

OTDK-dolgozat

2023

BABEŞ-BOLYAI TUDOMÁNYEGYETEM
KÖZGAZDASÁG- ÉS GAZDÁLKODÁSTUDOMÁNYI KAR



**A TERMELÉSI HÁLÓZATOK SZEREPE AZ IPARÁGI
NÖVEKEDÉS MODELLEZÉSÉBEN**

**THE ROLE OF PRODUCTION NETWORKS IN INDUSTRY
GROWTH MODELLING**

Molnár Eszter

Konzulensek: Dr. Csala Dénes, Dr. Szász Levente

Kézirat lezárásának dátuma: 2022. szeptember 24.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. Szakirodalmi áttekintés	3
3. Adatok és módszertan	8
3.1. Adatforrás	8
3.2. A termelési hálózat egyszerű modellje	9
3.3. A monetáris tranzakciók küszöbértéke	9
3.4. Véletlen és skálafüggetlen hálózati modell	10
3.5. Fokszámeloszlás összehasonlítás (Kolmogorov-Smirnov teszt)	11
3.6. Centralitás mérőszámok	12
4. Eredmények	14
4.1. Topológiaiaváltás a monetáris tranzakciós küszöbérték függvényében	14
4.2. Súlyozott fokszámeloszlás aszimmetria	17
4.3. Csomópont-szintű küszöbérték-érzékenység	18
4.4. Alágazat és szektor szintű elemzés összehasonlítása	20
5. Következtetések	22

Ábrák jegyzéke

2.1. Három termelési hálózat négy csomóponttal	5
3.1. Véletlen és skálafüggetlen hálózat fokszámoszlása	11
4.1. A termelési hálózat a 0,1-es küszöbértéknél	15
4.2. Az összehasonlított eloszlások Kolmogorov-Smirnov statisztikájának értéke	16
4.3. A termelési hálózat súlyozott fokszámoszlása	18
4.4. Központi iparágak a küszöbértékek szerint	19
4.5. Alágazati és szektor szintű vezető iparágak a termelési hálózatban	20

Táblázatok jegyzéke

3.1. Gazdasági Input-Output Modell	9
--	---

1. fejezet

Bevezetés

Egyetlen iparág sem létezhet és fejlődhet egyénileg. A termékek és szolgáltatások cseréje révén minden ágazat függ egymástól (Xu és Liang, 2019). Ez az alapkoncepció annyira egyértelmű, hogy a gyakorlatias emberek már ősidők óta használják. Az autószerelő, aki megállapítja, hogy egy kész személygépkocsihoz öt kerékre, öt gumiabroncsra és huszonegy kerékanyára van szükség, és ennek megfelelően egyensúlyozza ki a jövőbeli termelési és beszerzési terveit, az input-output megközelítés egyik alapelvét alkalmazza.

Társadalmunk növekvő összetettsége arra késztet minket, hogy a kutatási kérdéseket interdiszciplináris megközelítésekben vizsgáljuk. Az iparágak közötti kapcsolatok merőben interdiszciplinárisak. Ezért olyan módszertanra van szükségünk, amely az iparágakat rendszerszemléletben vizsgálja, és felfedi a kapcsolatok összetettségét. Ebben a tanulmányban a hálózattudomány eszközeit használjuk az iparágak közötti kapcsolatok feltérképezésére az input-output közgazdaságtani elemzés segítségével.

Minden egyes kis pénzmozgás figyelembe vételével a termelési hálózatok rendkívül sűrűek és nehezen kezelhetőek. A szakirodalom megoldása az, hogy küszöbértéket szab, és egy bizonyos százalékát a kis monetáris tranzakcióknak nem veszi figyelembe. Kutatási kérdésünk arra kereste

a választ, hogy ez a küszöbérték, más szóval a kutatók által a hálózatba beleszámított monetáris tranzakciók százalékos arányának megváltoztatása, mekkora mértékben változtatja meg a hálózat szerkezetét és a központi iparágakat. Ezt azért tartottuk fontosnak, mert ha a termelési hálózat struktúrája nem pontosan meghatározott, akkor az ebből eredő belső terjedési mechanizmusok is torzulnak, és így az iparágak növekedésének modellezése sem lesz pontos.

Emellett a tanulmány választ ad arra a kérdésre is, hogy vannak-e társadalmunkban olyan "szuperiparágak", amelyekre mindenhol szükség van, és mennyi erőforrást pumpálnak a termelési hálózatba. A kutatás a nagyobb összefüggésekre is kíváncsi: vajon szimmetrikus-e az ágazatok területe, és az iparágaknak ugyanannyi erőforrásra van-e szükségük, mint amennyit támogatásként adnak?

A Szakirodalmi áttekintő részben feltárjuk a kutatási rést a termelési hálózatok küszöbérték vizsgálatában. Az Adatok és módszertan részben bemutatjuk a kiválasztott adathalmazt, a termelési hálózat modelljét, a topológiai és csomóponti szintű elemzést. Az Eredmények fejezetben rámutatunk a termelési hálózat küszöbértéki volatilitására, először topológia majd csomópont szinten. A Következtetésekben pedig összegezzük eredményeinket és megvizsgáljuk mit jelenthet ez közgazdaságtanilag.

2. fejezet

Szakirodalmi áttekintés

A Leontief-féle (Leontief, 1970; Dietzenbacher és Lahr, 2008) gazdasági input-output modellek matematikai formában ábrázolják az iparágak közötti monetáris tranzakciókat. Meghatározzák azt, hogy egyes iparágak milyen árukat és szolgáltatásokat (input) szereznek be más iparágaktól (output), és így tárják fel a különböző ipari szektorok kölcsönös függőségét. Az input-output elemzés előnye, hogy összekapcsolja a különböző áruk közbenső és végső termelését.

Az input-output modellek hálózattudományi megközelítése nem új koncepció. Jelenleg főként két megközelítést alkalmaznak ezen a kutatási területen. Az egyik az ellátási lánc szemszögéből történő elemzés vállalati szintű adatok felhasználásával (Wu, 2015; Perera, Bell és Bliemer, 2017; Brintrup és Ledwoch, 2018), a másik pedig az iparági szemlélet.

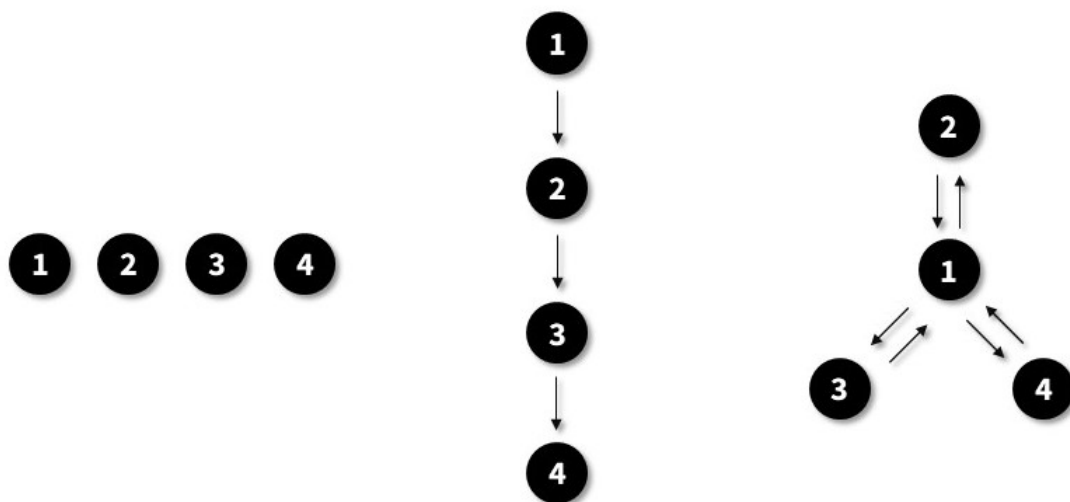
Az iparági szemléletű megközelítésben jelentős mennyiségű szakirodalom jelent meg a Világszintű Input-Output Adatbázis (World Input-Output Database) felhasználásával (Grazzini és Spelta, 2015; Soyyiğit és Çirpici, 2017; Soyyiğit és Boz, 2018; Xu és Liang, 2019), amelynek a 2013-as kiadása 40, a 2016-os kiadása pedig 43 országra terjed ki, mindössze 35 (2013) és 56 (2016) ágazat figyelembe vételével. (Timmer és tsai., 2015) Az elmúlt években a kutatók az Egyesült Államok Gazdasági Elemzési Hivatala (BEA | Bureau of Economic Analysis) által rendszerezett input-

output tranzakciós adatok különböző megközelítéseit is vizsgálták. (*Input-Output Accounts Data | U.S. Bureau of Economic Analysis* 2021) Az input-output számlákat három részletezettségi szinten állítják ki: szektor szinten (21 aggregált szektor), ipar szinten (71 iparági csoport), és alágazat szinten (405 alágazat). A legtöbb tanulmány a 21 (szektor szintű) és a 71 (iparági csoport szintű) aggregált iparágot tartalmazó input-output számlákat elemzi (Duan, 2012; Foerster és Choi, 2017).

