támadásokkal szembeni sérülékenységet befolyásolja leginkább más termékcsoportok sérülékenységeinek változása. Ugyanakkor e termékcsoportok kereskedései erős stratégiai együttműködési kapcsolatokkal rendelkeznek iparágaikon belül. Robusztus ellátási láncok, hatékony elosztási hálózatok és összehangolt iparági gyakorlat jellemzi őket. Összehasonlítva a 3. b)-c) és a 3. d)-e) táblázatokat, az eredmények azt mutatják, hogy más termékcsoportok kerülnek a lista élére, ha a sérülékenységek, vagy éppen a kereskedési aszimmetriák oksági kapcsolatait vizsgáljuk. Ez arra enged következtetni, hogy az ellátási láncokban fellépő esetleges zavarok egyik termékcsoportról a másikra való terjedése más mechanizmusok szerint alakul, mint a kereskedési aszimmetriák terjedése. Az előbbit külső körülmények alakítják, a kereskedések aszimmetriáinak változását pedig a belső, két- vagy többoldalú megállapodások, egyezmények befolyásolják.

Az oksági hálózatok magas denzitása magyarázatot adhat arra, hogy miért ennyire hasonló a kereskedelmi hálózatok strukturális mintázatai. A GNDA oksági hálózatra történő alkalmazásával oksági közösségeket azonosítottunk, ahol a közösségen belül sűrűbbek az oksági kapcsolatok, mint a közösségek között. A termékcsoportokat beágyazottságuk alapján is rangsoroltuk egy okozati közösségen belül. Ebből kiderült, hogy mely termékcsoportok a mozgatórugói a strukturális mutatók megváltoztatásának.

### 3.3. Az országok kereskedelmi hálózatban betöltött szerepének változása

Ha közvetlenül az országok kereskedéseit szeretnénk vizsgálni, akkor ki kell választanunk egy termékcsoportot. Ebben a fejezetben a 81. termékcsoportra<sup>2</sup> összpontosítunk, amelyet nagymértékben befolyásolt más termékek rugalmasságának időbeli változása [3. c) táblázat]. Ez a termékcsoport számos ipari termék alapanyaga. Kereskedelmi szerkezeti mutatóit (pl. asszortativitás, klaszterezettség, illesztett hatványeloszlás  $\gamma$  paramétere) más termékek nem befolyásolták oksági szempontból [legalábbis rövid távon, lásd 5. a) ábra]. Ezen túlmenően erre a termékcsoportra vonatkozóan a bilaterális aszimmetria és a reciprocitás időbeli változásai csak néhány egyéb termékcsoporttól függték [M4. d) ábra, 3. d) táblázat]. Ugyanakkor ennek a termékcsoportnak a kereskedelme jelentős zavarokkal szembesült, különösen a Covid19-járvány idején. Mivel a wolfram a szegényített urán

<sup>2</sup> 81. termékcsoport: Egyéb nem nemesfémek; szinterezett fémekkel kombinált kerámiából álló kompozitanyag; ezekből készült áruk: idetartozik a wolfram és a molibdén, a vasérc közvetlen redukciójával nyert vastartalmú termékek, valamint a nyersvas, tűskésvas, vas vagy acél szemcséi és porai

mellett fontos eleme a páncéltörő fegyvereknek is, ezért az orosz–ukrán, majd a cikk írásakor a gázai konfliktus során is felértékelődött a szerepe. Éppen ezért e termékcsoport kereskedését fontosnak tartottuk részletesebben is megvizsgálni, bizonyítva, hogy az eddig ismertetett eljárás nemcsak termékcsoportokat, hanem országokat is képes klaszterezni.

Az M5. ábra mutatja a (bejövő/kimenő) élekre vonatkozó fokszámközpontiságokat (mely itt az import, export kapcsolatokkal van összhangban). Minél nagyobb egy ország bejövő (kimenő) élekre vonatkozó fokszámközpontisága, annál diverzifikáltabb az import (export) kapcsolatrendszere e termékcsoport tekintetében.

Az alkalmazott GNDA 3-3 osztályt azonosít. A 3 klaszter közül az első jelentősebb, a második mérsékelt emelkedést, a harmadik pedig stagnálást mutat.

A 4. táblázat az első négy ország GNDA-faktor-szkórait mutatja. Minél nagyobb a pontérték, annál inkább jellemző rá a klasztercentrum-karakterisztika, ugyanis annál inkább korrelál a klasztercentrumként ábrázolható látens változóval.

4. táblázat

**A négy legnagyobb GNDA-faktor-szkórokkal rendelkező ország országcsoport-klaszterenként**

*Factor scores of GNDA of the top four countries*

**a) Országcsoportok és a csoportok bejövő fokszámközpontiság alapján számolt GNDA-faktor-szkórok [a csoportszámozások az M5. a) ábra klasztereit követik]**

*Clusters and factor scores on indegree centralities*

Hely	CTY <sub>1</sub>	NDA <sub>1</sub>	CTY <sub>2</sub>	NDA <sub>2</sub>	CTY <sub>3</sub>	NDA <sub>3</sub>
1	LVA	0,980	NCL	0,698	FRA	0,934
2	LTU	0,975	LCA	0,665	BLR	0,926
3	BGR	0,973	DZA	0,649	UKR	0,916
4	RUS	0,973	TTO	0,640	SLV	0,916

**b) Országcsoportok és a csoportok kimenő fokszámközpontiság alapján számolt GNDA-faktor-szkórok [a csoportszámozások az M5. b) ábra klasztereit követik]**

*Clusters and factor scores on out-degree centralities*

Hely	CTY <sub>1</sub>	NDA <sub>1</sub>	CTY <sub>2</sub>	NDA <sub>2</sub>	CTY <sub>3</sub>	NDA <sub>3</sub>
1	COD	0,598	NCL	0,970	FRA	0,847
2	MDA	0,579	LCA	0,967	BLR	0,841
3	PRK	0,553	DZA	0,958	UKR	0,836
4	CXR	0,440	TTO	0,958	SLV	0,810

Megjegyzés: a CTY<sub>i</sub> az i-edik országcsoportot jelöli. Az NDA<sub>i</sub> az országcsoportok GNDA-faktor-szkórait jelöli az i-edik klaszterben.

Először a behozatal diverzifikációját értékelve [4. a) táblázat, M5. a) ábra]: az első klaszter olyan országokból áll, mint Litvánia (LVA), Lettország (LTU), Bulgária (BGR) és Oroszország (RUS), és 1-hez közeli, faktorszkórokkal rendelkezik.



Ezek az államok diverzifikálták leginkább e termékcsoport behozatalát az évek során. A második klaszter olyan országokat foglal magában, mint Új-Kaledónia (NCL), Szent Lucia (LCA), Algéria (DZA) és Tobago (TTO). Ezen országok esetén nem változott a behozatali diverzifikáció. A harmadik klaszter, amely olyan országokból áll, mint Franciaország (FRA), Fehéroroszország (BLR), Ukrajna (UKR) és El Salvador (SLV), magas, 0,9 feletti faktorszórással rendelkezik. Az eredmények azt mutatják, hogy itt a behozatali diverzifikáció kis mértékben növekedett, majd a pandémiát megelőzően csökkent.

Nem állítjuk, hogy egyes országok a háborúra való felkészülés során felhalmozták ezt a termékcsoportot, amely csúcstechnológias felszerelésekhez és pánccéltörő fegyverekhez is kulcsfontosságú. Érdekesnek találjuk azonban, hogy mely országok tartoznak ugyanabba a csoportba.

