

SZABÓ NORBERT–BRAUN EMESE–SEBESTYÉN TAMÁS–
BEDŐ ZSOLT

Lokális reziliencia számítása térbeli általános egyensúlyi modell felhasználásával

A tanulmány a hidrogénalapú mobilitás helyi és országos gazdasági rezilienciára gyakorolt hatásait vizsgálja egy általános egyensúlyi modell felhasználásával. Az elemzés a GMR–Magyarország térbeli általános egyensúlyi modellt (SCGE) a hidrogénalapú mobilitás technológiai és pénzügyi jellemzőiről gyűjtött mikroadatokkal egészíti ki, amelyek egy pécsi, napenergia-alapú zöldhidrogénprojektből származnak. A hidrogénalapú mobilitási technológia új lokális ágazatként egészíti ki az alapul szolgáló térbeli általános egyensúlyi modellt. Ebben az elemzési keretben a gazdasági reziliencia számítására alkalmas indikátorokat vezetünk be, majd egy 50 százalékos világszerte kőolajár-emelkedés gazdasági hatásait szimuláljuk a technológia jelenlétével és a nélkül. Az eredmények azt mutatják, hogy a hidrogénalapú mobilitás csökkenti a fosszilis üzemanyagok iránti keresletet, mérsékelve a kőolajár-ingadozások gazdasági kockázatait. Emellett növeli a helyi gazdaság keresletét különböző ágazatok – például a feldolgozóipar és vízellátás, valamint az elsődleges erőforrások (munka, tőke) – iránt. A hidrogénteknológia bevezetése Baranya vármegye bruttó hozzáadott értékének visszaesését – főként a sokkhatás közvetlen hatásainak csökkentésével – 232,5 millió forinttal mérsékelte a vizsgált időszakban. Bár a technológia regionális hatásai kicsik, főként az energiaintenzív ágazatokban országosan pozitívak. A jövőbeni kutatások vizsgálhatják a technológia más régiókban és méretekben való hatásait, valamint az állami támogatás szükségességét a versenyképesség érdekében.*

Journal of Economic Literature (JEL) kód: C68, O33, Q42, Q43, R58.

* A kutatás az RRF-2.3.1-21-2022-00009 azonosítószámú, Megújuló Energiák Nemzeti Laboratórium megnevezésű projekt a Széchenyi-terv Plusz program keretében, az Európai Unió Helyreállítási és Ellenálló Képességi Eszközének támogatásával valósult meg.

Szabó Norbert, PTE Közgazdaságtudományi Kar Közgazdaságtan és Ökonometria Intézet (e-mail: szabon@ktk.pte.hu).

Braun Emese, PTE Közgazdaságtudományi Kar Regionális Politika és Gazdaságtan Doktori Iskola (e-mail: braun.emese@ktk.pte.hu).

Sebestyén Tamás, PTE Közgazdaságtudományi Kar Közgazdaságtan és Ökonometria Intézet (e-mail: sebestyent@ktk.pte.hu).

Bedő Zsolt, PTE Közgazdaságtudományi Kar Kvantitatív Menedzsment Intézet (e-mail: bedo.zsolt@ktk.pte.hu).

A fordítás 2024. augusztus 23-án érkezett szerkesztőségünkbe.

DOI: <https://doi.org/10.18414/KSZ.2024.11.1222>

Bevezetés

A legtöbb technológiai vagy társadalmi rendszerhez hasonlóan a gazdasági működés szisztémája is arra a kettősségre épít, amely alapján a rendszer egyes elemei specializált munkafeladatokat végeznek, ugyanakkor ez kölcsönös függőséget alakít ki. Amíg a specializáció a hatékonyság növekedésén keresztül egyértelmű hajtóereje a rendszerek egyre komplexebbé válásának, addig ez a komplexitás a függőségeken keresztül sérülékenységet vagy másképpen rendszerszintű kockázatokat alakít ki. A hatékonyság növekedése a rendszerműködéstől függően folyamatosan érzékelhető előnyökkel jár, azonban a sérülékenység rejtettebb, egy-egy külső vagy belső sokk hatására jelentkezik, és a rendszer teljesítményének jelentős visszaesését okozhatja. A rendszerelmélet vagy komplex rendszerek tudománya az utóbbi években különös figyelemmel fordult a sérülékenység vagy ellenkező irányból a rendszerek robusztusságának, ellenálló képességének (rezilienciájának) megértése felé.

Különösen érdekes kérdés a hatékonyság és a sérülékenység kettősségének kapcsolata a gazdasági rendszerek esetében, hiszen ebben az esetben a rendszer működését meghatározó kapcsolódási szerkezetek kialakítása endogén módon – éppen a rendszer elemeinek (vállalatok, egyének, kormányzatok) egyedi döntései nyomán, sőt az e döntések révén – alakuló tágabb gazdasági környezetre (is) reagálva történik. Nem magától értetődő azonban, hogy a kialakuló rendszerek az egyedi haszon- vagy profitmaximalizáló törekvésektől függően – jellemzően megvalósuló hatékonyságnövekedés mellett – a sérülékenység vagy a reziliencia dimenziójában is optimális módon fejlődjenek. Az utóbbi időszakban különösen nyilvánvalóvá vált, hogy a globális gazdaság hasonló dilemmákkal néz szembe. A globalizáció folyamata a szakosodás erősödésével járt, és széles körben járult hozzá a jövedelmek növekedéséhez. Ugyanakkor ez a folyamat a termelési folyamatok országok közötti széttagolódásához is vezetett. Egyes tevékenységek meghatározott területeken belül koncentráálódtak, megnövekedett a közbülső termékek kereskedelme, és a hozzáadott érték a termelési folyamatok során hosszú, sokszor a teljes Földet átívelő értékláncokba vagy ellátási láncokba szerveződött, következésképpen az országok növekvő kölcsönös függőséggel néznek szembe ebben a rendszerben (*Johnson–Noguera [2012], Baldwin–Lopez-Gonzalez [2015], Grazzini–Spelta [2022]*). Egy lokális esemény, amilyen például egy természeti katasztrófa vagy háború, az erős összefonódás miatt jelentős világgazdasági hatásokat okozhat. A sokk gyorsan tudnak terjedni az országok között (*Fang és szerzőtársai [2020], Iloskics és szerzőtársai [2021]*), és ebben a sokkterjedésben a nemzetközi gazdasági kapcsolatok strukturális tulajdonságai nagyon jelentős szerepet játszanak (*Boehm és szerzőtársai [2019], Guan és szerzőtársai [2020], Bonadio és szerzőtársai [2021], Grazzini–Spelta [2022]*). Az utóbbi évtized világgazdasági eseményei több példát is mutatnak erre. A 2011-es japán földrengés (*Arto és szerzőtársai [2015], Boehm és szerzőtársai [2019], Freund és szerzőtársai [2022]*), a koronavírus-járvány (*Guan és szerzőtársai [2020], Barbero és szerzőtársai [2021], Bonadio és szerzőtársai [2021], Liu és szerzőtársai [2022]*), valamint az Ukrajna és Oroszország között 2022-ben kitört háború (*Chepeliev és szerzőtársai [2022], Mahlstein és szerzőtársai [2022], Braun és szerzőtársai [2023], Steinbach [2023]*) egyaránt szakadásokat, hibákat idézett elő

a globális ellátási láncokban, és ezáltal zavarokat és messzire nyúló hatásokat okozott a globális gazdaságban.

Ezek az események rávilágítanak a gazdasági rendszerek sérülékenységre, illetve rezilienciájuk fontosságára, vagyis az egyes gazdasági rendszerek (nemzetgazdaságok, ágazatok vagy akár vállalatok) azon képességére, hogy ellenálljanak a (belső vagy külső) sokkoknak, reagáljanak rájuk, és felépüljenek belőlük (*Reggiani és szerzőtársai* [2002], *Gao és szerzőtársai* [2016], *Annarelli–Nonino* [2016]). Bár a teljes globális gazdasági és termelési rendszernek fontos szerepe van abban, hogy a különböző helyi, külső sokkokat átvezeti, becsatornázza más gazdasági egységekhez, végső soron azt, hogy az utóbbiak milyen mértékben képesek megbirkózni ezekkel a sokkokkal – azaz milyen a gazdasági ellenálló képességük –, jelentősen meghatározza a belső szerkezetük. Fontos az is, hogy a gazdasági ellenálló képesség javítását célzó tervezés jellemzően alacsonyabb szinteken, egy vállalat ellátási láncára vonatkozóan, egy település vagy legfeljebb egy nemzetgazdaság gazdasági szerkezetének igazítására vonatkozó szakpolitikai megoldásokban valósul meg.

Reziliencia

A legtöbb tanulmány kiemeli, hogy a reziliencia többdimenziós fogalom (*Alessi és szerzőtársai* [2020], *Martini* [2020]). *Holling* [1973] megfogalmazása szerint az ökológiai reziliencia azt méri, hogy egy rendszer mennyire képes elnyelni a sokkhatásokat, mielőtt a rendszer állapota megváltozna. A reziliencia mérnöki szempontú értelmezése ezzel szemben azt a sebességet méri, amellyel egy rendszer egy sokkhatást követően képes visszatérni az egyensúlyi állapotába (*Pimm* [1984], *Folke és szerzőtársai* [2010], *Alessi és szerzőtársai* [2020]). Az adaptív reziliencia az alkalmazkodás, a tanulás és az újjászerveződés képességére utal a folyamatosan változó környezeti feltételek mellett (*Scheffer* [2009], *Alessi és szerzőtársai* [2020]). A reziliencia e dimenzióin túl egy rendszer transzformációs képessége (*Alessi és szerzőtársai* [2020]) azt tükrözi, hogy a külső hatásokra adott válaszként alapvető változásokat tud végrehajtani.

Az értékláncokkal foglalkozó szakirodalomban is megjelenik a reziliencia fogalma, elsősorban a multinacionális vállalatok ellátási láncainak fejlesztése és irányítása kapcsán, az ellátási láncok optimalizálási problémájának részeként, és alapvetően a kockázatkezelési szakirodalomban kifejlesztett eszközökre és fogalmakra építve (*Miroudot* [2020a], [2020b]). A rezilienciát ebben a tekintetben a fenti mérnöki rezilienciához hasonlóan határozzuk meg: egy rendszer azon képességét értjük rajta, hogy zavarok után észszerű időn belül visszatérjen a normál állapothoz vagy működéshez (*Christopher–Peck* [2004], *Cattaneo és szerzőtársai* [2010], *Miroudot* [2020b]). Az értékláncokkal foglalkozó szakirodalom definiálja az ellátási láncok robusztusságának fogalmát is, amely arra a képességre utal, hogy a rendszer belső vagy külső zavarok esetén is fenn tudja tartani a működését (*Brandon-Jones és szerzőtársai* [2014]). Az eddigiek alapján a robusztusság fogalma illeszkedik a korábban meghatározott ökológiai rezilienciához. A reziliencia fejleszthető például az értékláncok megfelelő tervezésével, a kockázatok minimalizálásával, a megfelelő helyszínek és az

inputbeszállítók pontos azonosításával. *Miroudot* [2020a] azonban felhívja a figyelmet arra, hogy miközben ezek a kockázatkezelési döntések adják az ellátási láncok rugalmasságának alapját, a rezilienciát célzó aggregált, nemzeti vagy akár globális szintű definíciók, a mérés és a szakpolitikai tervezés még feltáratlan területnek számítanak. Bár a terminológia eltérő, az ellátási láncokkal foglalkozó szakirodalom megerősíti, hogy a reziliencia többdimenziós fogalom.

A társadalmi-gazdasági rendszerek tekintetében a szakirodalom az ellenálló képességnek ezt a többdimenziós jellegét összetett mutatók segítségével próbálja megragadni. Két jelentős kísérlet ezen a területen az *EC* [2021] által kifejlesztett reziliencia-eredménytáblák (*Resilience Dashboard*), valamint *Hafele és szerzőtársai* [2023] gazdaságireziliencia-indexe (*Economic Resilience Index, ERI*). Az előbbi olyan indikátorokat gyűjt, amelyek a gazdasági reziliencia többdimenziós fogalmának megfelelően négy dimenzió (társadalmi és gazdasági, környezeti, digitális és geopolitikai) tekintetében nyújt részletes betekintést az Európai Unió gazdaságainak ellenálló képességébe. Ez a megoldás ugyan nem lép túl az egyedi indikátorok szintjén, az *ERI* már erre a keretrendszerre építve kétféleképpen ragadja meg a gazdasági rezilienciát. Egyrészt egy kompozit mutatót épít, amely egyetlen számban sűríti az egyes országok rezilienciamértékét, másrészt kialakít egy elméleti keretet, amely körülhatárolja a gazdasági reziliencia tekintetében releváns mutatók halmazát és különböző csoportjait. Az Európai Bizottság eredménytáblája 120, míg az *ERI* 27 különböző mutatóra épül, amelyek az országok gazdasági, társadalmi és környezeti feltételeinek különböző oldalait ragadják meg. Ebben a két rendszerben a tisztán gazdasági szempontok jellemzően a globális kereskedelemnek való kitettséget és a globális kereskedelemben való beágyazottságot mérő indikátorokon keresztül jelennek meg. Bár ezek a mutatók a gazdaságok sebezhetőségének kétségtelenül fontos szempontjait tükrözik, aggregáltságuk, valamint külső (export- és importirányú) orientációjuk miatt nem érzékenyek az egyes gazdaságok belső kapcsolatrendszerének megragadására, ugyanakkor a korábban hivatkozott szempontok szerint ez a belső szerkezet is lényeges meghatározója a sokkokkal szembeni ellenálló képességnek. Számos tanulmány hangsúlyozza azt, hogy az egyes gazdaságok termelési – input-output – szerkezete meghatározza azt, hogy az egyes külső vagy belső sokkok hogyan terjednek a gazdaságon belül, és ezáltal milyen szélesebb makrogazdasági hatásokat generálnak. *Acemoglu és szerzőtársai* [2012] arra mutatott rá, hogy a sokkok diverzifikálására való képességet a gazdaságok termelési hálózatainak kapcsolódási szerkezete alakítja. A kapcsolatok aszimmetrikus elosztása felerősíti a mikroszintű sokkokat, ami aggregált fluktuációt idéz elő. Az újabb szakirodalom azt vizsgálja, hogy a termelési hálózatok szerkezete hogyan alakítja a gazdaságok külső vagy belső sokkokra adott reakcióit. *Barrot és szerzőtársai* [2021], *Baqae–Farhi* [2020] és [2022] például az Egyesült Államok nemzeti input-output tábláinak szerkezetére, *Giammetti és szerzőtársai* [2020] pedig az olasz gazdaságra összpontosítanak, miközben a koronavírus-járvány gazdasági hatásait követik nyomon. Hasonlóképpen, *Carvalho és szerzőtársai* [2021] a japán gazdaság input-output szerkezetén keresztül mutatja be a Japán keleti partvidékét megrázó földrengés hatását. Alacsonyabb aggregáltsági szinten *Alessina és szerzőtársai* [2010] egy olasz acélgyártó vállalat ellátási láncának rezilienciáját vizsgálta, *Huang–Ulanowitz* [2014] Peking gazdasági

rendszerét írta le hasonló módszerekkel, *Galychyn és szerzőtársai* [2022] pedig Bécs energiarendszerét elemezte. Ezekben a tanulmányokban az a közös, hogy a globális termelési hálózat egy alrendszerére összpontosítanak, míg ezen alrendszerek beágyazottságát a tágabb globális (vagy nemzeti) gazdasági rendszerbe egy-egy ágazati szintű kapcsolatban aggregálják. Mindezek a vizsgálatok megerősítik, hogy a nemzeti vagy helyi termelési hálózati struktúra hatással van arra, hogy hogyan tud egy gazdaság megbirkózni a sokkokkal, és felhívják a figyelmet az egyes hálózati struktúrákból eredő rendszerszintű kockázatokra.