Az ágazati kölcsönös függőségek központi szerepet játszanak a mikrogazdasági sokkok és az üzleti ingadozások, ciklusok összekapcsolásában. A kutatók azt állítják, hogy az input-output modellekből származtatott termelési hálózatok rávilágíthatnak az iparági együttmozgásokra és a továbbterjedési mechanizmusokra, amelyek az aggregált kimeneteket formálják. Carvalho (2014) amellett érvel, hogy a termelési hálózatok kutatása fényt deríthet az aggregált ingadozások eredetére, és segíthet a politikai döntéshozóknak, hogy miként lehet felkészülni és talpra állni a termelési láncokat megzavaró kedvezőtlen sokkok után (Keith, Sterman és Struben, 2017).

Horvath (1998; 2000) és Acemoglu és tsai. (2012) szerint a termelési hálózat szerkezete kulcsszerepet játszik a rendszer aggregált viselkedésének meghatározásában. Ha a termelési hálózat kiemelkedően aszimmetrikus, például ha néhány ágazat domináns beszállítói szerepet tölt be, az idioszinkratikus sokkok aggregált ingadozásokhoz vezetnek. Ha a termelés szervezését kevés számú, sok különböző ágazatot ellátó csomópont uralja, akkor az ezeken a kulcsfontosságú csomópontokon fellépő zavarok kihatnak a globális termelési rendszerre, meghatározva a termelés és a jólét veszteségeit (Acemoglu és tsai., 2012).

Bigio és La'O (2016) is feltárta azt, hogy a teljes hálózati architektúra meghatározza az egyes csatornák erősségét. Két különböző termelési hálózatot hasonlítottak össze: egy horizontális és egy vertikális gazdaságot. Bebizonyították, hogy az ágazatok centralitása számít abban, hogy hogyan befolyásolják az aggregált kibocsátást. Carvalho (2014) szintén a hálózati struktúra jelentősége mellett érvel, összehasonlítva a mikroszintű volatilitás felerősödését és a hálózati multiplikátort egy horizontális gazdaságban, ahol nincs inputkereskedelem, egy vertikális gazdaságban, ahol van egy forrás és egy cél, és egy "csillag" gazdaságban, ahol van egy központi csomópont. (2.1 ábra)



2.1. ábra. **Három termelési hálózat négy csomóponttal.** Balról jobbra: horizontális gazdaság inputkereskedelem nélkül, vertikális gazdaság forrás és céllal, és csillaggazdaság egy központi csomóponttal.

Az ebben a környezetben működő sajátos továbbterjedési mechanizmusok megértésére talán hasznos egy gondolat kísérletet végigvenni. Képzeljük el, hogy egy kedvező termelékenységi sokk a gazdaság egyik ágazatát érinti, valamint a termelékenység az összes többi iparágban változatlan marad. Konkrétan, gondoljunk például egy jelentős, váratlan áttörésre a félvezetők gyártástechnológiájában, amely jelentősen csökkenti a termelés határköltségét. Nyilvánvaló, hogy ez a kínálati sokk növeli a félvezetők termelését és csökkenti az árat. Ennek eredményeként ennek a sokknak a hatására az elektronikai alkatrészgyártó ágazat, amely a félvezetők után következő kulcsfontosságú ágazat, szintén azt tapasztalja, hogy a határköltségei csökkennek, mert az egyik nélkülözhetetlen alapanyaga éppen olcsóbbá vált. Az elektronikus alkatrészgyártók reagálni fognak a termelés bővítésével és saját áraik csökkentésével. Egy második kör kiigazítás is következik, mivel az elektronikus alkatrészeket követő számos ágazat - többek között a számítógépek vagy kommunikációs eszközök gyártása - az elektronikai alkatrészek után ugyanígy alkalmazkodnak.

Ahogy az eredeti sokk továbbgyűrűzik a termelési hálózatban, a kiigazítások sorozata indul be. Végül minden ágazat, amely közvetlenül vagy közvetve a félvezetők után következik, azt fogja tapasztalni, hogy optimálisnak találja a termelés bizonyos mértékű növelését, ami a gazdasági tevékenység szinkronizált bővüléséhez vezethet az egész ágazatban.

Carvalho (2014) azt is kimutatta, hogy termelési hálózatokban viszonylag rövid az átmérő (viszonyítva a szektorok teljes számához képest), ezzel megerősítve a termelési hálózatok "kisvilági" jellegét. A kisvilág-tulajdonság azt jelenti egy hálózatban, hogy a csomópontok közötti átlagos távolság a csomópontok számához képest kicsi. Tehát könnyen el lehet érni egyik csomópontból a másikat, még akkor is ha sok van jelen a hálóban. A kisvilág-tulajdonság nyilvánvalóan hatással van a hálózatokon zajló folyamatok dinamikájára. A társadalmi hálózatokkal összefüggésben, ha egy hír csak hat lépést tesz meg ahhoz, hogy a társadalomban bármely személytől bármelyik másik személyhez eljusson, akkor valószínűleg sokkal gyorsabban fog terjedni, mintha 100 lépésre lenne szükség (Milgram, 1967). Hasonlóképpen, ahogyan a híresztelés hatását tekintjük, a kisvilág-hatás azt jelenti a termelési hálózatban, hogy egy termelési zavar vagy leállás egy adott vállalatban vagy technológiában, eredeti sokként gyorsan elterjed a legtöbb ágazatban, és így befolyásolja az aggregált gazdaság teljesítményét.

Bár az iparági szemléleten belül széleskörű kutatásokat végeztek, csak néhány olyan tanulmány létezik, amely legalább 400 alágazatot tartalmazó hálózatot alakít ki. Ez lényegi problémát jelenthet, mivel a kevés csomóponttal és kapcsolattal rendelkező, erősen aggregált szinten felépített hálózatok nem feltétlenül reprezentálják pontosan az iparági kölcsönös függőségeket. Egyrészt egy alágazati hálózat topológiája jelentősen eltérhet egy aggregált szintű hálózattól. Az előbbi általában sokkal sűrűbb, több és kevésbé súlyozott kapcsolattal rendelkezik, ezáltal pedig másképp is viselkedik. Másrészt néhány lényeges kapcsolat rejtve maradhat egy aggregált szintű hálózatban. Például egy nagy súlyozású monetáris tranzakcióba ágyazva több olyan részletszintű kapcsolat is rejtve lehet, amelyek fontosabbak lehetnek, mint a többi jelenlévő aggregált kapcsolat. Ezek külön-külön történő elemzése esetén az ipari függőség teljes architektúrája megváltozhat. Az alágazati

szintű input-output számla adatai lehetővé tehetik számunkra, hogy egy reprezentatívabb képet rajzoljunk ki, nem csak több elkülöníthető ágazattal, hanem számban és érvényességben is több támogató kapcsolattal az iparágak között. A megértésnek ez a fokozott részletessége lehetővé teszi a változásban lévő kulcsfontosságú iparágak jobb azonosítását, valamint az innováció hatékonyabb nyomon követését és megértését.