Ha a kivitel diverzifikációját vizsgáljuk [4. b) táblázat, M5. b) ábra], akkor az első klaszter azokból az országokból áll – Kongó (COD), Moldova (MDA), Észak-Korea (PRK) és a Karácsony-sziget (CXR) –, amelyek vagy nem rendelkeznek nyersanyagokkal, vagy csak kismértékben vesznek részt e termékcsoport kereskedésében. A második klaszterbe tartozó országok, India (IND), Dél-Korea (KOR), a Cseh Köztársaság (CZE) és Szlovénia (SVN) nagymértékben növelte vevői számát, míg a harmadik klasztert alkotó Belgium (BEL), Svájc (CHE), a Dél-afrikai Köztársaság (ZAF) és Olaszország (ITA) csak kismértékben növelte vevői számát, illetve erősítette közvetítői szerepét.

## 4. Összefoglalás

Számos kutató tanulmányozta a gazdasági-technológiai változásokat és válságokat tükröző kereskedelmi hálózatokat (*Garlaschelli–Loffredo, 2005; Cai et al., 2023*). Állításaik szerint a kereskedelmi hálózatok strukturális változásai felerősíthetik vagy tompíthatják a válság hatásait (*Kali–Reyes, 2010; Denbee et al., 2021*). A korábbi írások azonban főként az országok kereskedelmi hálózatára összpontosítottak. Ez a tanulmány úttörő szerepet játszik abban, hogy a  $K_1$ – $K_3$  kutatási kérdések megválaszolása során a kereskedelmi hálózatok mintázataira összpontosít. Bemutatjuk, hogy a termékcsoportok strukturális mintázatai alapján hogyan csoportosíthatjuk az egyes kereskedelmi hálózatokat (M1–3., M5. ábra), és ezek között a termékcsoportok között milyen oksági kapcsolat figyelhető meg (M4. ábra).

Tanulmányunkban két fontos megállapítást teszünk. Először is azt javasoljuk, hogy a kutatók ne csak a kereskedelmi hálózatokat, hanem a hálózatok (időbeli)

mintázatait is elemezzék ( $J_1$ ). Megmutatjuk, hogy a szerkezeti jellemzők termékenként és hálózatonként hogyan változnak ( $J_2$ ). Eredményeink szemléltetik, hogy egy termék kereskedése hogyan függ a többi termék kereskedésétől ( $J_3$ ). A mintázatok pedig megmutatják, hogy a válságok és a technológiai változások hogyan érintik az összes kereskedelmi hálózatot ( $J_4$ ).

Ez a tanulmány nem állítja, hogy a kereskedelmi hálózatok strukturális jellemzőinek romlása (például a reziliencia csökkenése) vagy a javulás trendjének stagnálása (pl. centralizáció, aszimmetria) válságokat okozna. Ugyanakkor amellett érvelünk, hogy ezeknek a strukturális mutatóknak a romlása súlyosbíthatja a válságokat és felerősítheti azok következményeit. A strukturális jellemzők korrelációja és ok-okozati viszonya azt jelzi, hogy egy termék ellátási láncában fellépő zavar rövid időn belül más termékek kereskedelmét is érinti, megváltoztatva a kereskedelmi hálózatok szerkezeti jellemzőit. Érdekes eredmény például, hogy a 2008-as pénzügyi válság nem okozott szerkezeti változást a termékkereskedelmi hálózatban. Sőt a mutatók javultak a pénzügyi válság előtt, alatt és után. A Covid19-járvány előtt azonban szinte minden strukturális mutatóban romlást tapasztaltunk, ami inkább deglobalizációra utaló jelenség. Ez a deglobalizáció az ellátási láncokat sebezhetőbbé tette a sokkokkal és a zavarokkal szemben.

Tanulmányunk újszerű és átfogó keretet biztosít a kereskedelmi hálózatok dinamikájának és egymásra utaltságának termékszintű elemzéséhez. Hálózati mutatók, klaszterelemzés, oksági tesztek és központi mérőszámok kombinációjának felhasználásával kutatásunk feltárja a kereskedelmi hálózati mutatók időbeli mintázatainak ok-okozati összefüggéseit és hatásait. Ezenkívül ez a keretrendszer segíthet a kutatóknak felderíteni a sokkok, a válságok és a technológiai változások kereskedelmi hálózatokra gyakorolt hatásait, valamint azonosítani a strukturális változások fő mozgatórugóit. Továbbá a tanulmány a kereskedelmi hálózatok elemzésével foglalkozó szakirodalomhoz is hozzájárul azáltal, hogy egy új nem paraméteres klaszterelemzési módszert alkalmaz, amely képes megragadni az adatok összetett és nem lineáris mintázatait.

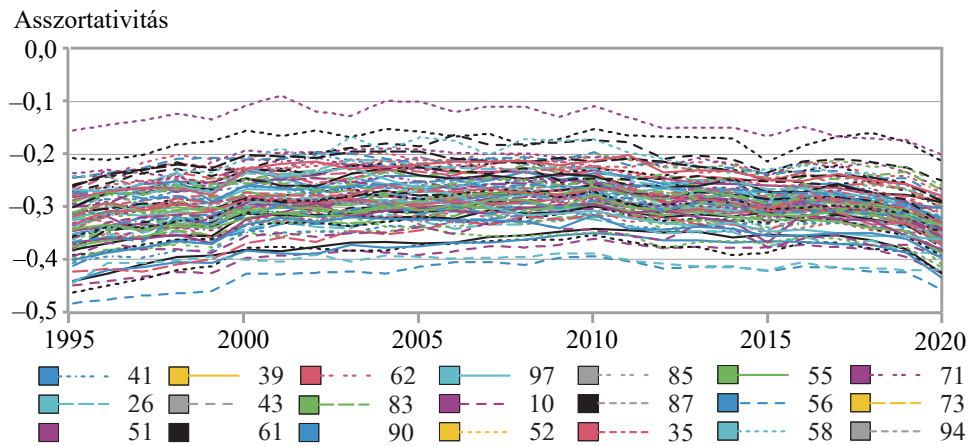
Írásunk a döntéshozók számára értékes betekintést nyújthat a kereskedelmi hálózatok működésébe és ellenálló képességébe, valamint a kereskedelempolitika és a piaci stratégia lehetőségeibe és kihívásaiba. A különböző termékcsoportok szerkezeti jellemzőinek és ok-okozati összefüggéseinek megértésével a politikai döntéshozók olyan kereskedelempolitikákat segíthetnek elő, amelyek növelik a kereskedelmi hálózatok hatékonyságát, stabilitását és fenntarthatóságát. A politikai döntéshozók ezt a tanulmányt a globális események és a technológiai változások kereskedelmi hálózatokra gyakorolt hatásainak nyomon követésére és előrejelzésére, valamint a potenciális kockázatok és a sebezhetőség mérséklésére is használhatják. Ezen túlmenően eredményeink és következtetéseink segíthetik a politikai döntéshozóknak azonosítani a kereskedelmi hálózat legbefolyásosabb és legérzékenyebb termékcsoportjait és országait.

