

## Tudáshálózatok szerepe a regionális fejlődésben – egy integrált modell alkalmazásának tapasztalatai a magyar régiók esetében\*

---

**Hau-Horváth Orsolya,**  
az MTA-PTE Innováció és Gazdasági Növekedés Kutatócsoport tudományos segédmunkatársa

E-mail: hau@ktk.pte.hu

**Sebestyén Tamás,**  
a Pécsi Tudományegyetem adjunktusa; az MTA-PTE Innováció és Gazdasági Növekedés Kutatócsoport tudományos munkatársa

E-mail: sebestyent@ktk.pte.hu

**Varga Attila,**  
a Pécsi Tudományegyetem egyetemi tanára; az MTA-PTE Innováció és Gazdasági Növekedés Kutatócsoport vezetője

E-mail: vargaa@ktk.pte.hu

Tanulmányukban a szerzők egy ágensalapú modellt mutatnak be, amely régiók közötti kutatási együttműködési kapcsolatok szimulációjára alkalmas. A modell központi eleme egy gravitációs egyenlet, amely egyben megkönnyíti az ágensalapú modelleknél rendszerint problematikus empirikus illesztést is. Ezt követően ismertetnek egy eljárást<sup>1</sup> a modell adatokhoz történő illesztésére, majd a GMR-Europe hatáselemző modell keretében egy illusztratív szimulációt mutatnak be a hazai régiókra. A szimuláció tapasztalatai szerint a modell képes megragadni a hálózatformálódás komplex dinamikájának lényeges szempontjait.

TÁRGYSZÓ:  
Innovációs hálózatok.  
GMR-modell.  
Régiók közötti tudástranszfer.  
Ágensalapú modell.

DOI: 10.20311/stat2016.02.hu0117

---

\* A kutatás az OTKA-K101660 projekt támogatásával valósult meg. A tanulmány szerzői köszönettel tartoznak Kovács Áronnak és Longauer Dórának a felhasznált adatok előkészítése során végzett segítségükért, valamint Járosi Péternek a GMR-modell futtatása kapcsán végzett hozzájárulásáért.

<sup>1</sup> A munkában felhasznált európai régiókra becsült GMR-modell részletes leírása megtalálható Varga–Járosi–Sebestyén [2014] tanulmányában, itt csak a legfontosabb elemeket emeljük ki.

Az innovációval foglalkozó szakirodalom rámutat arra, hogy az innovációs folyamat nem elszigetelt szereplők egyedi döntéseiből és munkájából áll össze, hanem kollektív, számos résztvevő (innovatív vállalatok, magán- és közösségi forrásból finanszírozott kutatóhelyek, üzleti szolgáltatók) interakcióját igénylő folyamat (Lundvall [2010]). Kiterjedt kutatások foglalkoznak a tudás lokális áramlásából származó előnyökkel (agglomerációs előnyök), kiemelve, hogy az innovációs együttműködések igényelte közelség újabb szereplők bevonása révén, kumulatív fejlődési pályákat tud kialakítani azon régiókban, ahol a tudás, az innovációhoz szükséges intézmények, szereplők egy kritikus tömege már megjelent (Fujita–Thisse [2002], Varga–Pontikakis–Chorafakis [2014]).

Számos tanulmány bizonyítja viszont azt is, hogy bizonyos típusú tudások áramlása, beleértve az innovációs együttműködések is, nem minden esetben igényel térbeli közelséget, így e kapcsolatrendszerek régiókon átívelő rendszere (hálózata) jön létre, amelyek szintén fontos szerepet játszanak az egyes régiók innovatív teljesítményében (Autant–Bernard–Billant–Massard [2007], Basile–Capello–Caragliu [2012], Sebestyén–Varga [2013a]). Az is felvethető tehát, hogy azokban a régiókban, ahol a helyi erőforrásokra (szereplők kritikus tömege, tudásbázis, iparágak) alapozott innováció nehezebb, a külső, régióon kívüli kapcsolatok fontos szerepet játszhatnak ezen erőforrások becsatornázásában, egyfajta helyettesítő szerepet is betöltve (Johansson–Quigley [2009]).

Az extraregionális tudáselemeknek a regionális fejlődésben játszott szerepét vizsgáló empirikus tanulmányok megjelenése egészen friss fejlemény. Varga és Sebestyén [2013], [2015] európai régiók térökonometriai elemzése során jutnak arra a következtetésre, hogy míg az EU-keretprogramok által közvetített tudásmennyiség szignifikáns szerepet játszik Kelet-Közép-Európa kevésbé fejlett régióiban, addig az EU nyugati felén ezt a hatást nem tapasztalni. Ebben a megközelítésben tehát egy potenciális fejlesztéspolitikai irány lehet a tudáshálózatok fejlesztése, amely a külső források becsatornázásán keresztül közvetetten és a helyi innovatív bázis fejlesztésén keresztül közvetlenül is hozzájárulhat egy adott régió gazdasági erejének növekedéséhez. Különösen az elmaradottabb, saját innovatív erőforrásokkal szűkösen ellátott régiókban (mint a kelet-közép-európai régiók nagy része) lehet hasznos ez a megközelítés.

Jelen tanulmányunkban is az extraregionális tudás potenciális szerepét vizsgáljuk a regionális fejlődésben egy alternatív elemzési rendszer kidolgozása révén. Arról mutatunk be egy kísérletet, hogy a kutatási együttműködések kialakulása miként modellezhető regionális szinten, és egy ilyen modell hogyan használható fel fejlesztéspolitikai elemzésekhez. Egy példán keresztül azt vizsgáljuk, hogy a hazai régiók tudományos kapcsolatrendszerének fejlesztése hogyan hat a régiók gazdasági fejlődésére hosszú

távon. Ehhez egy integrált modellkeretet, az innovációs kapcsolatok alakulását szimuláló ágensalapú modellel összekapcsolt GMR-Europe-modellt használjuk.

A tanulmány második fejezetében röviden bemutatjuk a tanulmány elkészültéhez felhasznált gondolatokhoz és módszerekhez vezető szakirodalmi háttérrel.

A harmadik fejezetben részletesebben ismertetünk egy újonnan kifejlesztett, az innovációs kapcsolatrendszerek alakulását szimuláló ágensalapú modellt, majd a negyedik fejezetben ennek a modellnek adatokhoz történő illesztését mutatjuk be. Az ötödik fejezetben az ágensalapú modellt a GMR-modellkeretbe integrálva egy lehetséges fejlesztéspolitikai hatáselemzést ismertetünk, amely a hálózatok fejlesztésére fókuszál. Összegzéssel zárjuk a tanulmányt.

## 1. Ágensalapú innovációvizsgálatok szakirodalmi háttére

A tanulmányunkban közölt modellezési keret új eleme egy hálózati kapcsolatokat szimuláló ágensalapú modell. A szakirodalomban fellelhető, innovációs hálózatok alakulását szimuláló ágensalapú modellek többsége a teljes innovációs folyamat modellezését tűzi ki feladatául, amelynek csupán egy része a kooperáció. Számos olyan modell található, amelyben a hálózatok alakulása egyáltalán nem, vagy csak érintőlegesen jelenik meg (*Albino–Carbonara–Giannoccaro* [2006], *Antonelli–Ferraris* [2009], *Fagiolo–Dosi* [2003], *Ma–Nakamori* [2005], *Wang et al.* [2014], *Zhang* [2003]).

A *Pyka, Gilbert* és *Ahrweiler* nevéhez fűződő SKIN- (simulating knowledge dynamics in innovation networks – a tudásdinamika szimulálása az innovációs hálózatokban) modell az innovációs folyamat részeként tartalmazza a hálózatok szimulációját is (*Ahrweiler–Pyka–Gilbert* [2004], *Gilbert–Pyka–Ahrweiler* [2001], *Pyka–Gilbert–Ahrweiler* [2007]). Ez a megközelítés a vállalatok tudását tudásegységekbe sorolja, minden ilyen egység három tényezőből tevődik össze: képességből, készségből és szakértelemből. Az innovációs folyamat során ezekből az egységekből jön létre egy innovációs ötlet. Ahhoz azonban, hogy ténylegesen megvalósuló termék legyen, az ötletből egyéb nyersanyagokra, tőkére is szükség van. Az innováció a vállalat tudásegységein múlik, a vállalatok célja tanulással javítani a vállalat tudásegységeit. Ez a tanulás történhet önállóan, vagy másokkal együttműködve. A szerzők szerint a modell paraméterezésénél két út kínálkozik: az egyik a paraméterek ökonometriai becslése, a másik esetben pedig egy valós iparág fejlődését összehasonlítják a szimuláció eredményeivel, ami így meghatározza a paraméterek megfelelő kombinációját. Az első esetben szükség van mikroadatokra, a második esetben pedig a cél olyan paraméterkombináció keresése, amelyek felhasználásával futtatott szimulációk reprodukálják az iparágban makroszinten megfigyelhető folyamatokat. A szerzők általában a második utat

választják, azaz olyan szimulációkat futtatnak, amelyek képesek bizonyos iparágban megfigyelt stilizált tények reprodukálására, majd ezzel végeznek elemzéseket.

*Korber–Paier* [2011], [2013]; *Korber–Paier–Fischer* [2009]; *Korber* [2011] ezt a modellt fejlesztik tovább és alkalmazzák a bécsi biotechnológia-szektorra. A kalibrálásnál alapvetően mikroadatokról indulnak ki, 136 a bécsi régióban működő vállalatra vonatkozóan. A vállalatok által kitöltött kérdőív segítségével definiálják a vállalatokra jellemző tudásegységet. Néhány egyéb paramétert szintén mikroadat alapján határoznak meg, ilyen például a K+F-foglalkoztatottak aránya vagy a K+F-infrastruktúra a vállalatoknál. Ezek után következik az empirikus validálás makroszinten, ahol meghatározzák a modell további tulajdonságait, jellemzőit, hogy a szimuláció eredménye összhangban legyen az iparágban megfigyelt jelenségekkel.

