

**RIERC** Regional  
Innovation and Entrepreneurship  
Research Center

## RESEARCH REPORTS

**# 2022-04**

*Cím: A GMR-Magyarország modell kibővítése regionális szatellit modellek révén*

**Polónyi-Andor Krisztina\***

**Varga-Csajkás Anna\***

**Szabó Norbert\***

**Sebestyén Tamás\***

\*Regional Innovation and Entrepreneurship Research Center, Faculty of Business and Economics, University of Pécs and MTA-PTE Innovation and Economic Growth Research Group

**Regional Innovation and Entrepreneurship Research Center**  
Faculty of Business and Economics  
University of Pécs

H-7622, Pécs Rákóczi str. 80.

Phone: +36-72-501-599/63190

E-mail: [rierc.center@ktk.pte.hu](mailto:rierc.center@ktk.pte.hu)

Web: <https://ktk.pte.hu/en/faculty/development-centers/rierc>



## **A GMR-Magyarország modell kibővítése regionális szatellit modellek révén**

## Tartalomjegyzék

|        |                                                                           |                                        |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1.     | Bevezetés .....                                                           | 5                                      |
| 2.     | A GMR hatáselemző modellek általános jellemzői .....                      | 6                                      |
| 2.1.   | A modellrendszer felépítése .....                                         | 6                                      |
| 2.2.   | A TFP (termelékenységi) blokk .....                                       | 7                                      |
| 2.3.   | Az SCGE blokk.....                                                        | 7                                      |
| 2.4.   | A MACRO blokk .....                                                       | 8                                      |
| 2.5.   | A modell felépítése: visszacsatolások a blokkok között .....              | 8                                      |
| 3.     | A rendszerdinamikai modell GMR modellbe történő integrálása .....         | 9                                      |
| 3.1.   | Bevezetés .....                                                           | 9                                      |
| 3.2.   | Az SD modell integrálásának előnyei, lehetőségei .....                    | 10                                     |
| 3.3.   | Az SD modell felépítése különös tekintettel a kapcsolódási pontokra ..... | 11                                     |
| 3.3.1. | Általános bemutatás.....                                                  | 11                                     |
| 3.3.2. | Keresleti blokk .....                                                     | 12                                     |
| 3.3.3. | Termelési blokk .....                                                     | 13                                     |
| 3.3.4. | Beruházási blokk.....                                                     | 14                                     |
| 3.3.5. | Innovációs blokk .....                                                    | 15                                     |
| 3.3.6. | Agglomerációs blokk.....                                                  | 16                                     |
| 3.4.   | Kapcsolódási pontok a GMR modell keretein belül .....                     | 18                                     |
| 3.4.1. | A foglalkoztatás .....                                                    | 20                                     |
| 3.4.2. | A potenciális kereslet .....                                              | 21                                     |
| 3.4.3. | A termelékenység.....                                                     | 22                                     |
| 3.5.   | Összegzés .....                                                           | <b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b> |
| 4.     | Az AB modell GMR modellbe történő integrálása .....                       | 23                                     |
| 4.1.   | Bevezetés .....                                                           | 23                                     |
| 4.2.   | Az AB modell integrálásának előnyei .....                                 | 23                                     |
| 4.3.   | Az AB modell felépítése .....                                             | 25                                     |
| 4.3.1. | A modell fő elemei .....                                                  | 25                                     |
| 4.3.2. | A tudástér .....                                                          | 26                                     |
| 4.3.3. | Modellfolyamatok .....                                                    | 27                                     |
| 4.4.   | Kapcsolódási pontok .....                                                 | 30                                     |
| 4.4.1. | A TFP.....                                                                | 30                                     |
| 4.4.2. | A munkaerő növekedési üteme.....                                          | 31                                     |

|        |                            |    |
|--------|----------------------------|----|
| 4.4.3. | Hálózatminőség (ENQ).....  | 32 |
| 5.     | Összefoglalás .....        | 32 |
| 6.     | Felhasznált irodalom ..... | 33 |

## 1. Bevezetés

Az innovációpolitikai beavatkozások hatáselemzése számos kihívást tartogat a gazdaságmodellezés szemszögéből. Ezek a beavatkozások ugyanis egy-egy ország vagy sok esetben régió innovációs rendszerének átalakítását, e rendszer egyes elemeinek stimulálását célozzák. A hagyományos gazdasági modellek és e modellek hatáselemzésre használható változatai azonban ezeket az innovációs rendszereket jellemzően elnagyoltan kezelik. A modellek többségében valamilyen aggregált, nemzetgazdasági szintű, vagy regionális modell esetén régiós szinten definiált termelékenységi paraméter vagy változó ragadja meg a helyi innovációs rendszer minőségét, működési sajátosságait – az innovációs politikák tehát e paraméteren keresztül fejthetik ki hatásukat a modellekben.

Az endogén növekedési modellek ezt a korlátot jellemzően azzal oldják, hogy a termelékenység alakulása mögött található erőforrás-oldali (humán kapacitás, infrastruktúra, tudás) tényezőket is megjelenítik, adott esetben ezek helyi (belső) és külső viszonyait is elkülönítve, valamint beágyazva ezeket az erőforrásokat és rendelkezésre állásukat a tágabb gazdasági alokációs mechanizmusokba.

Az innovációs rendszerekkel és innovációpolitikával foglalkozó legújabb kutatások azonban arra mutatnak rá, hogy a hatékony beavatkozásokhoz fontos az innovációs rendszer teljességének, a rendszer szereplői között részletes kölcsönhatásoknak a feltárása és a beavatkozások ezek ismeretében történő tervezése. A beavatkozások (ex ante vagy ex post) hatáselemzése kapcsán ez azt jelenti, hogy az innovációs rendszerek részletes, az előbbi kölcsönhatásokat is magában foglaló modellek használata a korábbiaknál pontosabb elemzéseket tesz lehetővé.

Ebben az irányban jelentett érdemi előrelépést a GMR gazdasági hatáselemző modellrendszer, amely egy standard, több régiós és/vagy több szektoros számítható általános egyensúlyi modellt egészített ki a regionális termelékenységet meghatározó modell blokkal. Ez a blokk a GMR rendszerben néhány ökonometriailag becsült egyenletrendszert jelent, amely a régiós innovációs rendszer egyes elemeire ír fel dinamikus összefüggésrendszert és amely révén ezen elemeket érintő beavatkozások hatása nyomon követhető első lépésben a régiós termelékenységre, második lépésben pedig e termelékenységen keresztül további gazdasági változókra.

Az ökonometriai alapú termelékenységi blokk egyértelmű korlátja, hogy a bevont változók (elemek) szükségszerűen olyanok lehetnek, amelyekre megfelelő empirikus változók illeszthetők, továbbá az egyes változók (rendszer-elemek) közötti kölcsönhatás a becslés logikájából következően egységes a régiók között (a modell egészében). Ez azonban elfedhet a régiós innovációs rendszerek közötti lényeges különbségeket, valamint korlátokat állít e rendszerek mélységi elemzése előtt.

Ebben a tanulmányban két olyan kiterjesztését mutatjuk be a GMR modellnek, amelyek azt célozzák, hogy a régiók termelékenysége mögött álló innovációs rendszert a korábbiakhoz képest részletesebben, pontosabban tudjuk megjeleníteni. E két kiterjesztés egy-egy eltérő modellezési szemléletre épül, azonban közösek abban, hogy a GMR keretrendszer termelékenységi blokkját értelmezik újra, vagyis elsősorban a régiós termelékenység, másodsorban más gazdasági változók mögött található folyamatokat, működési mechanizmusokat írnak le.

Az első kiterjesztés a rendszerdinamikai modellezés eszköztárához nyúl, amely komplex rendszerek leírására régóta használt módszer a szakirodalomban. A modell a régió innovációs rendszerének szereplőit és elemeit írja le, valamint ad meg közöttük dinamikus visszacsatolási viszonyokat. A második kiterjesztés az ágens alapú modellezés eszköztárát használja és ezen keresztül ad részletes leírást a régió innovációs rendszeréről. Utóbbi megközelítés a szereplőket egyedileg modellezi, valamint a szereplők tudását és képességeit explicit módon jeleníti meg, ami az innovációs potenciált befolyásolja.

Mindkét megközelítés alkalmas arra, hogy a korábbiaknál részletesebb innovációs rendszereket használjunk a GMR modellben, ezen keresztül pedig az innovációpolitika eszközeinek pontos megjelenítése és hatáselemzése válik lehetővé. Fontos ugyanakkor azt is kiemelni, hogy e kiterjesztések önmagukban is komplex modellek, így a GMR keretrendszerbe való beillesztésük praktikusán úgy lehetséges, hogy egy-egy vizsgált régió innovációs rendszerét leíró modellként emeljük be őket, miközben a modell további régiói a korább egyszerűbb megközelítés mellett működnek.

A tanulmány további részeiben bemutatjuk a GMR modellrendszer általános jellemzőit, kiemelten azokra a pontokra fókuszálva, amelyek a két kiegészítő modell illesztési felületeit adják (2. fejezet). Ezt követően külön-külön a rendszerdinamikai modell (3. fejezet) és az ágens alapú modell (3. fejezet) bemutatására kerül sor, valamint a GMR keretrendszerrel való összeillesztés lehetséges módszereit adjuk meg. A tanulmányt rövid összegzés zárja.

## **2. A GMR hatáselemző modellek általános jellemzői**

A GMR modellezési rendszer olyan hatáselemző modellt foglal magába, amely előzetes és utólagos forgatókönyv-elemzések készítése révén képes támogatni a fejlesztéspolitikai döntéseket. A gazdasági folyamatok szimulációját a rendszer integrált módon, különféle modellezési irányokra építkezve végzi el. Egyfelől a makrogazdasági folyamatokat a makrogazdasági és DSGE modellek (ERSI, 2002; Ratto et al. 2009) megközelítése révén, az ágazati összefüggéseket a többszektoros általános egyensúlyi (CGE) modellek (Bayar, 2007; Atuesta-Hewings, 2013) révén veszi figyelembe. A modellezési irányzat különös hangsúlyt fektet a területi hatások számszerűsítésére, így az egyes szakpolitikai beavatkozások földrajzi hatásainak figyelembevételére (pl. agglomerációs externáliák, a tudás térbeli terjedése, a termelési tényezők térbeli áramlása, kereskedelem, szállítási költség).

A modellrendszerrel bővebben Varga (2017), illetve Varga és szerzőtársai (2020b) ad leírást. Jelen kutatási jelentésben a magyarországi GMR modellek legújabb változatát használjuk, amely egy többszektoros-több régiós modell. A korábbi modell-specifikációk és alkalmazások ismertetése megtalálható Schalk és Varga (2004) és Varga (2007) (GMR-Magyarország), Varga és Baypinar (2016) (GMR-Törökország), Varga (2017) és Varga et al. (2020a) (GMR-Európa) tanulmányokban.

### **2.1.A modellrendszer felépítése**

A modell három módszertani megközelítésre építkezik, amelyek mindegyike a modellrendszer szerkezetének egy-egy fő blokkjának feleltethető meg. A *termelékenységi* (TFP – Total Factor Productivity) blokk, amely az innováció földrajzának alapjaira építkezik. A térbeli számszerűsíthető általános egyensúlyi (SCGE) blokk a gazdaságföldrajz legfontosabb tételein alapul (Krugman, 1991; Fujita et al., 1999). Végül a makrogazdasági (MACRO) blokk a nemzetgazdasági folyamatok figyelemvételéért felelős. A következőkben e modellblokkok rövid ismertetését adjuk.

### **2.2.A TFP (termelékenységi) blokk**

A modellrendszerben a teljes tényező termelékenység (TFP) változón keresztül jeleníthetők meg az innovációt érintő szakpolitikai beavatkozások (K+F támogatások, vállalkozásfejlesztési politikák, humántőke és interregionális tudáshálózat-fejlesztési politikák) (termelékenységi) hatásai. A blokk legfontosabb feladata, hogy modellezze azokat a mechanizmusokat, amelyek a tudástermelés és tudásterjedés mögött állnak, azok kölcsönhatásait, valamint azon folyamatokat, amelyeken keresztül e tényezők befolyásolják a termelékenységet.

A blokk a Romer (1990) által megalapozott tudástermelési függvény elvén alapul, amelyben az új tudás létrehozásához tudástermelési inputok felhasználására van szükség. Ezen inputok például a K+F ráfordítások, a munkaerőfelhasználás (foglalkoztatás), a régióban felhalmozott technológiai-tudományos tudás állománya, valamint az országos szintű tudásállomány. E tényezőkön túl az adott régió hozzáférhet a régión kívüli tudásállományhoz is a régióközi tudáshálózatokon keresztül, amelyet az ENQ index mér (Sebestyén és Varga, 2013a; 2013b). Az így elérhető addicionális tudás hatékonyabbá teszi a régióban a K+F kiadások felhasználását, ezáltal fokozva azok termelékenységi hatását. A tudáshálózatokon túl azonban a helyi vállalkozói környezet is fontos szerepet tölt be a termelékenység alakításában, amelyet a REDI index mér (Szerb et al., 2013). Feltételezés szerint a régió humántőke-állománya magasabb hatásfokkal tud hasznosulni fejlettebb vállalkozói környezet mellett, tovább fokozva a termelékenységi hatásokat.

### **2.3.Az SCGE blokk**

A TFP blokk által kiszámított termelékenységi hatások (amelyeket akár valamilyen fejlesztéspolitika beavatkozás, akár a regionális gazdaságok organikus változása váltott ki) elsődleges inputként szolgálnak a térbeli általános egyensúlyi (SCGE) modellblokkhoz. Az SCGE blokk feladata, hogy számszerűsítse a különféle fejlesztéspolitikai beavatkozások (K+F támogatás, humántőke, tudáshálózatok, vállalkozásfejlesztés, beruházások) regionális gazdasági hatásait, vagyis a regionális kibocsátásra, árakra, bérekre, foglalkoztatásra gyakorolt hatásokat. E regionális gazdasági hatások azonban nem függetlenek a más régiókban végbemenő folyamatoktól, így a modell fontos eleme a régiók közötti kapcsolódási pontok figyelembevétele (régióközi kereskedelem, tényezőáramlás és szállítási költség). Mindezeket azonban szintén alakítják az egyes régiókat jellemző pozitív és negatív agglomerációs externhatások is.