## Melléklet

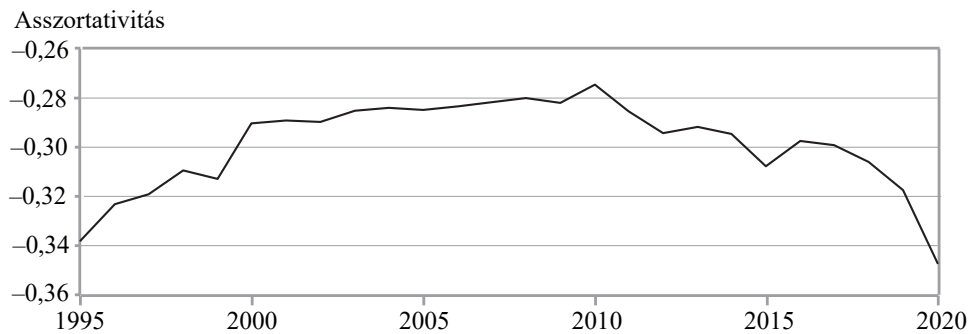
M1. ábra

**Az asszortativitás, a sajátvektor-centralizáció és az átlagos centrum-periféria értékek időbeli mintázata**  
*Assortativity, eigenvector centrality, and coreness of production groups in time*

**a) A termékcsoportok asszortativitásának időbeli mintázata**  
*Assortativity of production groups in time*



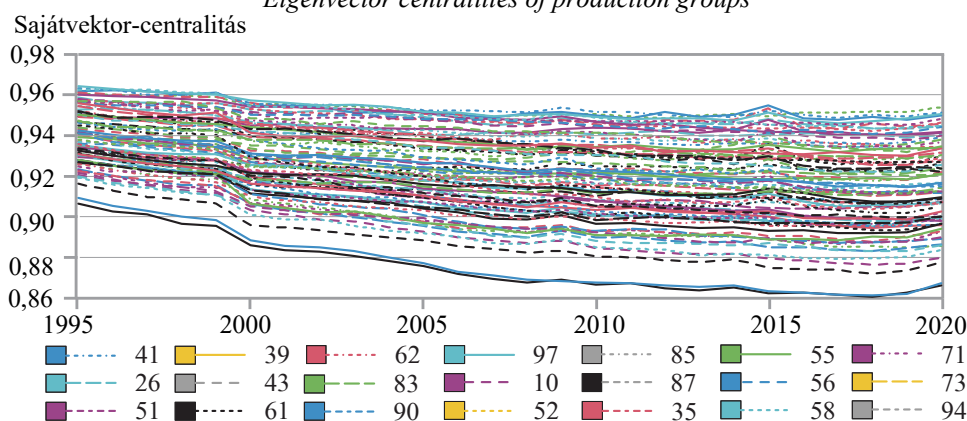
**b) A termékcsoportok időbeli mintázatainak klasztercentruma (tipikus jellemző)**  
*Cluster centers of assortativities*



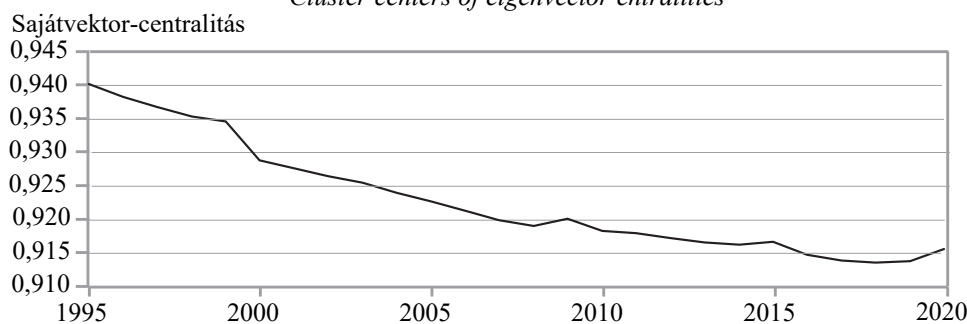
(Az ábrák folytatása a következő oldalon)

(folytatás)

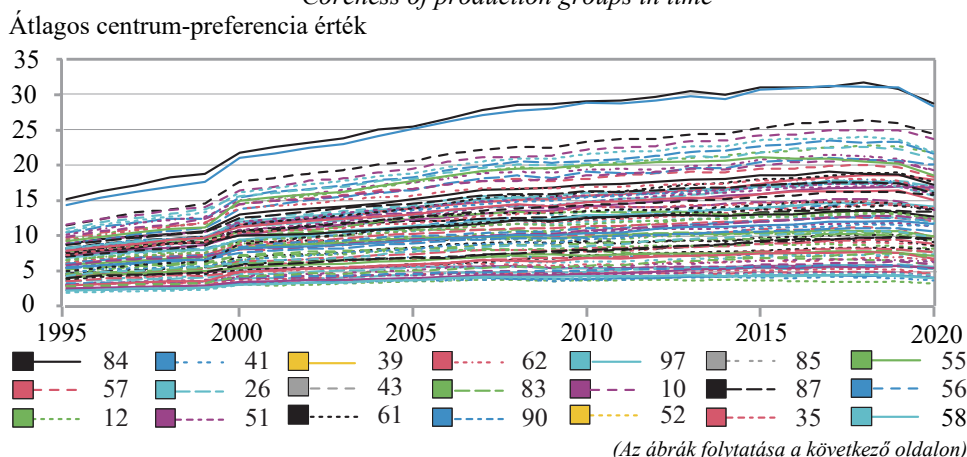
**c) A termékcsoportok sajátvektor-centralizációja**  
*Eigenvector centralities of production groups*



**d) A sajátvektor-centralizáció jellemző karakterisztikája**  
*Cluster centers of eigenvector centralities*



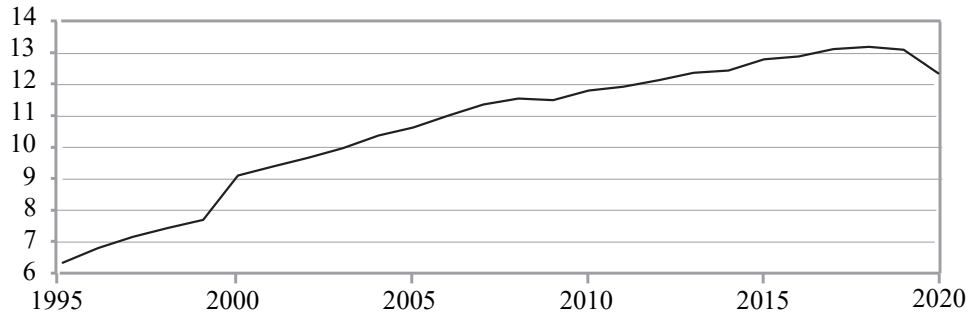
**e) A termékcsoportok centrum-preferencia értékeinek időbeli változása**  
*Coreness of production groups in time*



(folytatás)

**f) A centrumpreferencia jellemző karakterisztikája**  
*Cluster centers of coreness*

Átlagos centrum-preferencia érték



Megjegyzés: a távolságfüggvény az idősorok euklideszi távolsága. A talált klaszterszám minden esetben: 1.

M2. ábra

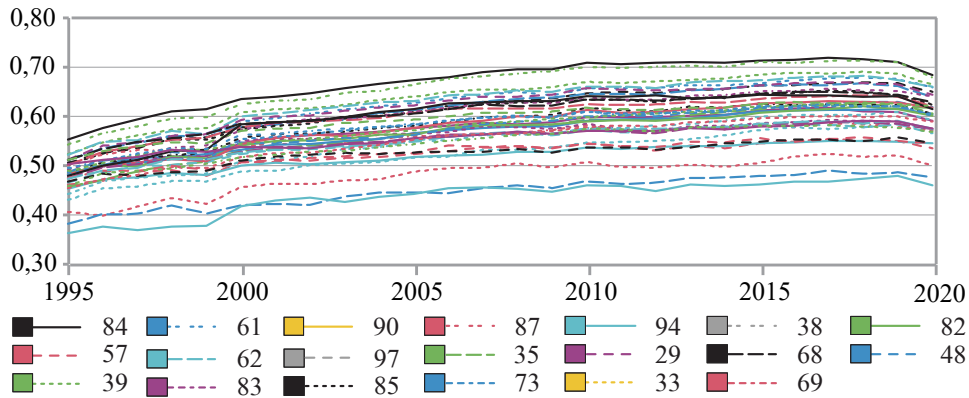
**Globális klaszterezettség időbeli mintázatai, ahol a hasonlóság mértéke a Spearman-féle korreláció**

*Patterns of global clustering over time, where the degree of similarity is the Spearman correlation*