Míg Carvalho (2010; 2014) az Egyesült Amerikai Gazdasági Elemzési Hivatal által kiállított input-output számlák 1997-es (Carvalho, 2010) és 2002-es (Carvalho, 2014) alágazati szintű adatainak hálózati szemléletét használta, nem vette figyelembe a kapcsolatok súlyait, és az élek levágásának küszöbértékét egy iparág teljes inputbeszerzésének 1%-ában határozta meg. Azt állítja, hogy az elemzés még mindig az inputkereskedelem teljes értékének mintegy 80%-át vette figyelembe. Ezzel a küszöbértékkel azonban a tanulmány nem veszi figyelembe a kezdeti monetáris tranzakciók 90%-át, és egy nagyon gyér hálózatra összpontosít.

A legtöbb kutató, mint Carvalho, küszöbértéket használ, és a monetáris tranzakciónak csak egy százalékát veszi figyelembe a termelési hálózatban. Ezt leginkább azért teszik, hogy az adatok kezelhetőbbé váljanak. Eredetileg az input-output modellekben közel x^2 támogató tranzakció van, ahol x az iparágak száma. Az ilyen részletes szintű input-output modellekből származtatott termelési hálózatok rendkívül sűrűek és nehezen elemezhetőek. A szakirodalom megoldása az, hogy küszöbértéket szab, és kizárja a kis pénzmozgások egy bizonyos százalékát.

Ezek a tanulmányok együttesen azt mutatják, hogy kritikusan szükséges annak vizsgálata, hogy a küszöbérték hogyan befolyásolja a termelési hálózat topológiáját, így a terjedési mechanizmusokat és az aggregált ingadozásokat. Miközben egyetérthetünk abban, hogy a termelési hálózatok hidat képezhetnek a mikro- és makroszintű elemzések között (Carvalho, 2014), jelenleg nagyon keveset tudunk arról, hogy ezt a hidat mennyire torzítja a kutatók által választott küszöbérték.

3. fejezet

Adatok és módszertan

3.1. Adatforrás

A kutatás elvégzéséhez az Egyesült Államok alágazati szintű input-output számláinak adatait használtuk (*Input-Output Accounts Data* | U.S. Bureau of Economic Analysis 2021). A Gazdasági Elemzési Hivatal (BEA | Bureau of Economic Analysis) általában három részletezettségi szinten teszi közzé az ipari gazdasági számlákat: szektor (21 szektor), iparág (71 ipari csoport) és alágazat (405 alágazat). Az alágazat szintű becsléseket nagyjából ötévente készítik el, a legutóbbi két kiadás a 2007-es és a 2012-es volt. Bár léteznek történelmi összehasonlító input-output táblázatok 1947-től 2002-ig, ezeket minden évben más ágazati meghatározásokkal készítették el, és a Gazdasági Elemzési Hivatal azt hangoztatja, hogy ezeket nem szabad idősorokként használni. A Gazdasági Elemzési Hivatal a három részletezettségi szinthez a saját iparági kódjait használja, de azt is meghatározza, hogy ezek hogyan kapcsolódnak a 2012-es észak-amerikai iparági osztályozási rendszer (NAICS | North American Industry Classification System) kódszerkezetéhez.

A legutóbbi két kiadást, a 2007-es és a 2012-es összes igényt tartalmazó táblázatot használtuk - iparágankénti bontásban (Total Requirements table - Industry by Industry), beleértve a 405

alágazatot és az alágazatok közötti beszerzéseket. A teljes igény táblázat származtatásával és becslésével kapcsolatos további magyarázatokat a Gazdasági Elemzési Hivatal honlapján találunk (*Total Requirements Definition* | U.S. Bureau of Economic Analysis 2017).

3.2. A termelési hálózat egyszerű modellje

A Gazdasági Elemzési Hivatal teljes igény táblázata olyan hálózati ábrázolással rendelkezett, amelyben egy w_{ij} elem jelentette az i ágazat által inputként felhasznált j áruk nominális mennyiségét, ahol $i, j = 1, \dots, N$, és N az ágazatok száma.

A teljes igény táblázat két iparágra vonatkozó példáját lásd a 3.1 táblázatban. Az adatbázisból felépített hálózat egy irányított súlyozott gráf volt. A csúcsok az iparágak voltak (i és j), az irányított kapcsolatok pedig a monetáris tranzakciók, az ágazatok közötti nominális áruforgalom. Az egyes kapcsolatok súlya a gazdasági érték volt, amely azt jelezte, hogy egy iparág milyen mértékben támogatja a másik iparág működését (w_{ij} és w_{ji}). Például az i iparágnak w_{ij} dollárnyi inputra van szüksége az j iparágtól ahhoz, hogy egy dollárnyi outputot állítson elő a végső felhasználók számára.

3.1. táblázat. Gazdasági Input-Output Modell

	i iparág	j iparág
i iparág	w_{ii}	w_{ji}
j iparág	w_{ij}	w_{jj}

3.3. A monetáris tranzakciók küszöbértéke

Miután a termelési hálózatot az input-output számlák adataiból felépítettük, száz különböző él levágási küszöbértéket határoztunk meg 0,00001 és 0,5 közötti intervallumon, 0,005 léptékkel. A küszöbértéket a kapcsolatok értékéhez társítottuk, amelyek az iparágak közötti kereskedelmet reprezentálják. Például amikor a küszöbérték 0,5 volt, csak azokat a kapcsolatokat vettük figyelembe,

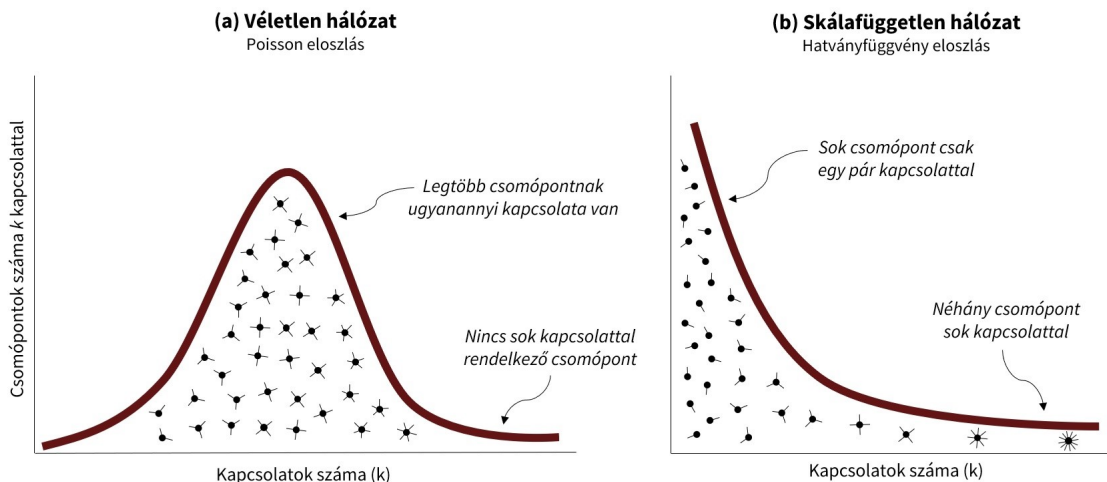
amelyek súlya legalább 0,5 volt. Más szóval, csak azokat a monetáris tranzakciókat építettük be a termelési hálózatba, ahol legalább fél dollár szükséges az egyik iparágnak egy másik iparágtól egy dollár kibocsátás előállításához. Ezzel a magas küszöbértékkel a 2012-es termelési hálózatban csak 19 iparág (a 2007-es hálózatban 17 iparág) és 11 monetáris tranzakció volt jelen. Ezt a széles intervallumot és ezt a kis léptéket azért választottuk, hogy a legjobban reprezentáljuk a topológia változását a küszöbérték szerint.

3.4. Véletlen és skálafüggetlen hálózati modell

Ezután a gráfot száz küszöbértéknek megfelelően vágtuk le, és a megmaradt élek súlyait figyelmen kívül hagytuk. Minden egyes vágási pontnál egy véletlen és skálafüggetlen gráfot generáltunk, amelynek paraméterei megegyeztek a termelési hálózatunkéval.