Az SCGE blokk alapvetően egy rekurzív dinamikus modell, ahol a statikus időszakok megoldásait a dinamikus folyamatok kapcsolják össze. Ezek között szerepel a TFP blokkban endogén módon meghatározott termelékenység alakulása, a tőke felhalmozódása és a termelési erőforrások régiók közötti áramlása. Adott időszakon belül (rövidtávon) tehát adott termelékenységi szint, valamint erőforrásállomány mellett áll be a statikus egyensúly figyelembe véve a régió szereplőinek régióon belüli és régióon kívüli összefonódásait (pl. ágazatközi kapcsolatok, kereskedelem). A statikus egyensúly

azonban nem garantálja, hogy a teljes interregionális modellrendszer egyensúlyba került. A régiók között meglévő különbségek (pl. hasznosság) a termelési tényezők áramlását indukálhatják, ami pedig a következő statikus időszak indulófeltételeit változtatja meg. Hosszú távon tehát e régióközi különbségek fokozatos enyhülése vezethet el a teljes interregionális rendszer egyensúlyához.

#### **2.4.A MACRO blokk**

A makrogazdasági (MACRO) blokk felelős a makroszintű gazdasági folyamatok és szakpolitikai beavatkozások (államadósság, fiskális politika stb.) figyelembevételéért, valamint azok aggregált hatásainak számszerűsítéséért. A modell jelenlegi formájában a MACRO blokk fő feladata az államadósság és a deficit alakulásának szabályozása a GDP-arányos államadósság alapján. Feltételezés szerint a kormányzat olyan intézkedéseket hoz (szabályozza a deficit mértékét), amelyek biztosítják, hogy a GDP-hez viszonyított államadósság hosszútávon kellően közelítsen az exogén módon megadott kívánatos szintjéhez.

Ennek eléréséhez a modellblokk minden időszakban rögzíti a GDP-arányos deficitet, amelyet aztán a következő időszak előtt újfent módosít az adósság-cél elérése érdekében. Minél jobban közelíti az adósság a kívánatos szinten, annál kisebb mértékű deficitmódosításra van szükség. A deficit alakulását azonban a gazdasági folyamatok is befolyásolják. A gazdasági növekedés rátája, az árszínvonal emelkedése nagyobb deficitet tesz lehetővé, míg az adósság után fizetendő (exogén) kamatok emelkedése szigorúbb deficitalkítást tesz szükségessé. A modell jelenlegi formájában a MACRO és az SCGE blokk között jelentős mértékű átfedés található, mivel az SCGE modell egy rekurzív dinamikus modell, amely a dinamikus elemeket (pl. a tőkefelhalmozást, a befektetési döntéseket stb.) már önmagában, integráltan tartalmazza.

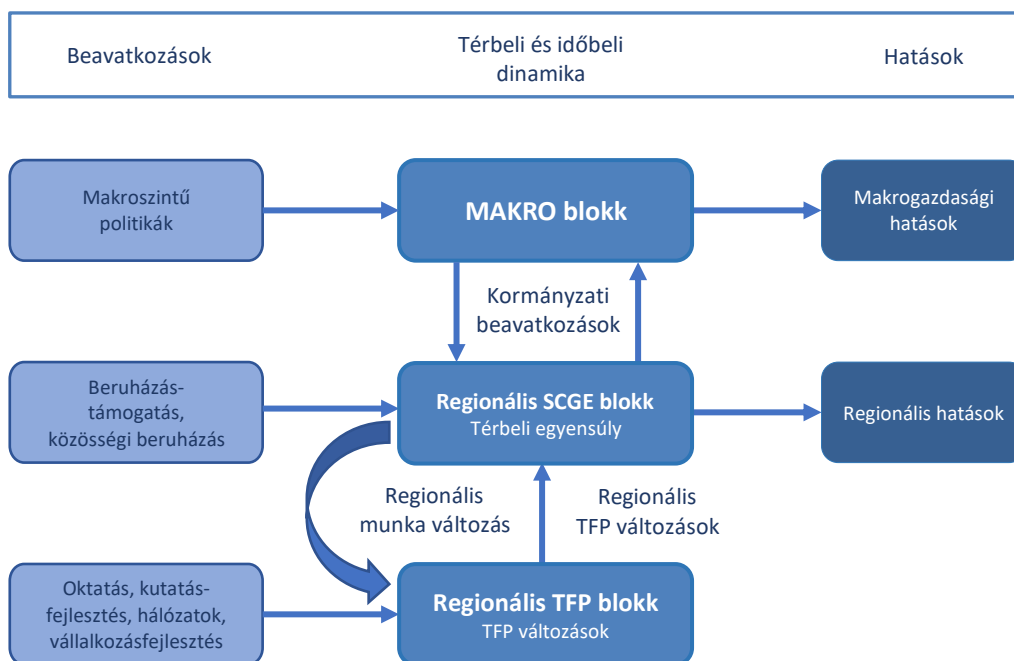
#### **2.5.A modell felépítése: visszacsatolások a blokkok között**

A GMR-modell működése során az előbbieken ismertetett három modellblokk interakciói alakítják a gazdasági hatásokat. Ezen kölcsönhatásokat az 1. ábra szemlélteti. A korábbiak alapján tehát a TFP blokk meghatározza a regionális termelékenység szintet, amely inputként szolgál az SCGE blokkban. A regionális termelékenység szint változása befolyást gyakorol az árakra, a termelésre, a termelési tényezők allokációjára, a kereskedelemre, a tényezők régióközi áramlására stb.

Az egyes beavatkozások hatásai a modellblokkok interakciói mentén alakítják ki azok közvetlen és közvetett gazdasági hatásait. A beavatkozások hatására megváltozó gazdasági változók (pl. migráció) következtében megváltozik a regionális foglalkoztatás nagysága, amely (egyfajta agglomerációs hatásként) visszacsatolást jelent a TFP blokk tudástermelési függvényének, így közvetve alakítja a termelékenység változását, amely további gazdasági és termelékenységi változásokat indukálhat.

#### **1. ábra: Hatásmechanizmusok a GMR-Magyarország modellben**





*Forrás: saját szerkesztés*

A visszacsatolások utolsó körében a gazdasági változások inputként szolgálnak a modell MACRO blokkjának. Ez főként az árszínvonal alakulását, a kormányzati adóbevételek, valamint a gazdasági növekedés ütemét jelentik, amelyek a MACRO blokk folyamatain keresztül alakítják a deficit, így pedig a kormányzati kiadások nagyságát. A deficit hatással van a beruházások nagyságára, mivel a hiányt a hazai, valamint a külföldi megtakarítások finanszírozhatják. A kormányzati kiadások pedig a termékpiacon jeleníthetnek meg hatásokat a kormányzati kereslet növekedése/csökkenése révén. Az ezen hatások által generált foglalkoztatásváltozás szintén újabb visszacsatolást jelent a termelékenységi blokk felé. Az egyes blokkok közötti kölcsön visszacsatolási mechanizmusok együttes eredménye alakítja ki a regionális és országos gazdasági hatásokat.

Az 1. ábrán az is látható, hogy a modell különböző blokkjaiban különböző beavatkozások kezelhetők. A már említett tudástermeléshez és az innovációhoz kötődő kapcsolatok beavatkozási eszközök a TFP blokkban vezethetők be. A térbeli gazdasági beavatkozások (beruházások, infrastruktúra-fejlesztési programok) az SCGE-blokkban kezelhetők a modellrendszeren belül. Végül a makrogazdasági politikákat a MACRO blokk képes kezelni (pl. fiskális politika). A modellblokkok kölcsönhatásainak eredményeként a modell képes nyomon követni ezen szakpolitikai beavatkozások várható gazdasági hatásait.

### 3. A rendszerdinamikai modell GMR modellbe történő integrálása

#### 3.1. Bevezetés

Ahogy az az előző fejezetben bemutatásra került, a fejlesztéspolitikai beavatkozások hatására bekövetkező termelékenységi változás a TFP blokkon belül kerül kiszámításra, méghozzá regionális szinten. Ez a változás inputként szolgál az SCGE blokknak, melyben a regionális és szektorális bontású TFP értékek a TFP blokk által számított regionális TFP változása alapján módosulnak. Jelen fejezet célja,

hogyan bemutassa, miként lehet a TFP blokkot kiegészíteni egy rendszerdinamikai modellel, mely képes megbecsülni közvetlenül a regionális és szektorális bontású TFP változást, így pontosabb inputot szolgáltatva az SCGE blokknak a termelékenység alakulásáról. Elsőként a rendszerdinamikai modell (SD modell) alkalmazásának előnyei kerülnek kifejtésre, majd az SD modell felépítését mutatjuk be, különös tekintettel a GMR modellel való kapcsolódási pontokra. Ezt követi a kapcsolódási pontok felírása az SCGE blokk keretein belül, végül a fejezetet összegzés zárja.

### **3.2. Az SD modell integrálásának előnyei, lehetőségei**

Az alkalmazott rendszerdinamikai modell célja, hogy bemutassa, miként működik a vizsgált regionális szektor, hogyan fejlődik az idő előrehaladtával (különös tekintettel az innováció-alapú átalakulásra), illetve hogyan módosul a fejlődési pályája különböző gazdaságpolitikai beavatkozások hatására. A modell tehát nem csupán a TFP-re ad egy becslést, hanem az egész szektor fejlődését modellezi, a TFP-t pedig a szektor mint rendszer részeként vizsgálja. Ennek előnye, hogy nem csak azokat a faktorokat tudjuk figyelembe venni, melyek közvetlenül a TFP-re hatnak, hanem azokat is, melyek közvetett módon befolyásolják azt, sőt, azokat a hatásokat is számításba vehetjük, melyek éppen a TFP megváltozásának következtében jönnek létre, és más változókon keresztül hatnak vissza a TFP-re. A rendszerdinamikai modell ugyanis képes a szektort mint komplex nemlineáris rendszert értelmezni, és azon belül a tovagyrűző hatásokat, visszacsatolásokat (rendszerszintű válaszokat) figyelembe venni. Ez fontos a TFP vizsgálata során, hiszen például, ha innovációk által megnő a szektor termelékenysége, akkor hatékonyabban, olcsóbban tud termelni, így magasabb profitja keletkezik. A magasabb profit révén a vállalatoknak több forrása lesz, amit beruházásokra, és azon belül is innovációk létrehozására tudnak fordítani. Ezáltal azonban megnő a vállalatok által bevezetett új innovációk száma, innovatív modern technológiákat tudnak alkalmazni, ami növeli a termelékenységüket. Látható, hogy könnyen előállhat olyan eset, amikor a TFP változása idővel visszahat önmagára. Figyelmünk kívül hagyva az ilyen típusú hatásokat azt kockáztatjuk, hogy torzított eredményeket kapunk. Mindemellett a rendszerdinamikai modellezés különösen előnyös módszer a folyamatok időbeli lezajlásának, a rendszerszintű változások dinamikájának vizsgálatára, ami lehetővé teszi, hogy az év közben jelentkező visszacsatolásokat is számításba vegyük.

A rendszerdinamikai modell képes meghatározni adott régió adott ágazatának TFP-jét, ami előnyös, hiszen a TFP blokk kizárólag a regionális TFP-t képes becsülni. Az SD modell a TFP-t egy adott szektor működésének részeként határozza meg, így képes figyelembe venni a szektorális sajátosságokat (a rendszer szerkezetét, a folyamatok időbeliségét), melyek meghatározzák a szektor (rendszer) viselkedését, reakcióját például fejlesztéspolitikai beavatkozásokra. Nem mindegy ugyanis, hogy adott beavatkozásra hogyan reagál egy szektor. Ugyanaz a regionális intézkedés (pl: a K+F kiadások növelése) más reakciókat vált ki a különböző ágazatokban (az eredmények eltérő időben jelentkezhetnek, eltérő mértékű hatást fejthetnek ki a szektorális tényezőkre), aminek következtében az ágazatok TFP-je is eltérő ütemben nőhet. A TFP alacsonyabb aggregáltsági szinten történő vizsgálata azért is fontos, mert az intelligens szakosodás stratégia (S3) korában a támogatások fókusza már nem a regionális gazdaság, hanem annak kiemelt fontosságú részei, az úgynevezett prioritási területek, azaz szektorok, alszektorok, technológiák. Az SD modell segítséget nyújt abban, hogy olyan intézkedések hatását is képesek legyünk vizsgálni, melyek egy régiónak kizárólag egy szektorát célozzák.

A TFP blokk egyenletei a TFP-t meghatározó legfontosabb tényezőket (regionális humán erőforrás, REDI, regionális és nemzeti szabadalmi állomány, K+F kiadások, ENQ, foglalkoztatottak száma)

tartalmazzák, a TFP változását ezen tényezők változása alapján számítja a modell. Mindezeket a tényezőket (néhány esetben a szektorális megfelelőjüket) a rendszerdinamikai modell is magában foglalja, azonban nem zárja ki más tényezők, folyamatok közvetett hatását sem. Így például a vállalatok innovativitásának és végső soron a termelékenységüknek meghatározásakor figyelembe veszi többek között a szereplők közötti együttműködések, a spillover hatásokat, a piaci folyamatokat, a beruházási döntéseket. Ennek megfelelően az SD modell többféle fejlesztéspolitikai beavatkozás hatását képes vizsgálni, mint a TFP blokk. A K+F kiadások növelése, a humán erőforrás fejlesztése, a nemzetközi kapcsolatok és a vállalkozói környezet minőségének javításán kívül képes megragadni a hatását például a helyi vállalatok közötti, illetve a vállalatok és az egyetemek közötti együttműködések elősegítésének, a klaszterszervezet fejlesztésének, az általános beruházási támogatásoknak vagy az agglomerációt ösztönző intézkedéseknek.

A rendszerdinamikai modell jelenleg a dél-dunántúli gépiparra van kalibrálva. A koncepcionális modell validálásához és a kalibráláshoz adatokat gyűjtöttünk a KSH adatbázisából, vállalati e-beszámolókból, az Opten adatbázisából és a helyi vállalatokat felmérő kérdőíves lekérdezés eredményeiből. Mivel a modell elsősorban szakirodalmi alapokon nyugszik, kellőképpen általános ahhoz, hogy kisebb módosítások (helyi és szektorális specifikumok bevezetése) és a megfelelő adatokkal történő kalibrálás után más régiók más ágazataira is alkalmazható legyen. Ennek megfelelően megvalósítható lenne az, hogy a rendszerdinamikai megközelítés teljes mértékben felváltsa a TFP blokkot. Ehhez arra lenne szükség, hogy a GMR modell minden régiójának minden ágazatára elkészüljön az SD modell egy változata, ami kiszámolja a hozzá tartozó TFP értéket és annak változását. Ez azonban meglehetősen munka- és adatigényes fejlesztésnek bizonyul. Jelen beszámolóban azt az esetet mutatjuk be, amikor a rendszerdinamikai modell kizárólag a vizsgálatok fókuszában lévő regionális szektor esetében kerül alkalmazásra, minden más régió és szektor esetében pedig továbbra is a TFP blokk szolgáltatja a szükséges adatokat.