**a) Az 1. termékcsoport globális klaszterezettségi együtthatói**

*Temporal patterns of global clustering coefficients on product cluster 1*

Globális klaszterezettség



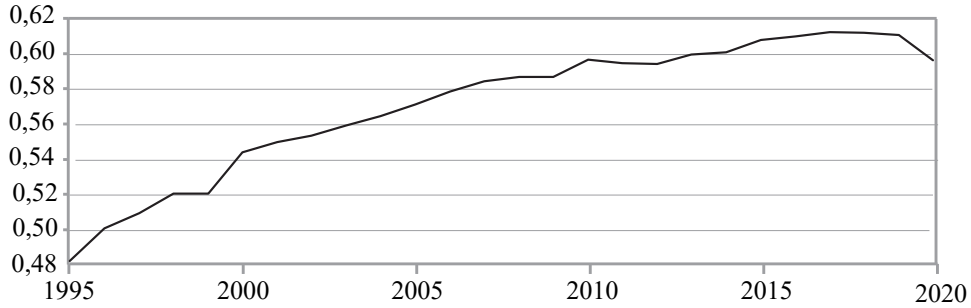
(Az ábrák folytatása a következő oldalon)

(folytatás)

**b) Klasztercentrum alapján számolt jellemző karakterisztika**

*Cluster centers of global clustering coefficients*

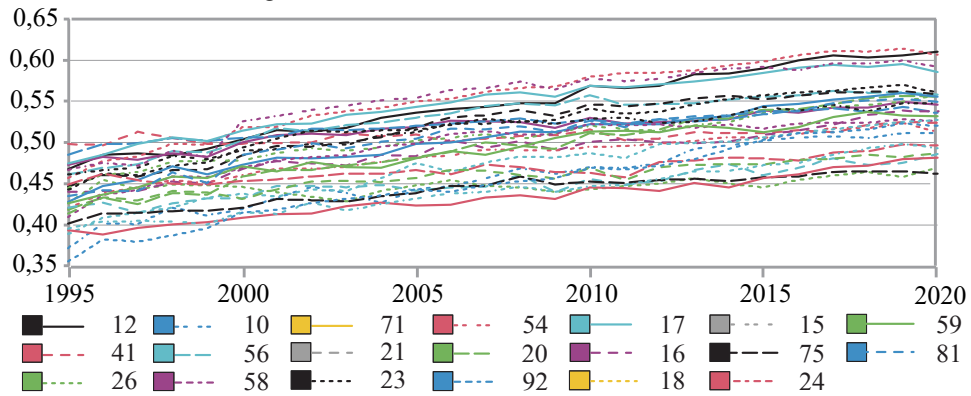
Globális klaszterezettség



**c) A 2. termékcsoport globális klaszterezettségi együtthatói**

*Temporal patterns of global clustering coefficients on product cluster 2*

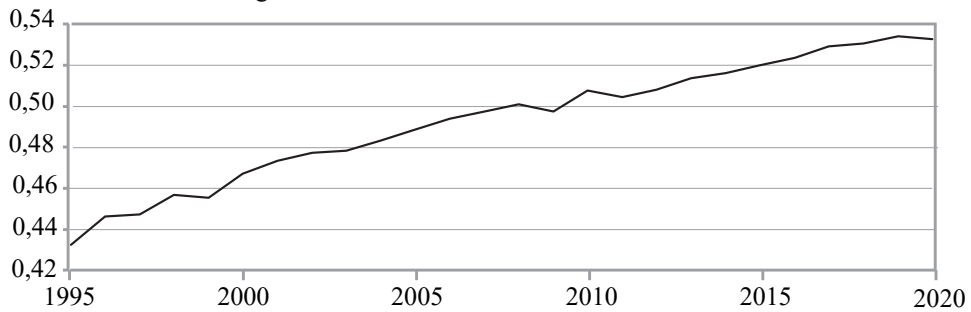
Globális klaszterezettség



**d) Klasztercentrum alapján számolt jellemző karakterisztika**

*Cluster centers of global clustering coefficients*

Globális klaszterezettség

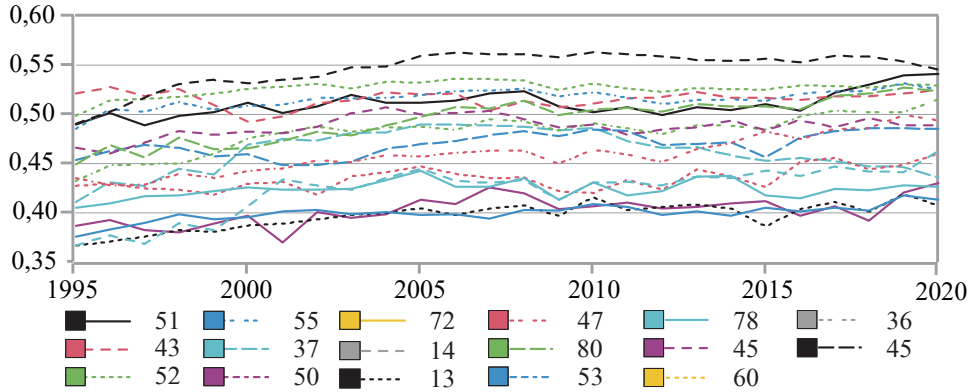


(Az ábrák folytatása a következő oldalon)

(folytatás)

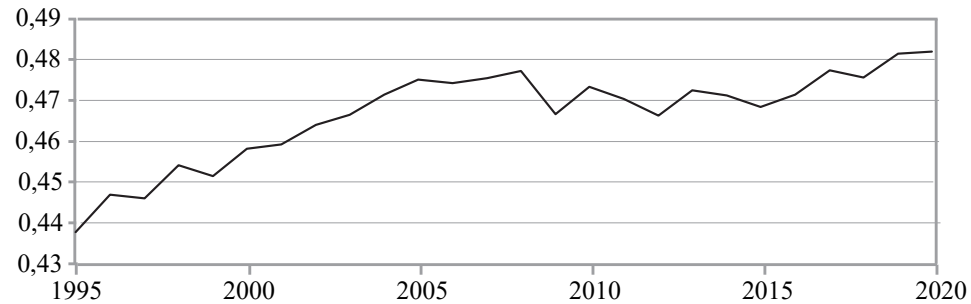
**e) A 3. termékcsoport globális klaszterezettségi együtthatói**  
*Temporal patterns of global clustering coefficients on product cluster 3*

Globális klaszterezettség



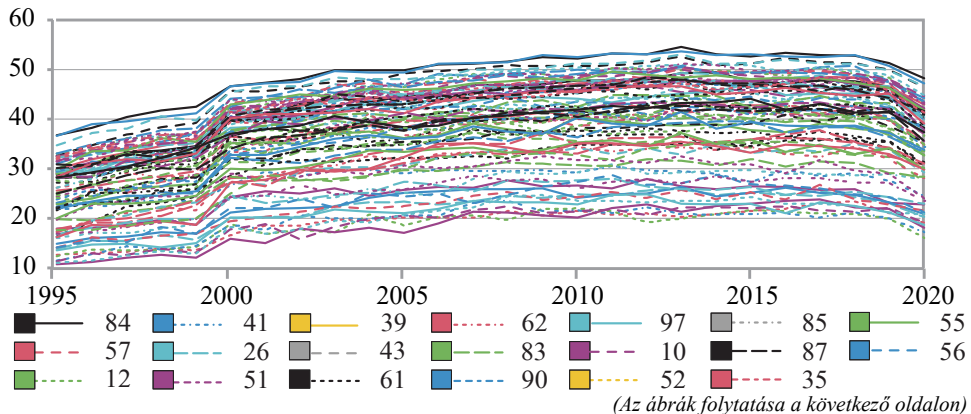
**f) Klasztercentrum alapján számolt jellemző karakterisztika**  
*Cluster centers of global clustering coefficients*

