

Szimuláció a társadalomtudományokban

Bevezetés

A társadalomtudományoknak a komplex rendszerek és a nemlineáris modellek iránti nagyobb fokú érdeklődését nagyrészt a számítási kapacitások növekedése tette lehetővé. E cikkben amellet érvelünk, hogy a számítógépes szimuláció módszerének elterjedése nem csak mennyiségi, de jelentős minőségi javulásokat is hoz a társadalomtudományok konyhájára. Igyekszünk rávilágítani, hogyan segíthet ez az új tudományos módszertan az empirikus és elméleti társadalomtudományok hiányosságainak kiküszöbölésében, és hogyan hozza közelebb egymáshoz az empiriát és az elméletet. Kitérünk arra is, hogyan valósítja meg a szimuláció a tudományos indukciós és dedukciós logika ötvözését, és mindezek mellett igyekszünk bemutatni a szimulációs módszertan alapelveit - de a korlátait, hiányosságait és a vele szemben megfogalmazott legfontosabb kritikákat is.

Mindenekelőtt fontos tisztázni, hogy mit is értünk szimuláción a társadalomtudományokban, ugyanis a társadalomtudományokban alkalmazott számítógépes szimuláció céljai és módszerei jelentősen változtak az utóbbi évtizedekben. Az alkalmazásoknak három nagy hulláma volt: (1) *makroszimuláció avagy dinamikus rendszerek*, (2) *mikroszimuláció* és (3) *ágens alapú modellek*, multi-ágens rendszerek¹ [agent based modeling] (Macy 2001).

(1) A számítógépes szimulációt először az 1960-as években alkalmazták társadalomtudományi elemzésekre. Ezen kutatások során számítógép segítségével elemeztek dinamikus folyamatokat, például a szervezetekben, iparágakban, a hadigépezetben, vagy városokban működő kontroll- és visszacsatolási mechanizmusokat. Ezek a modellek rendszerint endogén egyenletrendszerekből álltak, strukturalista-funkcionalista és holisztikus szemléletűek voltak. A rendszer egyensúlyát keresték és úgy vélték, hogy aggregált elemzési szinten a változók (mint például a gazdasági növekedés,² a demográfia, a kertvárosiasodás és a forgalmi dugók) kapcsolata zárt oksági rendszerrel magyarázható.

* A szerzők köszönetet mondanak Back István, Andreas Flache, Futó Péter, Gyenis Balázs, Janky Béla, Michael Macy és a Szociológiai Szemle névtelen lektorának építő megjegyzéseikért.

1 Jelentős fejtörést okoz az eredeti jelentéshez leginkább illő magyar szókapcsolat megtalálása. A választott fordítás meglehetősen magyartalanul hangzik, az angol szóösszetétel átvétele. Mellette szól, hogy magyar nyelvre ebben a formában történt meg az első átültetése (Gulyás–Tatai 1999). A közgazdaságtanban a principal-agent modellek megfelelőjeként a megbízó-ügynök fordítás terjedt el, holott a magyarban az ügynök szóhoz meglehetősen korlátozott jelentéstartalom kapcsolódik (például Gömöri 2001 a megbízó-ügynök terminológiát használja). Az eredeti tartalomhoz leginkább közelálló az „*autonóm cselekvőkön alapuló modellek*” összetétel lehetne, viszont ez túlságosan is szabad fordítás.

2 A leghíresebb ilyen jellegű szimuláció talán a Római Klub 1972-es jelentése (Meadows et al. 1972).

(2) A számítógépes szimuláció második hulláma az 1970-es évek második felében indult és azóta is igen fontos szerepe van. A *mikroszimuláció* során a dinamikus rendszerek szimulációjával szemben aggregát adatok helyett már egyéni adatokkal (döntéshozatali egységek) dolgoznak, az egyének interakciója azonban itt sem jelenik meg. Ez a modellezési stratégia inputként reprezentatív mintát vesz a döntéshozókból és azok viselkedéséből, majd hosszú távon vizsgálja a rendszer változásait. Ide sorolhatók azok a hosszú távra készülő adózási és nyugdíjmodellek, amelyekben minden egyes állampolgár „öregszik”, miközben bizonyos valószínűséggel változnak a tulajdonságai (például az egyén a szimuláció során gyereket szülhet vagy nyugdíjba megy, ha eléri a megfelelő kort). A mikroszimulációt főleg populációs *előrejelzésre* és egyes kormányzati lépések szimulálására használták és használják ma is (Gilbert 1996). Magyarországon a KSH-ban és a TÁRKI-ban is komoly hagyománya van a mikroszimuláció társadalomtudományi használatának (pl. Zafir 1988; Futó 1988; Szivós–Rudas–Tóth 1998).