A két modell összekapcsolása három ponton történik: 1) a TFP, 2) a munkaerő növekedési üteme, 3) a versenytársak tevékenysége, azaz az azonos szektorban, de más régióban tevékenykedő vállalatok működése. Az SD modell felépítését, továbbá a GMR modell és az SD modell együttműködését lehetővé tevő kapcsolódási pontokat a következő fejezetekben részletesen bemutatjuk.

### **3.3. Az SD modell felépítése különös tekintettel a kapcsolódási pontokra**

#### ***3.3.1. Általános bemutatás***

Ebben az alfejezetben a rendszerdinamikai modell felépítése, legfontosabb összefüggései, illetve a GMR modellhez való kapcsolódási pontjai kerülnek bemutatásra. A modellről részletesebb leírást Polónyi-Andor és társai (2021) tanulmányában találhatók.

A koncepcionális modell az intelligens szakosodás stratégia, az innovációs rendszerek és az iparági dinamika szakirodalmára épült. A modellt különböző modellblokkok alkotják, melyek egymással szoros kapcsolatban vannak, oda-vissza hatással vannak egymásra, ennek megfelelően együttesen, rendszerként kell vizsgálni őket. A modellben szerepel keresleti blokk, termelési blokk, beruházási

blokk, innovációs blokk, illetve agglomerációs blokk, melyek a következőkben kifejtésre kerülnek. A rendszerdinamikai modell az AnyLogic szoftver 7.2. professzionális verziójában készült.

### 3.3.2. Keresleti blokk

Kunc (2012) bemutatja az innováció rendszerdinamikai modellezési lehetőségeit többek között az iparág szintjén. 2018-as munkájában (Kunc, 2018) pedig részletesen tárgyalja az iparági fejlődés rendszerdinamikai megközelítését. Ezek alapján három meghatározó visszacsatolási hurok került beépítésre a modellbe: a piac fejlődését leíró hurok, a versenytársak szerepét megjelenítő hurok (keresleti blokk) illetve a vállalatok<sup>1</sup> fejlődését leíró hurok (termelési blokk). A keresleti blokk logikája szerint meghatározható a szektor potenciális vevői köre (potenciális kereslete), azaz célcsoportja. Amennyiben a potenciális vevők úgy döntenek, hogy megvásárolják a szektor termékeit, tényleges vásárlókká válnak. A vásárlók egy része a termék felhasználása után újból potenciális vevővé válik, és újabb terméket vásárolhat, ezt hívjuk termék pótló vásárlásnak (Kunc, 2018; Bass, 1969). A fenti folyamatok egy kiegyenlítő hurkot hoznak létre a rendszerben.

A potenciális vevők egyben a versenytársak (azonos szektorban, de más régióban tevékenykedő vállalatok) célcsoportjai is, így a vevők egy része tőlük fog terméket vásárolni. Ez szintén egy kiegyenlítő hurokként jelenik meg a rendszerben. Összességében tehát mind a vizsgált szektor vállalatainak, mind a versenytársaknak az értékesítése csökkenti a potenciális keresletet.

**A potenciális kereslet (PDM) egy állomány változó,** mely a versenytársak és a vizsgált szektor által kielégített kereslet (C és DS) és az új potenciális kereslet (NPD) alapján, az alábbi differenciálegyenlet szerint határozódik meg:

$$\frac{d(PDM)}{dt} = NPD - C - DS \quad (1)$$

A versenytársak által kielégített keresletet a potenciális kereslet és a versenytársak piaci részaránya (ShC) alapján a következő egyenlet szerint számoljuk:

$$C = PDM * ShC \quad (2)$$

Az SD modellben a versenytársak piaci részaránya konstans, habár feltételezhető, hogy bizonyos gazdaságpolitikai beavatkozások következtében megváltozik. Ezt a változást a GMR modell képes számszerűsíteni, és inputként továbbítani az SD modell felé. Ezen a ponton a két modell összekapcsolása a következők szerint történhet. A GMR modell kiszámítja, a versenytársak piaci részesedését alapesetben (baseline), illetve a gazdaságpolitikai beavatkozás hatását vizsgáló szcenárió esetében, majd a kettő hányadosaként meghatározza a változás mértékét. Ezt követően az alapesethez képest az SD modellben ugyanilyen mértékben fog változni a versenytársak piaci részaránya a beavatkozás hatására. Ezt az alábbi egyenlet írja le:

$$ShC^S = ShC^B \cdot \frac{ShC^{GMR,S}}{ShC^{GMR,B}}, \quad (3)$$

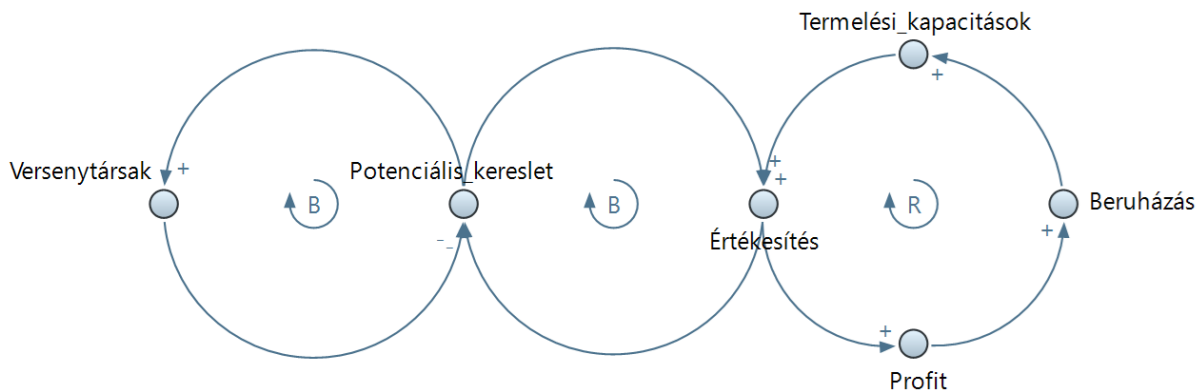
ahol GMR index az SCGE modellblokk változóit jelöli, míg B és S indexek rendre a szcenárió és a baseline szimulációkhoz tartozó változókat.

<sup>1</sup> A vállalatok fejlődését leíró hurok esetében Kunc (2018) egyetlen vállalat viselkedését vizsgálta, míg a többi vállalatot versenytársaként definiálta. Ezzel szemben modellünkben a vállalatok fejlődését megjelenítő hurok aggregáltan veszi figyelembe az összes dél-dunántúli gépipari vállalatot, feltételezve, hogy az alapvető viselkedési mintájuk azonos, továbbá a régió kívüli gépiparhoz tartozó vállalatokat tekinti versenytársnak.

### 3.3.3. Termelési blokk

A termelési blokk logikája szerint a vállalatok a termékük értékesítése által bevételekhez jutnak, és így profitra tesznek szert. A profitjuk egy részét a cégek beruházzák. Beruházási forrásaikat költhetik a termelési kapacitásaik bővítésére, ami szükséges ahhoz, hogy a keresletnek megfelelő mennyiségű terméket elő tudják állítani, és így tovább növeljék a profitjukat. Ez tehát egy önmegegerősítő hurkot eredményez. A keresleti és a termelési blokk közvetlenül kapcsolódik egymáshoz, ami a 2. ábrán is jól látható.

2. Ábra: A keresleti és a termelési blokk ok-okozati diagramja.



Forrás: Saját szerkesztés Kunc (2018) alapján

A vállalatok termelését Cobb-Douglas típusú termelési függvény írja le, miszerint a termékek előállításához ( $X$ ) a vállalatok munkát ( $L$ ) és tőkét ( $K$ ) használnak fel. A termelés hatékonyságát a teljes tényezőtermelékenység (TFP) mutatja meg, továbbá  $\alpha$  rugalmassági paraméter.

$$X = \text{TFP} * L^{\alpha} * K^{1-\alpha} \quad (4)$$

A rendszerdinamikai modellben a munkaerő változása a toborzás (Rec) és elbocsátás (Dis) függvénye, ahol a munkaerő növekedési üteme (Lgr) megegyezik a toborzás és elbocsátás növekedési ütemének (Rec\_gr és Dis\_gr) különbségével.

$$\frac{d(L)}{dt} = \text{Rec} - \text{Dis} \quad (5)$$

$$\text{Rec} = \text{Rec\_gr} * L \quad (6)$$

$$\text{Dis} = \text{Dis\_gr} * L \quad (7)$$

$$\text{Lgr} = (\text{Rec\_gr} - \text{Dis\_gr}) \quad (8)$$

A munka növekedési üteme exogén módon jelenik meg a modellben, habár feltételezhető, hogy az változhat bizonyos gazdaságpolitikai beavatkozások következtében. Például egy régióban a szektorális bérek változása esetén elindulhat a munkaerő szektorok közötti migrációja, és ennek következtében a szektorális munkaerő-állomány növekedési üteme eltérhet az egyensúlyi szinttől. Ezt a jelenséget a GMR modell képes megragadni és számszerűsíteni, így a két modell összekapcsolása révén a vizsgált regionális szektor munkaerő-állományának változása valósághűbben jelenhet meg az SD modellben. Ez úgy történhet, hogy a GMR modell kiszámítja, hogy a vizsgált gazdaságpolitikai beavatkozás következtében (szcenárió) a munka növekedési rátája milyen mértékben változik az alapesethez

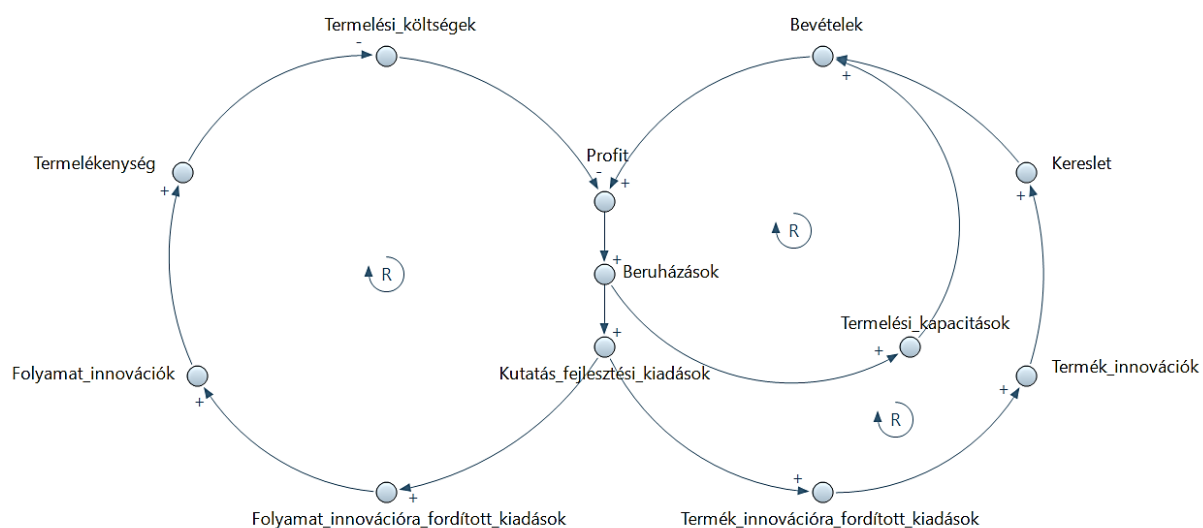
képest, és ezt az adatot továbbítja az SD modell felé. Az SD modellben pedig ez alapján kerül megállapításra a foglalkoztatottság beavatkozás melletti rátája, melyet az alábbi egyenlet ír le:

$$Lgr^S = Lgr^B \cdot \frac{Lgr^{GMR,S}}{Lgr^{GMR,B}}, \quad (9)$$

### 3.3.4. Beruházási blokk

A vállalatok beruházási döntéseit leíró blokk szorosan kapcsolódik a termelési blokkhoz, hiszen a cégek egyik beruházási célja a termelési kapacitások növelése. Ez jelenti egyrészt az elamortizálódott kapacitások pótlását, másrészt pedig a tényleges kapacitásbővítést. Emellett a vállalatok beruházási forrásai egy részét innovációs törekvéseik finanszírozására fordítják. Frenken és munkatársai (2015), Uriona - Grobbelaar (2019) illetve Choi és munkatársai (2016) alapján a vállalatok innovációit jellemzően két kategóriába sorolhatjuk: termék-innovációk és folyamat-innovációk. Mielőtt azonban megvizsgálánk az innovációk rendszerre gyakorolt hatását, vegyük szemügyre, hogy miért is érdekeltek a vállalatok az új innovációk bevezetésében. Egy iparág fejlődésében meghatározó szerepe van a piac méretének, azaz a kereslet növekedésének. Ahogy korábban bemutatásra került, a potenciális vevők száma folyamatosan csökken a ténylegesen vásárlók számával, tehát a szektor potenciális kereslete alapesetben csökkenő tendenciát követ. Ez ösztönzi a vállalatokat arra, hogy termék-innovációkat vezessenek be, mivel az új termékekkel vagy új termék tulajdonságokkal képesek új célpiacokra betörni, és így új potenciális vevőket is elérni (Kunc, 2018). Tehát a termék-innovációk által a vállalatok képesek növelni a keresletet, ami elegendő rendelkezésre álló termelési kapacitás mellett magasabb profitot eredményez, ami által a beruházásokra fordítható összeg is növekszik (Uriona - Grobbelaar, 2019). Így egy újabb önmegerősítő hurok jön létre a rendszerben. A másik típusú innovációs törekvést tekintve a vállalatok a folyamat-innovációk révén képesek növelni a termelési folyamatok hatékonyságát. A magasabb termelékenység (TFP) következtében ugyanazt a termékmennyiséget alacsonyabb költségek mellett tudják előállítani, így végső soron magasabb profitot tudnak elérni. A profittal együtt a beruházásra szánt források mennyisége is növekszik, így összességében egy önmegerősítő hurok alakul ki (Choi et al., 2016). A beruházási blokk ok-okozati diagramja a 3. ábrán látható.