Fontos ugyanakkor azt is kiemelni, hogy a komplex rendszerek robusztusságával foglalkozó szakirodalom – összhangban a gazdasági szerkezet és sérülékenység kapcsolatáról korábban elmondottakkal – éppen a rendszer elemei közötti funkcionális kapcsolatok, hálózatok szerkezetére összpontosít. Ez a kapcsolódási szerkezet határozza meg és alakítja a rendszer szereplőinek azon képességét, hogy alkalmazkodjanak a sokkhatásokhoz, valamint újjáépítsék azokat a kapcsolatokat, amelyek hosszú távon meghatározzák a rendszerszintű teljesítményt. Ezek a megfigyelések arra hívják fel a figyelmet, hogy a rendszerszinten aggregált mutatókhoz képest részletesebb, a gazdaság szerkezeti jellemzőit (*Martini* [2020]) vagy a szereplők közötti kapcsolódási szerkezeteket vizsgáló (*Gao és szerzőtársai* [2016]) megoldásokra van szükség a reziliencia kellő részletezettségű megragadásához. *Tóth és szerzőtársai* [2022] például szabadalmi adatok alapján konstruáltak technológiai hálózatokat, és pozitív kapcsolatot mutattak ki e technológiai hálózatok robusztussága és a gazdasági reziliencia között a foglalkoztatási ráták változásai tekintetében.

A globális gazdasági rendszer esetében az ellenálló képességet alakító kapcsolódási struktúra a globális értékláncok struktúrája. Valójában az értékláncokon belüli pozíciókat és távolságokat mérő különféle mutatók az iparágak vagy országok közötti sokkterjedés mércéjeként is értelmezhetők. Ezek a mutatók azt számszerűsítik, hogy egy exogén sokk egy iparágban vagy a végső fogyasztásban hogyan befolyásolhatja egy másik konkrét iparág termelését az input-output rendszeren belüli kapcsolatokon keresztül (*Bosma és szerzőtársai* [2005], *Dietzenbacher–Romero* [2007], *Johnson* [2018]). Az egyes ágazatok pozíciójának jellemzése mellett az iparágak robusztussága vagy sebezhetősége is számszerűsíthető a hipotetikus eltávolítás módszerével. Ez a módszer bizonyos iparágak vagy tevékenységek termelési hálózaton belüli szerepét és fontosságát az adott tevékenység és kapcsolódásainak eltávolításával becsüli meg (*Miller–Blair* [2009], *Dietzenbacher–Lahr* [2013]). A globális értékláncok elemzésének ezek a módszerei elsősorban egy adott ágazat vagy ország szerepének meghatározására összpontosítanak a rendszer egészén belül, illetve arra, hogy a rendszer szerkezete hogyan erősíti vagy tompítja a kapcsolatokon keresztül terjedő sokkokat. Ami hiányzik ezekből a módszerekből, az az a képesség, hogy a rendszer szerkezetéből eredő hatékonyságnövekedést és sérülékenységet együttesen, egyetlen keretben vizsgálják. Ez utóbbira azonban szükség van ahhoz, hogy a hatékonyság növelése és a termelési rendszerek komplexebbé válásával felmerülő növekvő sérülékenység közötti átváltást minél pontosabban fel tudjuk térképezni.

Ebben a tanulmányban az eddig bemutatott szakirodalmi irányok metszetében arra törekszünk, hogy a gazdasági rendszerek rezilienciájának olyan

mikroszemléletű vizsgálati módszerét adjuk meg, amely az egyes gazdasági tevékenységek ágazatok közötti kapcsolódási szerkezeteit explicit módon ragadja meg, és alkalmas arra, hogy a hatékonyságbeli javulással együtt a szerkezeti változásokból eredő sérülékenységet is számszerűsítse. Ennek eszközeként egy számítható általános egyensúlyi modellkeretet (*Computable General Equilibrium, CGE*) használunk fel, ami legalább két okból is célszerű választás. Egyrészt, a modellkeret lehetőséget ad arra, hogy az egyes gazdasági tevékenységek, ágazatok közötti kapcsolódási szerkezeteket expliciten megragadjuk. Így lehetővé válik az, hogy e szerkezet változásainak hatását nyomon kövessük. Másrészt, a hasonló modellek elsődleges célja, hogy a gazdaságot érő különböző sokkhatások hatásmechanizmusát feltárják és számszerűsítsék. Ennek során nemcsak a direkt módon megvalósuló hatásokat, hanem a gazdaság különböző részrendszerei, piacai, ágazatai közötti kölcsönhatásokat is modellezik a megfelelő keresleti-kínálati dinamikák révén. Így tehát számszerűsíteni tudjuk azt is, hogy a gazdaság szerkezeti jellemzőinek megváltozása hogyan változtatja meg a gazdaság sokkokra adott reakcióját. Mivel utóbbira vonatkozóan a modell pontos, pénzügyi kategóriákban kifejezett becslést ad, végső soron monetáris értéket tudunk kapcsolni a gazdaság szerkezeti változásaihoz abban a tekintetben, hogy utóbbi változások milyen mértékben változtatják meg a gazdaság egyes sokkokra adott reakcióját, elsősorban jövedelmi oldalról.

Az eddigiekben általános értelemben szerkezeti változásokról beszéltünk, azonban egy többszektoros modell esetében a gazdasági szerkezet explicit módon az egyes gazdasági tevékenységek, ágazatok közötti input-output kapcsolatok rendszerét jelenti, amelyek alapjaként rendszerint valamilyen technológiai rendszert feltételezünk, amely meghatározza az egyes termelési ágak inputigényeit. Ebben a keretben a szerkezeti változások a termelési technológia valamilyen átrendeződését vagy átrendezését reprezentálják. Végső soron különböző technológiai rendszerekkel tudunk kísérletezni és tudjuk megvizsgálni, hogy ezek milyen változásokat generálnak a sokkokra adott reakciókban. Gyakorlati szempontból valamennyi olyan változás, amely intuitív módon a gazdasági sérülékenység csökkentését célozza/eredményezheti, valamilyen módon a gazdaság input-output szerkezetének megváltoztatásával jár (például: tengerentúli beszerzési források helyett lokális beszállítók alkalmazása, importált fosszilis energiahordozók helyett helyi megújuló energiaforrásokra való áttérés, beszállítói hálózat diverzifikációja stb.).

A tanulmányban először egy olyan eszközrendszert mutatunk be, amely alkalmas az előbb ismertetett hatásmechanizmusok nyomon követésére és ezen keresztül a reziliencia mérésének egy sajátos, a szakirodalomban eddig még kevésbé tárgyalt módját biztosítja. Majd a formális részletek mellőzésével ismertetjük azt a számítható általános egyensúlyi (CGE) modellrendszert, amelynek keretében a vizsgálatainkat elvégezzük. Ezt követően vázoljuk azt a gondolatmenetet, amely szerint az alternatív technológiai szerkezetek beilleszthetők egy adott gazdasági szerkezetet leíró, többszektoros input-output kapcsolatokon alapuló modellbe. A tanulmány egy speciális technológiai megoldás, a hidrogénalapú mobilitás lokális telepítésének lehetőségeit vizsgálja, így részletesen bemutatjuk a technológia kapcsolódásait a gazdaság más ágazataival, valamint az általános egyensúlyi modell rendszerébe történő

beillesztését. Majd ismertetjük a reziliencia mérésére kidolgozott metrika hátterét és részleteit, és részletesen bemutatjuk a modellel végzett számítások eredményét, kitérve az ágazati és földrajzi különbségekre. A tanulmányt összegzés zárja, amely kiemeli a gazdaságpolitikai döntéshozatal számára is hasznos eredményeket.

A GMR modell

A földrajzi, makro- és regionális modell (*geographic, macro and regional, GMR*) egy több régiós-több szektoros gazdasági hatás-elemző modell, amely az előzetes és utólagos forgatókönyv-elemzések révén támogatni tudja a fejlesztéspolitikai döntéseket. *Földrajzi*, mert a modell figyelembe veszi a térbeliséget, így például a munkaerő és a tőke régióközi vándorlását, *makro-*, mivel a nemzetgazdasági szintű szakpolitikák hatásait is számszerűsíti, és *regionális*, mert a fejlesztési politikákat az országos szint alatti, regionális szinten modellezi. A módszertant tekintve a GMR modellek a főáramú makrogazdasági elemzések (*ESRI* [2002]), a többszektoros modellezés (*Eliasson* [1985]), a számítható általános egyensúlyi (*computable general equilibrium, CGE*) modellezés (*Bayar* [2007], *Atuesta-Hewings* [2013]), illetve a dinamikus sztochasztikus általános egyensúlyi (*dynamic stochastic general equilibrium, DSGE*) megközelítés (*Ratto és szerzőtársai* [2009]) alapjaira épít. A modellezési rendszerről bővebb leírást ad *Varga* [2017], illetve *Varga és szerzőtársai* [2020]. Ebben a tanulmányban a magyarországi földrajzi, makro- és regionális (GMR) modellek legújabb többszektoros-több régiós változatát használjuk. A korábbi modellspecifikációkat és alkalmazásokat *Schalk-Varga* [2004], *Varga* [2017], a GMR-Magyarország modellt *Varga* [2007], a GMR-Törökország modellt *Varga-Baypinar* [2016], valamint a GMR-Európát *Varga és szerzőtársai* [2020] ismertetik.

A GMR modell módszertani szempontból a közgazdaságtan három hagyományos irányzata köré épül, melyeket egy-egy különálló modellblokk képvisel. Az 1. BLOKK a teljes tényezőtermelékenység (*Total Factor Productivity, TFP*) blokkja, amely magában foglalja az innováció földrajzának legfontosabb összefüggéseit (lásd például *Anselin és szerzőtársai* [1997], *Varga* [2000], *Sebestyén-Varga* [2013]). A TFP-blokk az egyes régiókban található termelési tényezők (munka, tőke) produktivitását ragadja meg, és azt modellezi, hogy miként befolyásolják a regionális szintű termelékenységet az innováció mögött álló legfontosabb tényezők, valamint az azok közötti kölcsönhatások.

A 2. BLOKK a térbeli számítható általános egyensúlyi blokk (*spatial computable general equilibrium, SCGE*), amelynek célja, hogy modellezze a fejlesztési beavatkozásoknak a regionális gazdasági változókra, így például a kibocsátásra, az árakra, a bérekre vagy a foglalkoztatásra kifejtett hatásait. A blokk sajátossága, hogy egyszerre ragadja meg a régiók közötti (árak és szolgáltatások kereskedelme, ágazatok közötti input-output kapcsolatok, termelési tényezők régióközi, valamint ágazatok közötti mobilitása) és az összes fontos gazdasági szereplő (termelő ágazatok, háztartások, kormányzat, beruházások, külföldi szereplők) közötti gazdasági kölcsönhatásokat. A *vállalatokat* profitmaximalizáló magatartás jellemzi, tökéletesen versenyző piacokon működnek, és a viselkedésüket egy adott technológia melletti termelési függvény írja

le, és összességében kielégítik az aggregált külföldi és belföldi keresletet. A háztartások hasznosságmaximalizálásra törekuszenek, ahol egyrészt a különböző áruk és szolgáltatások fogyasztásából eredő hasznosságot, másrészt pedig az interregionális hasznosságot (régiónok közötti migráció) vesszük figyelembe. A háztartások jövedelme a bérekből és a tőkejövedelmekből tevődik össze, amit adófizetésre, megtakarításra és fogyasztásra fordítanak. A migráció esetében a háztartások az egy főre jutó regionális reálfogyasztási lehetőségek és az egy főre jutó lakásállomány (mint a negatív agglomerációs externáliák közelítése) alapján határozzák meg a hasznossági szintek interregionális különbségeit. A migráció az egyes időszakok között történik, így a regionális gazdaságok minden évben egzogen mennyiségű munkaerő-kínálattal néznek szembe. Továbbá a tőkeállomány részben mobilis, a regionális tőkeállomány egy részét más régiók szereplői is felhasználhatják. A beruházásokat a háztartások, a kormányzat és a külföld megtakarításai finanszírozzák, amit megtakarításvezérelt módon modelleztünk. Az egyensúlyban minden piac megtisztul, és a beruházásoknak meg kell egyezniük a megtakarítások mértékével, ahol a beruházások igazodnak a megtakarítások szintjéhez. A kormányzat adókat (termékadó, termelési adó) szed, amelyeket egzogen módon rögzített *ad valorem* adókulcsokkal írunk le. A másik oldalon a bevételeit áruk és szolgáltatások vásárlására fordítja (oktatás, egészségügy stb.). A külföldi szereplők az importot és az exportot képviselik a modellben. Mivel Magyarország kis, nyitott gazdaság, feltételezzük, hogy a világpiacon áruk egzogenek. Mivel a modell nem a nemzetközi kereskedelmi kérdések vizsgálatát célozza, így a modell beállításában a nemzetközi kapcsolatok kifinomultabb szempontjait figyelmen kívül hagyjuk.