(3) A szimuláció harmadik hulláma az ágens alapú modellezés, amely az 1980-as években terjedt el. Az elemzés során az egyéni döntéshozatal és az egyéni viselkedés (és nem az egyén tulajdonságai, mint a mikroszimuláció esetén) áll a középpontban. Az ágens alapú modellek *autonóm cselekvőket* feltételeznek, mely cselekvők stratégiaiilag kölcsönösen függenek egymástól.³ A társadalom makroszintű jelenségei az egyéni viselkedések aggregát eredményeként jönnek létre. Az ágens alapú szimuláció alapvető célja nem az előrejelzés, hanem a társadalmi jelenségek *magyarázata*.

A cikkben ettől kezdve az ágens alapú modellezéssel fogunk foglalkozni, hiszen a sorozatos támadásokkal szemben úgy véljük, megfelelő alkalmazása fontos tudományos eredményekhez vezethet. Azt fogjuk boncolgatni, hogy miért van szükség ilyen típusú elemzésre, majd részletesebben ismertetjük az ágens alapú szimuláció legfontosabb alapelveit, annak viszonyát a tudományos gondolkodás logikájához, valamint kiterünk az elemzési lehetőségek korlátaira és veszélyeire is.

Miért van szükség egy új kutatási módszertanra a társadalomtudományokban?

Elsősorban azért, mert a jelen pillanatban uralkodó empirikus elemzések és elméleti társadalomtudományi magyarázatok több sebből véreznek. Ezen sebek gyógyításához nyújthat segítséget az ágens alapú szimuláció terjedése azáltal, hogy szélesíti a társadalomtudósok eszköztárát, illetve lehetőséget biztosít a magyarázati sémák minőségi javítására.

Mik is ezek a fő problémák? *Egyrészt* az empirikus elemzések legnagyobb hányada bizonyos magyarázó változók hatásait vizsgálja egy adott jelenségre, illetve változóra. A hangsúly a magyarázó tényezőkön van és nem a magyarázati sémák felvetésén, nem a magyarázó mechanizmusok megtalálásán és megértésén. *Másodrészt*, az elemzés so-

3 Macy–Willer (2002: 146) továbbá azt is az ágens alapú modellezés alapjellemezői közé sorolja, hogy az ágensok múltbeli tapasztalataik alapján döntenek [backward-looking agents] és adaptívak, továbbá egyszerű szabályokat követnek (ezt a tökéletes racionalitással szemben fogalmazzák meg). Bár az előbbi két feltételezés általános az ágens alapú modellezésben, úgy gondoljuk, hogy nem feltétlenül szükségesek és nem alkotják az ágens alapú modellezés differentia specifikáját.

rán feltételezett kapcsolat magyarázó és magyarázott tényezők között csaknem mindig lineáris, valamint az egyes magyarázó hatások additívak. Mindez a regressziós elemzés logikájából fakad, holott ezeknek a feltevéseknek nagyon sok esetben semmiféle elméleti alapja nincs. *Harmadrészt*, elméleti társadalomtudományos magyarázatok nagyon sokszor túlzottan leegyszerűsítik az emberi cselekvőről alkotott feltevéseiket, illetve nem éppen valós/földhözragadt cselekvőképpel dolgoznak. Legtöbb esetben például feltételezik, hogy az emberi cselekvők összessége homogén halmazt alkot. *Negyedrész*t, minden társadalomtudományi diszciplína küszködik az egyéni cselekvés mikroszintű folyamatai és a makroszintű társadalmi jelenségek közötti kapcsolat feltárásával. A megfelelő mechanizmusok (aggregáció) hiányoznak, a makroszintű jelenségek mikroszintű eredetét legtöbbször homály fedi. Az aggregáció nehézségét sokszor úgy kerülik ki, hogy a makroszintű jelenségeket a makroszintű tulajdonságok hatásainak tulajdonítják. *Ötödrész*t, a társadalmi élet összetettsége a társadalomtudományok alegységeinek éles szétválasztódásához vezetett, holott a társadalom alrendszerei nagyon is összefüggően működnek. A társadalmi élet összetettségének nem megfelelő kezelése részeként tekinthető az is, hogy több társadalomtudományi diszciplína is elhanyagolja a makrofolyamatok és az egyéni cselekvés társadalmi (időbeni és strukturális) beágyazottságát.