3. Ábra: A beruházási blokk ok-okozati diagramja



Forrás: Saját szerkesztés

A rendszerdinamikai modellen belül tehát a TFP-t közvetlenül meghatározó tényező a folyamatinnováció, melyet számos más tényező mellett (lásd később) a folyamatinnovációk létrehozására szánt K+F források nagysága is befolyásol. A TFP állományváltozóként van definiálva, mely a saját értéke, egy exogén növekedési ráta (TFP\_ex\_gr), az új folyamat-innovációk száma (P\_I) és kalibrált paraméterek alapján a következő differenciálegyenlet szerint változik:

$$\frac{d(TFP)}{dt} = TFP\_flow, \text{ ahol} \quad (10)$$

$$TFP\_flow = TFP * TFP\_ex\_gr * \left(\frac{P\_I}{215}\right)^{0,5} \quad (11)$$

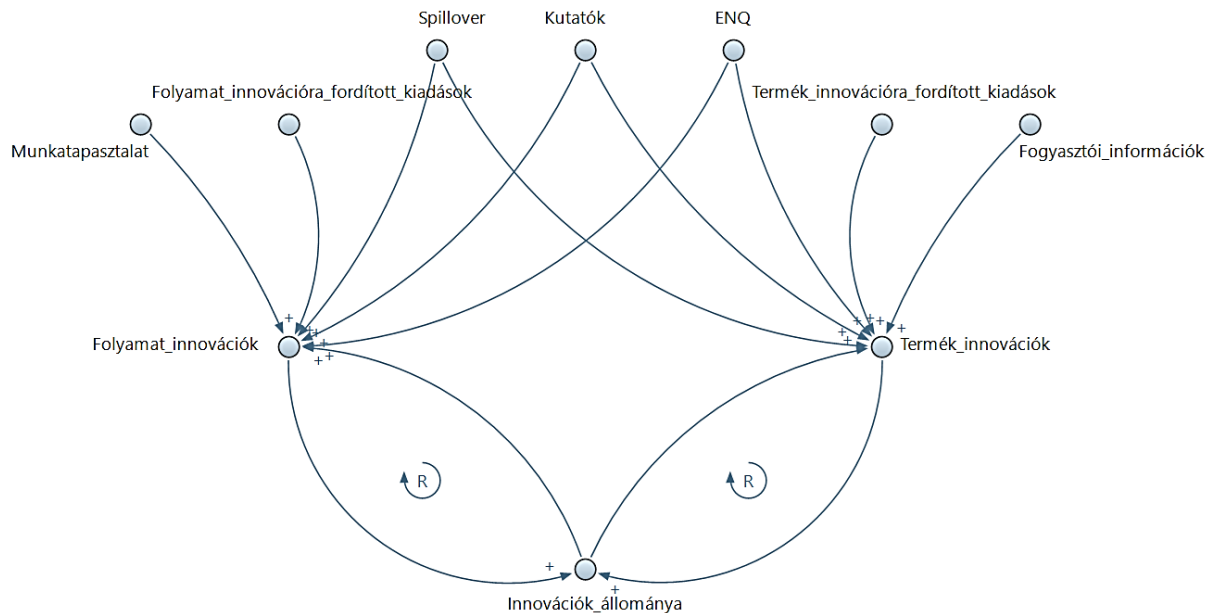
Az SD modell képes évről évre számszerűsíteni, hogy a szektorális TFP milyen mértékben változott, és ezt az információt továbbítja a GMR modell SCGE modellblokkjának az alábbiak szerint:

$$\frac{TFP_{t+1}}{TFP_t} = \frac{TFP_{t+1}^{GMR}}{TFP_t^{GMR}} \quad (12)$$

### 3.3.5. Innovációs blokk

Mind a folyamat-innovációk, mind a termék-innovációk a szektor innovációs állományában akkumulálódnak. A felhalmozott innovációk és a mögöttük rejlő tudás viszont idővel elavul, értéktelenné válik, így a vállalatoknak újabb és újabb innovációkat kell bevezetniük ahhoz, hogy a szektor innovációs állományát szinten tartsák. Az innovációk létrehozásához azonban több tényező is szükséges. Mind a termék-, mind a folyamat-innovációk bevezetését pozitívan befolyásolja az innovációs tevékenységekkel foglalkozó munkatársak száma, továbbá a már felhalmozott innovációk állományának nagysága (Lee, 2006). Mindemellett az innovációk létrehozására szintén pozitív hatást gyakorol a regionális tudástranszfer nagysága, azaz a vállalatok közötti tudás spillover (Dangelico et al., 2010), továbbá a régió kívülről érkező tudástranszfer, amit a régió kívüli tudáshálózatokba való beágyazódással (ENQ) mérünk. Bár a felsorolt tényezők pozitívan befolyásolják mind a termék-, mind a folyamat-innovációk előállítását, fontos megjegyezni, hogy hatásuk eltérő mértékű lehet a különböző innováció-típusok esetében. A folyamat-innovációk létrehozásában fontos szerepe van még a folyamat-innovációk előállítására, K+F tevékenységekre költött összeg nagyságának, illetve a vállalatok által felhalmozott munkatapasztalatoknak (Lee, 2006). A munkatapasztalatokat a vállalatok a termelés és az ahhoz kapcsolódó folyamatok során szerzik. Ennek megfelelően a modellben a cégek által felhalmozott munkatapasztalatok a termelés nagyságától függnak. A termék-innovációk bevezetésében szintén hangsúlyos szerepe van a termék-innovációk létrehozására fordított kiadásoknak, továbbá a vevők igényeivel kapcsolatos információknak, a vevői visszajelzéseknek. Utóbbi mértke a modellben a vállalatok által kielégített kereslet nagyságától függ. A modell innovációs blokkja a 4. ábrán szerepel.

## 4. Ábra: Az innovációs blokk ok-okozati diagramja



*Forrás: Saját szerkesztés*

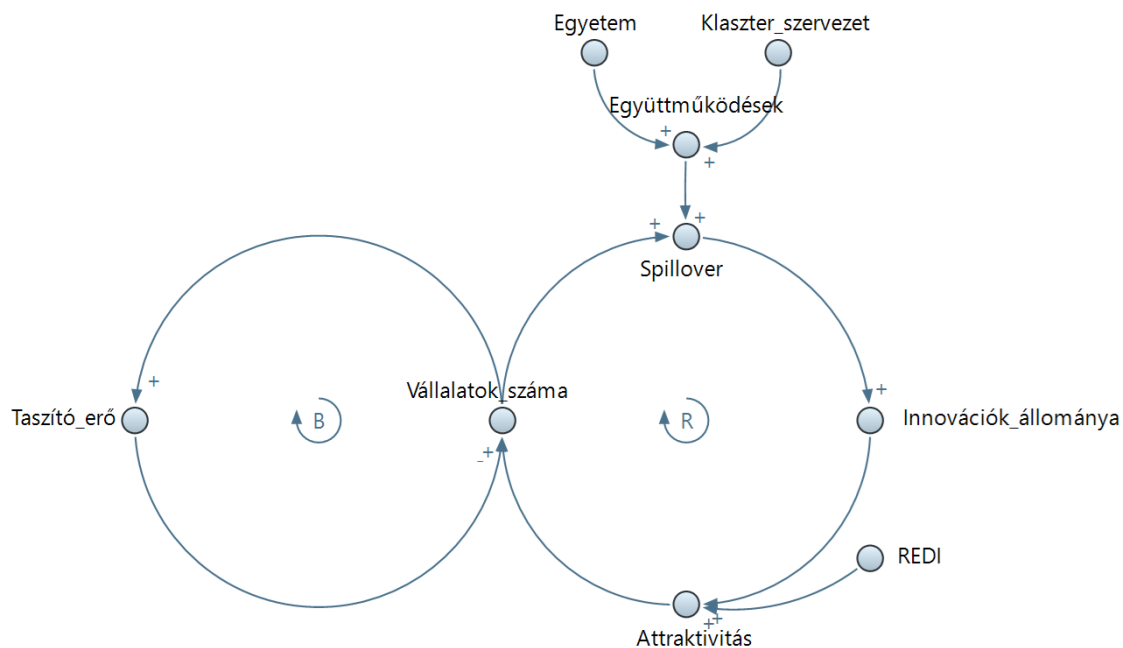
### 3.3.6. Agglomerációs blokk

Egy iparág fejlődésében fontos szerepet játszanak az agglomerációs hatások is (Bergman, 2008), ezért egy agglomerációs blokk is beépítésre került a modellbe. Eszerint a vizsgált szektorban felhalmozott innovációs állomány növeli a szektor vonzókéességét, azaz minél több az elérhető innováció és ezzel összefüggésben az elérhető tudás a régióban, annál több új vállalat jön létre, vagy költözik be a vizsgált szektorba (Dangelico et al., 2010). A regionális iparág vonzerejét emellett a helyi vállalkozói környezet minősége is befolyásolja, amit a regionális vállalkozói és fejlődési index (REDI) segítségével mérünk. A szektor vonzókéessége tehát pozitívan hat a regionális iparágban tevékenykedő vállalatok számára. Minél több vállalat működik a szektorban, annál nagyobb lesz a spillover hatás, azaz annál több értékes tudás áramlik a vállalatok között (Rocha et al., 2020). A tudástranszfer nagyságát a vállalatok közötti együttműködések mértéke is pozitívan befolyásolja. Együttműködés kialakulhat vállalati partnerek között, illetve a vállalatok és az egyetemek között is. A vállalati együttműködések kialakulását a klaszter szervezet munkája támogatja. A spillover hatások pozitívan befolyásolják az új innovációk bevezetését, és ezáltal a felhalmozott innovációs állományt, így egy önmegerősítő hurok jön létre a rendszerben. A pozitív agglomerációs hatások mellett egyfajta negatív, taszító hatás is megfigyelhető a helyi verseny erősségének függvényében, ami annál nagyobb, minél több vállalat tevékenykedik ugyanabban a regionális iparágban (Dangelico et al., 2010). A taszító hatás következtében a vállalatok egy része elhagyja a szektort, magával viszi a rendelkezésére álló tudásállományt, így a spillover hatások, és a régió innovációs állománya is csökkenni fog. Mindezek következtében a szektor vonzereje csökken, ami negatív hatással van a vállalatok számára és ezáltal a taszító hatás erejére is. Így egy kiegyenlítő hurok jelenik meg a rendszerben. Az agglomerációs blokk ok-okozati diagramja a 5. ábrán látható. Az agglomerációs blokk szoros kapcsolatban van a termelési és beruházási blokkal, mivel az újonnan belépő vállalatok a kezdeti beruházásuk nagyságával növelik a szektor aggregált beruházásának nagyságát. Ezzel szemben a kilépő vállalatok felszámolják a helyi termelési kapacitásaikat, így a szektor aggregált tőkeállománya csökkenni fog. Mindemellett a K+F kiadások nem csak közvetlenül az újonnan előállított innovációk által, a magasabb termelékenység, illetve a megnövekedett kereslet révén térülnek meg, hanem a felhalmozott innovációs állomány által az agglomerációs és spillover hatásokon



keresztül is. Ez a tudás, mint nem rivális jószág tulajdonságaira és a marshalli externhatásokra vezethető vissza (Rocha et al., 2020; Romer, 1994)

**5. Ábra:** Az agglomerációs blokk ok-okozati diagramja



*Forrás: Saját szerkesztés*

Rendszerdinamikai modellünk teljes, a fent bemutatott modellblokkokat tartalmazó ok-okozati diagramja az 6. ábrán szerepel.

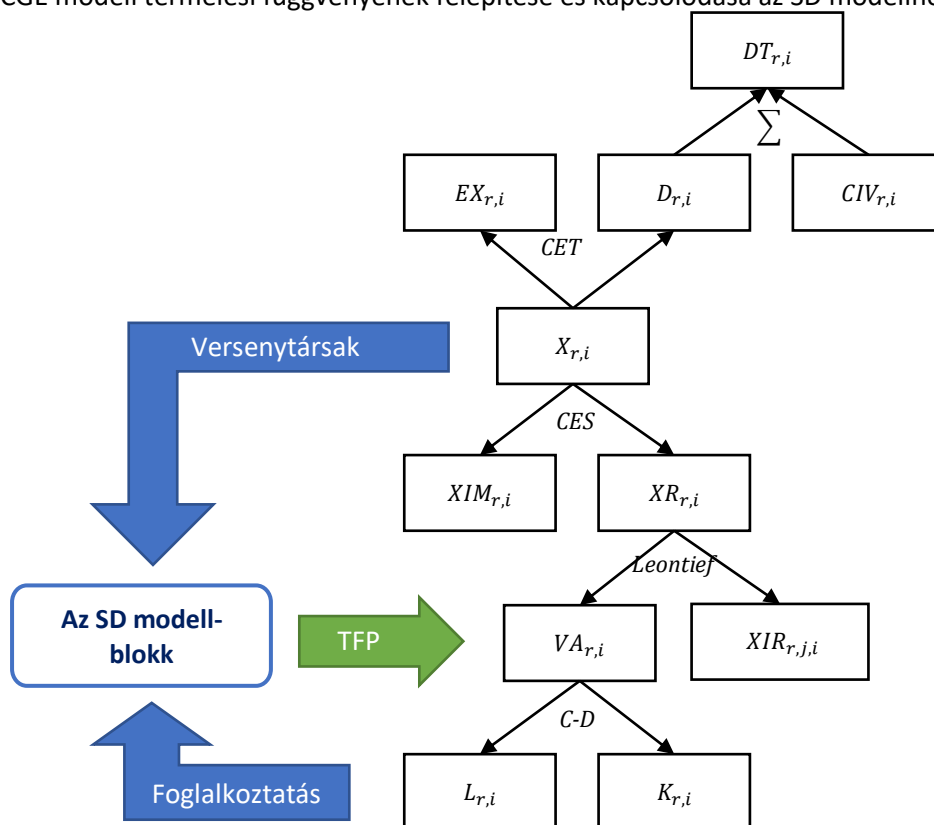
**6. Ábra:** A rendszerdinamikai modell ok-okozati diagramja



inputok hatására számszerűsíti az ágazati termelékenység várható változását, amely pedig az SCGE modellbe kerül továbbadásra inputként. Így a kölcsönös egymásra hatásokon keresztül a két modellblokk endogén módon határozza meg (kiegészülve a többi blokkal) a különféle beavatkozások termelékenységi és gazdasági hatásait. Az így elkészült blokk kifejezetten alkalmas arra, hogy specifikusan a Dél-Dunántúli Régióban működő gépipari ágazathoz kötődő szakpolitikai szimulációk gazdasági hatáselemzését végezzék el vele.

A fent említett kapcsolódási pontok mind megjeleníthetők a modell termelési oldalának ábrázolásával is. E struktúrát és a két modell kapcsolódási pontjait a 7. ábra szemlélteti.

7. **ábra:** az SCGE modell termelési függvényének felépítése és kapcsolódása az SD modellhez



Forrás: saját szerkesztés

A termelést egy többszintű termelési függvény írja le, amelynek egyes szintjei a következők. A termelés legalsó szintjén a vállalatok Cobb-Douglas termelési függvény szerint használnak fel elsődleges erőforrásokat (munkát ( $L_{r,i}$ ) és tőkét ( $K_{r,i}$ )). Ezen a szinten lép ki a foglalkoztatási hatás az SD modellbe és itt érkezik be az ágazati TFP az SD modellből is.