A topológiai elemzés eredménye lehetővé tette számunkra, hogy meghatározzuk a termelési hálózatban a továbbterjedési mechanizmusokat. A hálózattudományban a "hub" csomópont olyan csomópont, amelynek a kapcsolatainak száma jelentősen meghaladja az átlagot, ezáltal kiemelkedően központi és közvetítői szerepet töltve be a hálóban. Ha a termelési hálónk skálafüggetlen, akkor arra következtethettünk, hogy olyan "hub" szektorokkal rendelkezik, amelyek a belső terjedési mechanizmusokat erősítik és a távolságokat csökkentik. A véletlen és skálafüggetlen hálózat leginkább a csomópontok kapcsolatainak az eloszlásában különbözik, amely nagy részben meghatározza a hálózat struktúráját, lásd a 3.1 ábra.

Mindkét hálózat felépítéséhez a NetworkX gráfgeneráló algoritmusait használtuk. A véletlen gráf algoritmushoz ugyanazt a csomópont- és élszámot adtuk meg, mint az eredeti termelési hálózatunkban. A skálafüggetlen gráfhoz a Bollobás és tsai. (2003) alapján írt algoritmust használtuk ugyanazzal a csomópontszámmal és az alfa, beta, gamma és delta paraméterek kiszámításával a termelési hálózatunkhoz illesztve.



3.1. ábra. Véletlen és skálafüggetlen hálózat fokszámeloszlása. (a) A véletlen hálózatnak Poisson a fokszámeloszlása, mert a hálózat legtöbb csomópontjának ugyanannyi kapcsolata van. (b) A skálafüggetlen hálózat fokszámeloszlása hatványfüggvény eloszlást követ, vannak kiemelkedő csomópontok nagyszámú kapcsolattal.

3.5. Fokszámeloszlás összehasonlítás (Kolmogorov-Smirnov teszt)

A széles körben használt Kolmogorov-Smirnov (KS) statisztikai tesztet választottuk, hogy összehasonlítsuk a megfigyelt fokszámeloszlást azzal, amit egy azonos jellemzőkkel rendelkező véletlen és skálafüggetlen gráftól várnánk (Gómez, Kaltenbrunner és López, 2008; Deng és tsai., 2011; Muchnik és tsai., 2013; Gjermeni, 2017).

Mivel a termelési hálózatunk egy irányított hálózat, megkülönböztettük a csúcsok kifokát és befokát:

$$k_{be,i} = \sum_{j=1}^N a_{ij} \quad k_{ki,i} = \sum_{j=1}^N a_{ji} \quad (3.1)$$

ahol $k_{be,i}$ az i csomópont befoka, amely a csomópontra irányuló élek számát jelenti. Az a_{ij} értéke

1, ha van egy irányított tranzakció az i (vevő) és az j iparág között (eladó). Más szóval, ha az i iparágnak szüksége van az j iparág outputjára akkor lesz az érték 1, máskülönben 0. A kimenő fok az a $k_{out,i}$, amely az i csomópontból más csomópontokra mutató kapcsolatok számát jelöli. Ebben az esetben a_{ji} akkor 1, ha az i iparág az j iparág beszállítója.

Tehát egy iparág befoka azt mutatja meg, hogy hány más különböző iparág szükséges az adott iparág működéséhez. Egy iparág kifoka pedig azt jelzi, hogy hány iparág beszállítója a szóban forgó iparág.

Elemeztük és összehasonlítottuk a be- és kimenő fokszámeloszlást külön minden egyes küszöbértéknél, megállapítva, hogy mikor viselkedik a hálózat véletlen vagy skálafüggetlen gráfként. Ehhez a SciPy kétmintás KS statisztikai tesztet használtuk Hodges (1958) alapján. A KS statisztika a két minta empirikus eloszlásfüggvénye (a termelési hálóban megfigyelt fokszámeloszlás és a véletlen/skálafüggetlen gráf fokszámeloszlása) közötti távolságot számszerűsítette. Minél kisebb volt ez az érték, annál valószínűbb, hogy a két minta ugyanabból az eloszlásból származik.

3.6. Centralitás mérőszámok

Két hálózati centralitási mérőszámot számítottunk ki minden csomópontra hat küszöbértéknél 0,0 és 0,1 között, 0,02 léptékkal. A fokszám-centralitás egy csomópont összes kapcsolatának számaként határozzuk meg. A termelési hálózat súlyozott és irányított, ezért kiszámítottuk az egyes csomópontok súlyozott befokát és súlyozott kifokát:

$$k_{be,i}^w = \sum_{j=1}^N w_{ij} \quad k_{ki,i}^w = \sum_{j=1}^N w_{ji} \quad (3.2)$$

ahol az i iparág súlyozott befoka $k_{be,i}^w$, amely az i ágazat bejövő áruforgalmának, az ágazat által felhasznált nominális inputoknak az összege. w_{ij} az i ágazat (vevő) és az j iparág (eladó) közötti tranzakciós érték. Más szóval az j iparágból származó, az i iparág egy dollárnyi kibocsátásának az előállításához szükséges összeg. Az i iparág súlyozott kifoka $k_{out,i}^w$, ami az i csomópontból más

csomópontokba kiáramló áruk összegét jelenti. Ebben az esetben w_{ji} az a nominális input, amelyet az i iparág szállít az j iparágnak.

Tehát egy iparág súlyozott befoka azt mutatja meg, hogy mennyi erőforrásra van szüksége az adott iparág működéséhez. Egy iparág súlyozott kifoka pedig azt jelzi, hogy mennyi erőforrást szállít más iparágaknak.

A súlyozott kifokot és a súlyozott PageRank kifok centralitást (Page és tsai., 1999; Langville és Meyer, 2004) választottuk kulcsfontosságú metrikaként. Az első azt mutatta, hogy egy iparág monetáris értelemben mennyire nagy és nélkülözhetetlen a termelési hálózatban, a második pedig azt, hogy egy iparág mennyire kulcsfontosságú a hálózaton belüli elhelyezkedés szempontjából. A PageRank algoritmus mögötti ötlet, hogy egy csomópont rendszerszinten akkor fontos, ha a szomszédai fontosak és/vagy a szomszédok szomszédai fontosak. A PageRanket a fordított gráfon számoltuk ki, hogy megkapjuk a súlyozott PageRank kifok centralitást. Minden küszöbértéknél megmutattuk a 20 legjelentősebb központi iparágot, és összehasonlítottuk, hogyan változtak a levágás szerint. Emellett az aszimmetria mélyebb elemzése érdekében összehasonlítottuk a súlyozott be- és kimenő fokszámeloszlását is a teljes termelési hálózaton.