A könnyebb érthetőség kedvéért vegyük sorra nagyobb részletességgel ezeket a problémákat.

Faktorok és aktorok

Számos társadalomtudományi kutatás nem jut messzebb a „mi befolyásolja az adott jelenséget?” típusú kérdéseknél. Az elemzések középpontjában az áll, hogy hogyan befolyásolnak bizonyos tényezők (pl. nem, etnikai háttér, vallásosság, lakóhely, iskolázottság, stb.) társadalmi jelenségeket (pl. politikai pártválasztás, fogyasztói viselkedés, kulturális szokások, stb.). Sok empirikus kutatás beéri asszociációs kapcsolatok keresésével (pl. falun élő szavazók nagyobb arányban szavaznak-e jobb oldali pártokra). De komolyabb kutatások is megelégszenek azzal, hogy választ találnak arra a kérdésre, hogy melyek azok a tényezők, amelyek egy adott jelenséget befolyásolnak – minden más tényező változatlansága mellett. Ezek a válaszok feltárják, melyek azok a változók, amelyek hatása szignifikáns az adott jelenségre; vagy ahogy nagyon sokszor olvassuk, feltárják mely változók „magyarázzák” az adott jelenséget.

Azonban az ilyen „magyarázatok” önmagukban nem kielégítőek. Egy tudományos magyarázat nem lehet teljes a változók közötti *okási mechanizmus* feltárása nélkül. A „mi befolyásolja” típusú kérdések után a következő lépés természetesen a „hogyan befolyásolja” és a „miért” kérdések megválaszolása. Ezek egy szokványos, regressziós logikán alapuló empirikus tesztből nem derülnek ki. A „hogyan befolyásolja” típusú kérdések megválaszolásához hipotéziseket kell alkotni a magyarázó és magyarázott változó közötti okási viszonyról. Ezeknek a hipotéziseknek vagy magyarázati sémának az ellenőrzése alternatív magyarázatokkal szemben azonban a gyakorlatban nagyon nehéz feladat – ez az oka annak, hogy empirikus elemzések legtöbb esetben nem jutnak el erre a mélyebb szintre, illetve eleve szerényebb célokat támasztanak. Empirikus úton például általában lehetetlen „mi lenne, ha” típusú feltevésekkel élni és forga-

tőkönyveket végigjátszani, ezért az alternatív magyarázatok gyakorlati teszteléséhez más, például komparatív vagy kísérleti módszerekhez kell folyamodni.

A „miért” kérdések megválaszolásához pedig túl kell lépünk azon a szinten, hogy magyarázó *tényezők* kapcsolatát vizsgáljuk a magyarázott jelenséggel. A meghatározó faktorok középpontba állítása bizonyos szinten azzal az állásponttal egyenértékű, hogy a társadalmi folyamatok a társadalmi tények által előre meghatározottak. Némi túlzással a magyarázó tényezőkre leszűkített kutatási logika egy determinisztikus társadalomkép alapja. A társadalomtudományok azonban a társadalmi tények vizsgálatán túl a társadalom alkotórészeiről, emberekről, azok csoportjairól és intézményekről szólnak, akik önálló akarral (motivációkkal, célokkal) rendelkeznek, de cselekvéseiket az egymás közötti viszonyrendszerük és kölcsönös függőségük befolyásolják. A *cselekvők* középpontba állítása elengedhetetlen a “miért” kérdések megválaszolásához. A társadalom szereplőinek viselkedése nem előre kódolt, szándékaik nagyban meghatározzák azokat a cselekvéseket, amelyek az oksági összefüggések alapelemei. Az egyéni cselekvők szándékainak ismerete, valamint a cselekvések közötti viszonyok és kölcsönhatások feltárása vezet tehát az alapvető mechanizmusok megértéséhez. A “miért” kérdés szorosan összefügg a “hogyan” kérdéssel, csakúgy, mint ahogy a cselekvőről alkotott hipotézisek összefüggnek a cselekvésről alkotott hipotézisekkel.