A következő szinten az így képzett kompozit erőforrást (hozzáadott értéket -  $VA_{r,i}$ ) és közbelső termékeket ( $XIR_{r,j,i}$ ) hasznosítanak Leontief technológia mellett, végül a termelés legfelső szintjén egy konstans helyettesítési rugalmasságú (CES)<sup>2</sup> termelési függvény írja le az importált ( $XIM_{r,i}$ ) és a

<sup>2</sup> Constant Elasticity of Substitution

hazai előállítású termékek ( $XR_{r,i}$ ) felhasználását a bruttó kibocsátás előállításában ( $X_{r,i}$ ), vagyis a hazai előállítású és importjavak egymás tökéletlen helyettesítői. Itt, vagyis a teljes értékesítési/termelési mennyiség meghatározásánál lép ki az SD modellbe a hazai és külföldi versenytársak szerepének változását reprezentáló potenciális keresleti hatás.

Végül az értékesítés során a vállalatok dönthetnek a hazai ( $D_{r,i}$ ) vagy a külföldi exportpiacon ( $EX_{r,i}$ ) történő értékesítésről, melyek között tökéletlen transzformációs viszony áll fenn. Az allokáció során vállalatok adott kibocsátási szint mellett maximalizálják az értékesítésből származó bevételt, amelyet korlátoz a két piac közötti tökéletlen transzformáció, amely leírását egy konstans transzformációs rugalmasságú (CET<sup>3</sup> típusú) aggregáló függvény adja.

### 3.4.1. A foglalkoztatás

Az SCGE modellben a termelés alsó szintjén határozódik meg az erőforrások (munka és tőke) kereslete, amelyet az alábbi Cobb-Douglas típusú termelési függvényből vezethetünk le:

$$VA_{r,i} = aCD_{r,i} \cdot L_{r,i}^{\alpha_{r,i}} \cdot K_{r,i}^{\beta_{r,i}} \quad (13)$$

Ahol  $aCD_{r,i}$  a hatékonysági paraméter (teljes tényező termelékenység – total factor productivity (TFP)),  $\alpha_{r,i}$  és  $\beta_{r,i}$  pedig a munka és a tőke parciális kínálati rugalmasságai. Költségminimalizáló magatartást feltételezve a vállalatok célja adott szintű kibocsátáshoz tartozó összköltség minimalizálása. Az ehhez szükséges kétféle input közötti optimális megoszlási arányt az árak aránya szabja meg. A munkaerő esetében ezt az alábbi költségminimalizálásból levezethető keresleti függvény írja le:

$$L_{r,i} = \left( \frac{VA_{r,i}}{aCD_{r,i}} \right) \cdot \left( \frac{\alpha_{r,i} \cdot PK_{r,i}}{\beta_{r,i} \cdot PL_{r,i}} \right) \quad (14)$$

Ahol egyensúlyban az így adódó ágazati munkaerőkereslet meg kell, hogy egyezzen az ágazati munkaerőkínálattal ( $LI_{r,i}$ ) az alábbiak szerint:

$$L_{r,i} = LI_{r,i} \quad (15)$$

Ahol az ágazati munkaerőkínálat az ágazatközi súrlódástól nem mentes mobilitás, valamint a munkavállalók optimalizáló magatartásának függvénye. Minél nagyobbak a bérkülönbségek az ágazatok között, annál nagyobb mértékben rendeződhet át a régióban az ágazati munkaerőkínálat. E mechanizmust az alábbi CET függvényből levezethető ágazati munkaerőkínálati függvény írja le.

$$LS_r = d_r^{LR} \cdot \sum_i \left( b_{r,i}^{LI} \cdot LI_{r,i}^{\rho_r^{LI}} \right)^{\frac{1}{\rho_r^{LI}}} \quad (16)$$

Ahol  $d_r^{LR}$  a CET függvény szintparamétere,  $b_{r,i}^{LI}$  a részesedési paraméter,  $\rho_r^{LI}$  pedig a transzformáció rugalmasságának a paramétere. Ezen esetben a bevétel (bérjövedelem) maximalizálása során a fenti CET

---

<sup>3</sup> Constant Elasticity of Transformation

függvény transzformációs korlátként való figyelembevételével levezethetők az ágazati munkaerő-kínálati függvények:

$$LI_{r,i} = \left( \frac{PL_{r,i}}{PLR_r} \right)^{\sigma_r^{LI}} \cdot (b_{r,i}^{LI})^{-\sigma_r^{LI}} \cdot (d_r^{LR})^{-\sigma_r^{LI}-1} \cdot LS_r \quad (17)$$

Ahol  $PL_{r,i}$  az ágazati regionális bérek (a munka árindexe),  $PLR_r$  az aggregált regionális munkabér,  $\sigma_r^{LI}$  pedig a transzformáció rugalmassága.

Az ágazati munkaerőfelhasználást tehát komplex folyamatok határozzák meg az SCGE modellben, így szükséges e hatások SD modellbe történő becsatornázása. Ennek módja a következő: Az SCGE blokk kiszámítja a munkaerő növekedési rátáját ( $Lgr_{r,i}^t$ ) az alábbiak szerint:

$$\frac{L_{r,i}^t}{L_{r,i}^{t-1}} = Lgr_{r,i}^t \quad (18)$$

Ezt követően a modell kiszámítja, hogy az alapesethez (baseline) képest hogyan alakul a növekedési ütem a gazdasági beavatkozások hatását vizsgáló scenárióban. Sokk hatására az SD modellben a munka növekedési rátája ugyanolyan mértékben változik a baseline-hoz képest, mint a GMR modellben. Ezt az összefüggést az alábbi egyenlet írja le:

$$Lgr_{r,i}^{SD,S,t} = Lgr_{r,i}^{SD,B,t} \cdot \frac{Lgr_{r,i}^{S,t}}{Lgr_{r,i}^{B,t}}, \quad (19)$$

ahol az SD index a rendszerdinamikai modell változóit jelöli, S és B pedig rendre a scenárió, illetve a baseline szimulációk változóit. Ekkor az SD modellben a munkaerőfelhasználás növekedési üteme az SCGE modellbeli munkaerő növekedési rátájának baseline-tól vett relatív eltérése szerint alakul.

### 3.4.2. A potenciális kereslet

A rendszerdinamikai modell egy másik fontos változója a potenciális kereslet alakulása. Bár az SCGE blokkban nem található ennek tökéletesen megfeleltethető változó azonban a meglévő változók felhasználásával igyekeztünk minél koherensebb módon összekapcsolni a két modellt. Ehhez elsőként „lefordítottuk” a potenciális kereslet változóját az SCGE modell logikájára. Az alábbiakban ezen logika lépései olvashatók.

A potenciális kereslet meghatározásakor az export és a belföldi piacokon történő értékesítés együttesét, vagyis a bruttó kibocsátást ( $X_{r,i}$ ) használtuk fel. A modellben a bruttó kibocsátás a hazai és az importált inputok CES kombinációjaként adódik az alábbi egyenlet szerint<sup>4</sup>:

<sup>4</sup> Ahol  $d_{r,i}^{X1}$  a CES függvény szintparamétere,  $b_{r,i}^{XR}$  és  $b_{r,i}^{XIM}$  a hazai és importált inputok részesedési paramétere,  $\rho_{r,i}^{X1}$  pedig a helyettesítés paramétere.

$$X_{r,i} = d_{r,i}^{X_1} \cdot \left[ b_{r,i}^{XR} \cdot (XR_{r,i})^{\rho_{r,i}^{X_1}} + b_{r,i}^{XIM} \cdot (XIM_{r,i})^{\rho_{r,i}^{X_1}} \right]^{\frac{1}{\rho_{r,i}^{X_1}}} \quad (20)$$

Az SD modellben a potenciális kereslet nagysága endogén módon számítható, viszont a kezdeti értéke csupán hozzávetőlegesen becsülhető az elérhető adatok alapján. Ezt a becslést pontosíthatja a GMR modell azáltal, hogy kiszámítja a potenciális kereslet, vagyis a maximális piacméret kiinduló értékét az alábbi egyenletnek megfelelően:

$$PDM0_i^{SD} = X0_{r,i}^{SD} \cdot \frac{\sum_r X0_{r,i}}{X0_{r,i}} \quad (21)$$

Ahol  $PDM0_i$  a maximális országos piacméret nagysága, amely a potenciális kereslet forrása lehet.  $X0_{r,i}^{SD}$  az SD modell szerint számított ágazati kibocsátás, míg  $X0_{r,i}$  ugyenezen változó SCGE modell szerinti nagysága. Feltételezésünk szerint tehát az SD modellben a maximális országos piacméret hasonlóképp aránylik az ágazati kibocsátáshoz, mint az SCGE modellben (ugyanannyiszorosra).

A maximális piacméret teljes egésze ugyanakkor nem releváns az adott régió vállalatai számára hisz azt részben a versenytársak is kielégíthetik. A versenytársak piaci részarányát az alábbi egyenlet határozza meg:

$$\frac{\sum_r X_{r,i}^t - X_{r,i}^t}{\sum_r X_{r,i}^t} = ShC_i^t, \quad (22)$$

Ahol  $ShC_i^t$  a versenytársak piaci részarányát jelöli. Az SD modell nem képes arra, hogy kiszámítsa, milyen mértékben változik ez a részarány különböző beavatkozások hatására, viszont a GMR modell igen, így ezt is hasznos inputként tudja továbbítani az SD modell felé az alábbiak szerint:

$$ShC_i^{SD,S,t} = ShC_i^{SD,B,t} \cdot \frac{ShC_i^{S,t}}{ShC_i^{B,t}} \quad (23)$$

Sokk hatására tehát az SD modellben a versenytársak piaci részaránya az SCGE modell ennek megfelelő részarányának baseline-tól vett relatív eltérése szerint alakul.

### 3.4.3. A termelékenység

Végül az utolsó visszacsatolási pont az ágazati termelékenység alakulása. Ez az egyetlen pont, ahol nem az SCGE blokk csatol vissza az SD modellnek, hanem éppen fordítva az SD modell ad inputokat az általános egyensúlyi blokknak.

A modell jelenlegi formájában az alábbi TFP egyenlet szabályozza a regionális termelékenység alakulását:

$$\begin{aligned} \ln(TFP_{r,t}) = & \beta_0^{TFP} + \beta_1^{TFP} \cdot \ln(ENQ_{r,t-1}) + \beta_2^{TFP} \cdot \ln(HumCap_{r,t-1} \cdot REDI_{r,t-1}) + \beta_3^{TFP} \\ & \cdot \ln(RegPatStock_{r,t-1}) + \beta_4^{TFP} \cdot BpPeDum_{r,t} + \beta_5^{TFP} \\ & \cdot \ln(RegPatStock_{r,t-1}) \cdot BpPeDum_{r,t} + \beta_6^{TFP} \cdot KeDum_{r,t} + \beta_7^{TFP} \\ & \cdot VaDum_{r,t} + \vartheta_{r,t} \end{aligned} \quad (24)$$

Ahol a regionális TFP-t a régió tudáshálózati beágyazottsága ( $ENQ_{r,t}$ ), a humán tőke állománya ( $HumCap_{r,t}$ ), a vállalkozói ökoszisztéma ( $REDI_{r,t}$ ), valamint a regionális tudásállomány ( $RegPatStock_{r,t}$ ) határozza meg. Ahol  $BpPeDum_{r,t}$ ,  $KeDum_{r,t}$  és  $VaDum_{r,t}$  rendre Budapest, Pest, Komárom-Esztergom és Vas megye dummy változói,  $\vartheta_{r,t}$  a hibatarag,  $\beta_i^{TFP}$  paraméterek pedig a becsült együtthatók.

A regionális termelékenység szintje ezen egyenlet mentén minden időszak végén kiszámításra kerül, amely a következő időszak elején ( $t+1$ ) érvényes regionális termelékenységet fogja jelenteni. Mivel azonban a TFP blokk nem képes ágazati hatásokat szimulálni, így a kiszámított regionális TFP relatív változását egységes, ágazatsemleges módon vetítjük az ágazati TFP értékek változására:

$$aCD_{r,i}^{t+1} = \frac{TFP_{r,t+1}}{TFP_{r,t}} \cdot aCD_{r,i}^t \quad (25)$$

Ahol  $aCD_{r,i}$  az ágazati termelési függvény alsó szintjének szint- (teljes tényező termelékenységi) paramétere.

Az SD modell által kiszámított ágazati TFP azonban lehetőséget teremt arra, hogy a gépipar esetében a (25) egyenlet által megfogalmazott egyszerűsítő feltevéstől eltérjünk. Ezáltal az adott régió gépipari ágazatának termelékenységét már nem a TFP blokk regionális termelékenységének változása határozza meg, hanem az SD modell által kiszámított ágazati termelékenység változása:

$$aCD_{r,gép}^{t+1} = \frac{TFP_{r,t+1}^{SD}}{TFP_{r,t}^{SD}} \cdot aCD_{r,gép}^t \quad (26)$$

## 4. Az AB modell GMR modellbe történő integrálása

### 4.1. Bevezetés

A tanulmányban bemutatásra kerülő ágens alapú (agent-based, AB) modell a régióban keletkező új tudás létrehozásának folyamatát foglalja magába, ami a GMR modellen belül a regionális termelékenység meghatározásában játszik szerepet. A fejlesztéspolitikai beavatkozások hatására bekövetkező termelékenységi változások a TFP blokkban kerülnek kiszámításra regionális szinten. Ez a változás inputként szolgál az SCGE blokknak, melyben a regionális és szektorális bontású TFP értékek a TFP blokk által számított regionális TFP változása alapján módosulnak. Jelen fejezet célja, hogy bemutassa, miként lehet a TFP blokkot kiegészíteni és részben helyettesíteni egy ágens alapú modellel, mely képes előrejelzést adni a régió egy adott szektorában keletkező új tudásra, ezáltal a TFP változására, így pontosabb inputot szolgáltatva az SCGE blokknak a termelékenység alakulásáról. Elsőként az AB modell előnyei kerülnek bemutatásra, majd az AB modell felépítését ismertetjük. Ezt követi az AB és GMR modellek közötti kapcsolódási pontok leírása, végül a fejezetet összegzéssel zárul.