Egy ilyen nagy felbontású térbeli CGE modellhez – mind regionális, mind ágazati szinten – nagy mennyiségű statisztikai adatra van szükség, amelyek azonban gyakran nem állnak rendelkezésre a hivatalos statisztikai adatbázisokban. A GMR-Magyarország SCGE-blokkja egy becsült interregionális input-output táblán alapul, amelyhez az irodalomban gyakran alkalmazott regionalizációs módszerek (Jackson [1998], Szabó [2015]), valamint a Magyarországon rendelkezésre álló regionális és országos szintű adatok kombinációját használtuk (beleértve az országos input-output táblát is). Ezáltal egy, a 20 magyar NUTS3-as régiót (19 megye és Budapest), valamint 37 aggregált TEÁOR-ágazatot leíró interregionális input-output táblát kaptunk, amelynek báziséve 2010.¹

A GMR utolsó, 3. BLOKKJA a makrogazdasági blokk (MAKRO), ahol a makroszintű folyamatok és szakpolitikai beavatkozások (államadósság, költségvetési politika stb.) kezelhetők, valamint e blokk számszerűsíti a beavatkozások aggregált hatásait. A MAKRO-blokk egyik legfontosabb feladata az államadósság és a deficit meghatározása a GDP-arányos államadósság alapján.

Összefoglalva a modellblokkok működését, a TFP-blokk határozza meg a regionális termelékenységi szint változását. Ez az SCGE-blokkon belül befolyásolja a termelési tényezők allokációját, a termelést, a kereskedelmet, a migrációt stb., ami később a TFP-blokkba is visszacsatol. A gazdasági változók megváltozása (például

¹ Az SCGE modell egyenleteit a becsült interregionális input-output tábla alapján kalibráltuk oly módon, hogy a referenciaévben a modellegyenletek visszaadják az eredeti „adatbázist”.

a bruttó hozzáadott érték, a foglalkoztatás, a bérek, az árak stb.) által indukált interregionális migráció a következő időszakban befolyásolja a regionális foglalkoztatást és a regionális termelékenységet, ami további változásokat indukál a blokkok interakcióiban. Mindezek következményeként az árakban, az adóbevételekben, illetve a gazdasági növekedésben bekövetkezett változások hatással vannak a következő évi kormányzati kiadásokra, amelyet pedig a MAKRO-blokk vezérel, s ami késleltetve szintén visszahat a TFP-blokkra.

A modellrendszer különböző szintjein különböző szakpolitikai beavatkozások vezethetők be, amelyek közül a $K + F$ -támogatások, az oktatási programok és a vállalkozói ökoszisztéma fejlesztésének támogatása a TFP-blokkhoz kapcsolódik. A régióspecifikus beruházástámogatásokat és az infrastrukturális fejlesztéseket az SCGE-blokkban vesszük figyelembe, míg a makroszintű politikát a MAKRO-blokk integrálja (például a kormányzati kiadások, az adókulcsok változásai). Az alternatív technológiák hatáselemzése – köztük a hidrogéntekológia Baranya vármegei alkalmazása – az SCGE-blokkban kap szerepet. Minden beavatkozás közvetlen és közvetett hatásai visszacsatolásokat jelentenek a többi modellblokk számára, így a végső gazdasági hatásokat a modellkomponensek közötti egyidejű kölcsönhatások és az azokon belüli mechanizmusok határozzák meg. Ennek eredményeként a szimulációk képesek nyomon követni a szakpolitikai beavatkozások várható hatásait, figyelembe véve a bonyolult térbeli és ágazatközi interakciók mechanizmusait.

Alternatív technológiák beillesztése a GMR modell szerkezetébe

Új, még nem létező technológiák hatáselemzéséhez, valamint regionális rezilienciára gyakorolt hatásaik vizsgálatához a tanulmányban általános egyensúlyi modellezést (CGE) alkalmazunk. A CGE modellek tipikusan társadalmi elszámolási mátrix (*social accounting matrix*, SAM) vagy ágazati kapcsolatok mérlegének (ÁKM) az adatain alapulnak. Így az egyes gazdasági szereplők viselkedését leíró összefüggések paramétereinek többségét is ezen adatok bázisán kalibráltuk. Ez az adatbázis azonban nem vagy csak részben tartalmaz olyan adatokat, amelyek egy új ágazat felépítéséhez, kalibrálásához szükségesek. Mivel minden modell egyedi, így egy új technológia/szektor bevezetésének egyedi, a modell sajátosságaira szabott eljárást kell követnie. A nemzetközi szakirodalomban több irányt különböztetnek meg e tekintetben. Egyes esetekben egy, már meglévő aggregált ágazat felbontását végzik el a szerzők, ezáltal a modell részletes betekintést nyújt a szektort alkotó tevékenységek összefonódásaiba, dinamikájába. Ezen eljárások tipikusan mikroadatokon, saját adatgyűjtésen vagy más referenciaadatokon alapulva bontják fel az aggregált ágazatot jellemző ÁKM-, illetve SAM-cellákat, amelyeket felhasználva kalibrálják az elkészült *dezaggregált* CGE modellt (Cai–Arora [2015]).

Más kutatások egy meglévő termék előállításának különböző lehetséges technológiáit vizsgálják, hasonlítják össze, a cél pedig a gazdaságra vagy a környezetre gyakorolt hatások felmérése. Ekkor a termék előállításának lehetséges módjait tipikusan mikroadatok és szakértői vélemények, esetleg üzleti tervek adatai alapján állítják

össze, amelyeket felhasználva állítják be az egyes technológiák működését szabályozó paraméterek értékeit (például *Schumacher–Sands* [2007]).

Végül a fentiekhez hasonló elven új tevékenység/ágazat is bevezethető e modellekbe, ezáltal lehetőség nyílik egy még nem létező/működő tevékenység hipotetikus beindításából adódó tovaggyűrűző gazdasági hatások felmérésére (például *Berg–Eskildsen* [2019], *Phimister–Roberts* [2017], *Varga és szerzőtársai* [2013]). Ezen eljárások tipikusan mikroszintű adatok felhasználásával építik fel az új tevékenységek technológiáját, amelyeket aztán a megfelelő termelési függvények paramétereinek kalibrálásával és modellbe csatolásával tesznek a modellek részeivé. Jelen tanulmányban ezt a harmadik utat követve, egy új tevékenységet emelünk be egy CGE modellbe, amelynek részleteit a következőkben tárgyaljuk.

Az új (alternatív) technológia beillesztésének elvei

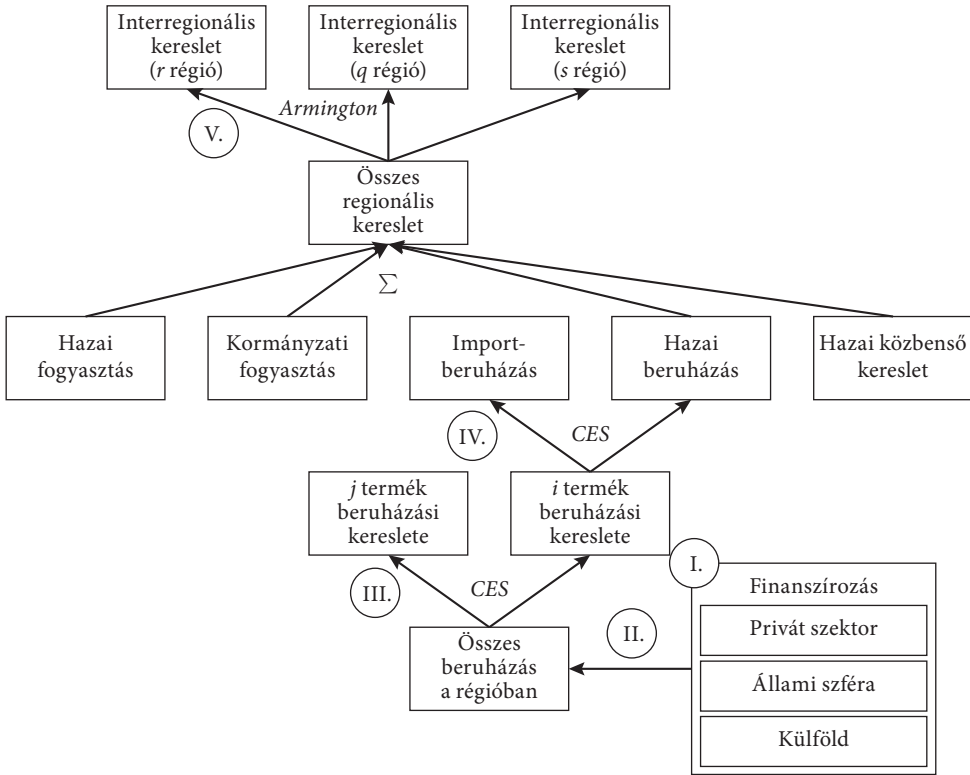
A tanulmány empirikus részében a GMR–Magyarország modell térbeli (SCGE-) blokkjának felhasználásával, annak kiterjesztésével egy új, hidrogénalapú technológiai eljárás mobilitásban való hasznosulását vizsgáljuk. Most e technológia modellbe történő illesztésének módszertani lépéseit mutatjuk be.

Új ágazat létrehozása a modellben két lépésben valósul meg: 1. a szükséges előzetes beruházások megvalósítása, kapacitások kiépítése, 2. az üzemeltetés és termelés. Módszertani szempontból a beruházások egyszeri beruházási sokként jelennek meg, amelyek esetében feltesszük, hogy az adott időszaki beruházások a következő évben vonhatók be a termelésbe, illetve a későbbi évek során az amortizációt kompenzálандó, pótlóberuházások révén a kezdeti addicionális tőkeállomány nagysága szinten marad. A következőkben röviden bemutatjuk, hogy melyek azok a kulcspontok a modellben, amelyek kezelése szükséges a beruházási sokk megfelelő bekapcsolásához (1. ábra I–V. pont).

A beruházások *finanszírozhatók* hazai megtakarítások, állami források vagy akár külső támogatások révén is. Ezek a modell más-más pontjain (magánmegtakarítások, állami kiadások, külső megtakarítás–fizetési mérleg) jelennek meg. Most feltételezzük, hogy az új eljáráshoz szükséges beruházási kiadásokat külföldi (például EU-s) forrás finanszírozza, ami a modell fizetési mérlegében belföldre irányuló külföldi transzferként jelenik meg (I.). Ezt követően e kiadásokat a megfelelő *régió* beruházási keresletéhez kell rendelni, ahol elköltik, és finanszírozza a regionális aggregált beruházási kereslet egy részét, valamint növeli a regionális tőkefelhalmozódást. Ezt a beágyazott beruházási keresleti függvény legfelső szintjén kezeljük (II.). Továbbá az aggregált beruházási keresleten belül – a felmérés adatai alapján – a belföldi beruházási keresletet tovább bontjuk *iparág*specifikus beruházási keresletre (III.). Ezt követően a beruházási kereslet egy része a *hazai* és az *importált* termékek között oszlik meg. Ezeket a közvetlen allokációkat a beágyazott beruházási keresleti függvény alsó szintjén lehet elvégezni (IV.). Végül, amennyiben rendelkezésre áll információ az ágazati beruházási kereslet kielégítésének várható helyéről (eredeti régiójáról), akkor a hazai iparágspecifikus beruházási sokkokat a forrásrégiókhoz viszonyítva is lehet értelmezni, azaz meg lehet határozni, hogy

1. ábra

A keresleti oldal struktúrája a modellben



CES: konstans helyettesítési rugalmasságú függvény.

Forrás: saját szerkesztés.

mely régiókból teljesülnek ezek a keresletmennyiségek. Így a régiók közötti Armington-féle keresleti függvényt (Armington [1969]) ennek megfelelően módosítani kell (V).

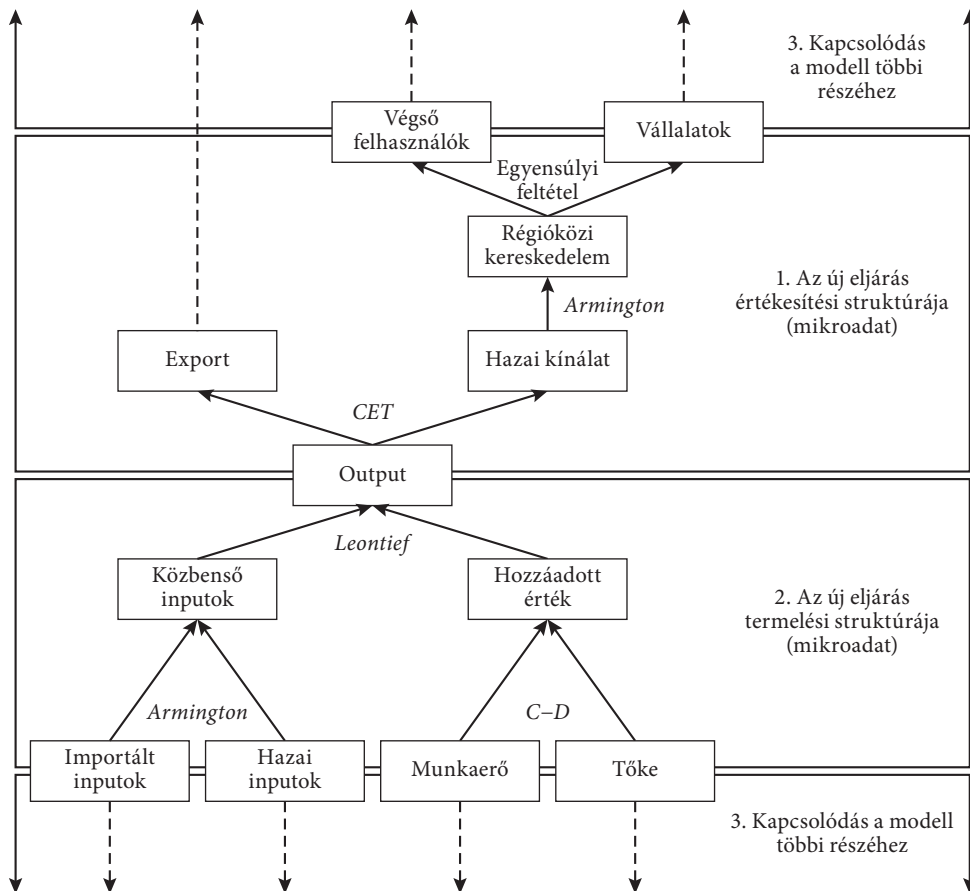
A beruházásokon túl az új ágazat létrehozásának főbb lépéseit a 2. ábra foglalja össze. Ennek során szükséges összeállítani az értékesítési struktúráját, valamint a termelési technológiát az értékesítési adatok és inputráfordítások alapján, illetve az így összeállított ágazatot hozzá kell illeszteni a modell által leírt többi szereplőhöz (vállalatok, felhasználók, külföld stb.). Elsőként az új tevékenység összes változójának kezdő értékét szükséges beállítani a begyűjtött mikroadatok alapján, majd a viselkedést leíró függvények paramétereinek kalibrálását kell elvégezni. Ekkor azonban az új ágazat kereslete és kínálata miatt felborul a piacok egyensúlya, így (a modell megoldása során) a piaci szereplők alkalmazkodása révén ezen egyensúlytalanságok megszűnnek. Ez a folyamat, valamint az így adódó változások értelmezhetők az új tevékenység közvetlen és közvetett hatásaiként.