A *Cowan* és *Fischer* által kifejlesztett modellek szintén a teljes innovációs folyamatot szimulálják, amelynek egy része a vállalatok közötti együttműködés (*Cowan* [2005]; *Cowan–Jonard* [2004], [2008], [2009]). Ezekben a dinamikus modellekben minden vállalat innovációt hajt végre a modellfuttatás minden periódusában: ezt teheti egyedül, vagy másokkal együttműködve. Az együttműködés sikerét a korábbi ismertség befolyásolja, amennyiben sikeres, akkor létrejön az új tudás, amely mindkét fél tudásbázisát növeli. A tudást ezek a modellek többdimenziós vektorként kezelik, amelyek egy absztrakt tudástérben helyezhetőek el. Az origótól számított távolság a tudásszintet jelzi, két vállalat tudásvektorának távolsága pedig meghatározza a vállalatok technológiai távolságát. A hálózati, innovációs kapcsolatok kialakulását a lehetséges együttműködések potenciális teljesítménye határozza meg: minden vállalat sorrendet állít fel arról, hogy kivel milyen eredmény várható és a legjobbat választja. Ezek elméleti modellek, nem gyakorlati alkalmazásra készültek.

Ezekon kívül van néhány egyéb, az innovációs hálózatok alakulását szimuláló modell. *Pyka* és *Saviotti* [2002] modelljében a hálózat kialakulását három dolog befolyásolja: a környezeti tényezők, mint például az innováció komplexitása, a technológiai bizonytalanság foka; a vállalat együttműködési hajlandósága; valamint a matching, azaz, hogy kit választ párnak. A párválasztást a másik vállalat gazdasági és/vagy technológiai képessége határozza meg. Az együttműködések során változik a vállalat abszorpciós képessége, az együttműködés koordinációs költségekkel jár, valamint pénzügyi és tudásáramlással. A modell két piacot tartalmaz, a végtermékek piacát, és a tudás piacát. Az innováció növeli a vállalat végtermékei iránti keresletet (jobb minőségű vagy olcsóbb termék), a tudás piacán pedig a vállalatok célja a legjobb együttműködési partner megtalálása. A modellt nem kalibrálták valós adatokra, de a biotechnológia iparban megfigyelt számos jelenséget reprodukálja.

*Beckenbach*, *Briegel* és *Daskalakis* [2007] modellje szintén a teljes innovációs folyamatot vizsgálja. Három vállalati típust különböztet meg: kísérletezőt, óvatost és konzervatívot. Ezen kívül három cselekvési lehetőséget definiálnak, amelyek a rutin, az imitálás és az innováció. Ha az innováció mellett dönt a vállalat, akkor azt végez-

heti egyedül, vagy másokkal együttműködve, ezt az együttműködési hajlandóság határozza meg. Együttműködés esetén a partnerválasztást (matching) a tudás befolyásolja, az együttműködés létrejöttét pedig további feltételek szabályozzák (például mindkettő akarja, elégséges közös általános tudás stb.). A modell paraméterezéséhez mikroadatokat használnak fel a szerzők, kérdőíves felmérés segítségével vannak be konkrét magatartási paramétereket (például kockázatkerülés, együttműködési hajlandóság). A paraméterek fennmaradó részét, a szakirodalomban megszokott módon, olyan elméletileg elfogadható értékre állítják be, hogy a szimulált eredmények összhangban legyenek az empirikusan megfigyelhető értékekkel.

*Heshmati és Lenz-Cesar [2013]* koreai vállalatok innovációs együttműködését modellezik ágensalapú eszközökkel. Első lépésként ökonometriai becslést végeztek arról, hogy mi határozza meg a vállalatok együttműködési hajlandóságát (a vállalat mérete, profitabilitása, költségköltségtáji stb.). Ezt követően a vállalatokat egy virtuális térbe helyezik, ahol az előbbi becslésből származó tényezők által meghatározott módon a vállalatok egymás felé közelítenek. Néhány további paraméter határozza meg, hogy a vállalatok a virtuális térben elegendően közel kerülve egymáshoz milyen módon kapcsolódnak. Mivel tanulmányunkban ezt a modellt használtuk kiindulópontként, a továbbiakban részletes leírását adjuk.

## 2. Az ágensalapú modell leírása

A modell célja, hogy szimulálja az elemzésben szereplő régiók közötti kutatási kapcsolatok kialakulását. Az ágensek ebben az esetben a régiókat modellezik, amelyeket kezdetben egy kétdimenziós absztrakt térben helyezünk el. A régiókat ebben a térben egy-egy kör írja le, amelynek átmérője az adott régió K+F-ráfordításától függ. A szimuláció során a régiókat jelképező körök állandó sebességgel mozognak, a mozgás közben közelednek és távolodnak egymástól, ami a kapcsolatok kialakulását vezérli a régiók között.

### 2.1. Az ágensek mozgása

Minden régiópárra definiálunk egy kölcsönös vonzerőt, amely a két régió jellemzőitől és a közöttük lévő viszonyt leíró jellemzőktől függ:

$$A_{ij} = c + a_1 \cdot D_{ij} + a_2 \cdot RD_i + a_3 \cdot RD_j + a_7 \cdot TP_{ij} + a_8 \cdot SP_{ij} + a_4 \cdot CO_{ij} + a_5 \cdot CE_{ij} + a_6 \cdot PE_{ij} . \quad /1/$$

Az egyenletben  $A_{ij}$  azt jelöli, hogy az  $i$  régió milyen erősen vonzódik a  $j$  régió irányába.  $c$  konstans, az  $a$  paraméterek pedig az egyes tényezők vonzerőre gyakorolt hatását mérik.  $D_{ij}$  a két régió közötti földrajzi távolság,  $RD_i$  és  $RD_j$  a két régió K+F-re fordított kiadása.  $TP_{ij}$  a két régió közötti technológiai közelség,  $SP_{ij}$  pedig a két régió közötti társadalmi közelség.  $CO_{ij}$  egy dummy változó, amely 1, ha a két régió azonos országban található és 0 különben.  $CE_{ij}$  szintén dummy változó, amely 1, ha mindkét régió a centrumhoz tartozik és 0 különben. Hasonlóképpen,  $PE_{ij}$  1, ha mindkét régió a perifériához tartozik és 0 különben. Mindezek a tényezők feltételezésünk szerint meghatározzák, hogy az  $i$  régió számára milyen mértékben hasznos, kívánatos a  $j$  régióval kialakítandó kapcsolat.

Az /1/ egyenletben szereplő specifikáció a gravitációs modellek széles családjába tartozik, amelyek két elem közötti viszonyt, áramlást a fizikából ismert gravitációs törvény alapján magyarázzák: a viszonyt/áramlást leíró (bal oldalon szereplő) változó a két elem közötti vonzerőt reprezentálja, míg a jobb oldalon a két elem valamilyen formában mért tömege és távolsága szerepel. *Boschma* [2005] kiemeli, hogy a földrajzi távolság mellett a közelség/távolság más dimenziói is fontos szerepet játszanak az innovációs együttműködések kialakulásában, így a szereplők közötti technológiai, kognitív, intézményi vagy társadalmi közelség. Az általunk használt egyenlet ezt a szakirodalmi vonalat követi, amelyben a két szereplő közötti kapcsolat erősségét azok innovációban meghatározó méretével (K+F-kiadások) és (különböző dimenziók mentén értelmezett) távolságával magyarázzuk, kiegészítve néhány további kontrollváltozóval (lásd például *Uberti–Maggiori–Nosvelli* [2007]). A gravitációs modellektől megszokott módon az /1/ egyenlet logaritmizált változókkal dolgozik és az együtthatók rugalmasságként értelmezhetők.

Az így meghatározott attrakciós értékek egy attrakciós vagy másként gravitációs mezőt generálnak a régiók körül, amely meghatározza a régiók mozgásának irányát. Az  $i$  régió mozgásának iránya így értelemszerűen a többi régió pozíciójától is függ. Jelöljük  $x_j$ -vel és  $y_j$ -vel az  $j$  régió két koordinátáját az absztrakt térben. Ekkor az  $i$  régió mozgásának irányát az alábbi  $dx_i$  és  $dy_i$  értékekből álló vektor írja le:

$$dx_i = \sum_j \frac{A_{ij}}{\sum_k A_{ik}} \cdot x_j, \quad /2/$$

$$dy_i = \sum_j \frac{A_{ij}}{\sum_k A_{ik}} \cdot y_j. \quad /3/$$

Vagyis a régiók mozgásának iránya a többi régió koordinátáinak súlyozott átlaga, ahol a súly a többi régió vonzereje az  $i$  régióval szemben, tehát a régiók az attraktí-

vabb régiók felé mozdulnak. A pozíciót és mozgást leíró koordináták önálló jelentéssel nem bírnak, a régiók mozgása egy absztrakt kétdimenziós térben történik (*Heshmati–Lenz–Cesar* [2013]). Az így megadott irányba a régiók egyenletes sebességgel mozognak.

A modellben az idő diszkrét skálán halad előre, minden periódusban kiszámolásra kerülnek az attrakciós értékek, a mozgások irányai, és a régiók elmozdulnak a megadott irányba a megadott sebességgel. Így a következő periódusban a régiók új pozícióba kerülnek, az attrakciós értékek függvényében a mozgásvektorokat az új koordinátáknak megfelelően ismét kiszámítjuk és a régiók ismét mozdulnak, majd ezt a folyamatot iteráljuk. Az attrakciós értékek a jelen tanulmányban használt modellverzió esetén nem változnak a szimuláció alatt, mivel az /1/ egyenlet jobb oldalán szereplő változókat adottnak tekintjük (empirikus adatokból származnak). Elképzelhető azonban olyan modellváltozat is, amelyben ezek a változók is folyamatosan módosulnak, ezáltal az attrakciós értékek is változnak a szimuláció során.