### 4.2. Az AB modell integrálásának előnyei

Az ágens alapú modellezés egy olyan szimulációs módszer, amely alkalmas több ágens egyidejű tevékenységét és azok interakcióit megragadni, ezáltal egy komplex jelenség kialakulását modellezni (Kirman 1997). Ez a megközelítés lehetővé teszi, hogy heterogén szereplőkként kezeljük a gazdasági folyamatokban résztvevő ágenseket, akik egy adott környezetben a modellben megadott

tulajdonságaik és viselkedési szabályaik alapján interakcióba lépnek egymással, és a kölcsönhatásaik nyomán alakul ki a kollektív jelenség. Az ágens alapú modellek szakpolitikai döntések előkészítésének eszközei lehetnek, ugyanis alkalmasak különböző intézkedések várható hatásainak vizsgálatára. Egy ilyen szimulációs modell abban segít, hogy kezelni lehessen a komplexitást, jobban megértsük a rendszer dinamikáját, és be lehessen azonosítani a lehetséges beavatkozási pontokat (Ahrweiler, 2017). Mint láthattuk, a GMR modell termelékenységi blokkjának (TFP blokk) elsődleges feladata, hogy modellezze a tudástermelés és tudásterjedés folyamatait, valamint azt, hogy ezek hogyan befolyásolják a termelékenységet. A TFP blokk regressziós együtthatók alapján számítja a szabadalmak számát mint a régióban keletkezett új tudást, ezt inputként felhasználva (kumulált formában) pedig a régió teljes tényező termelékenységét. A tudástermelés azonban egy olyan komplex folyamat, ami több önállóan cselekvő szereplő tevékenységeinek és kölcsönhatásainak eredménye, ami ágens alapú szimulációval jobban megragadható.

Az utóbbi évtizedekben a regionális K+F és innovációs tevékenység vizsgálatára különböző AB modellek jelentek meg, mint például a VISIBLE szimulációs környezet (Pyka et al. 2018), ami a regionális innovációs folyamat mikro-szintű megalapozását teszi lehetővé. Ezeknek a szimulációs megközelítéseknek az erőssége abban áll, hogy a tudást az egyes szereplők szintjén határozzák meg, így lehetőség van a tanulás, tudásáramlás és innováció részletesen kifejtett folyamatainak beépítésére a modellbe. Ponsiglione és szerzőtársai (2018) a komplex adaptív rendszer (Complex Adaptive System, CAS) megközelítést alkalmazza a regionális innovációs rendszerek (RIS) elemzési keretében, amit a továbbiakban komplex adaptív RIS-nek (CARIS) neveznek. Egy olyan AB modellt hoznak létre, ami a hatékony innovációs politika kialakítását segíti. Kutatásuk különösen releváns a lemaradó régiók számára, ahol a szakpolitikai beavatkozások ellenére sem alakult ki megfelelő alap az innovációhoz. A SKIN modell (Ahrweiler et al., 2004) a szervezetek egyéni és kooperatív innovációs tevékenységét foglalja magában. Az ágensek viselkedését egyrészt a tudásbázisuk, másrészt egyéb változók, mint például a partnerkeresési stratégia vagy a kutatási attitűd határozzák meg. Korber és társai (2009) a SKIN modell elveiből kiindulva hoztak létre egy AB modellt a bécsi biotechnológiai szektorra mint innovációs rendszerre. Egyéb regionális-szektorális megközelítések is születtek a bécsi biotechnológiára vonatkozóan, amelyekben vizsgálták a K+F támogatások különböző típusainak hatását (Korber és Paier 2013, 2014) valamint a specializáció és diverzifikáció kérdését (Dünser és Korber 2017). Az osztrák félvezető iparra is megalkottak (Paier és szerzőtársai 2017, Neuländtner et al. 2019) egy modellváltozatot, kifejezetten a szakpolitikai intézkedések támogatásának céljából. Ezen modellekre építve alakítottuk ki a jelen tanulmányban ismertetett, új tudás létrehozását szimuláló AB modellt. Az előbbiekhöz képest jelen modell az egyetemi szereplőket is explicite figyelembe veszi dinamikus modellelemekként, ami lehetővé teszi az akadémiai és üzleti szféra közötti tudásáramlás vizsgálatát is. Baranya megye biotechnológiai szektorának adatait felhasználva finomítottuk a szakirodalom alapján felépített koncepcionális modellt, valamint ezen adatok segítségével állítottuk be a modell paramétereit és egyes kezdeti értékeit. Egyrészt kérdőívek segítségével felmértük a régióban biotechnológiával (is) foglalkozó vállalatok, egyetemi intézetek és kutatócsoportok tudásbázisát, K+F és innovációs tevékenységét, valamint kapcsolataikat, másrészt a régió szervezeteinek publikációs és szabadalmi adatait gyűjtöttük össze és használtuk a koncepció kialakításához, a modell validálásához és kalibrálásához.

A GMR modellel szemben, ami egy többszektoros több régiót leíró konstrukció, jelen AB modell csupán egy régió egy szektorának (biotechnológia) tudástermelési folyamatait foglalja magában. A két modell integrálása arra ad lehetőséget, hogy egy adott régió adott ágazatában bekövetkező változásokat



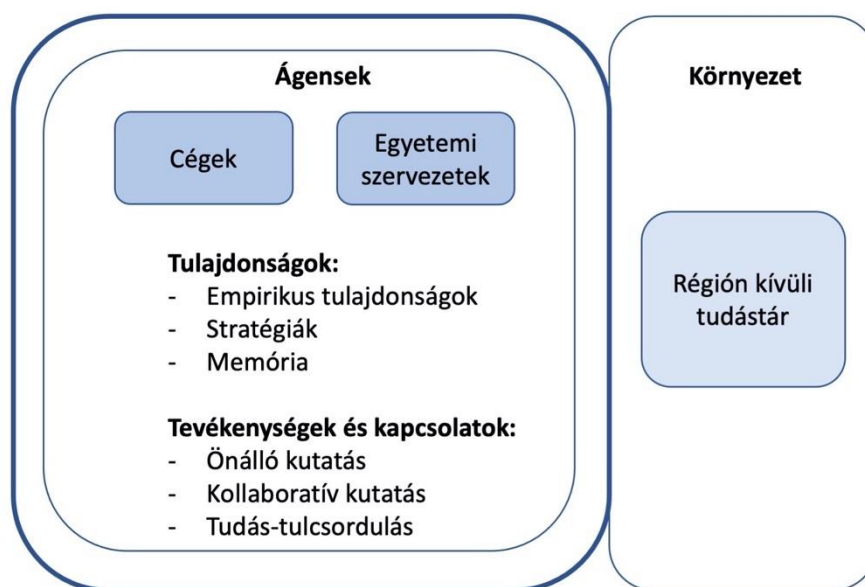
részletesebben és pontosabban vizsgáljuk. A szakpolitikai beavatkozások hatásainak elemzése így egy mikro szinten megalapozott, a tudástermelés komplex és adaptív jellegét is figyelembe vevő modellel történik, ami az eddig nem vizsgált mechanizmusokon keresztül érvényesülő hatások nyomon követését is lehetővé teszi.

A GMR és az AB modell összekapcsolása három ponton történik: 1) a TFP, 2) a munkaerő növekedési üteme, 3) a hálózatminőséget kifejező ENQ index. Az AB modell felépítését, továbbá a GMR modell és az AB modell közötti kapcsolódási pontokat a következő fejezetekben részletes ismertetjük.

### 4.3. Az AB modell felépítése

#### 4.3.1. A modell fő elemei

A modellt heterogén ágensek, azok tevékenységei és interakciói alkotják. A regionális innovációs rendszer tudástermelő és tudásfelhasználó alrendszere is képviselve van az egyetemi szereplők és a cégek által. Minkét típusú szervezet aktív szereplőként jelenik meg a modellben, egyéni tulajdonságokkal, kutatási tevékenységgel, és egymás közötti interakciókkal. Kutatást önállóan vagy egymással együttműködve is végezhetnek az együttműködési stratégiájuktól függően. Ezen kívül új tudáshoz juthat a szervezet effektív kutatási tevékenység nélkül is, amennyiben a munkaerőáramlásnak, vagy egyéb regionális folyamatoknak köszönhetően *tudás-spillover* által meg tudja szerezni azt. A régió kívüli szervezetek nem jelennek meg önálló ágensekként, hanem egy külső *tudástárként* kerültek beépítésre a modellbe, amihez bizonyos feltételek megléte esetén interregionális kutatási együttműködések során hozzáférhetnek az ágensek.



1. ábra: A regionális tudástermelési modell fő elemei

Mindkét típusba sorolható ágensek a következő empirikusan megalapozott tulajdonságokkal rendelkeznek:

- *Tudásbázis*: az ágens tudáselemeit – azokat a tudományos és technológiai területeket, amelyeken a szervezet tevékenykedik – tartalmazza a hozzájuk tartozó szakértelmi szinttel együtt.
- *Szervezeti tulajdonságok*: ide tartozik a szervezet típusa, kora és mérete.

Ezen kívül különböző *stratégiák* jellemzik őket, amelyek meghatározzák a tevékenységeiket:

- *Tanulási stratégia*: meghatározza, hogy az ágens *specializációs* vagy *diverzifikációs* stratégiát követ, amikor kiválasztja, hogy milyen irányba szeretné fejleszteni a tudását, azaz milyen kutatási célt tűz ki maga elé.
- *Együttműködési stratégia*: meghatározza, hogy az ágens önállóan vagy másokkal együttműködve végez kutatást.
- *Tanulás módja*: meghatározza, hogy az ágens effektív kutatási tevékenységet folytat (*aktív mód*) vagy tudás-spillover eredményeként reméli, hogy megszerzi új tudást (*passzív mód*).

Továbbá az ágenseknek van *emlékezetük*, ami arra szolgál, hogy a viselkedésüket adaptálni tudják a korábbi tapasztalataik alapján:

- *Sikerek emlékezete*: lehetővé teszi, hogy a sikeres kutatások során alkalmazott stratégiákat nagyobb valószínűséggel alkalmazza újra az ágens.
- *Együttműködési emlékezet*: tartalmazza a sikeres kutatási együttműködések partnereit, ami lehetővé teszi, hogy a későbbi partnerválasztás során először közöttük keressen alkalmas partnert.

#### 4.3.2. A tudástér

A tudás létrehozásának és áramlásának folyamata a modell központi eleme, ezért az ágensek tudással való ellátottságának meghatározása kulcsfontosságú. Minden ágens rendelkezik egy tudásbázissal, amely tudáselemekből tevődik össze. A tudáselemek különböző tudományos és technológiai területeket reprezentálnak, és azt is kifejezik, hogy az adott ágens az adott tudáselemet milyen szakértelmi szinten gyakorolja. Az egyetemi szereplők főleg tudományos, míg a cégek inkább technológiai tudással rendelkeznek, de mindkét típusú ágens tudásbázisában szerepelhet a kétféle tudáselem bármelyike. Az ágensek tudásbázisát egy vektorral definiáljuk, melynek elemei az adott tudáselem (tudományos vagy technológiai terület) szakértelmi szintjét reprezentálják (Neulandtner 2020).

Az  $i$ -edik ágens tudásbázisa,  $K_i$ , a következő vektorral írható le:

$$K_i = (\kappa_{i1}, \kappa_{i2}, \dots, \kappa_{ik}, \eta_{i1}, \eta_{i2} \dots \eta_{il}), \quad (26)$$

ahol  $i=1,2,\dots,N$ ,  $N$  az ágensek számát jelöli,  $k$  a technológiai tudáselemek számát,  $l$  pedig a tudományos tudáselemek számát. Amennyiben egy elem nulla, akkor az a tudásterület nem része az ágens tudásbázisának.

A lehetséges tudáselemek egy úgynevezett tudásteret alkotnak. A teljes tudástér két különböző részből tevődik össze. A technológiai tudásteret a technológiai tudáselemek hálózataként definiáljuk, amelyben a súlyozott kapcsolatok a technológiai közelséget fejezik ki. A tudományos tudástér ehhez hasonlóan a tudományos tudáselemek közelségi hálózatát jelenti.

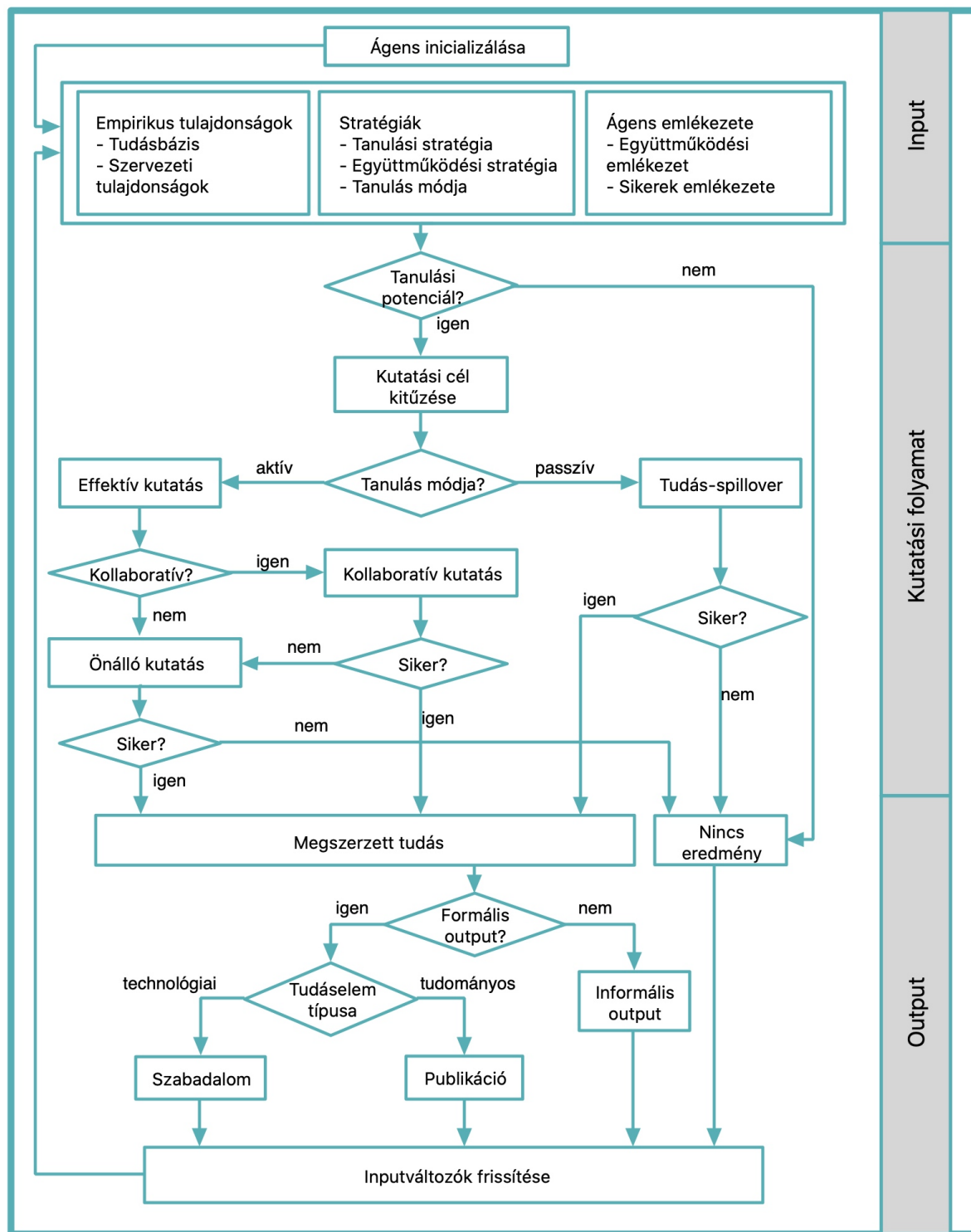
A modellben a tudományos és technológiai területek közötti átjárhatóságot egy empirikusan megalapozott konkordancia táblázat teszi lehetővé (..ábra). Ha egy tudományos tudáselemből kiindulva szeretne az ágens egy technológiai tudáselemet megszerezni, akkor azt ezen az úton érheti el.