A következőkben röviden összefoglaljuk a viselkedést leíró függvények módosításait és paramétereinek kalibrálását. Ezeket a módosításokat három csoportban tárgyaljuk. Elsőként az új ágazat termelését leíró, majd az új termékek iránti

keresleti, végül pedig a szükséges elsődleges erőforrások ágazatspecifikus kínálati függvényeit ismertetjük.

2. ábra

Az új ágazat termelési struktúrája és annak bekapcsolódása a modellbe



CET: konstans transzformációs rugalmasságú, C-D: Cobb–Douglas-féle függvény.

Forrás: saját szerkesztés.

Az új tevékenység termelési függvényének kalibrálásával az új ágazat *termelését* a többi ágazathoz hasonlóan beágyazott termelési függvénnyel modellezzük (2. ábra 1. pont), amelyet az új ágazat esetében is fel kell tölteni a kiindulási adatokkal, és paramétereit kalibrálni szükséges. Ez az eljárás megegyezik a többi ágazatot is leíró termelési függvény kalibrálásával, azonban ez esetben a mikroadatokkal kibővített interregionális ÁKM használandó (3. ábra), ahol a szürkével jelzett cellák tartalmazzák az új tevékenységre vonatkozó információkat.

A termelési függvényen kívül szükséges bekapcsolni az ágazatot a regionális *tényezőpiacokba* (munka, tőke), valamint a régióközi kereskedelembe is (inputvásárlások), amelyeket a régiók közötti kereskedelem és az iparági szintű tényezőellátási egyenletek

3. ábra

Az új ágazattal kibővített interregionális ÁKM sematikus ábrája

			1. régió				2. régió				Export	Összes felhasználás
			ágazatok			végső felhasználás	ágazatok			végső felhasználás		
			1.	...	<i>j.</i>		új tevékenység	1.	...			
1. régió	ágazatok	1.										
		⋮										
		<i>i.</i>										
		új tevékenység										
2. régió	ágazatok	1.										
		⋮										
		<i>i.</i>										
Import												
Termékadók												
A hozzáadott érték elemei												
Összes forrás												

Megjegyzés: a szürkével jelzett cellák tartalmazzák az új tevékenységre vonatkozó információkat.

Forrás: saját szerkesztés.

újrakalibrálásával valósítunk meg. A beruházások által létrehozott új tőkeállomány növeli a háztartások tulajdonában lévő elsődleges erőforrások állományát, és így a háztartások jövedelmét is, amit a jövedelemegyenletben figyelembe kell venni. Ha a megképződő tőkejövedelmek egy része külföldre áramlik, akkor azt szintén figyelembe kell venni a fizetési mérleg egyenletében. Adott időszakon belül a tőkeállomány egzogén tényezőként adódik a modellben, amely az időszak végén a tőkefelhalmozás (beruházás, amortizáció) hatására változik. Ezzel szemben a foglalkoztatás az időszakon belül is endogén módon viselkedik, alakulását egy bérgörbe-összefüggés vezérli (*Blanchflower–Oswald* [2005]). A háztartások ugyanakkor dönthetnek arról, hogy melyik iparágba (és melyik régióba) allokálják elsődleges erőforrásaikat, ezért az ezen allokációt szabályozó függvények újrakalibrálása is szükséges.

Végül, az új tevékenység outputja iránt a végső felhasználók keresletet támaszthatnak, amelyet kétféle módon vehetünk figyelembe. 1. Rögzített kereslet feltételezünk, ha az előzetes mikroadatok alapján várhatóan csak egy bizonyos mennyiséget lehet értékesíteni a piacon. Ekkor a végső keresletet addicionális külföldi vagy belföldi keresletként vezethetjük be a modellbe (hasonlóan a beruházási sokk modellezéséhez). 2. Az új termék iránti kereslet a modell szerves része (változója – ahogy az új iparág is), és nagysága a gazdasági folyamatoktól függ (például a jövedelmek alakulása). Ezután a korábbiakhoz hasonló eljárást követve a megfelelő végső keresleti kategóriák feltölthető adatokkal, és kalibrálhatók a függvények paraméterei.

Ezzel a lépéssel bezárul a modell szerkezetét érintő módosítások köre. Az új ágazattal bővített, újrakalibrált modell azonban már nem egyensúlyi állapotot reprezentál az egyes piacok tekintetében. A modell megoldása során ezek a túlkeresleti/túlkínálati nagyságok a szereplők optimalizáló viselkedése révén megszűnnek, és beáll az új egyensúly. Ez a fajta reakció és alkalmazkodás tekinthető az új iparág bevezetése által kiváltott gazdasági hatásnak.

A hidrogénalapú mobilitási technológia

Ebben az elemzésben Baranya vármegye esetében az alternatívát jelentő új technológiaként a középpontba a hidrogénteknológia mobilitási célú felhasználása kerül, ahol maga a beruházás és a működés közvetlenül Pécs város területére koncentrálódik. A hidrogén üzemanyagként is felhasználható, ezáltal képes kiváltani többek között például a helyi tömegközlekedés alapjául szolgáló dízelmeghajtású buszokat. Ez a technológiai beavatkozás és infrastrukturális fejlesztés képes növelni a régió rezilienciáját olyan sokkokkal szemben, amelyekkel az utóbbi időben is szembenéztünk például a háború kitörése miatt. Ezen időszakban az importált földgáz és kőolaj világpiaci ára többszörösére emelkedett, és ennek kapcsán felmerült az igény a régió effajta sokkokkal szembeni ellenálló képességének növelése iránt, aminek egyik lehetséges módja a hidrogén felhasználása.

Az új lehetőséget jelentő hidrogénteknológia alapja, hogy elektromos áram felhasználásával a vizet egy elektrolizálóberendezés szétbontja hidrogénre és oxigénre, és a folyamatban keletkező hidrogént speciális tartályokban tárolják. A tartályokból ezt követően a hidrogén továbbáramlik a töltőállomás felé. A töltőberendezés a hidrogént magasabb nyomáson tárolja, és egy töltőfej segítségével tankolhatnak a buszok. Az alapján, hogy milyen forrásból származó elektromos áramot használunk, a hidrogén típusát is megkülönböztethetjük. Ha a felhasznált energia teljes mértékben megújuló forrásból származik, akkor zöldhidrogénről beszélhetünk. Esetünkben egy napelempark energiatermelését hasznosítják a vízbontás során, a megtermelt

1. táblázat

A hidrogénállomás beruházási költségei

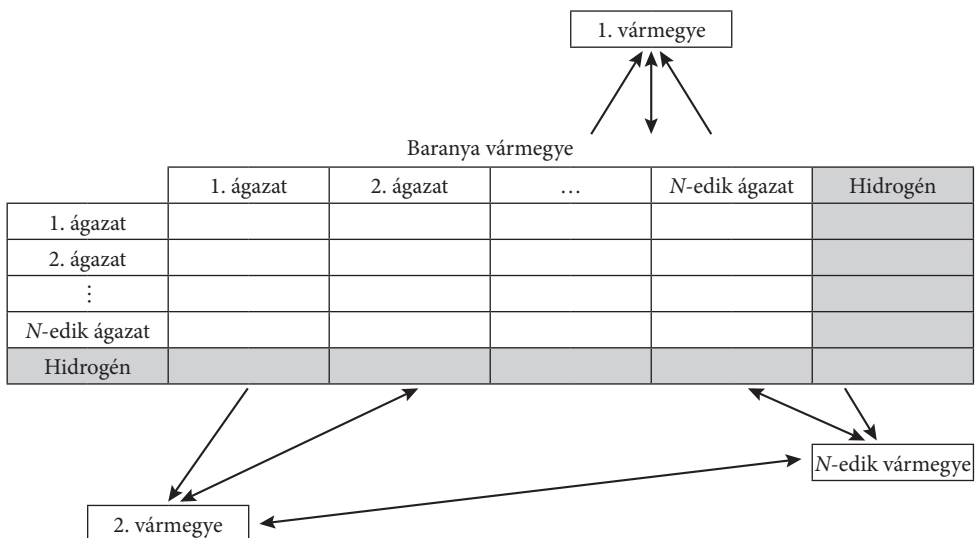
Megnevezés	Teljesítmény	Beruházási költség (forint)
Napelempark	10 megawatt	5 000 000 000
Elektrolizáló	1 megawatt	645 000 000
Tartály	100 m ³ (360 kg H ₂)	66 689 440
Töltőfej	30 kg H ₂ /jármű	846 000 000
Busz	30 kg/tank	5 200 000 000
Terep-előkészítés, engedélyeztetés, kivitelezés, irányítástechnika stb.	–	356 000 000

Forrás: saját szerkesztés.

4. ábra

A hidrogénágazat belső szerkezete

Fizikai tábla					
Ártábla					
Értéktábla					
H ₂ -ágazat belső szerkezete (érték, forint, éves)		Folyó termelőfelhasználás			Végső felhasználás
		villamos energia	elektrolizáló	busz	Szállítási ágazat
Folyó termelő- felhasználás	villamos energia		154 416 108		
	elektrolizáló			498 918 308	
	busz				498 918 308
Inputok	saját napenergia	154 416 108			
	víz		13 200 000		
	munkaerő		978 350		



Forrás: saját szerkesztés.

hidrogént pedig a helyi tömegközlekedés buszai használják fel, ezáltal a hidrogén-ágazat végső felhasználója a szállítási ágazat.

Ahhoz, hogy a hidrogéngyártás és az új ágazat működésbe lépjen, beruházásokra van szükség, ki kell alakítani a gyártási folyamatot és a töltőállomást, valamint a hidrogént felhasználó járműveket is be kell szerezni. A beruházás és a technológia alapvető műszaki oldalát az 1. táblázatban összegeztük, a becsléseket energetikai és műszaki szakemberek végezték.

A tervezett napelempark teljesítménye 10 megawatt, ami egy – 1 megawattos teljesítményű elektrolízálóberendezéssel, egy 100 köbméteres, azaz 360 kilogramm hidrogén tárolására alkalmas, 40 bar nyomású tartállyal és egy 350 bar nyomású, 30 kilogrammos töltőfejjel rendelkező – hidrogényártási és -töltő pont kialakítását jelenti, ahol a buszok tankkapacitása szintén 30 kilogramm, amellyel egy busz 375 kilométert tud megtenni. Ezáltal Pécs helyi közlekedését figyelembe véve az állomás nyolc busz ellátására képes. Ezek a technikai információk meghatározzák a szükséges inputok és a keletkező hidrogén mennyiségét, valamint a buszokkal megtehető távolságot. Mindezek alapján – a technológia mélyebb műszaki adatai és az áramlások ismeretében – kibontottuk a hidrogénágazatot, és felírtuk az ágazat saját ÁKM-tábláját fizikai mértékegységekben, egységárakban és végül összértékben. A 4. ábrán a belső négyzet jelenti a hidrogénágazatot, amelyet beépítünk a régió meglévő ágazati struktúrájába, és így kerülhet kölcsönhatásba a többi ágazattal és régióval (4. ábra).

Ha a hidrogénágazatot nézzük, akkor inputként elsősorban villamos energiára van szükség, ez jelen esetben a napelempark által megtermelt napenergiából származik, nem pedig a piacról. A villamos energia mint input bekerül a hidrogénágazatba, ahol az elektrolízis során felhasználják, és ahol további inputokra, vízre és munkaerőre van szükség, amelyek más tevékenységekhez kapcsolódnak. Az elektrolízis következtében gyártott hidrogént pedig a buszokon keresztül a szállítási ágazatban hasznosítják.

Térségi reziliencia számítása a GMR modell felhasználásával

A bemutatott modellkeretben alapvetően kétirányú „beavatkozás” vizsgálatát végezzük el, és ezek kombinációjának segítségével értékeljük adott alternatív technológiai rendszerek rezilienciára gyakorolt hatását. A rezilienciát, vagyis az ellenálló képességet azzal ragadjuk meg, hogy adott külső sokkhatásra milyen reakciópályát látunk a modellszámítások alapján. Ez összességében négy pályát jelent, amelyek lefutását a modellszimulációk során vizsgáljuk és összevetjük:

- ALAPPÁLYA. A modell kalibrált, beavatkozás és sokkhatás nélküli pályája.
- ALAPPÁLYA SOKKHATÁSSAL. A modell kalibrált, beavatkozás nélküli pályája egy t_s időszakban szimulált sokkhatással.
- ÚJ (ALTERNATÍV) PÁLYA. A modell újrakalibrált, beavatkozás melletti, de sokkhatás nélküli pályája.
- ÚJ (ALTERNATÍV) PÁLYA SOKKHATÁSSAL. A modell újrakalibrált, beavatkozás melletti pályája egy t_s időszakban szimulált sokkhatással.

A modellszimulációk során bármely endogén változó alakulását nyomon követhetjük. Általánosságban jelöljük x_t -vel ezt a vizsgált változót. A szimulációkat jellemzően a kalibrálás évéből, t_0 -ból indítjuk. Beavatkozások és sokkhatások nélkül a modell egy kalibrált egyensúlyi alappályán fut, amelyet a modell fő változóinak múltbeli alakulására illesztettünk. A szimulációkat egy választott T -edik időpontig futtatjuk. Így rendelkezésünkre áll az alappálya idősora a vizsgált x_t -edik változóra a $t \in [t_0, T]$ intervallumon, ezt jelöljük x_t^{base} -zel.