Tekintsünk egy konkrét példát. Az a weberi hipotézis, hogy a protestáns etika elősegítette a kapitalizmus kialakulását, makroszociológiai kapcsolatot tételez fel a társadalom vallásos értékei, mint magyarázó tényezők és a társadalom gazdasági szerveződése, mint megfigyelt jelenség között (Coleman 1990: 6, *1.1 ábra*). James Coleman (1990) nagyszerűen bontja ki ennek a magyarázati sémának a kulcselemeit a mikroszinten: a makroszintű hatás csak úgy jöhet létre, hogy (*a*) a kialakuló protestáns vallási doktrína befolyásolja az egyének értékeit; (*b*), az egyéni értékek, különösen a hivatástudat, az antitradicionalizmus és az evilági aszkézis kialakulása befolyásolják az egyének gazdasági viselkedését és (*c*), az egyének gazdasági viselkedése meghatározza a társadalom gazdasági szerveződését. Feltéve, hogy valóban ezek a hatások a meghatározóak, az igazi, mélyebb kérdés az, hogy mik azok a mechanizmusok, amelyek például az egyéni értékektől elvezetnek az egyén gazdasági szerepvállalásáig és viselkedéséig (*b*). Hogyan jönnek létre bizonyos viselkedési formák és miért választják az egyének ezeket (értékeik által vezetve)? Ezen kérdések továbbgondolása a weberi és colemani logika alapján nem nehéz, azonban alternatív magyarázatokkal szemben a hipotézisek gyakorlati ellenőrzése a hagyományos társadalomkutatási módszertani keretek között sokkal problémásabb.

Lineáris és additív összefüggések használata

Az alapvető oksági viszonyok kibontása alapjaiban rengetheti meg az alkalmazott elemzési módszer feltevéseit is. Empirikus elemzésekben a feltételezett kapcsolat magyarázó és magyarázott tényezők között csaknem mindig lineáris, valamint az egyes magyarázó hatások összeadásszerűen halmozódnak egymásra, holott az oksági összefüggésekből legtöbbször nem vezethető le, hogy ezek a kapcsolatok lineárisak és additívak. A korlátokat a regressziós elemzés logikája szabja, amely kifejezetten a „mi befolyásolja” típusú kérdések megválaszolására alkalmas.

Ez nem jelenti azt természetesen, hogy ne léteznének olyan statisztikai módszerek, amelyek továbblépnek a linearitás feltevésén. Még a regressziós logikába is beilleszthetők polinomiális (általában négyzetes) és interakciós hatások. Mindez azonban általában az előzőekben leírt, a cselekvőt és cselekvést és ezek stratégiai kapcsolatait középpontba állító szemlélettől teljesen idegen módon történik. A cselekvés-centrikus társadalmi elméletek ellenőrzése túlfeszíti a hagyományos módszertani kereteket.⁴

Emberi cselekvőkép

Ebben a pontban áttekintjük a társadalomtudományok néhány elterjedtebb cselekvőképét, majd bemutatjuk Vanberg (2002) program alapú cselekvés modelljét, amely gyógyírt jelenthet számos hiányosságra és hozzájárulhat az ágens alapú szimuláció társadalomtudományi alkalmazásának elméleti megalapozásához.