2. ábra: A technológiai és tudományos tudáselemek közötti kapcsolat

#### 4.3.3. Modellfolyamatok

A 4.3.1 alfejezetben ismertetett ágenstulajdonságok szolgálnak input változókként a modellben, amelyek kezdeti értékeinek meghatározása után következik maga a kutatási folyamat. Ennek során az ágensök önállóan vagy egymással, illetve a régió kívüli virtuális partnerekkel együttműködve kutatási tevékenységet folytathatnak, vagy a régióban működő többi szervezettől tudás-spillovereken keresztül új tudást sajátíthatnak el, ami különböző innovatív outputokká – szabadalom vagy publikáció – válhat. Amennyiben nem keletkezik ilyen mérhető, formális eredmény a sikeres kutatás végén, informális output akkor is létrejön. Ezek a formális és informális outputok visszahatnak az ágensök kezdeti tulajdonságaira, tehát az input változókra. Az ágens szintű kutatási folyamat részletes bemutatása látható a ... ábrán.



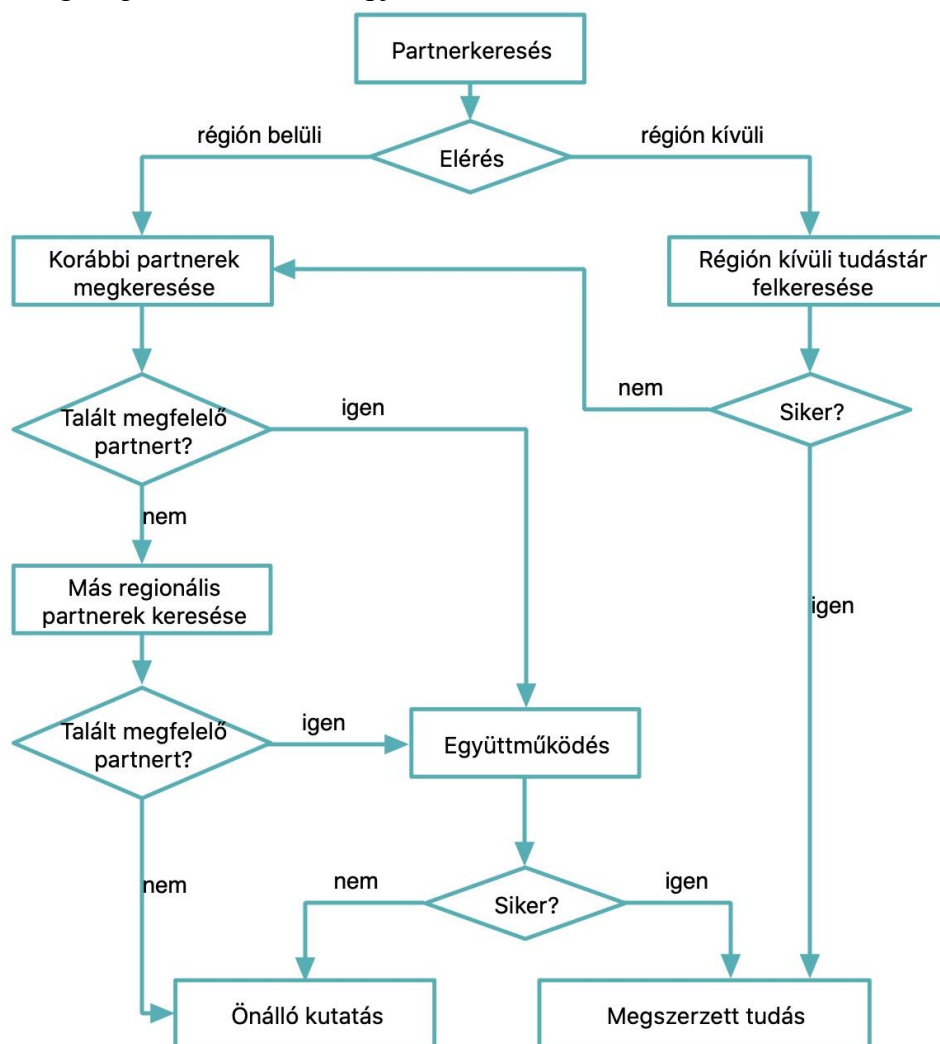
3. ábra: Az ágens szintű kutatási folyamat

Az ágensek minden időszakban a szervezeti tulajdonságaiktól függő valószínűséggel megpróbálnak új tudásra szert tenni. Ezt fejezi ki a *tanulási potenciál*, amit az ágens szervezeti tulajdonságai befolyásolnak. Ha ez megvan, tehát a lehetőség és a szándék is adott, akkor kitűznek maguk elé egy *kutatási célt*, ami egy tudáselemet jelent, amit az ágens szeretne megszerezni. Ez lehet meglévő tudáselem, ebben az esetben a szakértelmi szint növelése a cél, vagy egy, az ágens tudásbázisában még nem szereplő tudományos vagy technológiai terület.

Az előbbi a *specializáció*, míg az utóbbi a *diverzifikáció kutatási stratégiájának* felel meg. Ha viszont az ágens nem rendelkezik kellő tanulási potenciállal az adott időszakban, akkor nem végez kutatást, és eredménytelenül zárul a folyamat.

A *tanulás módja* lehet *aktív*, amikor az ágens *effektív kutatási* tevékenységet folytat a célként kitűzött tudáselem elérése érdekében, vagy *passzív*, amikor *tudás-spillover* reményében nem tesz konkrét kutatási lépéseket. Ha a spillover megvalósul, akkor a kutatási célját eléri az ágens, tehát megszerzi az új tudást, ha viszont nem, akkor eredménytelenül zárul a folyamat. Amennyiben az *effektív kutatás* mellett dönt, akkor az *együttműködési stratégiája* alapján eldől, hogy *kollaboratív* vagy *önálló* kutatást végez.

Kollaboratív kutatás során (... ábra) az első lépés a *partnerkeresés*, ami történhet a régió *belül* és *kívül* is az ágens *partner elérése* alapján.



*Régió belüli partnerelérés* esetén az ágens elsődlegesen az *együttműködési emlékezetben* szereplő korábbi partnerek közül keres társat a kollaborációhoz. Ha közöttük nem talál megfelelőt – aki rendelkezik a célként kitűzött tudáselemmel, és hajlandó is az együttműködésre –, akkor a régióban működő többi szervezet körében folytatja a partnerkeresést. Ha közöttük talál megfelelő, és az együttműködésre nyitott potenciális partnert, akkor vele együtt kollaboratív kutatást végez. Amennyiben ez sikeres, akkor eléri a kutatási célját, tehát megszerzi a kívánt tudáselemet vagy sikeresen növeli egy meglévő tudáselem

szakértelmi szintjét. Ha viszont ez sikertelen, vagy nem talált megfelelő partnert, akkor *önálló kutatást* kísérel meg. Vannak viszont ágensek, akiknek a *partner elérésük régióin kívüli*, mivel képesek az extraregionális együttműködésre virtuális partnerekkel. Azért nevezzük ezeket virtuális partnereknek, mert nem modellezzük őket ágens szinten, hanem egy *extra-regionális tudástárként* építjük be a modellbe a régió kívüli szereplők rendelkezésére álló tudást. Ha sikeres a virtuális együttműködés, akkor ebből a régió kívüli tudástárból megszerzi az ágens a célként kijelölt tudáselemet. Ha viszont nem, akkor a régió belül próbál megfelelő partnert találni, és az ismertetett módon együttműködést folytatni vele. A kollaboráció nem csak azonos típusú ágensek között lehetséges, hanem egyetemi szereplők és cégek között is. Ilyenkor megvalósul az akadémiai és ipari szféra közötti tudásáramlás.

*Önálló kutatás* esetén a kutatás sikerét az ágens tudásbázisa és a célként kitűzött tudáselem tudástérben mért közelsége ( $\text{proximity}_{kb,rt}^i$ ), valamint a tudásbázisában szereplő tudáselemeinek száma ( $\text{KEnumb}^i$ ) határozza meg:

$$\text{IRS}^i = f(\text{proximity}_{kb,rt}^i, \text{KEnumb}^i). \quad (27)$$

Siker esetén az ágens eléri a kutatási célját, egyébként eredménytelenül végződik a folyamat. *Régió belüli kollaboratív* kutatás esetén a sikert meghatározó függvény kiegészül a partner tudásbázisában szereplő tudáselemeinek száma ( $\text{KEnumb}^j$ ), és a kettő közül a magasabb értéket határozza meg az eredményt.

$$\text{CRS}^{i,j} = f(\text{proximity}_{kb,rt}^i, \max(\text{KEnumb}^i, \text{KEnumb}^j)). \quad (28)$$

Régió kívüli virtuális partnerrel való együttműködés esetén egy előre meghatározott valószínűséggel lesz sikeres a folyamat. A tudás-spillover szintén előre meghatározott valószínűséggel valósul meg.

Látható tehát, hogy több módon is elérhető a kutatási cél és megszerezhető a kívánt tudáselem, illetve szakértelmi szint növekedése. Ebből az eredményből *formális outputok* keletkezhetnek, ha az elért kutatási cél technológiai tudáselemet érintett, akkor *szabadalom*, ha tudományos tudáselemet, akkor *publikáció*. A szervezeti tulajdonságoktól függő meghatározott valószínűség szerint válik formális output a megszerzett új tudásból. *Informális output* viszont akkor is keletkezik a sikeres kutatás eredményeként, ha nem manifestálódik mérhető outputként. Az így létrejött formális és informális outputok, valamint az eredménytelen kutatás alapján frissülnek az input változók. A *tudásbázis* bővül az új tudáselemmel, vagy emelkedik egy meglévőnek a szakértelmi szintje a sikeres kutatás következtében. A nem használt tudáselemek szakértelmi szintje viszont csökken, ami a felejtésnek felel meg. Az *együttműködési emlékezetbe* a sikeres kooperatív kutatás eredményeként bekerül az új partner, hogy a későbbi partnerválasztás során kiemelt pozíciót foglalhasson el. A *sikerek emlékezete* is frissül, tehát bekerül, hogy az adott stratégia-kombináció sikeres vagy sikertelen kutatáshoz vezetett-e. Ez alapján a *tanulási stratégia*, *együttműködési stratégia* és a *tanulás módja* frissülhet, ugyanis a sikeres stratégia-kombinációkat nagyobb valószínűséggel választja újra az ágens.

#### 4.4. Kapcsolódási pontok

##### 4.4.1. A termelékenység

A régió teljes tényezőtermelékenysége mint kapcsolódási pont esetén az AB modell eredményei jelennek meg inputként a GMR modellben. A közvetlen kapcsolást az adja, hogy az ágens alapú modell egyik outputja az új szabadalmak létrejötte, aminek kumulált értéke, tehát a szabadalmi állomány, a GMR modellben a regionális TFP-t meghatározó egyik kulcsváltozó. A TFP modell blokk tudástermelési megközelítést alkalmaz, ahol az új tudást a regionális szabadalmi tevékenységgel mérik (Romer 1990). A TFP egyenletből (24) láthattuk, hogy a regionális TFP-t a régió tudáshálózati beágyazottsága ( $ENQ_{r,t}$ ), a humán tőke állománya ( $HumCap_{r,t}$ ), a vállalkozói ökoszisztéma ( $REDI_{r,t}$ ), valamint a regionális tudásállomány ( $RegPatStock_{r,t}$ ) határozza meg. Ezek közül a szabadalmak számával mért regionális tudásállományra tud pontosabb becslést adni az AB modell a biotechnológiai szektorra nézve. Regionális spillover, önálló kutatás, régióon belüli együttműködés vagy régióközi tanulás eredményeként új tudás keletkezik, ha a kutatási folyamat sikerrel zárul. Ebből az ágens szervezeti tulajdonságai által befolyásolt valószínűség szerint formális output jöhet létre. Ha a megszerzett tudáselem technológiai jellegű, akkor a formális output szabadalom lesz, különben publikáció.

Az AB modell tehát segít abban, hogy az adott időszakban létrejövő szabadalmak száma egy, az egyéni döntéseket és a kutatási folyamat komplexitását figyelembe vevő módszerrel határozódjon meg, így a tudástermelést célzó beavatkozások szofisztikáltabb mechanizmusokon keresztül fejthetik ki hatásukat. Az ágensek viselkedési paramétereinek módosításával vizsgálható, hogy az egyéni döntéseket befolyásoló szakpolitikai beavatkozások hatására hogyan alakul aggregált szinten a régió tudástermelése, ebből kifolyólag pedig a szabadalmak száma a biotechnológia szektorban. A GMR modell technológiai blokkjában a régióban létrejövő új szabadalmak a regionális szabadalmi állományt növelik<sup>5</sup>, ami közvetlenül hat a TFP-re, de ennek csak egy része keletkezik az AB modell által lefedett biotechnológiai szektorban. Az AB modell az alap (baseline) scenárióban létrejövő szabadalmi számhoz képest becsüli meg, hogy egy lehetséges beavatkozás után a szakpolitikai (policy) forgatókönyv szerint várhatóan hogyan alakulna a szabadalmak száma a régió adott szektorában. A kettő különbsége a beavatkozás hatását mutatja. Megnézzük, hogy a biotechnológiához sorolt szabadalmak a régió összes szabadalmán belül mekkora arányt képviselnek, és a beavatkozás hatását csak a szabadalmak ezen részére vonatkoztatjuk.

#### 4.4.2. A foglalkoztatás

A foglalkoztatás esetén a GMR modellben kiszámított értékeket használjuk inputként az AB modellben. A munkaerő kínálata és növekedési üteme a GMR modell SCGE blokkjában a 3.4.1. alfejezetben leírt módon határozódik meg a régió és a szektor szintjén. Az AB modellben nincs külön mechanizmus a munkaerő növekedésének meghatározására, ezért azt közvetlenül az SCGE modellblokk eredményeiből emeljük át. A munkaerő változása a szervezet mérete, mint szervezeti tulajdonságon keresztül jelenik meg, amit a foglalkoztatottak számával mérünk. A szervezet mérete két ponton hat az AB modellben a kutatási folyamatra és annak eredményeire.