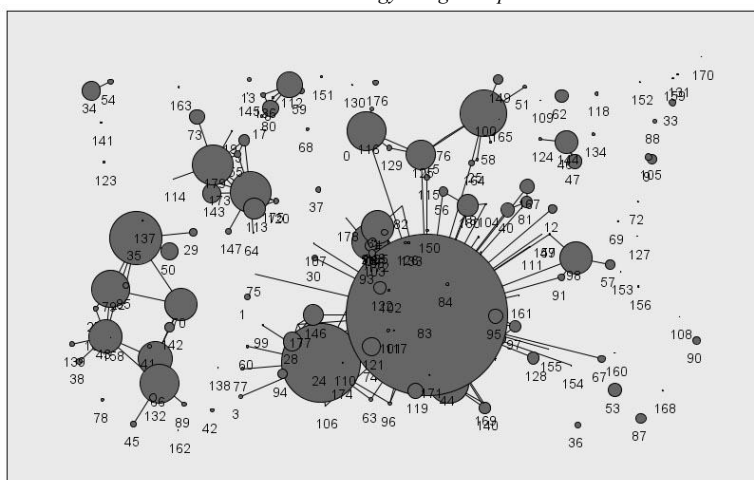
## 2.2. A kapcsolatok kialakulása

A kapcsolatok kialakulását a virtuális térben mozgó ágensek közelsége vezérli. Az egymáshoz közel kerülő régiók között kapcsolat jön létre, amely egy bizonyos ideig fennmarad. A kapcsolat létrejöttének valószínűségét ezek alapján két tényező határozza meg. Egyrészt az, hogy a régiókat reprezentáló ágenseknek mekkora az átmérője, ugyanis adott nagyságú virtuális térben minél nagyobb az átmérők nagysága, annál nagyobb eséllyel találkoznak (ütköznek) az ágensek. Mivel az ágensek átmérőjét az adott régió K+F-kiadásainak nagyságához kötjük, egy pozitív valós paraméter *RR* határozza meg, hogy a virtuális tér méretéhez képest az ágensek átlagosan mekkorák. Az *RR* paraméter értéke 0 és 1 közötti értéket vehet fel, amennyiben értéke 0, a régiókat jelképező körök ponttá zsugorodnak (és ebben az esetben a K+F-kiadások relatív mérete nem játszik szerepet), amennyiben 1, úgy a legnagyobb K+F-kiadással rendelkező régió átmérője megegyezik a virtuális tér rövidebbik oldalával. Másrészt az is fontos, hogy az ágenseknek milyen közel kell kerülniük egymáshoz mozgásuk során, hogy kapcsolat jöjjön létre közöttük. Ehhez definiálunk egy *PC* paramétert, amely 0 és 1 közötti értékeket vehet fel. Amennyiben értéke 0, a virtuális térben vett távolságtól függetlenül létrejön a kapcsolat két régió között, (ebben az esetben a modell teljes hálózatot szimulál a többi paraméter értékétől függetlenül). Amennyiben értéke 1, csak akkor jön létre a kapcsolat, ha a régiók ténylegesen összeütköznek a virtuális térben.

A kapcsolatokat a modellben átmenetinek tekintjük. Egy *LP* paraméter határozza meg a kapcsolatok időbeli hosszát, vagyis ha egy kapcsolat létrejött, akkor ez a kapcsolat *LP* periódus múltán megszűnik, amennyiben a két régió a kapcsolat kialakulá-

sához szükséges távolságon kívül helyezkedik el. Ez a paraméter a kapcsolatok tartósságát képes megragadni, továbbá egy szabadságfokot jelent a modell adatokhoz történő illesztésénél. Ha az  $LP = 1$  paraméterezést használjuk, akkor a kapcsolatok automatikusan megszűnnek, amennyiben a két régió a szükséges távolságon kívül kerül egymástól. Ellenkező esetben a kapcsolat továbbra is fennmarad.

1. ábra. A szimuláció egy kiragadott pillanatában



Az 1. ábra mutatja a szimuláció egy pillanatát. A piros körök a régiókat jelképező ágenseket mutatják, átmérőjük az adott régió K+F-kiadásával arányos. A régiók között megfelelő közelség esetén kapcsolatok jönnek létre, ezeket a fekete vonalak jelképezik. Az attrakciós mezőnek megfelelően a régiók mozognak ebben a virtuális térben, ennek megfelelően a kapcsolatok felbomlanak és újak jönnek létre.

Az itt bemutatott modell tehát arra használható, hogy a régiók között kialakuló kapcsolatrendszer modellezze. A továbbiakban azt mutatjuk be, hogy a modell adatokhoz történő illesztése miként történt.

### 3. A felhasznált adatok és a modell illesztése

A modell célja az európai régiók közötti kutatási kapcsolatrendszerek modellezése, ezért a modell illesztésének célja, hogy (a szakirodalomban általánosan alkalmazott módszer szerint) olyan paraméterezést találjunk, amely mellett a modell a lehető legjobban visszaadja megfigyelt hálózatot. A referenciaként szereplő hálózat az eu-



rópai régiók ún. FP-ben (framework programmes – keretprogramok) való együttműködéseit tartalmazza. A modell illesztése két lépésben történt. Először ökoknometriai becsléssel határoztuk meg az attrakciós egyenletben szereplő paramétereket, majd a modell fennmaradó (makroszintű, technikai) paramétereit optimalizáljuk úgy, hogy az illeszkedés a lehető legnagyobb legyen.

### 3.1. Az attrakciós egyenlet becslése

A korábban bevezetett /1/ attrakciós egyenlet írja le, hogy a régiók saját és a régiók közötti kapcsolatok specifikus jellemzői miként befolyásolják az adott két régió között fellépő vonzerőt. Az egyenletben szereplő változók méréséhez felhasznált adatokat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

#### A felhasznált adatok és forrásaik

A változó neve	A felhasznált közelítő adatok	Az adatok forrása
Vonzerő két régió között ( $A_{ij}$ )	Két régió közötti együttműködések száma az FP keretében, 2010-ben	Saját számítások az FP5-6-7 programok adminisztratív adatbázisa alapján (DG RTD, Dir A)
Két régió távolsága ( $D_{ij}$ )	Két régió központjának távolsága (km)	Saját számítás
Régió mérete ( $RD_i$ )	A régió K+F-kiadásainak nagysága 2008-ban (2000-es áron, vásárlóerő-paritáson számolva)	Eurostat
Azonos ország dummy ( $CO_{ij}$ )	1, ha a két régió azonos országba tartozik, 0 egyébként.	Saját számítás
Centrum régiók ( $CE_{ij}$ )	1, ha egyik régió sem esik az első célkitűzés alá és 0 egyébként	Saját számítás
Periférikus régiók ( $PE_{ij}$ )	1, ha mindkét régió az első célkitűzés alá esik és 0 egyébként	Saját számítás
Két régió technológiai közelsége ( $TP_{ij}$ )	Két régió technológiai átfedés indexe (Cantner–Meder [2007]) a régiók szabadalmi alapján számolva	Saját számítás
Két régió társadalmi közelsége ( $SP_{ij}$ )	Két régió összes kutatási együttműködése az FP6-ban (2002–2006)	Saját számítások az FP5-6-7 programok adminisztratív adatbázisa alapján (DG RTD, Dir A)

Két régió közötti vonzerőt a két régió közötti összes kutatási együttműködéssel mérjük, referenciaévként 2010-et választva (ez az a legutolsó év, amelyre a felhasz-

nált adatbázis még teljes körű, jól használható adatokat biztosít). Két régió távolságát egyszerűen a régióközpontok földrajzi távolságával mérjük, a régió méretét pedig a K+F-kiadások nagyságával közelítjük (2000-es árakon, vásárlóerő-paritáson számolva). A három dummy változó az azonos országba, a centrumba és a perifériára tartozást indikálja. Utóbbi kettő pontosan azt jelenti, hogy mindkét régió az adott régiópárnál vagy a centrumba vagy a perifériára sorolódik, ezekkel a dummy változókkal tehát azokat a kapcsolatokat jelöljük, amelyek vagy a centrumon, vagy a periférián belül jönnek létre. A centrum/periféria megkülönböztetés alapja, hogy az egyes régiók az első célkitűzés alá esnek-e (periféria) vagy sem (centrum).

A két régió technológiai közelségét a régiók szabadalmi portfóliója alapján számoltuk ki. A szabadalmak 8 főosztálya alapján számoltuk a Cantner-féle technológiai átfedésindexet (Cantner–Meder [2007]):

$$TO_{A,B} = \frac{2 \times \sum_{i=1}^n \min(T_i^A, T_i^B)}{\sum_{i=1}^n T_i^A \sum_{i=1}^n T_i^B}, \quad /4/$$

ahol  $T_i^A$  az  $A$  régió szabadalmainak száma az  $i$ -edik technológiai osztályban.

A  $TO_{A,B}$  index értéke szintén 0 és 1 közé esik, mégpedig értéke 1 teljes hasonlóság, 0 teljes különbözőség esetén. A mutató előnye más hasonló indexekhez képest, hogy figyelembe veszi a szabadalmak abszolút számát is, és nem csak a szabadalmak osztályok közötti megoszlását mutatja.

Két régió társadalmi közelségét pedig azzal mérjük, hogy a referenciaként választott FP7-es keretprogramot megelőzően, az FP6-os programokban mennyi együttműködés volt megfigyelhető a két régió között (ezzel a két régió közötti korábbi kapcsolatok erősségét tudjuk közelíteni).