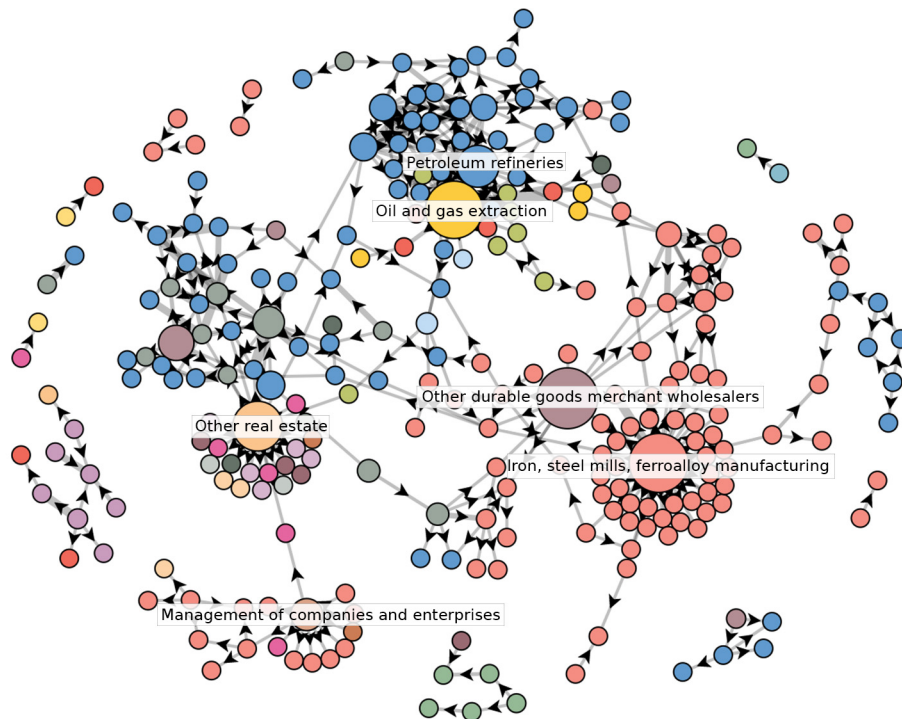
4. fejezet

Eredmények

4.1. Topológiaiaváltás a monetáris tranzakciós küszöbérték függvényében

Eredményeink bemutatásának a célja, hogy felfedjük a termelési hálózat strukturális volatilitását a küszöbértékre nézve. Először a topológiai jellemzők elemzésével megállapítottuk, hogy az iparágak közötti függőségi hálózat szerkezete rendkívül érzékeny a küszöbértékre. A kisebb monetáris tranzakciókkal kezdve, az egyre nagyobb és nagyobb értékű tranzakciókat hagytuk figyelmen kívül, és azt figyeltük meg, hogy a termelési hálózat topológiája "skálafüggetlen - véletlen" topológia változáson ment keresztül. Például a 4.1 ábra mutatja a termelési hálózatot a 0,1 küszöbértéknél. Más szóval, csak azokat a monetáris tranzakciókat építettük be ebbe a termelési hálózatba, ahol minimum 0,1 dollár szükséges az egyik iparágnak egy másik iparágtól egy dollár kibocsátás előállításához.

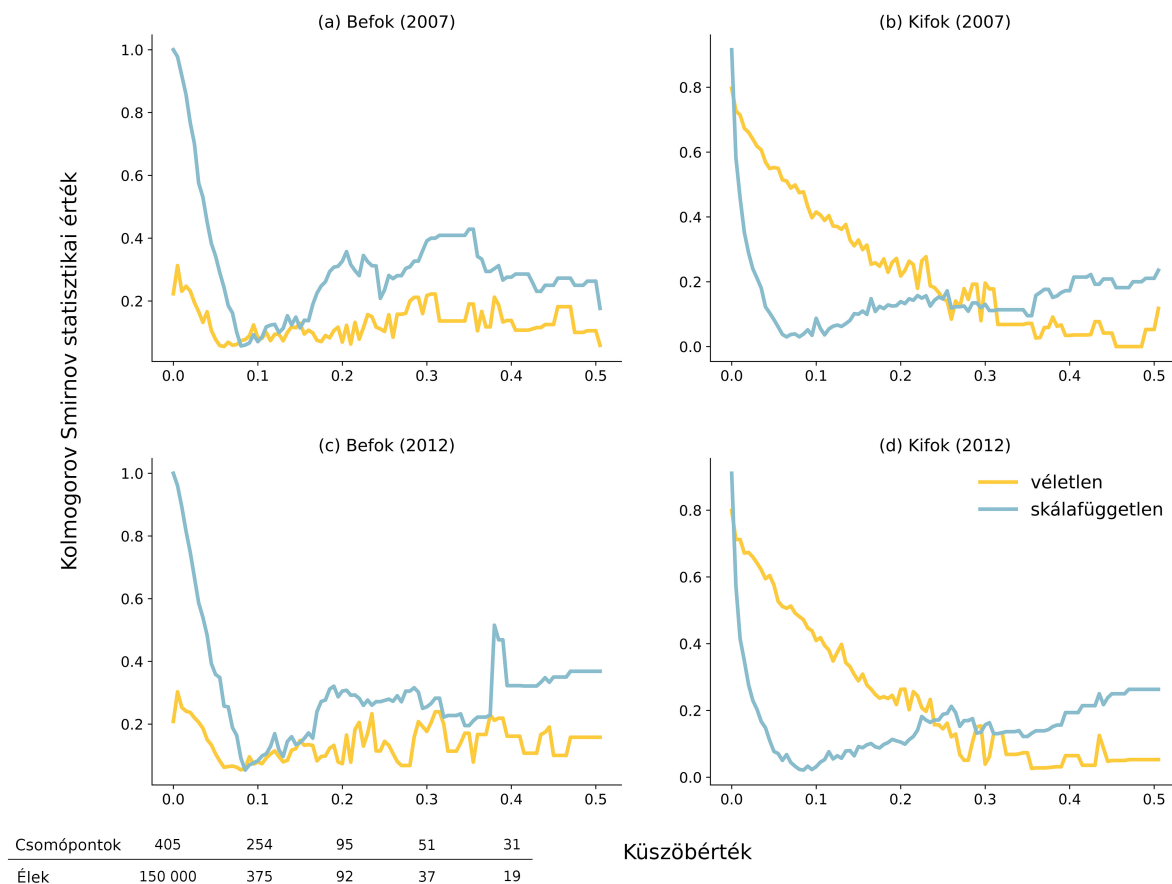
Az 4.2 ábra a KS statisztikai teszt értékét mutatja a száz küszöbértéknél. Minden egyes küszöbértéknél összehasonlítottuk a termelési hálózat megfigyelt bemeneti és kimeneti fokszámoszlását azzal, amit egy ugyanezekkel a paraméterekkel rendelkező véletlen és skálafüggetlen hálózat



4.1. ábra. **A termelési hálózat a 0,1-es küszöbértéknél.** Azok a monetáris tranzakciókat jelennek meg ebben a termelési hálózatba, ahol minimum 0,1 dollár szükséges az egyik iparágnak egy másik iparágtól egy dollár kibocsátás előállításához.

esetében várnánk. Minél közelebb volt a KS-statisztika értéke a 0-hoz, annál valószínűbb volt, hogy a két minta ugyanabból az eloszlásból származik.

A csomópontok és élek száma exponenciálisan csökkent a küszöbérték növekedésével. A 0,25-ös küszöbérték körül jelent meg a "skálafüggetlen - véletlen" topológia változás az kifok szerint, amikor már jóval kevesebb mint száz csomópont és él volt jelen a termelési hálózatban. A topológia teljesen átalakult, amikor az összes csomópont 15%-a és az összes él 0,05%-a szerepelt a hálózatban.



4.2. ábra. **Az összehasonlított eloszlások Kolmogorov-Smirnov statisztikájának értéke.** Ez az ábra 4 vonaldiagramot tartalmaz, amelyek a KS statisztikai teszt értékét mutatják a 100 éllévágási küszöbértéknél. A KS tesztel a termelési hálózat megfigyelt fokszámeloszlását hasonlítjuk össze két azonos paraméterekkel rendelkező véletlen és skálafüggetlen hálózat fokszámeloszlásával, év és foktípus szerint. Minél közelebb van a KS-statisztika értéke a 0-hoz, annál valószínűbb, hogy a két minta ugyanabból az eloszlásból származik. A csomópontok és élek számait is kiírtuk öt küszöbértéknél.

Még addig a pontig is mutatott némi változást, annak ellenére, hogy még mindig a skálafüggetlen tartományban volt.