A GMR modell alapvetően egy hatáselemző modell, ami azt jelenti, hogy nem előrejelzési célokat szolgál, hanem arra alkalmas, hogy az előbb ismertetett alappályától valamilyen sokkhatás vagy gazdaságpolitikai beavatkozás hatására történő eltérés irányát és mértékét, továbbá ezek időbeli lefutását számszerűsítse. Esetünkben ez azt jelenti, hogy a $t = t_s$ időpontban egy egzogén sokkhatást szimulálunk, amelyre a modell a beépített viselkedési egyenletek és rövid, illetve hosszú távú alkalmazkodási folyamatok mentén reagál. Ez a sokkhatás a vizsgált változóban egy, az alappályához képest eltérő lefutást eredményez, melyet x_t^{shock} -kal jelölünk. A sokk hatását az alappálya és a sokkhatás melletti pálya közötti relatív vagy abszolút különbséggel tudjuk jellemezni.

$$\bar{x}_t = x_t^{shock} - x_t^{base},$$

$$\hat{x}_t = \left(x_t^{shock} - x_t^{base} \right) / x_t^{base}.$$

A vizsgálatok lényegi kérdése azonban az, hogy az adott technológia mellett mennyiben más a sokkhatásra adott reakció. Ehhez először egy másik alappályát szimulálunk, amely mentén a $t < t_s$ időszakban vezetik be az új technológiát. Ez az $x_t^{alt, base}$ új pálya a $t > t_s$ időszakok esetében tér el az x_t^{base} alappályától. Végül, a már az új pályán futó szimuláció szerint, ismét a $t = t_s$ időszakban bevezetett sokkhatást szimuláljuk, és így kapjuk az $x_t^{alt, shock}$ pályát. Az új technológia nélküli esethez hasonlóan itt is az alappálya és a sokkhatás melletti pálya közötti abszolút vagy relatív különbség képezi az elemzés alapját.

$$\bar{x}_t^{alt} = x_t^{alt, shock} - x_t^{alt, base},$$

$$\hat{x}_t^{alt} = \left(x_t^{shock} - x_t^{base} \right) / x_t^{base}.$$

Mivel a sokk melletti forgatókönyvek az új technológia bevezetésének időzítésétől függetlenül csak a $t \geq t_s$ időszakokban térnek el az alappályáktól, igaz, hogy $\bar{x}_t = \hat{x}_t = \bar{x}_t^{alt} = \hat{x}_t^{alt} = 0$ minden $t < t_s$ esetén. A továbbiakban három reziliencia-indikátort definiálunk a fenti idősorok adatain. Ezek az indikátorok arra az intuíción alapulnak, hogy a reziliencia magasabb értéke azt jelenti, hogy valamilyen negatív tartalmú sokkhatás esetén az adott gazdasági rendszer kisebb mértékű reakciót és/vagy gyorsabb alkalmazkodást mutat, vagyis összességében kisebb veszteséggel képes ugyanazt a sokkhatást feldolgozni. A továbbiakban ezen az értelmezési vonalon haladva a nagyobb mértékű rezilienciát egyfajta megtakarításként értelmezzük, vagyis egy negatív hatás csökkenéseként. Ez természetesen nem zárja ki, hogy az intuícióval ellentétes eredményt kapjunk, vagyis adott esetben a vizsgált beavatkozás (új technológia bevezetése) ronthatja a rezilienciát, vagyis erősebb reakciót kaphatunk az új pályán.

A fentiek alapján \bar{x}_t mutatja a sokk hatását adott x -edik változóra a t -edik időszakban. Ha ez egy negatív sokkhatás, akkor $\bar{x}_t < 0$, vagyis az adott endogén változó egyfajta veszteséget, hiányt mutat az alappályához képest. Ha az új technológia a várakozásnak megfelelően javítja az ellenálló képességet, akkor az új pályán ez a negatív hatás kisebb lesz, vagyis $\bar{x}_t^{alt} > \bar{x}_t$, vagy másként $|\bar{x}_t^{alt}| < |\bar{x}_t|$. Következésképpen a reziliencia abszolút mértékének mutatója (RA) a következőképpen írható fel adott t -edik időszakra:

$$RA_t = \bar{x}_t^{alt} - \bar{x}_t.$$

Logikusan $RA_t = 0$ minden $t < t_s$ esetén. Ha x_t valamilyen jövedelmi értelmezéssel is rendelkező mutató (például a későbbiekben is használt bruttó hozzáadott érték, GVA), akkor RA_t értelmezése az, hogy az adott t -edik időszakban az új technológia mennyi jövedelmet takarít meg a vizsgált sokk hatására. Hasonló módon képezhető a reziliencia relatív mértékének mutatója (RR_t), amely a következőképpen írható fel adott t -edik időszakra:

$$RR_t = \hat{x}_t^{alt} - \hat{x}_t.$$

Ez a mutató gyakorlatilag azt jelzi, hogy hány százalékponttal lesz kisebb a vizsgált sokk relatív hatása a gazdaság adott változójára, fennáll továbbá az $RR_t = 0$ minden $t < t_s$ esetén.

Végül egy olyan rezilienciaindikátort (RI_t) vezetünk be, amely megmutatja, hogy a gazdasági visszaesés hányad része kerülhető el az új technológia bevezetése révén. Ennek az indikátornak az értéke 0, ha az új technológia nem befolyásolja a sokk lefutását, vagyis $\hat{x}_t^{alt} = \hat{x}_t$, azaz az $RA_t = 0$. Az indikátor értéke pedig 1, ha az új technológia teljes mértékben eliminálja a sokk hatását, vagyis $\hat{x}_t^{alt} = 0$.

$$RI_t = \frac{\hat{x}_t^{alt} - \hat{x}_t}{-\hat{x}_t}.$$

Az eddig bevezetett indikátorok egy-egy időszakra vonatkozóan adják meg a reziliencia számított mértékét. Ezeket a teljes szimulációs horizonton összeadva vagy átlagolva egy olyan teljes rezilienciaindikátort kaphatunk, amely figyelembe veszi az új technológia sérülékenységre gyakorolt hosszú távú hatását vagy az általa biztosított teljes megtakarítást ($X \in \{A, R, I\}$):

$$tRX = \sum_{t=t_0}^T RX_t, \quad aRX = \frac{tRX}{T}.$$

A fenti gondolatmenetnek megfelelően a rezilienciaindikátorokat egy konkrét sokk hatás mellett tudjuk meghatározni. Természetesen ez erősen leszűkítő, hiszen egy adott technológiai módot érdemes többféle sokkhatás alapján is megvizsgálni: bizonyos egzogén sokkok esetén jelentős, más típusú sokkok esetén marginális reziliencia is adódhat. Annak megállapítása külön tanulmányok tárgya lehet, hogy miként lehet megbecsülni a különböző sokkhatások bekövetkezési valószínűségét és együttes előfordulásuk valószínűségét.

Mindenesetre, ha meghatározzuk egy egyedi i -edik sokkhatás eloszlását (akár különböző típusú sokkhatásokat, akár különböző mértékű sokkhatásokat értve ezen), az eddigiekben ismertetett módszertan segítségével valamennyi sokkhatásra ki tudjuk számítani a tRX rezilienciaindikátorokat. Ennek megfelelően utóbbiak megfelelő eloszlása is rendelkezésre fog állni, és tartalmasabb elemzést tesz lehetővé abban a tekintetben, hogy egy-egy új (alternatív) technológia bevezetésének rezilienciára gyakorolt hatása milyen tartományon mozoghat.

A szimulációk során a fent említett négy forgatókönyvet vizsgáltuk meg a GMR modellel. Megvizsgáltuk, hogy egy világszintű kőolajársokk hatására milyen mértékben

csökken a bruttó hozzáadott érték nagysága egymásik (az új) technológia megléte mellett és a nélkül is. Minden sokkhatást (kőolajár, új technológia) a térbeli általános egyensúlyi (SCGE) modellblokkban vezetünk be. Az új technológia integrálása során az előzőkben leírtak szerint bővítjük ki az SCGE-blokkot. A kőolajársokk az SCGE modellben a kőolaj egzogen világgpiaci árának emelését jelenti, amelynek során 2030-ban 25 százalékkal, 2031-ben 50 százalékkal emelkedik az alappályához viszonyított értéke, majd 2033-ra visszatér a kiinduló értékéhez. Az így megdráguló importtermékekre reagáló szereplők interakciói alakítják majd ki az új egyensúlyi állapotot. A kőolajár emelkedése nélküli és az emelkedés mellett adódó egyensúly különbsége tekinthető a kőolajársokk által kiváltott gazdasági hatásnak mindkét esetben (az új technológia mellett és a nélkül). A következőkben ezeket az eredményeket tárgyaljuk.

Eredmények

Az eredményeket tekintve először a kőolajársokk általános hatásait vizsgáljuk meg, majd kitérünk a regionális hatásokra (Baranya vármegyére vonatkozóan), és ezt lebontjuk a különböző ágazatok szintjére is. Végül az új technológia országos hatásait is részletesen számszerűsítjük.

Az elemzés időtávját tekintve a hidrogénteknológiához kapcsolódóan a szükséges beruházások 2026-ban történnek meg. A megtermelt hidrogén a helyi tömegközlekedésben, a buszok ellátásában hasznosul, ezáltal csökkentve az ágazat hagyományos üzemanyagigényét és az az iránti kitétséget. Ahogy korábban írtuk, összesen négy forgatókönyvünk van: 1. nincs hidrogénteknológia és sokkhatás, 2. nincs hidrogénteknológia, de van sokkhatás, 3. nincs sokkhatás, de van hidrogénteknológia, és 4. van sokkhatás és hidrogénteknológia is. A sokk – amelyre elvégeztük a rezilienciaszimulációkat – egy 2030-ban bekövetkező 50 százalékos kőolajimportárnövekedés; két szakaszban zajlik: az első évben 25 százalékkal növekszik az ár, majd 2031-ben éri el az eredeti ár 50 százalékos mértékét.

A sokk hatásai

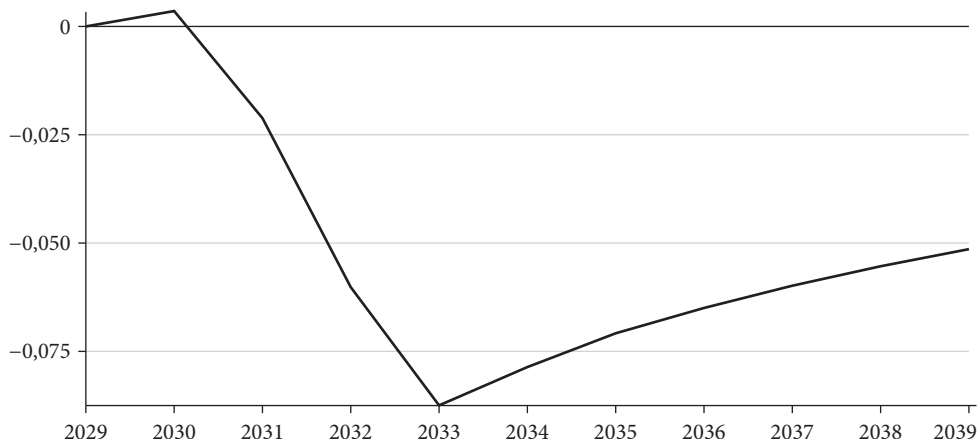
A sokk lényegében a kőolaj világgpiaci árát növeli a modellben. Ennek hatására megemelkedik a *nemzetgazdaságban* az ágazatok ráfordításainak költsége, amely pedig tovagyűrűzik a végtermékek áraiba is, így csökken a kereslet a termékek iránt, ami miatt végül csökkennek az ágazati kibocsátások. Ez a csökkenés lényegében csak a sokk éveiben következik be: a hozzáadott érték visszaesése fokozatosan erősödik 2031 és 2033 között, amikor is a legnagyobb arányú visszaesés 0,0874 százalékos az alappályához mérve (5. ábra). A sokk megszűnését követően a kibocsátás és a bruttó hozzáadott érték gyors ütemben kezd konvergálni az alappályához. Érdekeség ugyanakkor, hogy a sokkhatás első évében (2030) enyhe emelkedés figyelhető meg a bruttó hozzáadott értékben (0,0035 százalék), ami annak köszönhető, hogy a világpiacon megdráguló kőolajtermékek hatására

a hazai kőolaj-feldolgozó ágazat nagy arányban növeli a termelését, ezáltal kompenzálva a sokk kezdeti negatív hatásait.

5. ábra

A kőolajársokk hatása az országos hozzáadott értékre

Országos bruttó hozzáadott érték változása (százalék)



Forrás: saját szerkesztés.

Ágazati dimenzióban a sokk elsősorban azokban az ágazatokban fejt ki hatásait, amelyek termelésük során intenzíven igénylik a kőolajtermékeket mint termelési inputot. Ezen ágazatok termelési ráfordításai emelkedni fognak, így versenyhátrányba kerülnek. Ezek az ágazatok a következők: szállítás és raktározás, vegyipar, kocszgyártás és kőolaj-feldolgozás. Közülük a fent említettek szerint a kocszgyártás kivétel, mert bár intenzíven vásárol a világpiacra kőolajtermékeket, a hazai kereslet a megdráguló világpiac felől a hazai termelés irányába fordul, így az ágazat végül nem zsugorodik a sokk időszakában. Továbbá azok az ágazatok, amelyek nagy arányban hasznosítják a fenti ágazatok termékeit, termelésük során kisebb mértékben, de hasonlóan negatív hatásokat kénytelenek elszenvedni (például mezőgazdaság, energiaágazat, műanyaggyártás, fémalapanyag-gyártás, építőipar).