Az 1. táblázatban szereplő adatokat felhasználva regressziós becsléssel határoztuk meg az egyes változók vonzerőre gyakorolt hatását, amelyek aztán a szimulációs modell paraméterei lesznek. A 2. táblázat tartalmazza a regressziós becslések eredményeit. A változók különböző kombinációira végeztük el a becslést, a mintát pedig azokra a régió-párokra szűkítettük, amelyek között volt együttműködés a referenciában. Mivel az /1/ attrakciós egyenlet a gravitációs egyenlet loglineáris formája, a becslésben a dummy változók kivételével a változók logaritmizálva szerepelnek.

A legnagyobb magyarázóerő alapján a /7/ számú modellt használtuk fel, és az itt becsült, szignifikáns paraméterekkel töltöttük fel a szimulációban használt /1/ egyenletet. A becslés alapján megállapítható, hogy a földrajzi távolság nem játszik szignifikáns szerepet a vonzerő meghatározásában, ugyanakkor a résztvevő régiók K+F-kiadásainak nagysága pozitívan befolyásolja a kapcsolatok kialakulását. Érdekes

eredmény, hogy az azonos országba tartozás szignifikáns negatív előjelet kapott, ami azt mutatja, hogy a felhasznált FP-kapcsolatrendszerben a határokon átnyúló kapcsolatok a jellemzők. Érthetően szignifikáns eredményt kapunk a centrumhoz tartozó régiók esetében: két centrum régió nagyobb eséllyel alakít ki kapcsolatot, így köztük erőteljesebb vonzerőt látunk. A periferikus régiók között azonban nem alakul ki sem szignifikánsan több, sem szignifikánsan kevesebb kapcsolat, mint mások között. Végül mind a technológiai, mind a társadalmi közelség a várt pozitív hatást gyakorolja az attraktivitásra.

2. táblázat

Az attrakciós egyenlet becslési eredményei

Megnevezés	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Konstans	2,045** (0,1014)	-1,931** (0,1358)	-1,915** (0,1516)	-2,014** (0,1525)	-2,008** (0,1527)	-2,351** (0,1582)	-0,984** (0,1340)
$D_{ij}$	-0,134** (0,01456)	0,01736 (0,01396)	0,01528 (0,01656)	0,02493 (0,01664)	0,02517 (0,01664)	0,0631** (0,01725)	0,003208 (0,01446)
$RD_i$		0,2202** (0,0073)	0,2201** (0,0073)	0,2189** (0,0073)	0,2188** (0,0073)	0,2162** (0,0073)	0,1271** (0,0063)
$RD_j$		0,2202** (0,0073)	0,2201** (0,0073)	0,2189** (0,0073)	0,2188** (0,0073)	0,2162** (0,0073)	0,1271** (0,00639)
$CO_{ij}$			-0,00839 (0,03603)	-0,01495 (0,03599)	-0,01412 (0,03601)	-0,02719 (0,03593)	-0,0632** (0,03005)
$CE_{ij}$				0,1123** (0,02103)	0,1065** (0,02210)	0,0587** (0,02283)	0,0407** (0,01909)
$PE_{ij}$					-0,02902 (0,03402)	-0,03152 (0,03391)	-0,02750 (0,02836)
$TP_{ij}$						0,3626** (0,04531)	0,3176** (0,03789)
$SP_{ij}$							0,0044** (0,06859)
$n$	9 479	9 479	9 479	9 479	9 479	9 479	9 479
Korrigált $R^2$	0,0087	0,1545	0,1544	0,1569	0,1568	0,1624	0,4143

*Megjegyzés.* A 2. táblázatban a csillagok száma a becslött együtthatók szignifikanciáját jelöli: \* 10 százalékos, \*\* 5 százalékos és \*\*\* 1 százalékos szinten szignifikáns együtthatót jelez. Ezen kívül a legalább 10 százalékos szinten szignifikáns együtthatókat a sötétebb cella is jelöli.

### 3.2. A szimulációs modell illesztése

Az attrakciós egyenlet becslése és a benne szereplő paraméterek meghatározása után az ágensalapú szimulációs modell még néhány beállítandó paraméterrel rendelkezik, ezek a következők:

- az ágensek (virtuális térhez viszonyított) méretét meghatározó érték ( $RR$ ),
- a kapcsolatok kialakulásához szükséges közelség mértéke ( $PC$ ),
- a kapcsolatok hosszát meghatározó érték ( $LP$ ), valamint
- az ágensek mozgásának sebessége ( $V$ ).

Ezeket a paramétereket egy optimalizációs eljárással úgy határoztuk meg, hogy a modell által kialakított hálózat a lehető legnagyobb mértékben illeszkedjék a valós, megfigyelt hálózat kapcsolataira.

### 3.3. Az illeszkedés mérése

A valós és a szimulált hálózat illeszkedésének mérésére a következő eljárást alkalmaztuk. Legyen  $a_{ij}$  a megfigyelt kapcsolati mátrix egy eleme, értéke 1, ha az  $i$  és  $j$  régió között van kapcsolat, és 0, ha nincsen. Legyen analóg módon  $s_{ij}$  a szimulált kapcsolati mátrix eleme. Definiáljuk a két hálózat sűrűségét (kihasználva, hogy a mátrixok szimmetrikusak):

$$z = \frac{1}{N^2} \sum_{ij} a_{ij} \quad /5/$$

$$z^{sim} = \frac{1}{N^2} \sum_{ij} s_{ij} \quad /6/$$

Ekkor képezhetjük a  $\frac{z^{sim}}{z}$  hányadost, amely megmutatja, hogy a szimulált hálózatban megfigyelt kapcsolatok száma mekkora a referenciahálózathoz képest. Ezt a mutatót azonban célszerű korrigálnunk, mivel értéke 1-nél nagyobb is lehet és nem korlátos. Egy olyan mutatót szerkesztünk, amely 0 és 1 között vesz fel értékeket, értéke 1, ha pontosan a referencia hálózatban megfigyelt számú kapcsolatot látjuk a szimulált hálózatban is, ha ettől többet vagy kevesebbet, akkor pedig 1-nél kisebb. 0 az értéke a két elméleti végletben, vagyis ha a szimulált hálózat üres vagy teljes. Definiáljuk a  $z^{sim}$  illeszkedésnek a következő transzformációját:

$$\overline{z^{sim}} = \min \left[ \frac{1}{z} z^{sim}, \frac{1}{1-z} + \frac{1}{z-1} z^{sim} \right]. \quad /7/$$

A /7/ függvényről belátható, hogy a  $z^{sim}$  értékek fenti feltételeknek megfelelő lineáris transzformációját adja (0, ha  $z^{sim} = 0$  vagy  $z^{sim} = 1$  és 1, ha  $z^{sim} = z$ ). Ez a mutató azonban csak a kapcsolatok számát nézi. Egy pontos kapcsolati illeszkedést mérő mutatót definiálhatunk a következő módon:

$$F^e = 1 - \frac{\sum_{ij, a_{ij}=1} (a_{ij} - s_{ij})^2}{\sum_{ij} a_{ij}}. \quad /8/$$

Nyilván sem a  $z^{sim}$ , sem az  $F^e$  mutatók nem tökéletesek. Az előző csak a kapcsolatok számát vizsgálja, az utóbbi pedig, bár a kapcsolatokat egyenként vizsgálja, 1-es értéket ad akkor is, ha egy teljes hálózatot szimulál a modell. Az előző két illeszkedési mutató kombinációja azonban egy kellőképpen szofisztikált mércét adhat. Legyen  $\alpha$  egy 0 és 1 közötti súlyszám és definiáljuk a súlyozott illeszkedést az itt látható módon:

$$W = \alpha \overline{z^{sim}} + (1 - \alpha) F^e. \quad /9/$$

Így egy olyan mércét kapunk, amely csak akkor 1, ha a kapcsolatok száma és azok konkrét pozíciója is megegyezik a szimulált és a referenciahálózatban.  $\alpha$  értéket az illesztés során 0,5-re állítottuk.

Az illesztési optimalizáció sikeres eredményre vezetett,  $W = 0,756$ -os maximális értékkel, vagyis a referenciahálózatot a modell 76 százalékos pontossággal reprodukálja. A 3. táblázat összefoglalja a modell illesztésének eredményeit, az egyes paraméterekre kapott értékeket.

3. táblázat

*Becsült és kalibrált paraméterek*

Paraméter	Érték	Meghatározás módja
$c$ – attrakciós egyenlet konstans	-0,9836	Ökonometriai becslés
$a_1$ – távolság hatása az attrakcióra	0	Ökonometriai becslés
$a_2$ – saját K+F hatása az attrakcióra	0,1271	Ökonometriai becslés

(A táblázat folytatása a következő oldalon.)

(Folytatás.)

Paraméter	Érték	Meghatározás módja
$a_3$ – partner K+F hatása az attrakcióra	0,1271	Ökonometriai becslés
$a_4$ – azonos országba tartozás hatása az attrakcióra	-0,0632	Ökonometriai becslés
$a_5$ – centrumhoz tartozás hatása az attrakcióra	0,0407	Ökonometriai becslés
$a_6$ – perifériához tartozás hatása az attrakcióra	0	Ökonometriai becslés
$a_7$ – technológiai közelség hatása az attrakcióra	0,3176	Ökonometriai becslés
$a_8$ – társadalmi közelség hatása az attrakcióra	0,0044	Ökonometriai becslés
$RR$ – ágensek mérete	0,019	Optimalizációs illesztés
$PC$ – kapcsolathoz szükséges közelség	0,639	Optimalizációs illesztés
$LP$ – kapcsolat hossza	1	Optimalizációs illesztés
$V$ – ágensek sebessége	19	Optimalizációs illesztés

#### 4. Hálózati kapcsolatok és regionális fejlődés – egy szimuláció eredményei

Ebben a fejezetben a korábban bemutatott ágensalapú modell felhasználásával készült fejlesztéspolitikai scenáriót mutatjuk be. Az ágensalapú modell arra alkalmas, hogy a modell peremfeltételeiben beállt változások hatását bemutassa a kialakuló kapcsolatrendszerre. Ezt a modellt egy olyan fejlesztéspolitikai hatáselemző modellhez kötjük hozzá, amely e kapcsolatrendszer gazdaságra gyakorolt hatását képes modellezni, figyelembe véve ezek és a gazdasági működés térbeli hatásait is.