Egy, a cselekvőt, a cselekvést, és azok kölcsönhatásait a középpontba állító kutatási logika alapkövei a cselekvőről, a cselekvésről és azok kölcsönhatásairól alkotott feltevések. Ezen emberképekben alapfeltevés, hogy a cselekvők autonómak, mivel nincs „központi hatóság”, amely előre determinálná a döntéseiket. A cselekvők szándékai, a cselekvés végrehajtása, és a cselekvők közötti kölcsönhatások azonban a gyakorlatban rendkívül összetettek. A cselekvést középpontba állító társadalomtudományi megközelítések leegyszerűsítik – gyakran túlzottan is leegyszerűsítik – az emberi cselekvőről alkotott képet. Mindezt az áttekinthetőség kedvéért teszik, valamint annak reményében, hogy így átfogóbb és általánosabb modellt tudnak alkotni a társadalmi folyamatokról. Azért is egyszerűsítene, mert el akarják választani a „lényegi”, „szubsztanciális” törvényszerűségeket a „lényegtelen” háttér folyamatoktól, például hogy az előbbiek vizsgálatára szorítkozva megtudhassunk valamit arról, hogyan zajlanának a folyamatok „zajmentes” környezetben. Mindemellett nem elhanyagolható az a praktikus szempont sem, hogy egyszerű feltevésekkel kikerülhetőek bonyolult számítási nehézségek is.

A klasszikus közgazdaságtan cselekvőképe (homo oeconomicus) tökéletesen informált, végtelen kalkuláló képességgel rendelkező egyéneket feltételez, akik lényegében a múltbeli tapasztalatok figyelembevétele nélkül maximalizálják jelen és jelenre diszkontált várható jövőbeni, rögzített preferenciákon alapuló hasznossági függvényeiket – így a cselekvők halmaza ráadásul homogén.⁵ A közgazdászok sokszor érvelnek amellet, hogy az ezen feltevések mellett felépített rendszer koherens modellt nyújt és nincs érdemi alternatívája.

Alternatíva természetesen létezik, még olyan is, amely hasonlóan leegyszerűsített és nem túl földhözragadt képet alkot a cselekvőkről, de feltevéseiből szintén egy átfogó és koherens társadalomkép bontakozik ki. A behavioralista pszichológia magatartás-

4 Természetesen ez nem jelenti azt, hogy nincsenek a cselekvést középpontba állító diszciplínák és elméletek. Például a mikroökonómia az egyéni cselekvést állítja a középpontba, empirikus vizsgálataiban mégis sokszor visszatér a faktorokon alapuló elemzéshez, amely a linearitás és additivitás feltevéseivel él.

5 Természetesen a mikroökonómiában is megtalálhatók nem tökéletes racionalitást, tranzakciós költségeket és egyéb tökéletlenségeket feltételező modellek, de nem ezek (főleg korábban nem ezek voltak) az általánosan elfogadott alapfeltevések – tanulmányunkban a klasszikus mikroökonómia esetén a fenti feltevésekre gondolunk.

modelljei közül például az egyéni tanulási modelleket emelhetjük ki, amelyekben a kizárólag a múltba tekintő egyén saját tapasztalatait építi be a cselekvésébe: pozitív élményekkel járó cselekvések gyakoriságát növeli, negatív élménnyel járó cselekvések gyakoriságát pedig csökkenti (Thorndike 1898; Bush-Mosteller 1955).⁶

Szociológiai megközelítések ugyanakkor az imitáció, az utánzás, a normakövetés és konformizmus irányadó szerepét emelik ki a cselekvés meghatározásában – az ilyen formában leírt mechanizmusok is sokszor túlságosan leegyszerűsítettek.

Evolúciós modellek, amelyek a biológiából kölcsönzött metaforát használnak a társadalmi viselkedés megfigyelt jelenségeinek magyarázatára, azt feltételezik, hogy a sikeres cselekvési minták elszaporodnak a társadalomban, a kevésbé sikeresek pedig kihalnak, lévén azok nem elég életképesek a környezet kihívásaival szemben és a túlélési versenyben sem. Új cselekvésminták mutációk (innováció) és kereszteződés útján jöhetnek létre.