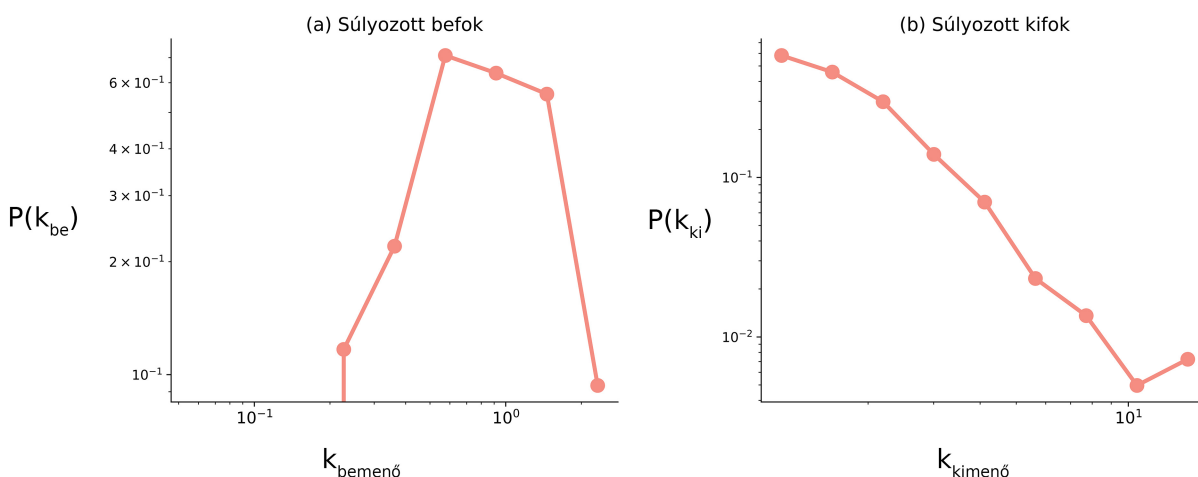
A legtöbb kutató a küszöbérték választáskor a kereskedelem teljes értékének körülbelül 80%-át vette általában figyelembe az elemzéseinkben. Ez 5000 kapcsolatot jelentett, a hálózat eredeti teljes tranzakció számának a 3,5%-át. Tehát megközelítőleg a 0,02-es küszöbértéknél vágták le a hálózatot. Míg más tanulmányok 1000 élt, az összes tranzakció 0,7%-át vették figyelembe. Ez 0,05-ös küszöbértéket jelentett, és ekkor már 30 iparág is elvesztődött/levágódott az eredeti négyszázból.

Az bemeneti hálózat topológiája jobban hasonlított a véletlen hálózathoz, mint a skálafüggetlen hálózathoz, függetlenül az élek levágási küszöbértékétől.

4.2. Súlyozott fokszámeloszlás aszimmetria

Eredményeink azt mutatják, hogy a termelési hálózat bemeneti és kimeneti fokszámeloszlásai nagyon eltérően viselkedtek. A befok dimenzióból inkább egy véletlen hálózathoz hasonlított, míg a kifok dimenzióból a skálafüggetlen topológiához állt közelebb. Hogy még többet megtudjunk erről az aszimmetriáról, a teljes termelési hálózat súlyozott bemeneti és kimeneti fokszámeloszlását mutattuk be levágás nélkül teljes hálózaton a 4.3 ábrán. Míg néhány tanulmány (Luo és Whitney, 2015; L. Wang és X. Wang, 2017) már közelítette meg az aszimmetria kérdését az irányított hálózatokban, a termelési hálózat esetében meglehetősen evidens volt.

A topológiai különbség a gazdasági tevékenységet uraló kritikus ágazatok, az úgynevezett "parancsoló magasságok" (commanding heights) jelenlétéből adódott. Vlagyimir Lenin használta ezt a kifejezést az 1920-as évek elején, a nemzetgazdaság kulcsfontosságú szegmenseinek ellenőrzésére utalva. A nyersanyagok és a feldolgozott anyagok közötti különbség szembevető volt a fokszámeloszlás összehasonlításában. A gazdaságot mozgó központi iparágak "hub"-okat alkottak, és a topológiát a skálafüggetlen tartományba tolták a kifok szempontjából. Ezzel szemben a bemenő fokszámok szempontjából a legtöbb ágazatnak ugyanannyi erőforrásra volt szüksége, ezért a topológia a véletlen hálózat felé hajlott.

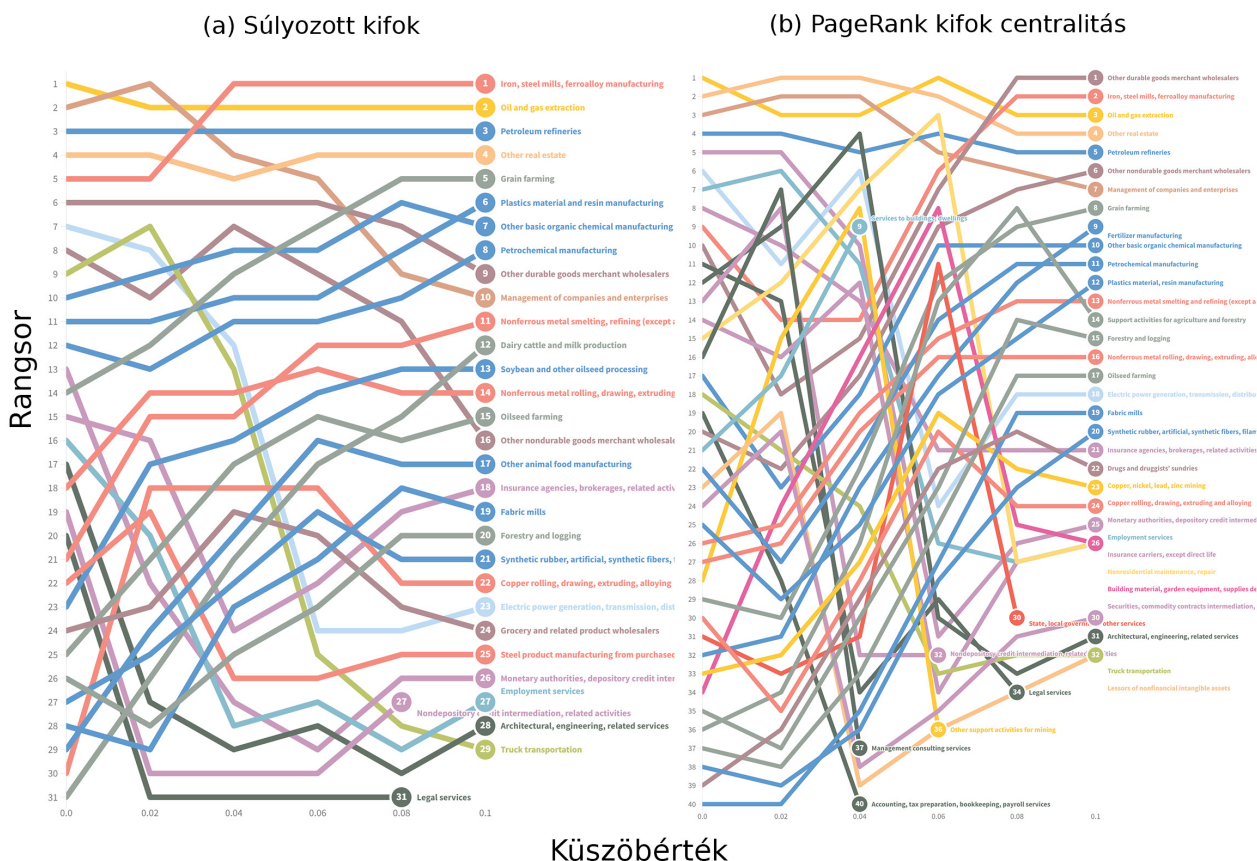


4.3. ábra. **A termelési hálózat súlyozott fokszámeloszlása.** A teljes termelési hálózat (a) bemeneti és (b) kimeneti fokszámeloszlása levágás nélkül log-log skálán, az egyes monetáris tranzakciók összegének (az élek súlyainak) figyelembe vételével.

4.3. Csomópont-szintű küszöbérték-érzékenység

További eredményeink azt mutatják, hogy néhány alapvető iparág a méret és a centralitás mérőszámai szerint minden küszöbértéknél az első helyeken maradnak. A 4.4 ábra a termelési hálózat csomóponti szintű küszöbérzékenységét mutatja. Hat küszöbértéknél kirajzoltuk a 20 leginkább központi ágazatot a súlyozott kifok és PageRank kifok centralitás szerint. Azt találtuk, hogy az első három iparág változatlan maradt: 1. Vas-, csiszolómalom, vasötvözetgyártás (Iron, steel mills, ferroalloy manufacturing), 2. Olaj- és gázkitermelés (Oil and gas extraction), 3. Kőolajfinomítók (Petroleum refineries).