##### 4.1. A GMR-modell madártávlatból

A GMR-modellkeret abból a célból került kialakításra és áll folyamatos fejlesztés alatt, hogy hozzájáruljon a fejlesztéspolitikai döntések meghozatalához ex ante és ex post forgatókönyv-elemzések segítségével (Varga [2015]). A GMR-modell fókuszában olyan fejlesztéspolitikai beavatkozások állnak, mint a K+F-tevékenység támogatása, az emberi tőke fejlesztése, a vállalkozásfejlesztési politikák vagy a gazdaság szereplői közötti együttműködések fejlesztése. A fejlesztéspolitikai hatáselemzésben alkalmazott modellek a térbeli és regionális dimenziókat nem tartalmazzák (ESRI-GEFRA [2002], Bayar [2007]). A GMR-modellkeret fontos eleme ezekhez a modellekhez képest, hogy olyan térbeli hatásokat is képes figyelembe venni, mint az agg-

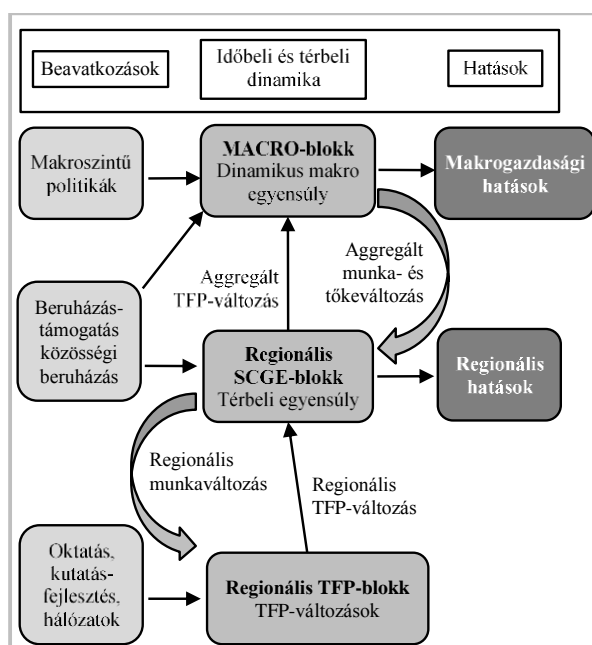
lomeráció és a régiók közötti kereskedelem, vagy a migráció, miközben a fejlesztés-politikai beavatkozások makro- és regionális hatásait is számszerűsíti.

A GMR-modellek számos alkalommal kerültek felhasználásra konkrét gazdaság-politikai elemzések során. A GMR-Magyarország-modell (Varga [2007], Varga–Járosi–Sebestyén [2013]) számításai alapján készülnek a kohéziós politika hatásairól készült magyarországi jelentések az Európai Bizottság számára, a GMR-Europe-modell által készült szimulációk eredményeit pedig a 2014-től induló megreformált kohéziós politika előkészítése során használta fel az Európai Bizottság.

A GMR-modellkeret a fejlesztéspolitikai hatáselemzés makroökonómiai, regionális és földrajzi dimenzióinak együttes kezelését egy három blokkból álló modellrendszer kialakításával oldja meg. A 2. ábrán látható struktúrában a három blokk a következő:

1. a TFP (total factor productivity – teljes tényezőtermelékenység) alakulását modellező TFP-blokk,
2. a regionális és interregionális hatásokat modellező SCGE-(spatial computable general equilibrium – térbeli számítható általános egyensúlyi modell) blokk és
3. a makrogazdasági hatásokat modellező dinamikus sztochasztikus általános egyensúlyi MACRO-blokk.

2. ábra. A GMR-modellkeret struktúrája és működése



A modell TFP-blokkja egy ökonometriai módszerekkel becsült egyenletrendszer, amely a modellben szereplő régiók TFP-értékét határozza meg számos más tényező függvényében. E tényezők felsorolásszerűen:

- a régiók mérete (foglalkoztatottsággal közelítve),
- emberi tőke állománya, vállalkozói környezete,
- szabadalmi aktivitása és a rendelkezésre álló szabadalom állomány (mint a tudásszint közelítő változója, mind regionális, mind országos szinten),
- a technológiai szektor súlya a régióban,
- a K+F-kiadások nagysága és a régió kutatóinak beágyazottsága a régiók közötti tudáshálózatokba.

A TFP-blokk által meghatározott regionális teljes tényezőtermelékenységek jelentik az inputot a regionális SCGE-blokk számára, amely a gazdaság erőforrásainak térbeli (egyensúlyi) allokációját adja meg, kialakítva ezzel a termelés, az árak és a régiók közötti kereskedelem struktúráját. A régiók közötti hasznosságkülönbségek migrációt indítanak el a munkaerőben, amely hosszabb távon megváltoztatja ezt az allokációt és a gazdasági tevékenység térbeli koncentrációján keresztül visszahathat a TFP-értékekre is. A régiókban bekövetkező TFP-változások aggregálva jelennek meg a modell MACRO-blokkjában, ahol ez egyfajta sokként generál változásokat a makroszintű változókban, többek között a munka és a tőke állományában. Az SCGE-blokk a termelési források e változásait felhasználva számítja ki a térbeli egyensúlyt.

A modell három szintjén különböző gazdaságpolitikai hatások modellezésére nyílik mód. A TFP-blokk használható arra, hogy az innováció, tudástermelés „soft” tényezőit (mint például a humán tőke, vállalkozási attitűd, kutatás-fejlesztés) befolyásoljuk, de itt jelenik meg a tanulmány szempontjából lényeges hálózati kapcsolatrendszer szerepe is. A regionális szinten jelenhetnek meg a régiókat közvetlenül érintő „hard” beavatkozások, például a beruházás-támogatás. Makroszinten nyílik lehetőség a fejlesztéspolitikák költségvetési hatásainak modellezésére vagy standard makrogazdasági politikai eszközök hatásának elemzésére.

#### 4.2. Az ágensalapú modell és a GMR-modell összekapcsolása

Ahogy az előző pontban is kiemeltük, a GMR-modellkeretbe egy jól definiált ponton (nevezetesen a TFP modellezésében) kerül bele a régiók közötti kutatói együttműködések hatása. Egészen pontosan egy adott régió kapcsolatrendszerének minőségét mérjük, amely meghatározza a régió szabadalmi aktivitását és e szabadalmi aktivitás pozitívan befolyásolja a régió TFP-értékét. A GMR-modell közvetle-



nül tehát nem modellezi a hálózatok alakulását, azonban exogén változóként a régiók közötti kapcsolatrendszerek alakulása egy kompozit indexen keresztül megjelenik a modellben. Ez a kompozit index az a pont, ahol az ágensalapú modell, amely a kapcsolatrendszereket modellezi, és a GMR-modellkeret összekapcsolható.

A hálózatok minőségét az ún. ENQ- (ego network quality – hálózatminőség) indexszel mérjük. Ez a kompozit mérőszám arra alkalmas, hogy megragadja egy adott hálózatban a hálózat tagjai számára a hálózatból elérhető tudás nagyságát. Ehhez a hálózatot a vizsgált régiótól különböző távolságra elhelyezkedő „szomszédságokra” bontjuk. Minden ilyen szomszédságra összeadjuk az abban szereplő partnerek tudásszintjét, majd ezt súlyozzuk a közöttük lévő kapcsolatrendszer erősségével. Ezt elvégezve minden szomszédságra, a különböző távolságra elhelyezkedő partnerek ilyen súlyozott tudásszintjeit összeadjuk, a távolsággal súlyozva. Az így kapott index tehát a hálózat egy pontjáról (egy régió által) elérhető tudásszint nagyságát méri, figyelembe véve a távolságot és a partnerek összekapcsoltságát. Más szavakkal, az index nagyobb tudásszintet, hálózati minőséget mutat, ha egy adott régió 1. közel helyezkedik el 2. nagy tudásszinttel rendelkező és 3. sűrűn összekapcsolt régiókhöz. Az ENQ-index részletes bemutatása és elemzése megtalálható például *Sebestyén* és *Varga* ([2013a], [2013b]) tanulmányaiban.

Az ágensalapú modell és a GMR-modell összeillesztésének a logikája tehát a következő. A GMR-modell definiál egy alappályát, amely az egyes modellblokkok becsléséből és kalibrálásából adódik. Ennek a becslésnek részei a megfigyelt FP-hálózatok alapján számolt ENQ-értékek is, ezek az értékek jelenítik meg a régiók saját tudáshálózati pozíciójának minőségét a modell TFP-blokkjában. Az ágensalapú modell szintén definiál egy alapesetet, amely a korábban bemutatott illesztést jelenti a megfigyelt kapcsolathálózati adatokra. Így tehát mindkét modell ad egy valós adatokra illesztett alapesetet, amelyek megfeleltethetők egymásnak.

Az ágensalapú modell peremfeltételeinek változtatásával (például K+F-kiadások nagysága, technológiai közelség, társadalmi közelség) egy alternatív forgatókönyv mentén futtatjuk az ágensalapú modellt, amely az alapesettől eltérő, a megváltozott peremfeltételeknek megfelelő hálózat kialakulását szimulálja. Az így kapott szimulált hálózatra kiszámíthatjuk az ENQ-indexek értékeit, amelyek azt mutatják, hogy az alternatív esetben, a megváltozott hálózati struktúra mellett az egyes régiók hálózati minősége milyen mértékben változik meg.