- A szervezet mérete egyrészt befolyásolja az ágens *tanulási potenciálját*, tehát azt, hogy milyen gyakran (hány szimulációs kör elteltével) végez kutatási tevékenységet. Azt feltételezzük, hogy minél nagyobb egy szervezet, annál gyakrabban van kapacitása kutatást folytatni.

---

<sup>5</sup> A regionális szabadalmi állományt PIM (Perpetual Inventory Method) módszerrel, 13%-os amortizációs rátával számítjuk.

- Másrészt befolyásolja, hogy mekkora valószínűséggel lesz a megszerzett tudásból mérhető output, azaz szabadalom vagy publikáció. Szintén azt feltételezzük, hogy a több foglalkoztatottal rendelkező szervezet tud nagyobb valószínűséggel szabadalmat létrehozni a tudásból.

A munkaerő növekedését az AB modellben az ágensek szintjén értelmezzük, míg a GMR modellben regionális és ágazati szinten határozódik meg. Ennek összehangolása értelmében a biotechnológia szempontjából releváns ágazatok átlagos növekedési ütemét használjuk, és minden ágens esetén ugyanazt a növekedési ütemet alkalmazzuk.

#### 4.4.3. Hálózatminőség (ENQ)

A GMR modellben az adott régió hozzáférhet a területén kívüli tudásállományhoz is a régióközi kapcsolatain keresztül. A hálózat minőségét mérő ENQ index (Sebestyén és Varga, 2013a; 2013b) értéke azt fejezi ki, hogy a vizsgált régió mennyire integrálódott az interregionális tudáshálózatba. Az így elérhető külső tudás hatékonyabbá teszi a régióban a K+F kiadások felhasználását, így fokozza azok termelékenységi hatását. Az AB modellnek szintén része a régió kívüli forrásból való tanulás. A régió kívüli szereplőket nem modellezzük ágens szinten, hanem egy *extra-regionális tudástárként* építjük be a modellbe az általuk birtokolt tudást. Azok az ágensek, akiknek a *partner elérésük extraregionális*, képesek a régió kívüli együttműködésre virtuális (egyesével nem modellezett) partnerekkel. Ha sikeres az együttműködés, akkor ebből a régió kívüli tudástárból megszerzi az ágens a célként kijelölt tudáselemet. Minden időszakban (szimulációs körben) az ágenseknek csak egy adott részaránya férhet hozzá a régió kívüli tudástárhoz. Az ENQ exogén módon történő megváltozása erre a részarányra hat, ezért az ENQ növekedése esetén a korábbinál többen, csökkenés esetén kevesebben lesznek képesek a régió kívüli partnerekkel együttműködni, így potenciálisan új tudást becsatornázni a régióba.

## 5. Összegzés

Ebben a tanulmányban a GMR keretrendszer két szatellitmodellel történi kiegészítésének lehetőségét mutattuk be. Mindkét szatellitmodell szerepe az, hogy a GMR modell standard termelékenységi blokkját egy cizelláltabb, a regionális innovációs rendszer mechanizmusait, szereplőit részletesebben megragadó blokkal helyettesítse.

A 3. fejezetben tárgyalt a rendszerdinamikai modell elsődleges célja, hogy bemutassa egy adott régió adott ágazatának működését, fejlődését, továbbá szimulációk segítségével lehetővé tegye különböző gazdaságpolitikai beavatkozások hatásainak vizsgálatát. Mindeközben, a rendszer részeként a modell kiszámítja a vizsgált regionális szektor teljes tényezőtermelékenységét és annak változását, ami hasznos inputként szolgálhat a GMR modell számára. A TFP blokk ugyanis csak a regionális TFP változását képes megbecsülni, ami túl általános, ha kifejezetten egy szektor fejlődésére koncentrálna a kutatásunk. A szektorális TFP-k ugyanis nem feltétlenül azonos ütemben változnak egy-egy gazdaságpolitikai beavatkozás következtében. A két megközelítés (SD modell és TFP blokk) kombinálásával azonban egy kellően specifikus és egyben megvalósítható megoldást kapunk, arra az esetre, ha a GMR modellel olyan beavatkozások hatását szeretnénk vizsgálni, melyek fókuszában nem egy teljes régió és nem is egy nemzeti szinten értelmezett ágazat van, hanem egyetlen régió egyetlen ágazata. Napjaink meghatározó kohéziós politikai irányát (S3) tekintve ez kifejezetten fontos



modellfejlesztésnek bizonyul. Ahhoz azonban, hogy a két modell futtatása során következetes eredményeket kapjunk, nem elegendő pusztán a TFP változását átemelni az SD modellből a GMR modellbe, hanem biztosítani kell a visszacsatolásokat a GMR modell irányából az SD modell felé. Mivel a rendszerdinamikai modell a teljes szektor működését vizsgálja, már eleve tartalmazza a legfontosabb visszacsatolási hurkokat. Így a GMR modell felől elegendő adatokat szolgáltatni azokon a területeken, melyekről az SD modell nem, vagy csak korlátozottan rendelkezik információkkal. Ilyen kapcsolódási pontot jelent a munkaerő növekedési ütemének változása, illetve a versenytársak keresletet elszívó erejének változása, melyek a gazdasági beavatkozások hatására következnek be. A két modellt összekapcsolva, a megfelelő adatokat évről évre átadva egymásnak, a GMR modell pontosabb becslést képes adni egy kiválasztott regionális szektor fejlődéséről és fejlesztési lehetőségeiről.

A 4. fejezetben tárgyalt AB modell célja, hogy olyan módon modellezze egy adott régió konkrét szektorában az új tudás létrejöttét, hogy az egyes szereplők tevékenységei és interakciói alapján határozza meg az azokból felépülő aggregált szintű eredményt. Ez a módszer lehetővé teszi, hogy megvizsgáljuk, hogy a szakpolitikai beavatkozások az ágensek viselkedésén keresztül hogyan hatnak a régió szintjén. A modell kiszámítja a vizsgált regionális szektorban létrejövő szabadalmak számát, ami közvetlenül befolyásolja a teljes tényezőtermelékenységet, amin keresztül inputot szolgáltat a GMR modellnek. A két modell integrálása által vizsgálható, hogy a kifejezetten a biotechnológiai szektor tudás előállító folyamatait célzó beavatkozások hogyan fejtik ki hatásukat a régió, azon keresztül az egész ország gazdaságának szintjén. A szakpolitikai beavatkozások gyakran a gazdaság különböző szereplőt különböző mértékben érinthetik, vagy éppen a szereplők közti kapcsolatokra vannak hatással, ami ágens alapú megközelítéssel jól kezelhető. Annak érdekében, hogy a két modell futtatása során következetes eredményeket kapjunk, azon felül, hogy a szabadalmak számának változását a TFP blokkon keresztül átvezetjük a GMR modellbe, a GMR modell irányából érkező visszacsatolásokat is be kell építenünk az AB modellbe. Mivel az AB modell kifejezetten az új tudás létrejöttét ragadja meg, ezért a GMR modell azon változóit kell figyelembe venni a visszacsatolásoknál, amelyek közvetlenül hatnak ezekre a tudásgeneráló folyamatokra. Ilyen kapcsolódási pontot jelent a munkaerő növekedési üteme, ami hatással van arra, hogy milyen gyakran és milyen hatékonyan végez kutatást az ágens, valamint, valamint a régió interregionális tudáshálózatba való beágyazottsága, amit az ENQ index mér, és meghatározza, hogy a régió szereplői mekkora arányban képesek hozzáférni a régió kívüli tudásállományhoz.

## 6. Felhasznált irodalom

- Ahrweiler, P. (2017). Agent-based simulation for science, technology, and innovation policy. *Scientometrics*, 110(1), 391-415.
- Ahrweiler, P., Pyka, A., & Gilbert, N. (2004). Simulating knowledge dynamics in innovation networks (SKIN). In *Industry and labor dynamics: The agent-based computational economics approach* (pp. 284-296).
- 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>
- Bass, F.M., 1969. A New Product Growth for Model Consumer Durables. *Management Science* 15, 215–227. <https://doi.org/10.1287/mnsc.15.5.215>

- 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).
- Bergman, E., 2008. Cluster life-cycles: an emerging synthesis, in: C. Karlsson (Szerk.) Handbook of Research on Cluster Theory, Handbooks of Research on Clusters Series. Edward Elgar, Cheltenham, UK ; Northampton, MA, p. 316.
- Choi, K., Narasimhan, R., Kim, S.W., 2016. Opening the technological innovation black box: The case of the electronics industry in Korea. *European Journal of Operational Research* 250, 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.054>
- Dangelico, R.M., Garavelli, A.C., Petruzzelli, A.M., 2010. A system dynamics model to analyze technology districts' evolution in a knowledge-based perspective. *Technovation* 30, 142–153. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2009.09.006>
- ESRI (2002): An Examination of the ex-post macroeconomic impacts of CSF 1994-1999 on Objective 1 countries and regions.
- Frenken, K., Cefis, E., Stam, E., 2015. Industrial Dynamics and Clusters: A Survey. *Regional Studies* 49, 10–27. <https://doi.org/10.1080/00343404.2014.904505>
- Fujita, M.-Krugman, P. R.-Venables, A. J. [1999]: The spatial economy: cities, regions and international trade. Wiley Online Library.
- Kirman A. I. (1997) The economy as an interactive system, in ARTHUR W. B., DURLAUF S. N. and LANE D. (Eds) *The Economy as an Evolving Complex System II*, pp. 491-531. Addison-Wesley, Santa Fe and Reading, MA.
- 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 *The Geography of Networks and R&D Collaborations* (pp. 353-371). Springer, Cham.
- Korber, M., & Paier, M. (2014). Simulating the effects of public funding on research in life sciences: direct research funds versus tax incentives. In *Simulating knowledge dynamics in innovation networks* (pp. 99-130). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Korber, M., Paier, M., & Fischer, M. M. (2009). An agent-based view of the biotech innovation system. *Reg Direct Int Sci J*, 2(2), 33-55.
- Krugman, P. [1991]: Increasing Returns and Economic Geography. *Journal of Political Economy*, Vo. 99. No. 3. 483-499. o. doi: 10.2307/2937739
- Kunc, M., 2012. System Dynamics and Innovation: A complex problem with multiple levels of analysis. The 30th International Conference of the System Dynamics Society.
- Kunc, M., 2018. Strategic analytics: integrating management science and strategy. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Lee, T.L., 2006. An alternative approach to technology policy assessment: dynamic simulation analysis of Taiwan's IC industry. *IJTPM* 6, 121. <https://doi.org/10.1504/IJTPM.2006.010907>
- Neuländtner, M. (2020) An Empirical Agent-Based Model for Regional Knowledge Creation in Europe. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(8), 477.
- Neuländtner M., Paier M. And Unger A. (2019) Modelling Collaborative Knowledge Creation Processes: An Empirical Application to the Semiconductor Industry, in Payne D., Elkind J. A., Friel N., Grund T. U., Hochstrasser T., Lucas P. and Ottewill A. (Eds) *Social Simulation for a Digital Society. Applications and Innovations in Computational Social Science*. Springer Nature Switzerland, Cham.
- Paier, M., Dünser, M., Scherngell, T., & Martin, S. (2017). Knowledge creation and research policy in science-based industries: an empirical agent-based model. In *Innovation Networks for Regional Development* (pp. 153-183). Springer, Cham.

- Polónyi-Andor, K., Fratesi, U., Varga, A., 2021. Az intelligens szakosodási stratégia támogatása rendszerdinamikai modell segítségével, in: Regionális Innováció, Vállalkozás És Gazdasági Növekedés. pp. 338–351.
- Ponsiglione, C., Quinto, I., & Zollo, G. (2018). Regional Innovation Systems as Complex Adaptive Systems: The Case of Lagging European Regions. *Sustainability*, 10(8), 2862.
- Pyka, A., Mueller, M., Kudic, M. 2018. Regional Innovation Systems in Policy Laboratories. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 4
- Ratto, M.- Rroeger, 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>
- Rocha, H., Kunc, M., Audretsch, D.B., 2020. Clusters, economic performance, and social cohesion: a system dynamics approach. *Regional Studies* 54, 1098–1111. <https://doi.org/10.1080/00343404.2019.1668550>
- Romer, P.M., 1994. The Origins of Endogenous Growth. *Journal of Economic Perspectives* 8, 3–22. <https://doi.org/10.1257/jep.8.1.3>
- Romer, P. M. (1990) Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy* 98, S71-S102. doi: 10.2307/2937632
- Schalk, H. J.- Varga, A. (2004): Macroeconomic effects of the geography of knowledge production: EcoRET, a macroeconometric model with regionally endogenized technological change for Hungary. ERSA conference papers ersa04p521, European Regional Science Association.
- Sebestyén, T., Varga, A., 2013a, Research productivity and the quality of interregional knowledge networks, *Annals of Regional Science* 51, 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. (eds.): *The geography of networks and R&D collaborations*, Springer, series: *Advances in Spatial Science*, Springer, New York, 71-97.
- Szerb, L., Acs, Z., Autio, E., Ortega-Argilés, R., Komlósi, É. 2013 REDI: The Regional Entrepreneurship and Development Index – Measuring regional entrepreneurship. Final Report 14/11/2013 financed by the European Union represented by the European Commission Directorate-General Regional and Urban Policy under contract number NO 2012.CE.16.BAT.057
- Uriona, M., (Saartjie) Grobbelaar, S.S., 2019. Innovation system policy analysis through system dynamics modelling: A systematic review. *Science and Public Policy* 46, 28–44. <https://doi.org/10.1093/scipol/scy034>
- Varga A. - 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 A. – Sebestyén T. – Szabó N. – Szerb L. (2020a): Estimating the economic impacts of knowledge network and entrepreneurship development in smart specialization policy. *Regional Studies*, Vol. 54. No. 1. 48-59. o. DOI: 10.1080/00343404.2018.1527026
- Varga A. (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).
- Varga A. [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. <https://doi.org/10.1177/0160017615571587>.

Varga, A., Szabó N., Sebestyén, T., Farkas, R., Szerb, L., Komlósi, É., Járosi, P., Andor, K., Csajkás, A. (2020b): The GMR-Hungary multiregion – multisector economic impact model. RIERC Research Report 2020-01. Regional Innovation and Entrepreneurship Research Center Faculty of Business and Economics University of Pécs. [http://hu.rierc.ktk.pte.hu/sites/default/files/pdf/The%20GMR\\_HU%20multisector-multiregion%20model.pdf](http://hu.rierc.ktk.pte.hu/sites/default/files/pdf/The%20GMR_HU%20multisector-multiregion%20model.pdf)