Globális klaszterezettség



**g) A termékcsoportok időbeli rezilienciája**  
*Temporal patterns of resiliences*

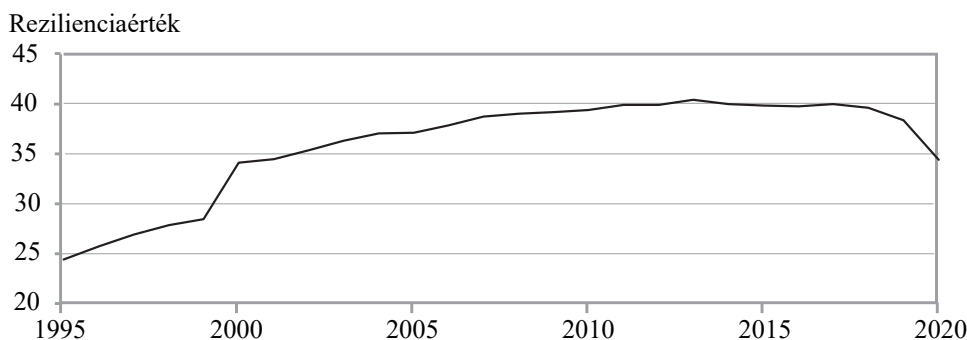
Rezilienciaérték



(Az ábrák folytatása a következő oldalon)

(folytatás)

**h) Klasztercentrum alapján számolt jellemző karakterisztika**  
*Cluster centers of resiliences*

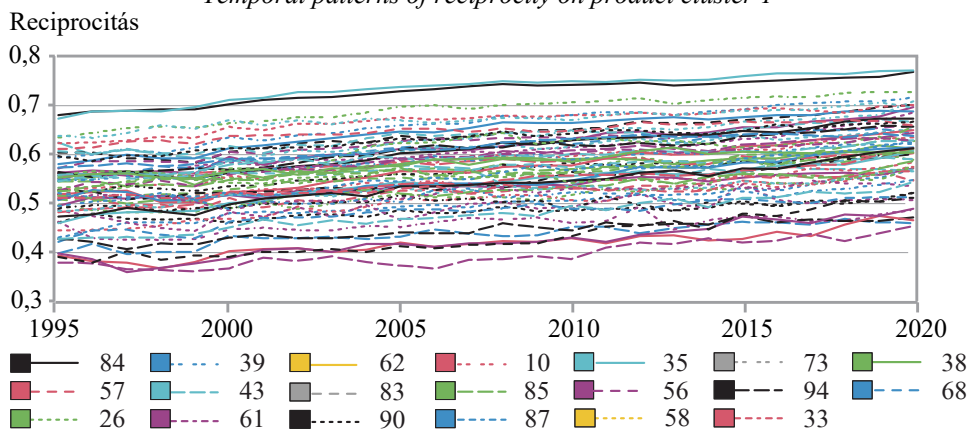


Megjegyzés: a talált klaszterek száma 3 a globális klaszterezettségben, és 1 a rezilienciák vizsgálata esetén.

M3. ábra

**A reciprocitás (a–d) időbeli mintázatai, valamint a bilaterális (e) és multilaterális (f) aszimmetriaértékek klaszterközpontjai (tipikus karakterisztikák)**  
*Temporal patterns of reciprocities (a-d) and cluster centres of bilateral (e) and multilateral (f) asymmetry values (typical characteristics)*

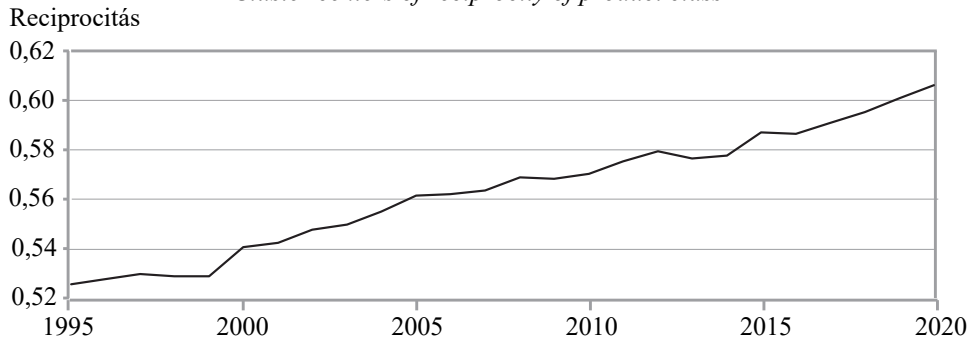
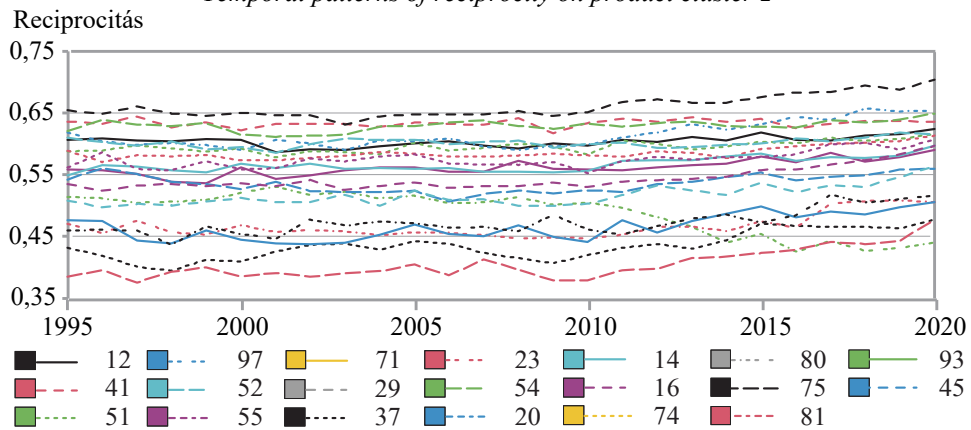
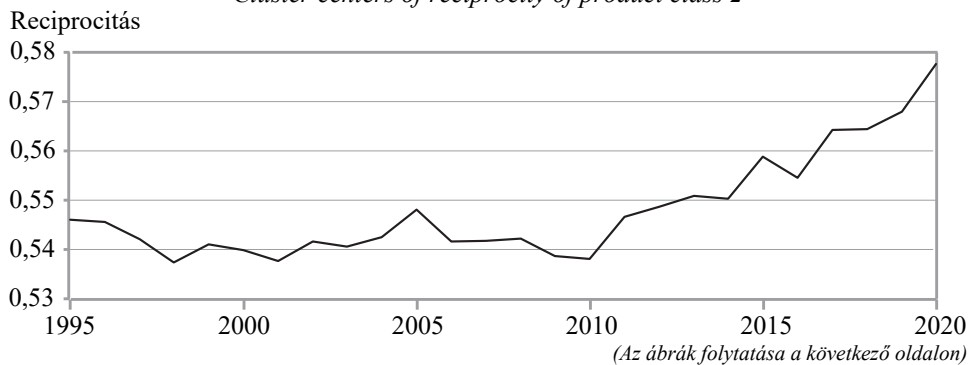
**a) Az 1. klaszterbe tartozó termékcsoportok reciprocitásai az idő függvényében**  
*Temporal patterns of reciprocity on product cluster 1*



(Az ábrák folytatása a következő oldalon)