A fent leírt folyamatok vezérlik a vármegyei és az egyes térségek között lezajló hatások dinamikáját is. Azokban a térségekben, amelyekben folyik kocszgyártás, emelkedik a termelés a sokk idején (Budapest, Fejér, Komárom-Esztergom). A többi térséget alapvetően a negatív hatások jellemzik, azonban a sokk kifizetését követően mindenhol enyhe negatív hatások maradnak, és a GDP-pályák elkezdnek visszakonvergálni az alappályához. A vármegyék közül azok a térségek teljesítenek rosszabbul, amelyekben a kőolajintenzív tevékenységek aránya a legmagasabb (Veszprém, Borsod-Abaúj-Zemplén, Csongrád-Csanád). Ebben a tekintetben a vizsgálatunk középpontjában lévő Baranya vármegye az országos középmezőnyben van.

E fenti hatásokat képes megváltoztatni egy új technológia bevezetése, esetünkben ez a Baranya vármegyei hidrogén-előállítás. Ahhoz, hogy megértsük

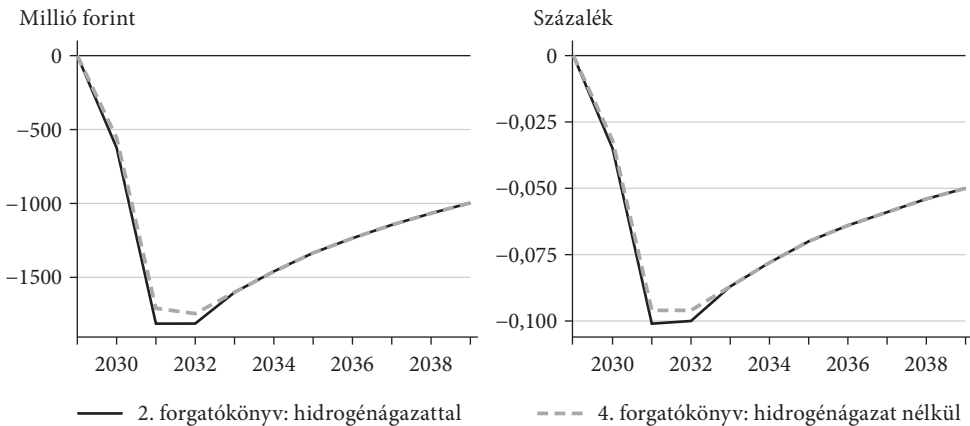
a hidrogénteknológia bevezetésének hatásait, elsőként érdemes feleleveníteni, hogy mely pontokon kapcsolódik be a helyi és az országos gazdasági vérkeringésbe. Egyfelől az új technológia inputvásárlásai révén (lásd A hidrogénalapú mobilitási technológia című alfejezetet) növeli a keresletet bizonyos ágazati termékek iránt (egyéb feldolgozóipar, vízellátás), valamint a termelési tényezők keresletét is (munka és tőke). Ezenfelül a feltételezés szerint az ágazat outputja mint egyfajta energiahordozó teljes mértékben hasznosul a mobilitásban (szállítás és raktározás ágazat).

Regionális reziliencia

A kőolajársokknak a Baranya vármegyei bruttó hozzáadott értékre gyakorolt hatását a 6. ábra szemlélteti úgy, hogy megmutatja, hogy a hidrogénágazattal és a nélkül a sokkhatás következtében mennyivel csökken a hozzáadott érték ahhoz képest, mint ha nem lett volna árnövekedés. Az ábra bal oldalán az abszolút hatást millió forintban tüntettük fel, míg a jobb oldalon a relatív hatás található.

6. ábra

Az áremelkedés hatása Baranyára (százalék)



Látható, hogy a hidrogénágazat nélkül a visszaesés nagyobb, tehát az új technológia reziliencia-szempontról pozitív hatást gyakorol a régióra. Jelentősebb eltérés a sokk első három évében van (hidrogénágazattal, illetve a nélkül rendre): 2030-ban 557, illetve 623 millió forint, 2031-ben 1709 és 1812 millió forint, míg 2032-ben 1745 és 1813 millió forint a visszaesés mértéke. Relatív értelmezésben a vármegyei bruttó hozzáadott érték 2031 és 2033 között az egyes években rendre 0,035, 0,100 és 0,100 százalékkal csökken az alappályához képest, míg a hidrogénteknológia bevezetése ezt a csökkenést az egyes években 0,032, 0,096 és 0,096 százalékra mérsékli. Jelentősebb eltérés a sokk első három évében van, míg a sokk kifizetését követően a két forgatókönyvben elhanyagolható különbség adódik a megyei GVA-alappályához való visszakonvergálásban. Ez alapján úgy tűnik, hogy az új technológia bevezetése

főként a sokkhatás negatív hatásainak mérséklésében játszik szerepet, kevésbé a visszakapaszkodásban. Árnyalva a 6. ábra eredményeit, a korábban bemutatott rezilienciamutatók értékeit a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat

Rezilienciamutatók

Időtáv (t)	Abszolút reziliencia (RA_t)	Relatív reziliencia I. (RR_t)	Relatív reziliencia II. (RI_t)
	millió forint	százalék	
1. év	66,1	0,0038	10,64
2. év	103,2	0,0058	5,74
3. év	68,0	0,0038	3,79
Átlag	79,1	0,0045	6,73
Összesen	232,5	0,0134	20,13

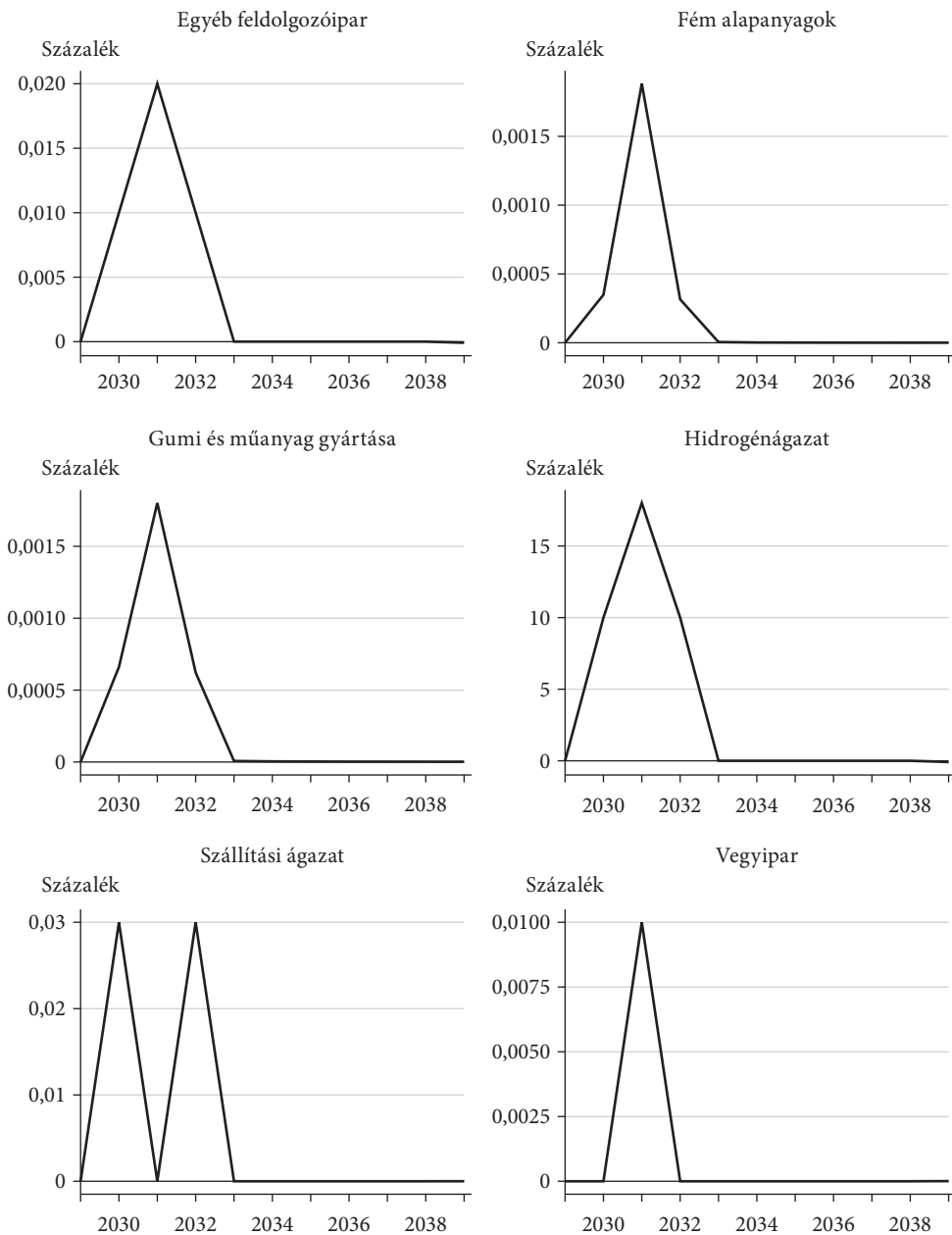
Az abszolút reziliencia azt mutatja meg, hogy mi az a gazdasági hatás, amit a hidrogéntechnológia bevezetése okoz az alapforgatókönyvhöz képest olyan értelemben, hogy a technológia alkalmazása mennyi jövedelmet (GVA) takarít meg egy lokációnak az adott sokkhatás esetén. Másképpen, a mutató a 6. ábra két pályája közötti különbséget ragadja meg. A hidrogénágazat legnagyobb hatása e mutató szerint a 2. évben van, ekkor a hidrogénágazat mellett a régió 103,2 millió forintnyi jövedelmet tud megtakarítani, míg ha a teljes időhorizontot nézzük 2039-ig, akkor ez összesen 232,5 millió forintot jelent.

Mivel a különböző forgatókönyvek esetében más-más jövedelem keletkezik a régióban, ezért külön számszerűsítettük a reziliencia relatív mértékét is. Az RR_t azt mutatja meg, hogy a visszaesés hány százalékponttal kisebb a hidrogéntechnológia esetén ahhoz képest, mint ha nem lenne ez az új technológia. E tekintetben az új ágazat hatása rendkívül elenyésző, ami a teljes baranyai hozzáadott érték tekintetében természetesnek mondható. A teljes időszakra nézve a régió a visszaesés mindössze 0,0134 százalékpontos mértékét tudja megtakarítani. Ezzel szemben, ha az RI_t mutatót nézzük, akkor az ágazat hatása máris jelentősebbnek tűnik. Ez a mutató azt ragadja meg, hogy az új technológia mekkora hányadát menti meg a sokkhatásnak. Ha az érték 0 százalék, akkor a hidrogéntechnológia telepítésének nincsen hatása, a sokk ugyanakkora hatást gyakorol a régióra, mint a technológia nélkül. Ha az érték 100 százalék, akkor a sokk semmilyen hatást nem gyakorol a régióra, teljesen ellenáll neki. Tehát minél nagyobb értéket kapunk, annál reziliensebb a régió. Ebben az esetben látható, hogy az új technológia az árnövekedés első évében tudja megmenteni a sokkot követő visszaesés legnagyobb hányadát, 10,64 százalékot. Ez azonban évről évre folyamatosan csökken. A teljes időszak alatt, 2030–2039 között összesen 20,13 százalékot ment meg a technológia, viszont ennek jelentős része az első három évben realizálódik.

A rezilienciát szét tudjuk osztani az egyes ágazatok szintjén is a vármegyén belül, ezt mutatja meg a 7. ábra.

7. ábra

Az ágazati relatív reziliencia alakulása Baranya vármegyében



Forrás: saját szerkesztés.

Az ágazati dimenzió szerint a rezilienciához elsődlegesen a hidrogéntekológia járul hozzá, azonban ennek következtében azok az ágazatok is jelentős hatást fejtenek ki, amelyek alapvetően energaintenzív jellegűek (például vegyipar), mivel

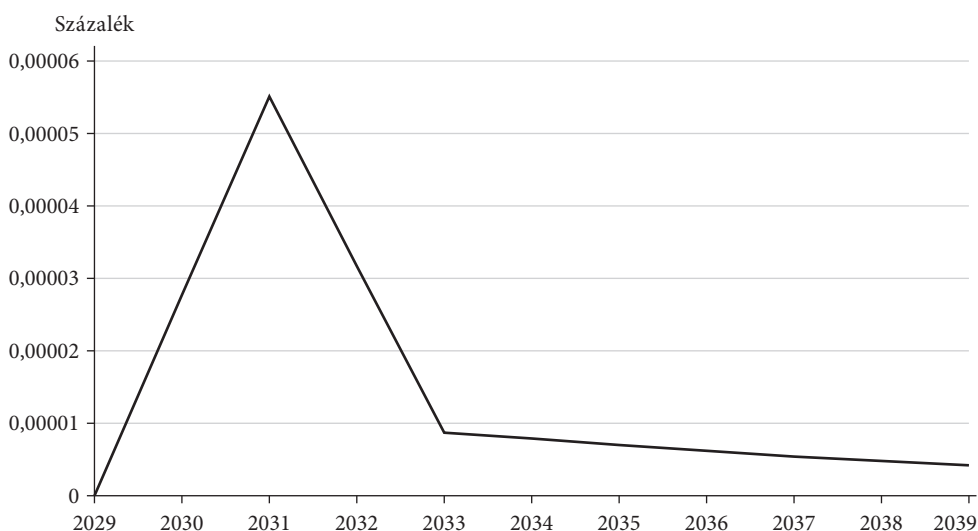
a szállítási ágazat kőolajkeresletének egy részét a hidrogén kiváltja, így a többi ágazat relatíve olcsóbban juthat kőolajinpushoz, ami összességében pozitívan érinti a szállítási ágazatot is. Érdekes ugyanakkor, hogy a hidrogénágazat korlátozott kapacitásai miatt az olajár további emelkedésével 2031-ben már nem tudott hozzájárulni a reziliencia erősödéséhez a szállítási ágazaton keresztül. Ez magyarázza az ágazat *M* betűre hasonlító pályáját a 7. ábrán. Továbbá azok az ágazatok is erősítik a rezilienciát, amelyek erősen támaszkodnak a kőolaj-, illetve vegyipari termékekre, hiszen ezen inputok ára kisebb mértékben emelkedik (például műanyaggyártás, fémalapanyag-feldolgozás). Végül szintén hozzájárulnak a reziliencia erősödéséhez az új technológia által intenzíven igényelt inputokat előállító ágazatok is (egyéb feldolgozóipar).