Mivel a küszöbérték módosítása miatt a kisebb értékű tranzakciók levágódtak, néhány iparág, amely a toplisták élén állt, a rangsor végére esett vissza. Ezek általában azok az iparágak voltak, amelyek szinte az összes többi támogatják, de kisebb értékű tranzakciókkal, mint például a Tehergépkocsi-szállítás és a Villamos energia előállítás, elosztása. Ebből arra következtethetünk,

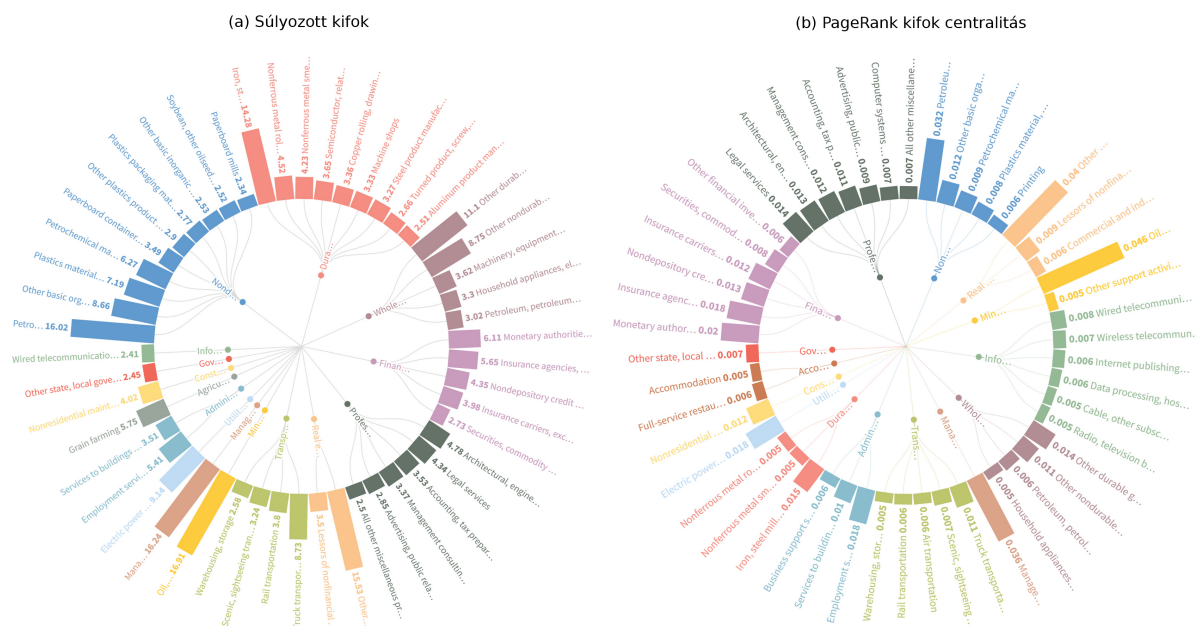


4.4. ábra. **Központi iparágak a küszöbertékek szerint.** Ez az ábra a termelési hálózat csomóponti szintű küszöbérzékenységét mutatja. Hat küszöbertéken mutatjuk be a 20 top ágazatot a (a) súlyozott kifok centralitás és (b) PageRank kifok centralitás szerint.

hogy a küszöberték kivág néhány jelentős központi csomópontot és "hub"-ot, amelyek felerősítik az aggregált ingadozásokat.

4.4. Alágazat és szektor szintű elemzés összehasonlítása

Ahogy már a Bevezetőben is említettük a termelési hálózatokkal kapcsolatos kutatások többsége aggregált szintű adatokat vizsgál. Eredményeink azt mutatják, hogy az aggregált szint nem tudja kirajzolni a termelési interdependencia legrealisztikusabb képét.



4.5. ábra. **Álagazati és szektor szintű vezető iparágak a termelési hálózatban.** (a) Súlyozott kifok és (b) PageRank kifok centralitás alapján az első 50 részletes szintű iparág, és mindegyik ágazati megfelelője.

A 4.5 ábrán két részletezettségi szintet hasonlítottunk össze. Az ágazat és a szektor szinten mutattuk ki a vezető iparágakat termelési hálózatban. Első körben a súlyozott kifok szerint, amely azt jelzi, hogy egy iparág monetáris értékben kifejezve mekkora szerepet tölt be a termelési hálózatban, és másodsorban a PageRank kifok centralitás szerint, amely azt jelzi, hogy egy iparág mennyire kulcsfontosságú a hálózatban való elhelyezkedés szempontjából.

Egyes aggregált kategóriáknak csak egy alkategóriája van a toplistákon: Bányászat (Mining), Vállalatok irányítása (Management of companies and enterprises), míg másoknak több: Nem tartós fogyasztási cikkek (Nondurable goods), Nagykereskedelem (Wholesale trade). Ez torzítja a termelési hálózatok elemzését. Másrészt a kategóriákba csoportosított iparágak meglehetősen önkényesek, ezért a "szuperiparágak" elemzésekor ez kérdéses lehet, hogy melyik részletezettségi szintet használjuk a termelési háló felépítésére.

5. fejezet

Következtetések

Célunk az volt, hogy egy nemzetgazdaság termelési hálózatát úgy építsük fel, hogy az lehetővé tegye az ipari növekedést generáló változások terjedési mechanizmusainak minél pontosabb modellezését.

Hipotézisünk az volt, hogy a kutatók által a hálózatba beleszámított monetáris tranzakciók százalékos arányának megváltoztatása (az élek küszöbértéke) nagymértékben megváltoztatja a hálózat szerkezetét és az alapvető iparágakat. Ezt azért tartottuk fontosnak, mert ha a termelési hálózat struktúrája nem pontosan meghatározott, akkor az ebből eredő belső terjedési mechanizmusok is torzulnak, és így az iparágak növekedésének modellezése sem lesz pontos. Hipotézisünket a hálózati topológia és a centralitás mérőszámok vizsgálatával igazoltuk, különböző küszöbértékek mellett, az Egyesült Államok 2007-es és 2012-es input-output számláinak adataiból származtatott hálózatokon.

A topológiai elemzés eredménye lehetővé tette számunkra, hogy meghatározzuk a termelési hálózatban megjelenő terjedési mechanizmusokat. Azzal, hogy megvizsgáltuk, hogy kimeneti fokszám szempontból skálafüggetlen, bebizonyítottuk, hogy vannak "hub" szektorai, az úgynevezett "parancsoló magasságok", amelyek a belső terjedési mechanizmusokat felerősítik. Arra is fényt

derítettünk, hogy az iparágak közötti függőségi hálózat rendkívül érzékeny az küszöbértékre. A termelési hálózat topológiája, átment egy "skálafüggetlen - véletlen" topológia változáson, ahogy figyelmen kívül hagytuk a növekvő számú és méretű monetáris tranzakciókat. Ez azt jelentette, hogy a struktúrához hasonlóan a terjedési mechanizmusok is a választott küszöbértéktől függttek.

A csomóponti szintű küszöbérték-érzékenység elemzése megmutatta, hogy nemcsak az általános topológia változik, hanem néhány "hub"-ként szolgáló fő iparág a toplisták aljára esett, ahogy csökkentettük a bevont tranzakciók számát. Ezek többnyire olyan iparágak voltak, amelyek számos más iparágat támogattak kis összegű monetáris tranzakciókkal.

Carvalho (2014) tanulmányában megemlíti, hogy a "hub"-ként szolgáló csomópontok lerövidítik a távolságokat. Az ilyen tranzakciók kivágásával elveszítjük ezeket a "hub"-okat, és növeljük a távolságokat. Mindezek a kisebb értékű monetáris tranzakciók is közvetlenül hozzájárulnak a termelési hálózat összekapcsoltságához és összetettségéhez, ami megmagyarázza a helyi sokkok továbbterjedését (és néha körköröségét). Ésszerű kérdés, hogy ha nem vesszünk figyelembe minden monetáris tranzakciót, milyen arányban torzul az iparági növekedés modellezése?