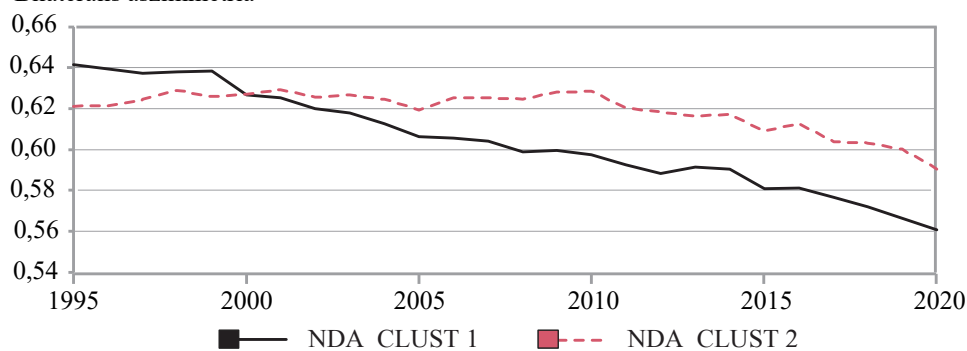
(folytatás)

**b) Az 1. klaszterre vonatkozó tipikus reciprocitáskarakterisztika***Cluster centers of reciprocity of product class 1***c) A 2. klaszterbe tartozó termékcsoportok reciprocitásai az idő függvényében***Temporal patterns of reciprocity on product cluster 2***d) A 2. klaszterre vonatkozó tipikus reciprocitáskarakterisztika***Cluster centers of reciprocity of product class 2*

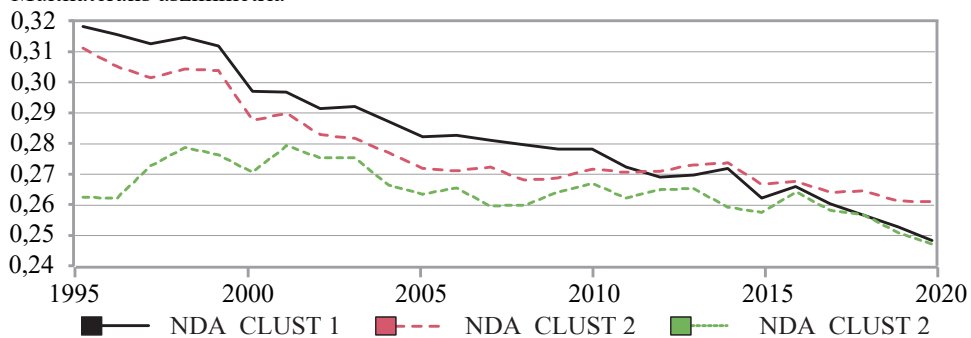
(folytatás)

**e) Tipikus bilaterális aszimmetriakaraktisztikák***Cluster centers of bilateral asymmetries*

Bilaterális aszimmetria

**f) Tipikus multilaterális aszimmetriakaraktisztikák***Cluster centers of multilateral asymmetries*

Multilaterális aszimmetria

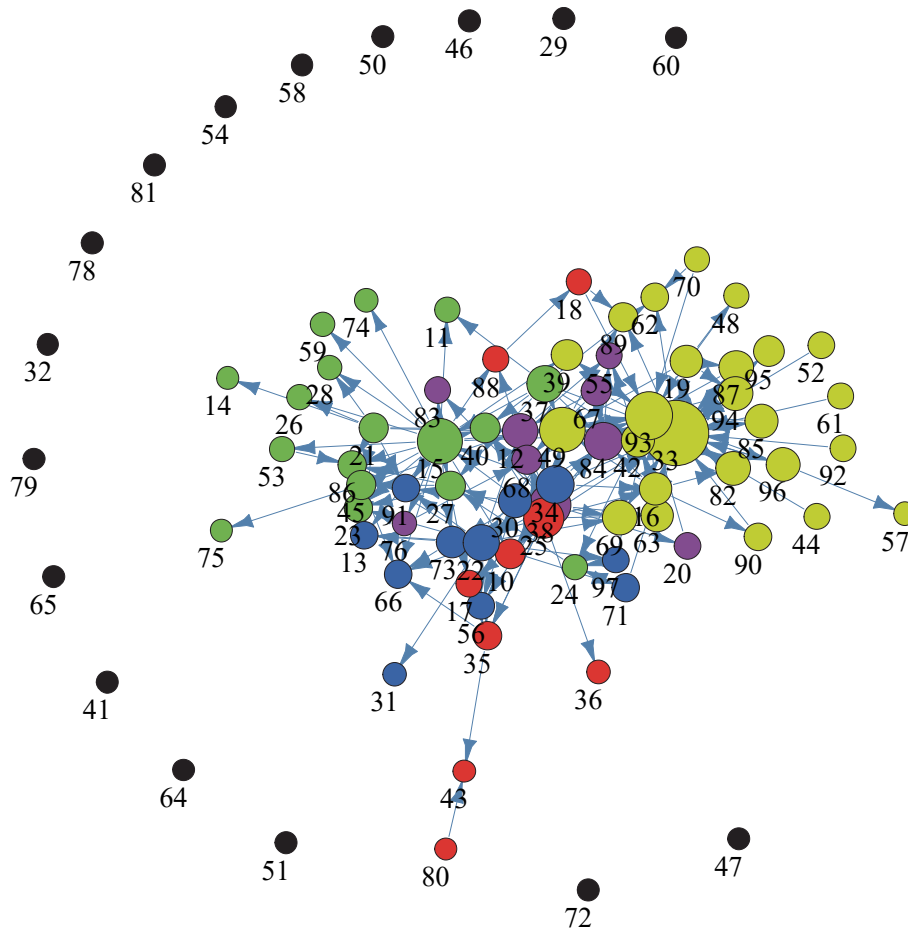


Megjegyzés: a talált klaszterszámok: 2 (reciprocitás, bilaterális aszimmetria), valamint 3 (multilaterális aszimmetria).

M4. ábra

**Oksági hálózatok és azok moduljai ( $p = 0,001$ )**  
*Causal networks and their modules*

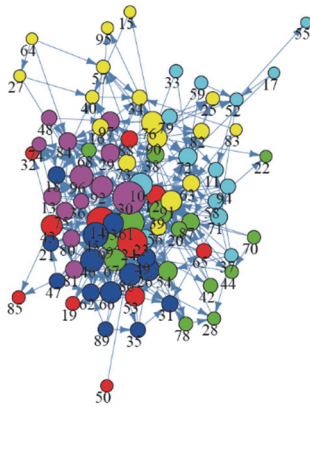
**a) Az asszortativitási mutatók idősorából képzett Granger-féle oksági hálózat**  
*Granger causality graph of assortativities*



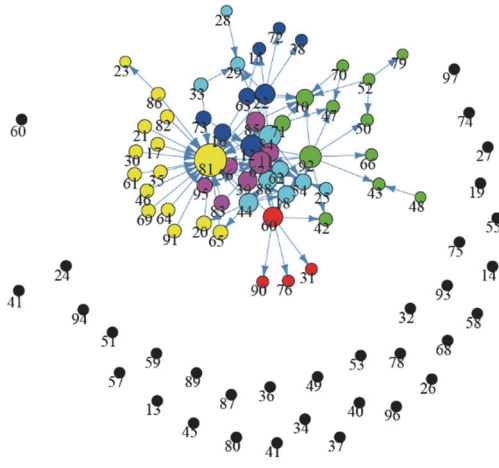
(Az ábrák folytatása a következő oldalon)

(folytatás)

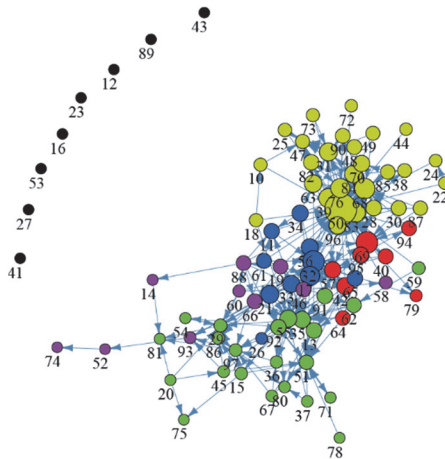
**b) A véletlenszerű támadásokkal szembeni rezilienciamutatók idősorából képzett Granger-féle oksági hálózat**  
*Causalities of resilience for random attack*