Országos reziliencia

A hidrogéntekológia tulajdonképpen hozzájárul a *nemzetgazdaság* világpiaci energiafüggésének csökkentéséhez. Jól látható ez abban, hogy a hidrogéntekológia mellett a sokk hatására a hazai kőszgyártás kevésbé emelkedik, mivel az új energia-hordozó termelése miatt kisebb mértékben van szükség kőolajra. Ennek következtében a kőolaj világpiaci árának emelkedése kisebb mértékű negatív gazdasági hatásokat képes okozni, vagyis összességében javul a nemzetgazdaság ellenálló képessége. A 8. ábra szerint a sokk időszakai alatt a GDP valóban kisebb mértékben esik vissza, és azt követően gyorsabb ütemben kezd visszakonvergálni az alappályához az új technológia következtében.

8. ábra

Az országos GDP-pályák alakulásának különbsége



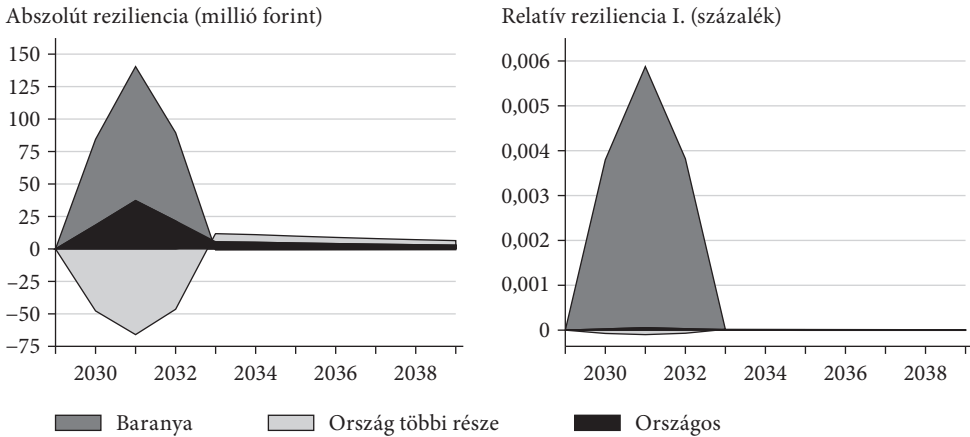
Forrás: saját szerkesztés.

Az új technológia hatására a GDP 0,00005 százalékkal kisebb mértékben esik vissza az alappályához képest, és a sokk kifutása után is magasabb pályán mozog. Jóllehet a technológia méretéből fakadóan e hatások elhanyagolhatóan kicsik a nemzetgazdaság szempontjából, azonban eredményeink rámutatnak azokra a fontos kapcsolódási pontokra, amelyek egy-egy sokkhatás esetében relevánsak a reziliencia erősítése kapcsán.

Bár országos szinten enyhe mértékben, de erősödött a gazdaság rezilienciája (9. ábra), ennek térbeli eloszlása nagy eltéréseket mutat.

9. ábra

A vármegyei abszolút és relatív reziliencia alakulása



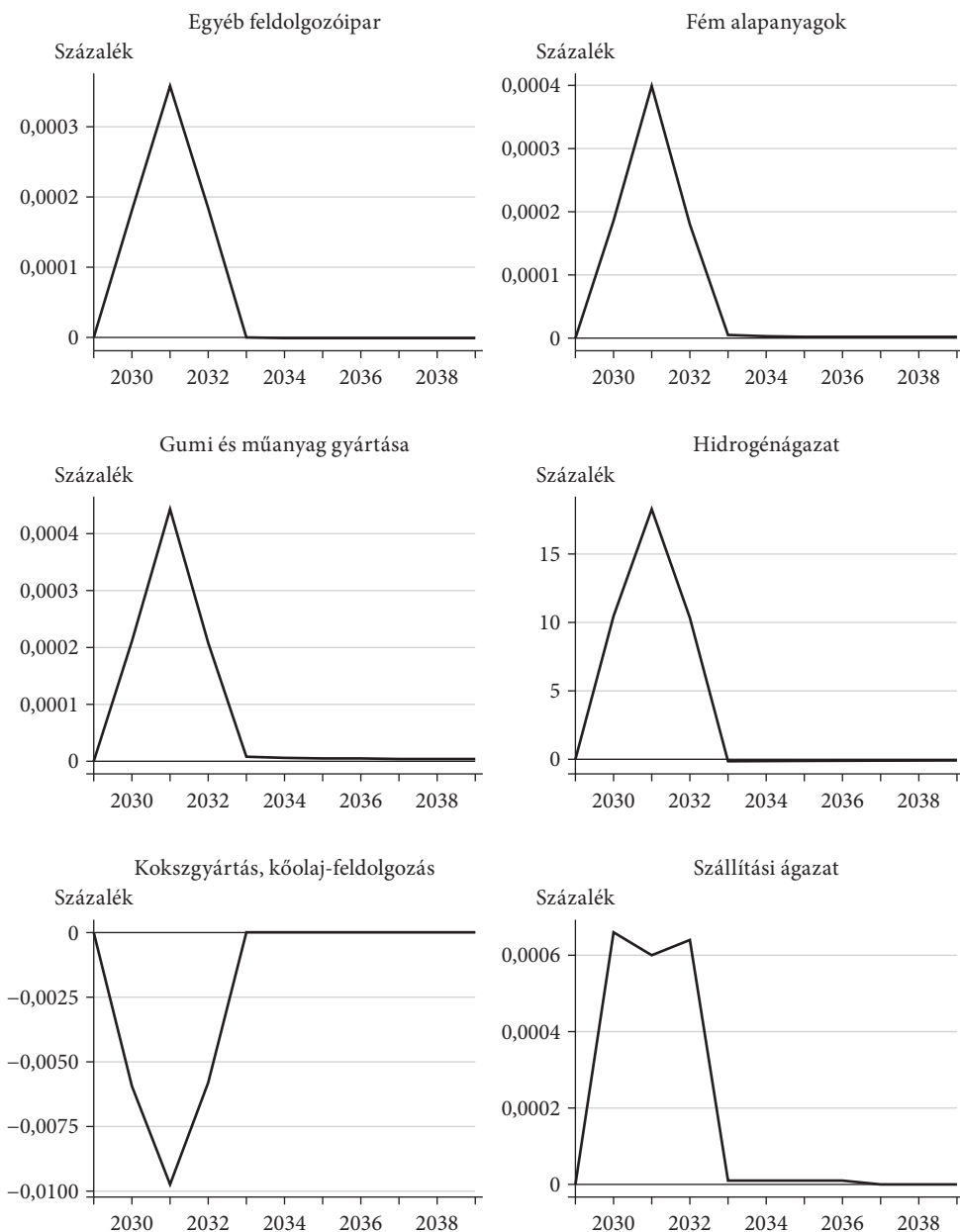
Forrás: saját szerkesztés.

A relatív hatások alapján látható, hogy az új technológia bevezetése miatt elsődlegesen Baranya járul hozzá erősen a rezilienciához. Emellett azonban az ország többi megyéje esetében is keletkezik némi (bár alig érzékelhető) pozitív tovaryűző hatás, vagyis az egyes térségek a hidrogéntechnológia mellett kevésbé estek vissza, mint nélküle. Ez alól néhány olyan térség kivétel, amelyek termelésében jelentős részarányt képez a kocszgyártás és kőolaj-feldolgozás ágazat. Ez elsődlegesen Budapestet, illetve Komárom-Esztergom és Fejér vármegyét jelenti.

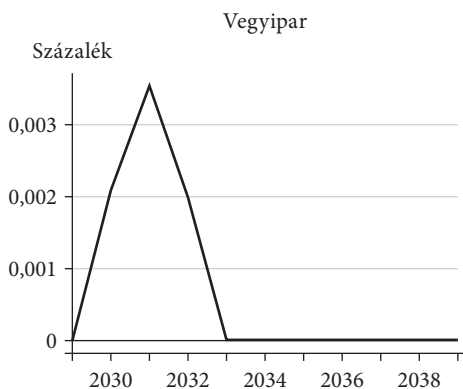
Ágazati szempontból hasonló folyamatok mondhatók el országosan, mint Baranya esetében (10. ábra). A hidrogéntechnológia, az energaintenzív ágazatok, valamint a kapcsolódó iparágak egyaránt erősítik a rezilienciát. A kocszgyártás és kőolaj-feldolgozás azonban negatív módon hat: a hidrogéntechnológia mellett a hazai termelés kevésbé képes növekedni a negatív sokk hatására, így ez az ágazat kisebb mértékben erősíti a gazdaságot.

10. ábra

Az országos reziliencia változása ágazatok szerint



A 10. ábra folytatása



Forrás: saját szerkesztés.

Következtetések

A tanulmány átfogóan elemzi a hidrogéntechnológia bevezetésének gazdasági és rezilienciára gyakorolt hatásait Baranya vármegyében és országosan. Módszertani szempontból az elemzés egy térbeli általános egyensúlyi modell, valamint mikroadatok felhasználásával történt. Ehhez egy pécsi, napenergia-alapú mobilitás számára zöld-hidrogént előállító projekt adatait gyűjtöttük be, majd új ágazatként betápláltuk az általános egyensúlyi modellbe. Végül megvizsgáltuk, hogy egy 2030 és 2033 között bekövetkező, illetve kifutó 50 százalékos világpiaci kőolajár-emelkedés miként érinti az ország és Baranya vármegye gazdasági teljesítményét a hidrogéntechnológia megléte mellett és a nélkül, ezzel szimulálva a technológia gazdasági rezilienciára gyakorolt hatását. A tanulmány fő következtetései a következők.

A hidrogénalapú tömegközlekedés csökkenti a hagyományos üzemanyagok iránti keresletet (így az attól való függést), ezzel mérsékelve a fosszilis üzemanyagok árának ingadozásaiból eredő gazdasági kockázatokat. Továbbá a hidrogéntechnológia bevezetése növeli a helyi gazdaság keresletét bizonyos ágazatok iránt, mint például az egyéb feldolgozóipar és a vízellátás. Emellett növeli az elsődleges erőforrások (munka, tőke) iránti keresletet is. Ezen csatornákon keresztül a hidrogéntechnológia bevezetése növelheti a régió rezilienciáját, különösen az olyan külső sokkokkal szemben, mint a kőolaj világpiaci árának emelkedése.

Eredményeink szerint a vizsgált időszakban a hidrogéntechnológia bevezetése valóban csökkentette a kőolajársokk negatív hatásait. A Baranya vármegyei bruttó hozzáadott érték (GVA) visszaesése összesen 232,5 millió forinttal (0,00134 százalék) mérséklődött. Ezen „megtakarítás” döntő hányada azonban a sokk bevezetésének időszakára koncentrálódik, így a hidrogéntechnológia főként a sokkhatás közvetlen hatásainak mérséklésében játszik szerepet, míg a gazdaság visszakapaszkodása szempontjából kevésbé jelentős.

Bár a hidrogéntekológia méretét tekintve nem jelentős, így is generál a régió határain túlra nyúló enyhe tovagyrűrűzű hatásokat. Azokban a térségekben, amelyekben folyik kokszygártás és kőolaj-feldolgozás, csökkent a regionális reziliencia, mivel a hidrogéntekológia csökkenti az általuk előállított termék keresletét, így az olajársokk okozta áremelkedés mellett kevésbé emelkedik a termelésük. Az ország egyéb területeire ezzel szemben pozitív hatásokat gyakorol a technológia, főként azon térségekre, amelyekben dominánsan működnek energaintenzív ágazatok. Ezeknek a hatásoknak az országos eredője összességében pozitív, így a technológia bevezetése növeli az ország ellenálló képességét. Mivel a baranyai tevékenység volumenét tekintve nem jelentős, így a rezilienciára gyakorolt hatások is kismértékűek.

A jövőbeni kutatások megvizsgálhatják a hidrogéntekológia más régiókban, illetve más méretben való működtetésének következményeit és rezilienciára gyakorolt hatásait. További vizsgálati terület lehet a hidrogén mobilitáson kívül történő alkalmazása, valamint az is érdekes kutatási kérdés volna, hogy a hidrogéntekológia működtetése milyen mértékű állami támogatás mellett lehet versenyképes.

Hivatkozások

- ACEMOGLU, D.–CARVALHO, V. M.–OZDAGLAR, A.–TAHBAZ-SALEHI, A. [2012]: The network origins of aggregate fluctuations. *Econometrica*, Vol. 80. 1977–2016. o. <https://doi.org/10.3982/ecta9623>.
- ALESSI, L.–BENCZUR, P.–CAMPOLONGO, F.–CARIBONI, J.–MANCA, A. R.–MENYHERT, B.–PAGANO, A. [2020]: The resilience of EU member states to the financial and economic crisis. *Social Indicators Research*, Vol. 148. 569–598. o. <https://doi.org/10.1007/s11205-019-02200-1>.
- ALLESINA, S.–AZZI, A.–BATTINI, D.–REGATTIERI, A. [2010]: Performance measurement in supply chain: New network analysis and entropic indexes. *International Journal of Production Research*, Vol. 48. 2297–2321. o. <https://doi.org/10.1080/00207540802647327>.
- ANNARELLI, A.–NONINO, F. [2016]: Strategic and operational management of organizational resilience: Current state of research and future directions. *Omega*, Vol. 62. 1–18. o. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.08.004>.
- ANSELIN, L.–VARGA ATTILA–ACS, Z. J. [1997]: Local geographic spillovers between university research and high technology innovations. *Journal of Urban Economics*, Vol. 42. No. 3. 422–448. o. <https://doi.org/10.1006/juec.1997.2032>.
- ARMINGTON, P. A. [1969]: Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production. *IMF Economic Review*, Vol. 16. No. 1. 159–178. o.
- ARTO, I.–ANDREONI, V.–RUEDA CANTUCHE, J. M. [2015]: Global impacts of the automotive supply chain disruption following the Japanese earthquake of 2011. *Economic Systems Research*, Vol. 27. 306–323. o. <https://doi.org/10.1080/09535314.2015.1034657>.
- ATUESTA, L.–HEWINGS, G. [2013]: Economic welfare analysis of the legalization of drugs: A CGE microsimulation model for Colombia. *Economic Systems Research*, Vol. 25. No. 2. 190–211. o. <https://doi.org/10.1080/09535314.2012.728130>.
- BALDWIN, R.–LOPEZ-GONZALEZ, J. [2015]: Supply-chain trade: A portrait of global patterns and several testable hypotheses. *The World Economy*, Vol. 38. 1682–1721. o. <https://doi.org/10.1111/twec.12189>.