Például még a kis támogató tranzakciók is sokat számíthatnak. Bár a Teherautó-szállítás tranzakcióinak nagy részét kivághatnánk, ebben az iparban bekövetkező zavarnak nagy hatása lehet az összes többi, tőle függő ágazatra, még ha csak kis összegűek is a tranzakciók. Ha a Teherautó-szállításban fennakadás van, bizonyos feldolgozóipari ágazatok is megremegnek, mert egyéb hatások mellett valószínűleg az alkatrészek sem érkeznek meg időben. Ha tehát nem vesszük figyelembe ezeket a tranzakciókat, akkor elveszítünk néhány fontos továbbterjedési mechanizmust.

Ezek a kis pénzmozgások nemcsak közvetlenül járulnak hozzá a továbbterjedéshez, hanem közvetítőként is működnek. Ha kivágjuk őket, akkor figyelmen kívül hagyjuk az összes továbbterjedési mechanizmust a lánc mentén. A Tehergépkocsi-szállítás zavara hatással lehet a feldolgozóiparra, de ez a sokk még kisebb arányban továbbterjedhet a feldolgozóiparhoz kapcsolódó harmadik-negyedik ágazatokra is.

Ez a tanulmány kimutatta, hogy a választott küszöbérték jelentős különbséget tesz a termelési hálózat architektúrájában, ezért gondosan meg kell fontolnunk és szem előtt kell tartanunk a termelési hálózatokon végzett kutatások korlátait, amelyek küszöbértéket használtak.

A kutatásbeli következtetések minőségén sokat lehetne javítani további adatforrások felhasználásával. Összetettebb eredményekre juthatnánk a szektor és a iparági csoport szintű termelési hálózatok elemzésével ugyanezzel a módszertannal. Kutatásunk korlátai közé tartozik az is, hogy a helyi sokkok körkörösségének a kérdését nem érintettük, valamint azt sem ragadtuk meg ebben az elemzésben, hogy ezek az iparági kölcsönös függőségek semmiképpen sem lineárisak. Lehet, hogy a Teherautó-szállítás például csak 5%-kal járul hozzá az autógyártáshoz, de ha a Teherautó-szállítás leáll, a másik iparág nullára esik vissza, ha nem fér hozzá ehhez a döntő fontosságú részhez.

Ezek mellett, az elemzés további lépéseként célszerű lenne feltárni az egyes specifikus iparágak terjedési mechanizmusait, és elemezni, hogy a hálózat tulajdonságai milyen mértékben magyarázzák a különböző iparágak növekedését.

Források

- Acemoglu, Daron és tsai. (2012). “The Network Origins of Aggregate Fluctuations”. *Econometrica*. DOI: 10.3982/ECTA9623.
- Bigio, Saki és Jennifer La’O (2016). “Financial Frictions in Production Networks”.
- Bollobás, Béla és tsai. (2003). “Directed scale-free graphs”. *Proceedings of the fourteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*. Society for Industrial és Applied Mathematics.
- Brintrup, Alexandra és Anna Ledwoch (2018. márc.). “Supply network science: Emergence of a new perspective on a classical field”. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. DOI: 10.1063/1.5010766.
- Carvalho, Vasco (2010). “Aggregate fluctuations and the network structure of intersectoral trade”.
- Carvalho, Vasco (2014). “From Micro to Macro via Production Networks”. *Journal of Economic Perspectives*. DOI: 10.1257/jep.28.4.23.
- Deng, Weibing és tsai. (2011). “The exponential degree distribution in complex networks: Non-equilibrium network theory, numerical simulation and empirical data”. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. DOI: 10.1016/j.physa.2010.12.029.
- Dietzenbacher, Erik és Michael Lahr (2008). “Wassily Leontief and Input-Output Economics”. URL: <https://econpapers.repec.org/bookchap/cupcbooks/9780521049436.htm>.
- Duan, Wen-Qi (2012). “Modelling the Evolution of National Economies Based on Input–Output Networks”. *Computational Economics*. DOI: 10.1007/s10614-011-9261-3.

- Foerster, Andrew és Jason Choi (2017). “The Changing Input-Output Network Structure of the U.S. Economy”. *The Federal Reserve Bank of Kansas City Economic Review*. DOI: 10.18651/ER/2q17FoersterChoi.
- Gjermëni, Orgeta (2017). “Temporal Statistical Analysis of Degree Distributions in an Undirected Landline Phone Call Network Graph Series”. *Data*. DOI: 10.3390/data2040033.
- Gómez, Vicenç, Andreas Kaltenbrunner és Vicente López (2008). “Statistical analysis of the social network and discussion threads in slashdot”. *Proceedings of the 17th international conference on World Wide Web*. Association for Computing Machinery. DOI: 10.1145/1367497.1367585.
- Grazzini, Jakob és Alessandro Spelta (2015). “An empirical analysis of the global input-output network and its evolution”. URL: <https://econpapers.repec.org/paper/ctcserie1/def031.htm>.
- Hodges, J. L. (1958). “The Significance Probability of the Smirnov Two-Sample Test”. DOI: 10.1007/BF02589501.
- Horvath, Michael (1998). “Cyclicalities and Sectoral Linkages: Aggregate Fluctuations from Independent Sectoral Shocks”. *Review of Economic Dynamics*. DOI: 10.1006/redy.1998.0028.
- Horvath, Michael (2000). “Sectoral shocks and aggregate fluctuations”. *Journal of Monetary Economics*. DOI: 10.1016/S0304-3932(99)00044-6.
- Input-Output Accounts Data | U.S. Bureau of Economic Analysis* (2021). URL: <https://www.bea.gov/data/industries/input-output-accounts-data>.
- Keith, David R., John D. Sterman és Jeroen Struben (2017). “Supply constraints and waitlists in new product diffusion”. *System Dynamics Review*. DOI: <https://doi.org/10.1002/sdr.1588>.
- Langville, Amy és Carl Meyer (2004). “A Survey of Eigenvector Methods of Web Information Retrieval”. *SIAM Review*. DOI: 10.1137/S0036144503424786.
- Leontief, Wassily (1970). “Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach”. *The Review of Economics and Statistics*. DOI: 10.2307/1926294.

- Luo, Jianxi és Daniel E. Whitney (2015). “Asymmetry in in-degree and out-degree distributions of large-scale industrial networks”. *arXiv:1507.04507 [physics]*. URL: <http://arxiv.org/abs/1507.04507>.
- Milgram, Stanley (1967). “The small-world problem”. *PsycEXTRA Dataset*. DOI: 10.1037/e400002009-005.
- Muchnik, Lev és tsai. (2013). “Origins of power-law degree distribution in the heterogeneity of human activity in social networks”. *Scientific Reports*. DOI: 10.1038/srep01783.
- Page, Lawrence és tsai. (1999). “The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web.” URL: <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/>.
- Perera, Supun, Michael G. H. Bell és Michiel C. J. Bliemer (2017). “Network science approach to modelling the topology and robustness of supply chain networks: a review and perspective”. *Applied Network Science*. DOI: 10.1007/s41109-017-0053-0.
- Soyyigit, Semanur és Çiğdem Boz (2018). “Global Input - Output Analysis: A Network Approach”.
- Soyyigit, Semanur és Yasemin Asu Çırpıcı (2017). “An Input-Output Network Structure Analysis Of Selected Countries”.
- Timmer, Marcel P. és tsai. (2015). “An Illustrated User Guide to the World Input–Output Database: the Case of Global Automotive Production”. *Review of International Economics*. DOI: 10.1111/roie.12178.
- Total Requirements Definition | U.S. Bureau of Economic Analysis* (2017). URL: <https://apps.bea.gov/industry/pdf/TotalRequirementsDerivation.pdf>.
- Wang, Lei és Xincheng Wang (2017). “The Influences of Edge Asymmetry on Network Robustness”. *ArXiv*.
- Wu, Liuren (2015). “Centrality of the Supply Chain Network”. DOI: 10.2139/ssrn.2651786.
- Xu, Ming és Sai Liang (2019). “Input–output networks offer new insights of economic structure”. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. DOI: 10.1016/j.physa.2019.121178.