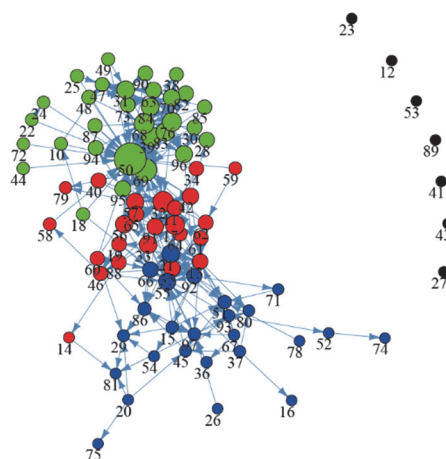
**c) A szisztematikus támadásokkal szembeni rezilienciamutatók idősorából képzett Granger-féle oksági hálózat**  
*Causalities of resilience for systematic attack*



**d) A bilaterálisaszimmetria-mutatók idősorából képzett Granger-féle oksági hálózat**  
*Causalities of bilateral asymmetries*



**e) A reciprocitás-mutatók idősorából képzett Granger-féle oksági hálózat**  
*Causalities of reciprocities*



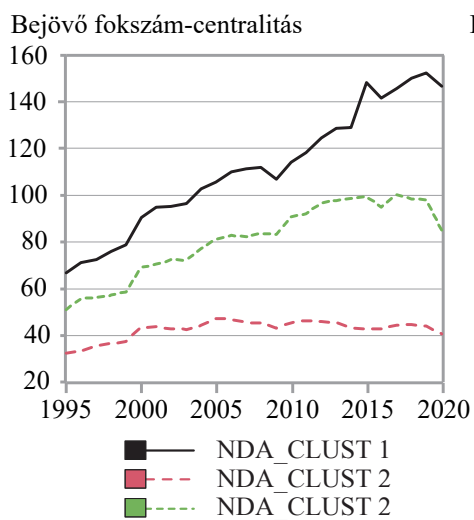
M5. ábra

**Országsoportonkénti kereskedelmi hálózatok foksámcentralitásainak  
klasztercentrumai**

*Cluster centers of indegree centralities*

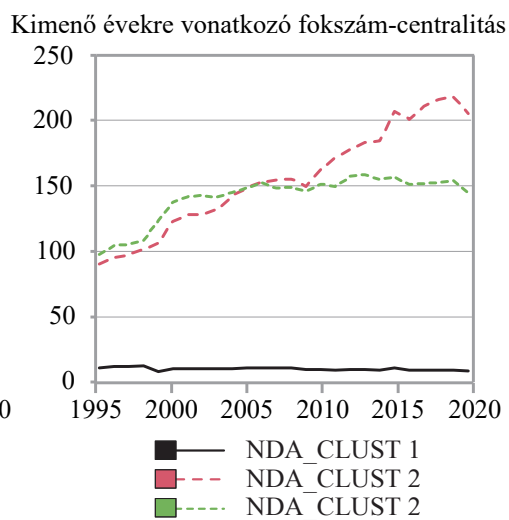
**a) A bejövő élekre vonatkozó  
fokszámközpontiség alapján  
klaszterezett országsoportok  
klasztercentrumai**

*Cluster centers of indegree centralities*



**b) A kimenő élekre vonatkozó  
fokszámközpontiség alapján  
klaszterezett országsoportok  
klasztercentrumai**

*Cluster centers of indegree centralities*



## Függelék: Termékcsoportkódok

F1. táblázat

### A BACI-CEPII-adatbázis termékcsoportjai 2 számjegyig *HS codes of product groups up to 2 digits*

HS	Termékcsoport
01–24	Élő állatok; állati termékek
25–27	Növényi termékek
28–38	Élelmiszerek, italok és dohányáru
39–40	Ásványi termékek
41–43	Nyersbőr, bőr, szőrme és ezekből készült áruk
44–49	Fa és faárúk; faszén; parafa és parafaárúk; szalmából, eszpartóból vagy más fonóanyagból készült áruk; kosár- és fonásárúk
50–63	Textiliák és textilárúk
64–67	Lábbeli, fejfedő és ezek részei
68–71	Kő, gipsz, cement és ezekből készült áruk; kerámiatermékek; üveg és üvegáru
72–83	Fémek és ezekből készült áruk
84–85	Gépek és mechanikus berendezések; Elektromos felszerelés; ezek részei; hangrögzítő és -lejátszó, televíziós kép- és hangfelvevő és -lejátszó, valamint az ilyen cikkek alkatrészei és tartozékai
86–89	Járművek, repülőgépek, hajók és kapcsolódó szállítóeszközök
90–92	Optikai, fényképezési, mozgóképi, mérő-, ellenőrző-, precíziós, orvosi vagy sebészeti műszerek és készülékek; Órák; hangszerek; ezek alkatrészei és tartozékai
93–96	Fegyverek és lőszer; ezek alkatrészei és tartozékai
97–99	Vegyés áruk, beleértve a műalkotásokat, gyűjteményi tárgyakat és régiségeket

### Köszönetnyilvánítás

A kutatás a K 142395 számú projekt keretében, a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a K22 OTKA pályázati program finanszírozásában valósult meg. A szerzők köszönetet mondanak Kiss Dénes doktoranduszhallgatónak az adatok előkészítésében és a szakirodalom összegyűjtésében nyújtott segítségével. A szerzők köszönetet mondanak Prof. Görög Mihálynak, aki átnézte és véleményezte a dolgozatot, valamint köszönet illeti a bíráló munkáját is, amely alapján kibővítettük a tanulmányunkat a forrásadatok értékelésével.

## Irodalom

- Arias, M. – Carrillo, R. – Gómez, R. – Leiva, M. A. – Pineda, T. – De Las Mercedes Anderson-Seminario, M. – Alvarez-Risco, A. (2021): Deglobalization in Covid-19 times: New routes for global business. In: Paul, J. – Dhir, S. (eds.): *Globalization, Deglobalization, and New Paradigms in Business*. Palgrave Macmillan. Cham. pp. 173–188.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-81584-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81584-4_10)
- Baskaran, T. – Blöchl, F. – Brück, T. – Theis, F. J. (2011): The Heckscher–Ohlin model and the network structure of international trade. *International Review of Economics & Finance*, 20(2), 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2010.11.003>
- Bénassy-Quéré, A. – Coupet, M. – Mayer, T. (2007): Institutional determinants of foreign direct investment. *World economy*, 30(5), 764–782. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9701.2007.01022.x>
- Cai, X. – Liu, C. – Zheng, S. – Hu, H. – Tan, Z. (2023): Analysis on the evolution characteristics of barite international trade pattern based on complex networks. *Resources Policy*, 83, 103593. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103593>
- Contractor, F. J. – Dangol, R. – Nuruzzamann, N. – Raghunath, S. (2020): How do country regulations and business environment impact foreign direct investment (fdi) inflows? *International Business Review*, 29(2), 101640. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2019.101640>
- Coquidé, C. – Lages, J. – Shepelyansky, D. L. (2020): Crisis contagion in the world trade network. *Applied Network Science*, 5, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s41109-020-00304-z>
- De Andrade, R. L. – Rêgo, L. C. (2018): The use of nodes attributes in social network analysis with an application to an international trade network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 491, 249–270. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.08.126>
- De Benedictis, L. – Nenci, S. – Santoni, G. – Tajoli, L. – Viceralli, C. (2014): Network analysis of world trade using the baci-cepii dataset. *Global Economy Journal*, 14(03n04), 287–343. <https://doi.org/10.1515/gej-2014-0032>
- De Benedictis, L. – Tajoli, L. (2011): The world trade network. *The World Economy*, 34(8), 1417–1454. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9701.2011.01360.x>
- Del Río-Chanona, R. M. – Grujić, J. – Jeldtoft Jensen, H. (2017): Trends of the world input and output network of global trade. *PloS One*, 12(1), e0170817. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170817>
- Denbee, E. – Julliard, C. – Li, Y. – Yuan, K. (2021): Network risk and key players: A structural analysis of interbank liquidity. *Journal of Financial Economics*, 141(3), 831–859. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.05.010>
- Di Crosta, A. – Ceccato, I. – Marchetti, D. – La Malva, P. – Maiella, R. – Canni-To, L. – Cipi, M. – Mammarella, N. – Palumbo, R. – Verrocchio, M. C. et al. (2021): Psychological factors and consumer behavior during the covid-19 pandemic. *PloS One*, 16(8), e0256095. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256095>
- Disdier, A.-C. – Fontagné, L. – Cadot, O. (2015): North-south standards harmonization and international trade. *The World Bank Economic Review*, 29(2), 327–352. <https://academic.oup.com/wber/article-abstract/29/2/327/1661181>
- Disdier, A.-C. – Tai, S. H. – Fontagné, L. – Mayer, T. (2010): Bilateral trade of cultural goods. *Review of World Economics*, 145, 575–595. <https://doi.org/10.1007/s10290-009-0030-5>
- Dong, H. (2022): The impact of trade facilitation on the networks of value-added trade-based on social network analysis. *Emerging Markets Finance and Trade*, 58(8), 2290–2299. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2021.1974393>