- BAQAEE, D.-FARHI, E. [2020]: Nonlinear production networks with an application to the covid-19 crisis. Technical Report. NBER Working Paper, No. 27281. <https://doi.org/10.3386/w27281>.
- BAQAEE, D.-FARHI, E. [2022]: Supply and demand in disaggregated keynesian economies with an application to the covid-19 crisis. *American Economic Review*, Vol. 112. 1397–1436. o. <https://doi.org/10.1257/aer.20201229>.
- BARBERO, J.-DE LUCIO, J. J.-RODRIGUEZ-CRESPO, E. [2021]: Effects of covid-19 on trade flows: Measuring their impact through government policy responses. *PLoS One*, Vol. 16. No. 10. e0258356, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258356>.
- BARROT, J. N.-GRASSI, B.-SAUVAGNAT, J. [2021]: Sectoral effects of social distancing. *AEA Papers and Proceedings*, Vol. 111. 277–281. o. <https://doi.org/10.1257/pandp.20211108>.
- BAYAR, A. [2007]: Simulation of R&D Investment Scenarios and Calibration of the Impact on a Set of Multi-Country Models. European Commission DG JRC. Institute for Prospective Technological Studies (IPTS).
- BERG, R. K.-ESKILDSEN, J. B. [2019]: Modelling the Energy Sector in a Computable General Equilibrium Framework: A new approach to integrated bottom-up and top-down modelling. University of Copenhagen, Department of Economics Faculty of Social Sciences.
- BLANCHFLOWER, D. G.-OSWALD, A. J. [2005]: The wage curve reloaded. NBER Working Paper, No. 11338. <http://www.nber.org/papers/w11338>.
- BOEHM, C. E.-FLAAEN, A.-PANDALAI-NAYAR, N. [2019]: Input linkages and the transmission of shocks: Firm-level evidence from the 2011 tohoku earthquake. *Review of Economics and Statistics*, Vol. 101. 60–75. o. https://doi.org/10.1162/rest_a_00750.
- BONADIO, B.-HUO, Z.-LEVCHENKO, A. A.-PANDALAI-NAYAR, N. [2021]: Global supply chains in the pandemic. *Journal of International Economics*, No. 103534. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2021.103534>.
- BOSMA, N.-ROMERO LUNA, I.-DIETZENBACHER, E. ET AL. [2005]: Using average propagation lengths to identify production chains in the andalusian economy. *Estudios de Economía Aplicada*, Vol. 23. No. 2. 405–422. o.
- BRANDON-JONES, E.-SQUIRE, B.-AUTRY, C. W.-PETERSEN, K. J. [2014]: A contingent resource-based perspective of supply chain resilience and robustness. *Journal of Supply Chain Management*, Vol. 50. 55–73. o. <https://doi.org/10.1111/jscm.12050>.
- BRAUN ERIK-BRAUN EMESE-GYIMESI ANDRÁS-ILOSKICS ZITA-SEBESTYÉN TAMÁS [2023]: Exposure to trade disruptions in case of the Russia-Ukraine conflict: A product network approach. *The World Economy*, Vol. 46. 2950–2982. o. <https://doi.org/10.1111/twec.13417>.
- CAI, Y.-ARORA, V. [2015]: Disaggregating electricity generation technologies in CGE models: A revised technology bundle approach with an application to the U.S. Clean Power Plan. *Applied Energy*, Vol. 154. 543–555. o. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.041>.
- CARVALHO, V. M.-NIREI, M.-SAITO, Y. U.-TAHBAZ-SALEHI, A. [2021]: Supply chain disruptions: Evidence from the great East Japan earthquake. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 136. 1255–1321. o. <https://doi.org/10.1093/qje/qjaa044>.
- CATTANEO, O.-GEREFFI, G.-STARITZ, C. [2010]: Global value chains in a postcrisis world: a development perspective. World Bank, Washington, DC.
- CHEPELIEV, M.-HERTEL, T.-VAN DER MENSBRUGGHE, D. [2022]: Cutting Russia's fossil fuel exports: Short-term economic pain for long-term environmental gain. *The World Economy*, Vol. 45. 3314–3343. o. <https://doi.org/10.1111/twec.13301>.
- CHRISTOPHER, M.-PECK, H. [2004]: Building the resilient supply chain. *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 15. 1–14. o. <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>.

- DIETZENBACHER, E.–LAHR, M. L. [2013]: Expanding extractions. *Economic Systems Research*, Vol. 25. 341–360. o. <https://doi.org/10.1080/09535314.2013.774266>.
- DIETZENBACHER, E.–ROMERO, I. [2007]: Production chains in an interregional framework: Identification by means of average propagation lengths. *International Regional Science Review*, Vol. 30. 362–383. o. <https://doi.org/10.1177/0160017607305366>.
- EC [2021]: Resilience Dashboards for the Social and Economic. Green, Digital, and Geopolitical Dimensions. European Commission.
- ELIASSON, G. [1985]: The firm and financial markets in the Swedish micro-to-macro model: theory, model, and verification. Industrial Institute for Economic & Social Research, Stockholm.
- ESRI [2002]: An Examination of the ex-post macroeconomic impacts of CSF 1994–1999 on Objective 1 countries and regions. The Economic and Social Research Institute, Dublin.
- FANG, H.–GE, C.–HUANG, H.–LI, H. [2020]: Pandemics, Global Supply Chains, and Local Labor Demand: Evidence from 100 Million Posted Jobs in China. NBER Working Paper Series, No. 28072. <https://doi.org/10.3386/w28072>.
- FOLKE, C.–CARPENTER, S. R.–WALKER, B.–SCHEFFER, M.–CHAPIN, T.–ROCKSTRÖM, J. [2010]: Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, Vol. 15. No. 4. 20. o. <https://doi.org/10.5751/es-03610-150420>.
- FREUND, C.–MATTOO, A.–MULABDIC, A.–RUTA, M. [2022]: Natural disasters and the reshaping of global value chains. *IMF Economic Review*, Vol. 70. 590–623. o. <https://doi.org/10.1057/s41308-022-00164-w>.
- GALYCHYN, O.–FATH, B.–BUONOCORE, E.–FRANZESE, P. [2022]: Ecological network analysis of a metabolic urban system based on input–output tables: Model development and case study for the city of Vienna. *Cleaner Production Letters*, Vol. 3. 100019. <https://doi.org/10.1016/j.clpl.2022.100019>.
- GAO, J.–BARZEL, B.–BARABÁSI, A. L. [2016]: Universal resilience patterns in complex networks. *Nature*, Vol. 530. 307–312. o. <https://doi.org/10.1038/nature16948>.
- GIAMMETTI, R.–PAPI, L.–TEOBALDELLI, D.–TICCHI, D. [2020]: The Italian value chain in the pandemic: the input–output impact of covid-19 lockdown. *Journal of Industrial and Business Economics*, Vol. 47. 483–497. o. <https://doi.org/10.1007/s40812-020-00164-9>.
- GRAZZINI, J.–SPELTA, A. [2022]: An empirical analysis of the global input–output network and its evolution. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 594. 126993. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.126993>.
- GUAN, D.–WANG, D.–HALLEGATTE, S.–DAVIS, S. J.–HUO, J.–LI, S.–BAI, Y.–LEI, T.–XUE, Q.–COFFMAN, D. [2020]: Global supply-chain effects of covid-19 control measures. *Nature Human Behaviour*, Vol. 4. 577–587. o. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0896-8>.
- HAFELE, J.–BERTRAM, L.–DEMITRY, N.–LE LANNOU, L. A.–KORINEK, L.–BARTH, J. [2023]: The Economic Resilience Index: assessing the ability of EU economies to thrive in times of change. ZOE Institute for Future-fit Economies, Köln.
- HOLLING, C. S. [1973]: Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 4. 1–23. o. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>.
- HUANG, J.–ULANOWICZ, R. [2014]: Ecological network analysis for economic systems: Growth and development and implications for sustainable development. *PLoS ONE*, Vol. 9. No. 6. e100923. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100923>.
- ILOSKICS ZITA–BRAUN ERIK–SEBESTYÉN TAMÁS [2021]: Shock propagation channels behind the global economic contagion network. The role of economic sectors and the direction of trade. *PLoS One*, Vol. 16. e0258309. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258309>.

- JACKSON, R. W. [1998]: Regionalizing National Commodity-by-Industry Accounts. *Economic Systems Research*, Vol. 10. No. 3. 223–238. o. <https://doi.org/10.1080/762947109>.
- JOHNSON, R. C. [2018]: Measuring global value chains. *Annual Review of Economics*, Vol. 10. 207–236. o. <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080217-053600>.
- JOHNSON, R. C.–NOGUERA, G. [2012]: Accounting for intermediates: Production sharing and trade in value added. *Journal of International Economics*, Vol. 86. 224–236. o. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2011.10.003>.
- LIU, X.–ORNELAS, E.–SHI, H. [2022]: The trade impact of the covid-19 pandemic. *The World Economy*, Vol. 45. 3751–3779. o. <https://doi.org/10.1111/twec.13279>.
- MAHLSTEIN, K.–MCDANIEL, C.–SCHROPP, S.–TSIGAS, M. [2022]: Estimating the economic effects of sanctions on Russia: an allied trade embargo. *The World Economy*, Vol. 45. 3344–3383. o. <https://doi.org/10.1111/twec.13311>.
- MARTINI, B. [2020]: Resilience and economic structure. Are they related? *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 54. 62–91. o. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2020.03.006>.
- MILLER, R. E.–BLAIR, P. D. [2009]: *Input-output analysis: foundations and extensions*. Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626982>.
- MIROUDOT, S. [2020a]: Reshaping the policy debate on the implications of covid-19 for global supply chains. *Journal of International Business Policy*, Vol. 3. 430–442. o. <https://doi.org/10.1057/s42214-020-00074-6>.
- MIROUDOT, S. [2020b]: Resilience versus robustness in global value chains: Some policy implications. Megjelent: *Baldwin, R. E.–Evene, S. J.* (szerk.): *COVID-19 and trade policy: Why turning inward won't work*. CEPR Press, 117–130. o.
- PHIMISTER, E.–ROBERTS, D. [2017]: Allowing for uncertainty in exogenous shocks to CGE models: the case of a new renewable energy sector. *Economic Systems Research*, Vol. 29. No. 4. 509–527. o. <https://doi.org/10.1080/09535314.2017.1309520>.
- PIMM, S. L. [1984]: The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, Vol. 307. 321–326. o. <https://doi.org/10.1038/307321a0>.
- RATTO, M.–ROEGER, W.–IN'T VELD, J. [2009]: QUEST III: An estimated open-economy DSGE model of the euro area with fiscal and monetary policy. *Economic Modelling*, Vol. 26. No. 1. 222–233. o. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2008.06.014>.
- REGGIANI, A.–DE GRAAFF, T.–NIJKAMP, P. [2002]: Resilience: an evolutionary approach to spatial economic systems. *Networks and Spatial Economics*, Vol. 2. 211–229. o. <https://doi.org/10.1023/A:1015377515690>.
- SCHALK, H.–VARGA ATTILA [2004]: The economic effects of EU Community Support Framework interventions. An ex-ante impact analysis with EcoRET, a macroeconomic model for Hungary. Center of Applied Economic Research Münster (CAWM)–University of Münster, Münster.
- SCHEFFER, M. [2009]: *Critical Transitions in Nature and Society*. Princeton University Press, Princeton–New Jersey.
- SCHUMACHER, K.–SANDS, R. D. [2007]: Where are the industrial technologies in energy-economy models? An innovative CGE approach for steel production in Germany. *Energy Economics*, Vol. 29. No. 4. 799–825. o. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.12.007>.
- SEBESTYÉN TAMÁS–VARGA ATTILA [2013]: Research productivity and the quality of interregional knowledge networks. *Annals of Regional Science*, Vol. 51. No. 1. 155–189. o. <https://doi.org/10.1007/s00168-012-0545-x>.
- STEINBACH, S. [2023]: The Russia–Ukraine war and global trade reallocations. *Economics Letters*, Vol. 226. 111075. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2023.111075>.

- SZABÓ NORBERT [2015]: A regionális input-output táblák becslési módszerei. *Területi Statisztika*, 55. évf. 1. sz. 3–27. o.
- TÓTH GERGŐ–ELEKES ZOLTÁN–WHITTLE, A.–LEE, C.–KOGLER, D. F. [2022]: Technology network structure conditions the economic resilience of regions. *Economic Geography*, Vol. 98. 355–378. o. <https://doi.org/10.1080/00130095.2022.2035715>.
- VARGA ATTILA [2000]: Local academic knowledge transfers and the concentration of economic activity. *Journal of Regional Science*, Vol. 40. No. 2. 289–309. o. <https://doi.org/10.1111/0022-4146.00175>.
- VARGA ATTILA [2007]: GMR-Hungary: A complex macro-regional model for the analysis of development policy impacts on the Hungarian economy. PTE KTK KRTI Working Papers, 2007/4. <https://ideas.repec.org/p/pec/wpaper/2007-4.html>.
- VARGA ATTILA [2017]: Place-based, spatially blind, or both? Challenges in estimating the impacts of modern development policies: the case of the GMR policy impact modeling approach. *International Regional Science Review*, Vol. 40. No. 1. 12–37. o.
- VARGA ATTILA–BAYPINAR, M. [2016]: Economic impact assessment of alternative European Neighborhood Policy (ENP) options with the application of the GMR-Turkey model. *The Annals of Regional Science*, Vol. 56. 153–176. o. <http://dx.doi.org/10.1007/s00168-015-0725-6>.
- VARGA ATTILA–HAU–HORVÁTH ORSOLYA–SZABÓ NORBERT–SÁROSI PÉTER [2013]: A GMR–Európa modell alkalmazása kék gazdaság típusú innovációk hatásvizsgálatára. *Területi Statisztika*, 53. évf. 5. sz. 411–434. o.
- VARGA ATTILA–SEBESTYÉN TAMÁS–SZABÓ NORBERT–SZERB LÁSZLÓ [2020]: Estimating the economic impacts of knowledge network and entrepreneurship development in smart specialization policy. *Regional Studies*, Vol. 54. No. 1. 48–59. o. <https://doi.org/10.1080/00343404.2018.1527026>.