A megváltozott ENQ-értékek egyfajta sokkhatásként a GMR-modell TFP-blokkjába építhetők, hozzájárulva a régiók szabadalmi tevékenységének és TFP-értékének megváltozásához. Ez a változás a régiók gazdasági teljesítményében, az interregionális kereskedelemben is átrendeződéshez vezethet, makroszinten a termelési erőforrások mennyisége is változik, valamint beindul a régiók közötti migráció, elindítva a megfelelő visszacsatolási folyamatokat. A GMR-modell tehát ilyen módon képes szimulálni a kapcsolatrendszerekben bekövetkező változások regionális és mak-

rogazdasági hatását, az ágensalapú modell pedig a kapcsolatok kialakításának peremfeltételeiben bekövetkező változások hatását magukra a kapcsolatrendszerre. A két modell közötti kapcsolat a kapcsolatrendszer minőségét számszerűsítő ENQ-index.

### 4.3. Szimulációs eredmények

A továbbiakban egy olyan forgatókönyv szimulációjának eredményeit mutatjuk be, amely a 4.2. alfejezetben kifejtett logikán alapul. Az ágensalapú modell peremfeltételeit sokféleképpen tudjuk változtatni, ebben a példában egy kiragadott esetet mutatunk be, amely kifejezetten a kapcsolatok kialakítására fókuszál. Az ágensalapú modellben fontos peremfeltétel a társadalmi közelség. Az  $1/$  egyenletben szereplő változó ( $SP_{ij}$ ) a két régió közötti attrakciót, vonzerőt befolyásolja: minél nagyobb ez a társadalmi közelség, annál könnyebben alakul ki kapcsolat a két régió között, összhangban a szakirodalomban található eredményekkel. Az attrakciós egyenlet becslése során e változót az FP6 keretében kialakított kapcsolatokkal közelítettük, feltételezve, hogy a korábbi kutatási együttműködések hozzájárulnak a társadalmi közelség kialakításához (a projektekben részt vevő kutatók találkoznak, megismerik egymást és egymás munkáját, ami hozzájárul a későbbi kutatási együttműködések kialakulásához) a referenciának tekintett FP7 keretében. A becslés során, igazolva ezt a feltételezést a társadalmi közelségre pozitív, szignifikáns együtthatót kaptunk. Ugyanakkor a társadalmi közelség a szimulációs modell paramétere, ez a szimuláció során nem változik. Alternatív forgatókönyvet és így alternatív kapcsolatrendszert szimulálhatunk úgy, ha a társadalmi közelség értékeit változtatjuk. Ez praktikus azt jelenti, hogy ha két régió között ezt az értéket megnöveljük, az növeli annak lehetőségét, esélyét, hogy a két régió között kapcsolat alakuljon ki a szimuláció során. Ez a beavatkozás megfeleltethető egy olyan fejlesztéspolitikai akciónak, amely kifejezetten a kapcsolatok kialakítását támogatja. Az intenzívebbé váló kapcsolatok a társadalmi közelséget erősítik két régió között, így járulva hozzá a két régió közötti későbbi kapcsolatok kialakulásához.

A szimulációs forgatókönyv a fenti logikát követi: kiválasztott régiópárok között megnöveljük a társadalmi közelség értékét, amely egy alternatív kapcsolatrendszer kialakulásához vezet, majd erre kiszámítva az ENQ-értékeket futtatjuk a GMR-modellt, amely a kapcsolathálózat megváltozásának TFP-re és más gazdasági változókra gyakorolt hatását szimulálja. A társadalmi közelség változtatásának számtalan módja lehetséges attól függően, hogy mely régiópárok társadalmi közelségét és milyen mértékben változtatjuk. Ezúttal egyetlen esetet emelünk ki, amely Magyarországra fókuszál: feltételezzük, hogy Közép-Magyarország (Budapest) kapcsolatainak erősödését támogatjuk és relatíve szelektíven: az európai régiók közül a legjobb tíz régióval, ahol a legjobb tízet annak alapján határozzuk meg, hogy mely régiók kapják a legtöbb FP-támogatást a referenciaidőszakban. A 4. táblázat mutatja az ágens-

alapú modellel szimulált hálózatból számított ENQ-értékek változását a megváltozott társadalmi közelség hatására. A táblázat csak a magyar régiók adatait mutatja, azonban a szimuláció az összes európai régióra megadja az ENQ-értékek változását.

4. táblázat

*ENQ-változások a sokk hatására*

Régió	ENQ-érték változása (százalék)
Közép-Magyarország	17,00
Közép-Dunántúl	87,59
Nyugat-Dunántúl	72,15
Dél-Dunántúl	35,99
Észak-Magyarország	77,98
Észak-Alföld	8,48
Dél-Alföld	343,15

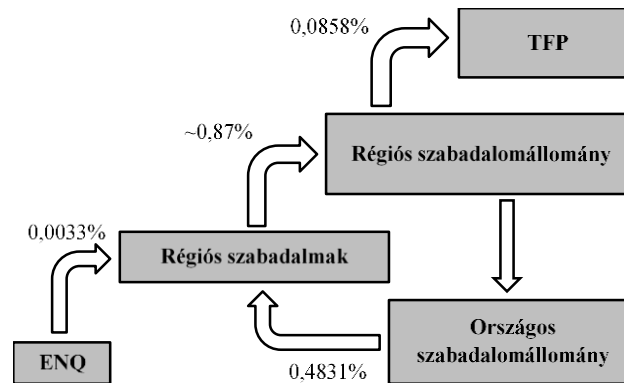
A kapott eredmények azt mutatják, hogy bár Közép-Magyarország kapcsolatait erősítjük közvetlenül, a periférikus régiókra gyakorolt hatás erőteljesebb. Ez két jelenségnek köszönhető. Egyfelől, technikai szempontból a periférikus régiók ENQ-értékei kezdetben alacsonyabbak, és az alacsony bázisból következően nagyobb relatív növekedést tudnak elérni. Másfelől az eredmények jól rámutatnak arra, hogy Közép-Magyarország az alapesetben is rendkívül kiterjedt kapcsolatrendszerrel rendelkezik, kis híján valamennyi kapcsolatban van a top régióval. Így a kapcsolatok támogatása javítja ugyan a hálózati minőséget ebben a régióban, de csak azon keresztül, hogy új kapcsolatok alakulnak ki a kevésbé centrális régiókkal, amelyek nem tudnak sokat hozzátenni a kapcsolatrendszer értékéhez. A periférikus régiók ugyanakkor közvetlenül nem részesülnek támogatásban, de mégis jelentősen profitálnak az alternatív kapcsolatrendszerből. Ennek oka az, hogy azáltal, hogy a top régiók közelebb kerülnek Közép-Magyarországhoz, a periférikus régiókhoz is közelebb kerülnek, mivel az utóbbiak tipikusan kapcsolódnak az előbbihez. Így viszont megnő annak az esélye is, hogy a periférikus régiók alakítanak ki kapcsolatot a top régiókkal, ami esetükben viszont jelentősen képes emelni az ENQ értékét, mivel korábban nem kapcsolódtak a top régiókhoz vagy csak néhányhoz kapcsolódtak. Érdekes kiemelni Dél-Alföld kiugró értékét, ami mögött részben a viszonylag jól beágyazott Szegedi Tudományegyetem szerepét sejtjük.

A 4. táblázatban látható változások az ENQ-értékekben ezt követően inputként szolgálnak a GMR-modell számára, amelyben a sokkok hatása áttételes. Az ENQ-indexet érintő változás először a GMR-modell TFP-blokkjában fejt ki hatását: az

erőteljesebb hálózati beágyazottság kedvezően hat a régiók szabadalmi aktivitására. A két változó között (ENQ és szabadalmak) egy ökonometriai becslésből származó együtttható teremt kapcsolatot, amely a modell itt használt verziójában 0,0033 százalékos rugalmasságot jelent, vagyis az ENQ-index 1 százalékos növekedését a szabadalmak csekély, három százezreléknyi növekedése követi. Figyelembe véve ugyan az ENQ-indexek viszonylag jelentős növekedését, a szabadalmi aktivitásban ezek alapján nem várunk jelentős változást.

A szabadalmi aktivitás növekedése a modellben két úton hat a TFP értékére. Egyrészt az egyes régiók szabadalmi aktivitása hozzájárul a régió szabadalmi állományának növekedéséhez, másrészt a szabadalmak országos állománya is növekszik. Az előbbi tétel (regionális szabadalmi állomány) közvetlenül befolyásolja a régiók TFP-értékét, az országos szabadalmi állomány pedig áttételesen, a regionális szabadalmaztatást pozitívan erősítve csatol vissza a folyamatba. A regionális szabadalmi állomány 1 százalékos növekedését a modellben a TFP 0,0858 százalékos növekedése kíséri, és ha figyelembe vesszük azt, hogy a modell a szabadalmi állomány amortizációjával is számol (13%), akkor ismét azt láthatjuk, hogy az ENQ-index 1 százalékos növekedése csekély hatást gyakorol a TFP-re. Némileg erősítheti ugyanakkor ezt a hatást az országos szabadalmi állományon keresztül történő visszacsatolás, itt ugyanis 0,48 százalékos becsült rugalmassággal dolgozik a modell. Az ENQ-index és a TFP közötti kapcsolatrendszerét foglalja össze a 3. ábra.