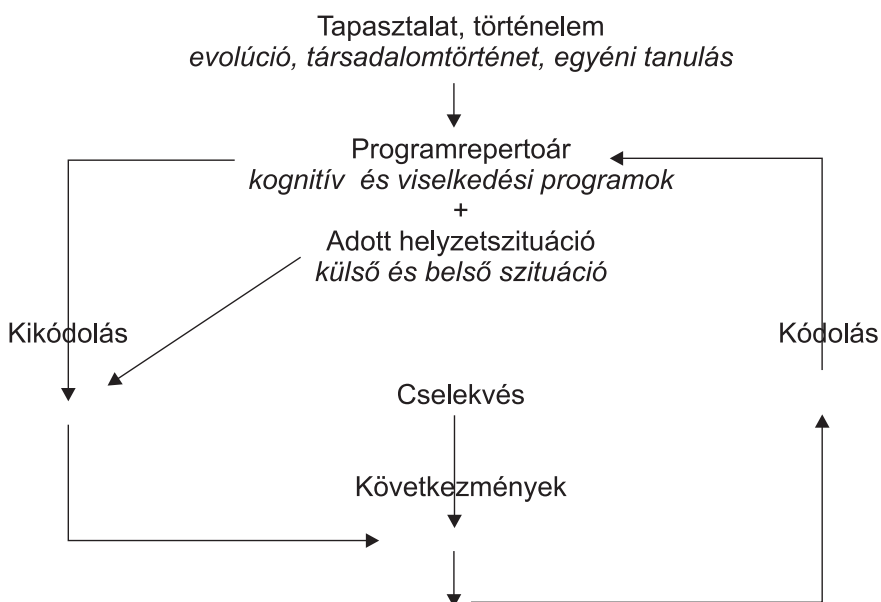
Az ezekben a modellekben alkalmazott leegyszerűsítések természetesen sokat segítettek a társadalomtudományi elméletek fejlődésében. Másrészt viszont a leegyszerűsítéseknek nem sok értelme van, amennyiben a megfogalmazott általános célok mellett a számítási nehézségek megoldásával létrehozhatók és tesztelhetők a valósághoz közelebb álló cselekvés alapú modellek is.

Ilyen átfogó, egyszerű és mégis koherens társadalomképet vázol fel az az elemzési keret, amelyet Viktor Vanberg (2002) állít fel a *program alapú cselekvés* alapfeltevéséből, amelynek gyökerei Ernst Mayr *teleonomikus cselekvés* és Karl Popper *feltevés alapú programmegoldás* fogalmaiból erednek. Ebben az elemzési keretben az egyéni cselekvés az egyén aktuális cselekvési programjából következik. A cselekvési program feltételes direktívákból áll, ahol a feltételek többé-kevésbé rögzítik, hogy az adott szituációban, az adott információk birtokában és más cselekvők várható viselkedésének figyelembevételével mely cselekvési alprogramot célszerű előhívni. A cselekvési program tehát feltételekhez kötött, így bizonyos helyzetekben (például tözsdei részvények vásárlásakor) indukálhatja a racionális cselekvés alprogramjának előhívását, más helyzetekben (például egy természeti katasztrófánál) előhívhat egy altruista alprogramot. A fent vázolt leegyszerűsített cselekvőképek tehát mind részesei lehetnek bizonyos feltételek esetén előhívható alprogramokként az egyéni cselekvési programnak. Az egyéni cselekvési program egyrészt a cselekvés eredményeként (tanulás), másrészt interakciók révén (normakövetés, adaptáció) megújul. Változhatnak a feltételes előhívó direktívák (“ha, akkor”), de a programrepertoár is. A program alapú cselekvés logikáját az *1. ábra* foglalja össze (forrás Vanberg 2002).

A program alapú cselekvésből következő társadalomkép általános, de sok jelenség magyarázatához elégséges egy ennél szűkebb séma használata is, amely az *1. ábrán* bemutatott cselekvési logika leegyszerűsített változatát használja. Ebben az egyének adaptívak, és nem optimalizálók, hanem korlátozottan racionálisak. Döntéseiket nem alapos számolás, hanem heurisztikák (normák, szokások, rutinok, konvenciók stb.) alapján hozzák meg. A heurisztikák mind egyéni, mind populációs szinten változhatnak (tanulás (Bayes-i felülvizsgálás, megerősítés, stb.) vagy kiválasztódás (pl. genetikus algoritmusok) útján).