- Fagiolo, G. – Reyes, J. – Schiavo, S. (2010): The evolution of the world trade web: a weighted-network analysis. *Journal of Evolutionary Economics*, 20, 479–514.  
<https://doi.org/10.1007/s00191-009-0160-x>
- Garlaschelli, D. – Loffredo, M. I. (2005): Structure and evolution of the world trade network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 355(1), 138–144.  
<https://10.1016/j.physa.2005.02.075>
- Gaulier, G. – Zignago, S. (2010): *BACI: international trade database at the product-level (the 1994–2007 version)*. Tech. rep., CEPII.
- Gutiérrez-Moya, E. – Lozabo, S. – Adenso-Díaz, B. (2023): A pre-pandemic analysis of the global fertiliser trade network. *Resources Policy*, 85, 103859.  
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103859>
- Hamdi, H. – Hakimi, A. (2022): Trade openness, foreign direct investment, and human development: a panel cointegration analysis for mena countries. *The International Trade Journal*, 36(3), 219–238. <https://doi.org/10.1080/08853908.2021.1905115>
- Herman, P. R. (2022): Modeling complex network patterns in international trade. *Review of World Economics*, 158(1), 127–179. <https://doi.org/10.1007/s10290-021-00441-2>
- Kali, R. – Reyes, J. (2010): Financial contagion on the international trade network. *Economic Inquiry*, 48(4), 1072–1101. <https://doi.org/10.1111/j.1465-7295.2009.00249.x>
- Koopman, R. – Wang, Z. – Wei, S.-J. (2014): Tracing value-added and double counting in gross exports. *American economic review*, 104(2), 459–494. <https://doi.org/10.1257/aer.104.2.459>
- Kostoska, O. – Mitikj, S. – Jovanovski, P. – Kocarev, L. (2020): Core-periphery structure in sectoral international trade networks: A new approach to an old theory. *PloS One*, 15(4), e0229547.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229547>
- Koszyán Z. T. (2023): Hálózatalapú modell- és adatredukciós módszer. *Statisztikai Szemle*, 101(4), 289–324. <https://doi.org/10.20311/stat2023.04.hu0289>
- Koszyán Z. T. – Katona A. I. – Kurucz M. T. – Lantos Z. (2024): Generalized network-based dimensionality analysis. *Expert Systems with Applications*, 238 (Part A), 121779.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121779>
- Koszyán Z. T. – Kurucz M. T. – Katona A. I. (2022): Network-based dimensionality reduction of high-dimensional, low-sample-size datasets. *Knowledge-Based Systems*, 109180.  
<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.109180>
- Kotler, P. – Kartajaya, H. – Seitiawan, I. (2019): *Marketing 3.0: From products to customers to the human spirit*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7724-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7724-1_10)
- Mayer, T. – Zignago, S. (2011): *Notes on CEPII's distances measures: The geodist database*. Tech. rep., CEPII.
- Nier, E. – Yang, J. – Yorulmazer, T. – Alentorn, A. (2007): Network models and financial stability. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 31(6), 2033–2060.  
<https://doi.org/10.1016/j.jedc.2007.01.014>
- OECD (2021): Organisation for Economic Co-operation and Development: *Global value chains: Efficiency and risks in the Context of COVID-19*. OECD Publishing.
- Østergård, H. – Finckh, M. R. – Fontaine, L. – Goldringer, I. – Hoad, S. P. – Kris-Tensen, K. – Lammerts Van Bueren, E. T. – Macher, F. – Munk, L. – Wolfe, M. S. (2009): Time for a shift in crop production: embracing complexity through diversity at all levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(9), 1439–1445. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3615>
- Piccardi, C. – Tajoli, L. (2018): Complexity, centralization, and fragility in economic networks. *PloS One*, 13(11), e0208265. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208265>



- Ren, Z.-M. – Zeng, A. – Zhang, Y.-C. (2020): Bridging nestedness and economic complexity in multilayer world trade networks. *Humanities and Social Sciences Communications*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.1057/s41599-020-00651-3>
- Reuveny, R. – Kang, H. (1996): International trade, political conflict/cooperation, and granger causality. *American Journal of Political Science*, 40(3), 943–970. <https://www.jstor.org/stable/2111801>
- Sajedianfard, N. – Hadian, E. – Samadi, A. H. – Dehghan Shabani, Z. – Sarkar, S. – Robinson, P. A. (2021): Quantitative analysis of trade networks: data and robustness. *Applied Network Science*, 6(1), 46. <https://doi.org/10.1007/s41109-021-00386-3>
- Shutters, S. T. – Munepepekaul, R. (2012): Agricultural trade networks and patterns of economic development. *PLoS One*, 7(7), e39756. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039756>
- Smith, D. A. – White, D. R. (1992): Structure and dynamics of the global economy: network analysis of international trade 1965–1980. *Social Forces*, 70(4), 857–893. <https://doi.org/10.1093/sf/70.4.857>
- Sturgeon, T. – Van Biesebroeck, J. – Gereffi, G. (2008): Value chains, networks and clusters: re-framing the global automotive industry. *Journal of economic geography*, 8(3), 297–321. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbn007>
- Wu, Z. – Cai, H. – Zhao, R. – Fan, Y. – Di, Z. – Zhang, J. (2020): A topological analysis of trade distance: Evidence from the gravity model and complex flow networks. *Sustainability*, 12(9), 3511. <https://doi.org/10.3390/su12093511>
- Shen, X. – Lovrić, M. (2022): Structural determinants of global trade in graphic paper and pulp products. *Forest Policy and Economics*, 134, 102629. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102629>
- Xu, X. – Ma, S. – Zeng, Z. (2019): Complex network analysis of bilateral international investment under de-globalization: Structural properties and evolution. *PLoS One*, 14(4), e0216130. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216130>
- Yang, Y. – Poon, J. P. – Liu, Y. – Bagchi-Sen, S. (2015): Small and flat worlds: A complex network analysis of international trade in crude oil. *Energy*, 93, 534–543. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.079>
- Yenipazarli, A. (2019): Incentives for environmental research and development: Consumer preferences, competitive pressure and emissions taxation. *European Journal of Operational Research*, 276(2), 757–769. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.01.037>