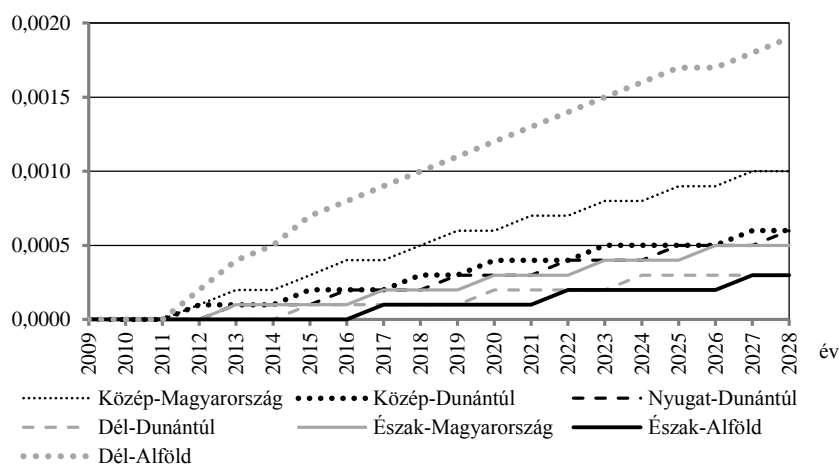
3. ábra. Az ENQ-index és a regionális TFP közötti összefüggésrendszer



Összességében tehát kicsiny, de pozitív irányú változást látunk a TFP-ben a pozitív ENQ-sokkok hatására. A 4. ábra mutatja a magyarországi régiókban tapasztalható TFP-változás időbeli alakulását. A vízszintes tengelyen az időt mértük fel, a függőleges tengelyen pedig a TFP-értékek százalékos eltérését a modell alapesete és az ENQ-indexek változása mellett futtatott alternatív eset között. Vagyis a 4. ábra azt

mutatja, hogy az egyes régiók TFP-értéke mennyivel lenne magasabb a hálózati minőség javulása esetén ahhoz képest, ha a hálózati minőség nem javulna. A modellt 2009-ben indítjuk, ez az a bázisév, amelyre a GMR-modell illesztése készült, az ENQ-indexek változása 2010-től kerül bele a modellbe, amely a TFP-ben 2012-től indukál változást a TFP-blokkba épített késleltetések miatt. Jól látható, hogy az ENQ-indexek változásai kicsiny, de stabil növekedést indukálnak a regionális TFP értékekben. A legnagyobb hatást Dél-Alföld esetén látjuk, ami logikus az itt jelentkező jelentős ENQ-változás miatt. (Lásd a 4. táblázatot.) A legalacsonyabb TFP-növekedést Észak-Alföld esetében látjuk, ahol az ENQ is a legkisebb mértékben növekszik. Érdekes Közép-Magyarország esete, amelynél a második legkisebb ENQ-növekedést látjuk, ugyanakkor a TFP tekintetében hosszabb távon a második legnagyobb növekedést mutatja. Ez a jelenség a bázishatásból ered, mivel Közép-Magyarország a többi régióhoz képest kiemelkedő szabadalmi aktivitással és állománnyal rendelkezik, így a csekély arányú növekedés abszolút értelemben még mindig ebben a régióban a legnagyobb, a szabadalmi tevékenység és a szabadalmi állomány között pedig ez a szintbeli kapcsolat a lényeges.

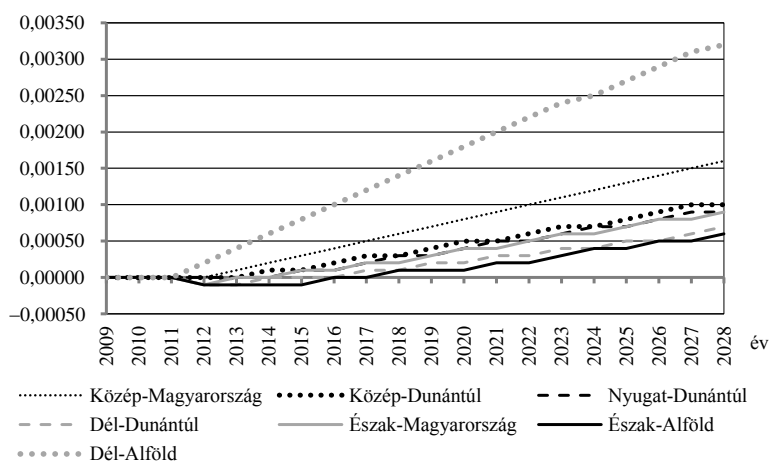
4. ábra. A TFP alakulása a hazai régiókban a hálózati minőség javulása esetén (az alapesettől vett százalékos eltérés)



A GMR-modell fontos eleme, hogy a TFP változásának régiókra, a régiók közötti kereskedelemre és migrációra valamint a makroszintű változókra gyakorolt hatása modellezhető. Az 5. ábra azt mutatja, hogy a magyar régiók esetében miként változik a regionális gazdasági teljesítmény, ugyancsak a modell alapesetéhez képest vett százalékos értékeket feltüntetve. Különösebben nem meglepő módon a regionális hozzáadott érték a TFP-vel megegyező tendenciákat követ. Ugyanakkor egy fontos, bár kevésbé nyilvánvaló jelenség, hogy a szimuláció első éveiben a regionális gazda-

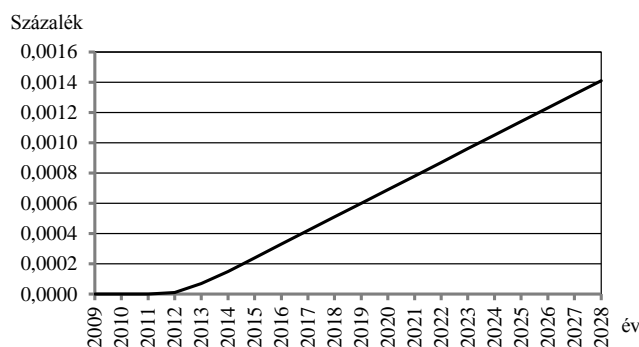
sági teljesítmény a periferikus régiókban (Dél-Dunántúl, Észak-Magyarország, Észak-Alföld) kisebb az alapesethez képest (enyhén negatív tartományba mozduló hatások). Ez abból fakad, hogy a GMR-modell képes figyelembe venni a régiók közötti kölcsönhatásokat is a migráción és az interregionális kereskedelmen keresztül. Ennek alapján az látható, hogy a kezdeti években a centrális régiók egyfajta elszívó hatást gyakorolnak a periferikus régiókra, hosszabb távon azonban a TFP növekedése kompenzálja ezt a hatást.

5. ábra. A hozzáadott érték alakulása a hazai régiókban a hálózati minőség javulása esetén (az alapesettől vett százalékos eltérés)



A 6. ábra a hozzáadott érték időbeli alakulását mutatja országos szinten: mivel valamennyi régióban növekszik a hozzáadott érték, országos szinten is hasonló tendenciát látunk.

6. ábra. Az aggregált magyar hozzáadott érték relatív eltérése az alappálya és a beavatkozással számolt pálya között



## 6. Összefoglalás

Tanulmányunkban bemutattunk egy ágensalapú modellt, amely régiók kutatásikapcsolat-hálójának alakulását képes szimulálni. A modell gravitációs logikán alapul: központi elem a régiók egymás közötti attraktivitását leíró egyenlet, amely attraktivitás alapján a régiók mozgása határozza meg, hogy a kapcsolatok miként jönnek létre a régiók között. A gravitációs logika lehetővé teszi, hogy az innovációs kapcsolatrendszerek alakulásával foglalkozó szakirodalom több eredményét is beépítsük a modellbe.

Az ágensalapú modellt európai régiók keretprogramokban vett kutatási együttműködési hálózához illesztettük. Az illesztés alapját a gravitációs egyenlet becslése adja, majd a szakirodalomban megszokott módon a modell fennmaradó, nem becsült (nem becsülhető) paramétereit egy optimalizációs eljárással állítottuk be úgy, hogy a modell által szimulált hálózat alapesetben a lehető legjobban feleljen meg egy referenciaként kiválasztott év kutatási együttműködési hálózatának.

Ezt követően a modellt a GMR-Europe-modellhez illesztettük, amely fejlesztéspolitikai hatáselemzés céljára lett kifejlesztve. A GMR-Europe-modell exogén változóként tartalmazza a régiók tudáshálózati beágyazottságát. Az itt bemutatott ágensalapú modell ezt a változót bővíti ki azáltal, hogy a hálózatok alakulását szimulálja. Az illesztett modell segítségével olyan szimulációt vizsgáltunk, amelyben Közép-Magyarország beágyazottságát növeljük és ennek az erősebb beágyazottságnak a hatását vizsgáljuk más régiók hálózati beágyazottságára, teljes tényezőtermelékenységre és hozzáadott értékére. A szimuláció célja a modell alkalmazásának szemléltetése, mindazonáltal az eredmények megmutatták, hogy a modell képes a hálózatfejlődés komplexitásának bizonyos aspektusait is figyelembe venni. Közép-Magyarország már meglevő erős beágyazottsága révén relatíve keveset profitál a megnövekedett beágyazottságból, ugyanakkor „magával húzza” a hozzá kapcsolódó periférikusabb magyar régiókat, amelyek viszont lényegesen kedvezőbb helyzetbe kerülnek a központi régió erősebb beágyazottságának externális hatásai révén.

A bemutatott modell néhány korlátja további fejlesztések fontosságára hívja fel a figyelmet. Jelenlegi formájában a modell bináris kapcsolatokat modellez, azonban fontos lenne a többszörös kapcsolatok figyelembevételének lehetősége, mivel a vizsgált hálózat esetében jelentős eltérések vannak az egyes régiók közötti kapcsolatok intenzitásában. Egy további fejlesztési irány lehet az ágensek intézményi szinten történő értelmezése és modellezése a régiók helyett. Végül, lényeges eleme a további kutatásoknak, hogy a modell alapjául szolgáló gravitációs egyenletben a régiók jellemzői endogén módon alakuljanak, így az ágensek mozgása visszacsatolna az attraktivitásba, és komplexebb dinamikák alakulhatnak ki.

## Irodalom

- AHRWEILER, P. – PYKA, A. – GILBERT, N. [2004]: Simulating knowledge dynamics in innovation networks (SKIN). *Volkswirtschaftliche Diskussionsreihe*, Nr. 267. Institut für Volkswirtschaftslehre der Universität Augsburg. Augsburg.
- ALBINO, V. – CARBONARA, N. – GIANNOCARO, I. [2006]: Innovation in industrial districts: An agent-based simulation model. *International Journal of Production Economics*. Vol. 104. No. 1. pp. 30–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.12.023>
- ANTONELLI, C. – FERRARIS, G. [2009]: *Innovation as an emerging system property: An agent based model*. Dipartimento di Economia “S. Cagnetti de Martiis”. Working paper No. 11/2009. Torino.
- AUTANT-BERNARD, C. – BILLAND, P. – MASSARD, N. [2007]: Social distance versus spatial distance in R&D cooperation. Empirical evidence from European collaboration choices in micro and nanotechnologies. *Papers in Regional Science*. Vol. 86. No. 3. pp. 495–519.
- BASILE, R. – CAPELLO, R. – CARAGLIU, A. [2012]: Technological interdependence and regional growth in Europe: Proximity and synergy in knowledge spillovers. *Papers in Regional Science*. Vol. 91. No. 4. pp. 697–722.
- BAYAR, A. [2007]: *Simulation of R&D Investment Scenarios and Calibration of the Impact on a Set of Multi-Country Models*. Institute for Prospective Technological Studies, Joint Research Centre of the European Commission. Seville.
- BECKENBACH, F. – BRIEGEL, R. – DASKALAKIS, M. [2007]: Behavioral foundation and agent-based simulation of regional innovation dynamics. *Papers on Agent-based Economics*. No. 3. [http://www.beckenbach.uni-kassel.de/files/pdfs/papers/poabe\\_nr3.pdf](http://www.beckenbach.uni-kassel.de/files/pdfs/papers/poabe_nr3.pdf)
- BOSCHMA, R. [2005]: Proximity and innovation: A critical assessment. *Regional Studies*. Vol. 39. No. 1. pp. 61–74. <http://dx.doi.org/10.1080/0034340052000320887>
- CANTNER, U. – MEDER, A. [2007]: Technological proximity and the choice of cooperation partner. *Journal of Economic Interaction and Coordination*. Vol. 2. No. 1. pp. 45–65. <http://dx.doi.org/10.1007/s11403-007-0018-y>
- COWAN, R. [2005]: *Network Models of Innovation and Knowledge Diffusion. Clusters, Networks and Innovation*. MERIT-Infonomics Research Memorandum Series. Maastricht University. Maastricht.
- COWAN, R. – JONARD, N. [2004]: Network structure and the diffusion of knowledge. *Journal of Economic Dynamics and Control*. Vol. 28. Issue 8. pp. 1557–1575. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jedc.2003.04.002>
- COWAN, R. – JONARD, N. [2008]: If the alliance fits. In: *Baum, J. A. C. – Rowley, T. J. (eds.): Network Strategy*. Advances in Strategic Management. Vol. 25. Emerald Group Publishing Limited. pp. 427–455.
- COWAN, R. – JONARD, N. [2009]: Knowledge portfolios and the organization of innovation networks. *Academy of Management Review*. Vol. 34. No. 2. pp. 320–342.
- ESRI – GEFRA (ECONOMIC AND SOCIAL RESEARCH INSTITUTE – GESELLSCHAFT FÜR FINANZ UND REGIONALANALYSEN) [2002]: *An Examination of the Ex-Post Macroeconomic Impacts of CSF 1994–1999 on Objective 1 Countries and Regions*. [http://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/evaluation/doc/obj1/macro\\_modelling.pdf](http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/evaluation/doc/obj1/macro_modelling.pdf)



- FAGIOLO, G. – DOSI, G. [2003]: Exploitation, exploration and innovation in a model of endogenous growth with locally interacting agents. *Structural Change and Economic Dynamics*. Vol. 14. No. 3. pp. 237–273.
- FUJITA, M. – THISSE, J. [2002]: *Economics of Agglomeration. Cities, Industrial Location and Regional Growth*. Cambridge University Press. Cambridge.
- GILBERT, N. – PYKA, A. – AHRWEILER, P. [2001]: Innovation networks – A simulation approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. Vol. 4. No. 3. pp. 1–13.
- HESMATI, A. – LENZ-CESAR, F. [2013]: Agent-based simulation of cooperative innovation in R&D. *Research Evaluation*. Vol. 22. No. 1. pp. 15–29.
- JOHANSSON, B. – QUIGLEY, J. [2004]: Agglomeration and networks in spatial economies. *Papers in Regional Science*. Vol. 83. Issue 1. pp. 165–176.
- KORBER, M. [2011]: *Calibrating an Agent-Based Model: The Case of the Vienna Biotech Innovation System*. In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> European Meeting on Applied Evolutionary Economics. 14–16 February. Pisa.
- KORBER, M. – PAIER, M. [2011]: *Exploring the effects of public research funding on biotech innovation: An agent-based simulation approach*. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Complex Systems. 26 June – 1 July. Boston. pp. 599–613.
- KORBER, M. – PAIER, M. [2013]: Effects of competence centres on regional knowledge production: An agent-based simulation of the Vienna life sciences innovation system. In: Scherngell, T. (ed.): *The Geography of Networks and R&D Collaborations*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- KORBER, M. – PAIER, M. – FISCHER, M. M. [2009]: An agent-based view of the biotech innovation system. *Region Direct – The International Scientific Journal*. Vol. 2. No. 2. pp. 33–55.
- LUNDVALL, B. (ed.) [2010]: *National Systems of Innovation. Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Anthem Press. London.
- MA, T. – NAKAMORI, Y. [2005]: Agent-based modeling on technological innovation as an evolutionary process. *European Journal of Operational Research*. Vol. 166. No. 3. pp. 741–755.
- PYKA, A. – GILBERT, N. – AHRWEILER, P. [2007]: Simulating knowledge-generation and distribution processes in innovation collaborations and networks. *Cybernetics and Systems: An International Journal*. Vol. 38. No. 7. pp. 667–693.
- PYKA, A. – SAVIOTTI, P. [2002]: Innovation networks in the biotechnology-based sectors. In: Pyka, A. – Küppers, G. (eds.): *Innovation Networks: Theory and Practice*. Edward Elgar. Cheltenham. pp. 75–107.
- SEBESTYÉN, T. – VARGA, A. [2013a]: Research productivity and the quality of interregional knowledge networks. *Annals of Regional Science*. Vol. 51. No. 1. pp. 155–189.
- SEBESTYÉN, T. – VARGA, A. [2013b]: A novel comprehensive index of network position and node characteristics in knowledge networks: Ego network quality. In: Scherngell, T. (ed.): *The Geography of Networks and R&D Collaborations*. Springer. Berlin, Heidelberg, New York.
- UBERTI, T. E. – MAGGIONI, M. A. – NOSVELLI, M. [2007]: Space versus networks in the geography of innovation: A European analysis. *Papers in Regional Science*. Vol. 86. No. 3. pp. 471–493.
- VARGA, A. [2007]: *GMR-Hungary: A Complex Macro-Regional Model for the Analysis of Development Policy Impacts on the Hungarian Economy*. University of Pécs. Pécs.

- VARGA, A. [2015]: 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*. <http://dx.doi.org/10.1177/0160017615571587>.
- VARGA, A. – SEBESTYÉN, T. [2013]: *Innovation in Central and Eastern European Regions: Does EU Framework Program Participation Lead to Better Innovative Performance?* GRINCOCH FP 7 project. Working paper. [http://real.mtak.hu/21502/3/innovation\\_in\\_central\\_and\\_eastern\\_european\\_regions.pdf](http://real.mtak.hu/21502/3/innovation_in_central_and_eastern_european_regions.pdf)
- VARGA, A. – SEBESTYÉN, T. [2015]: Does EU Framework Program participation affect regional innovation? The differentiating role of economic development. *International Regional Science Review*. (Előkészületben.)
- VARGA, A. – JÁROSI P. – SEBESTYÉN T. [2013]: *A 2014–20 közötti időszak ex-ante értékeléséhez a támogatások várható makrogazdasági hatásainak modellezése*. Nemzeti Fejlesztési Ügynökség. 30. Budapest.
- VARGA, A. – JÁROSI, P. – SEBESTYÉN, T. [2014]: *Extension and Application of the GMR-Eurozone Model Towards the CEE Regions for Impact Assessment of Smart Specialization Policies*. GRINCOCH FP7 project report. [https://www.researchgate.net/publication/276921397\\_Extension\\_and\\_application\\_of\\_the\\_GMR-Eurozone\\_model\\_towards\\_the\\_CEE\\_regions\\_for\\_impact\\_assessment\\_of\\_smart\\_specialisation\\_policies](https://www.researchgate.net/publication/276921397_Extension_and_application_of_the_GMR-Eurozone_model_towards_the_CEE_regions_for_impact_assessment_of_smart_specialisation_policies)
- VARGA, A. – PONTIKAKIS, D. – CHORAFAKIS, G. [2014]: Metropolitan Edison and cosmopolitan Pasteur? Agglomeration and interregional research network effects on European R&D productivity. *Journal of Economic Geography*. Vol. 14. No. 2. pp. 229–263. <http://dx.doi.org/10.1093/jeg/lbs041>
- WANG, Z. – YAO, Z. – GU, G. – HU, F. – DAI, X. [2014]: Multi-agent-based simulation on technology innovation-diffusion in China. *Papers in Regional Science*. Vol. 93. No. 2. pp. 385–408.
- ZHANG, J. [2003]: Growing Silicon Valley on a landscape: An agent-based approach to high-tech industrial clusters. *Journal of Evolutionary Economic*. Vol. 13. No. 5. pp. 529–548. <http://dx.doi.org/10.1007/s00191-003-0178-4>

## Summary

In this paper, an agent-based model is introduced that is able to simulate research cooperation between regions. Its focal element, a gravity equation serves as a basis for empirical fitting (that is usually a critical point in such models). Then a method is presented to fit the model to data and an illustrative simulation for Hungarian regions is introduced in the framework of the GMR-Europe model. The simulation shows that the authors' model is able to capture some important aspects of the complex dynamics of network formation.