6 A tanulási modellek új reneszánszukat élik és egyre inkább teret hódítanak a közgazdaságtanban is. Ebbe a körbe sorolható a Bayesi döntésemélet virágzása is.

1. ábra. A program alapú cselekvés logikája



A program alapú cselekvés logikájának középpontjában tehát az egyéni döntéshozatal áll. Az egyén a makroszintről érkező impulzusokat eleve adott keretfeltételekként vagy új fejlemények és információ esetén a dinamikus programalkotás során építi bele a cselekvési repertoárjába.

A mikrofolyamatok és makrojelenségek közötti kapcsolat

A mikro- és a makrofolyamatokat vizsgáló társadalomtudományi kutatások a legtöbb esetben nem kapcsolódnak egymáshoz, ami korántsem szerencsés, hiszen a társadalom mikro- és makrofolyamatai szervesen összefüggnek. Az elemzés szintjei közötti kapcsolat elmosása, a megfelelő mechanizmusok hiánya súlyos hiányosság. Különösen gyakori a makrojelenségek magyarázata a mikroszinten zajló mechanizmusok és az azokat aggregáló összefüggések figyelmen kívül hagyásával. Bár matematikai és statisztikai modellezés segítségével sokszor jól leírható és előrejelezhető a rendszerek makroviselkedése, a mélyebb magyarázatokhoz elengedhetetlen a mikrofolyamatok és a mikro-makro átmenet megismerése.

Kényelmes megoldásként gyakoriak az olyan holisztikus magyarázatok, amelyek egy makroszintű tulajdonság feltételezésével indokolnak egy makrojelenséget (az egész több vagy más, mint a részek összessége). Ezzel szemben a módszertani individualizmus logikájában a makrotulajdonság levezethető a részek tulajdonságainak összességéeként. Ha ez némi meglepetéssel is szolgál, emergens jelenségről beszélünk.

A mikroszinttől független makrotulajdonságokba vetett vak hit szerencsére sok tekintetben foszladozik. A társadalmi jelenségek vizsgálata olyan területeken is megtalálja a mikro-makro átmenet mechanizmusait, ahol az korábban nehezen volt elképzelhető (pl. társadalmi jólét kutatása, kollektív cselekvés, társadalmi választások elmélete, stb.). Ez azzal is jár, hogy néha több elképzelhető aggregációs mechanizmus is a terítékre kerül, egy adott makrojelenség többféleképp is eredeztethető mikroszintű mechanizmusokból. Például egy piacon az egyensúlyi ár kialakulhat úgy, hogy a szereplők elfogadják a walrasi kikiáltó által kalkulált árat, de ahogy Epstein és Axtell (1996: 4. fejezet) ágens alapú szimulációval Kreps (1990: 196) ötlete alapján illusztrálták, létrejöhet térben elszórt diadikus cserék eredményeként is, korlátozott információt, valószínű migrációs és alkuszabályokat feltételezve. Ha pedig többféle feltételrendszerből is ugyanaz a makrojelenség vezethető le, sokszor nehézségeket okozhat a helyes magyarázat kiválasztása.

A gyakorlatban nincs hely „mi lenne, ha” típusú kérdések vizsgálatára, kísérletezésre. Nem tudjuk megvizsgálni, hogy ha ezek és ezek a mikrofeltételek teljesülnének, milyen makrokövetkezményekkel számolhatnánk. Ilyen jellegű kérdések vizsgálatához a hagyományos kutatási módszerektől eltérő elemzési stratégiákra van szükség.

A társadalmi élet összetettsége

A társadalmi élet meglehetősen összetett, emiatt is hívja Herbert Simon a társadalomtudományokat a “kemény tudományoknak” (Simon 1987; de mások is: Epstein–Axtell 1996). Ez az összetettség vezetett a tizenkilencedik század végén még egységes társadalomtudomány fokozatos széttöredeződéséhez, a diszciplínák szétválásához. Annak ellenére, hogy a társadalom alegységei nagyon is összefüggően működnek, a társadalomtudomány ágai, mint a közgazdaságtan, szociológia, politikatudomány, szociálpszichológia, antropológia, humánitológia csak egyes részterületekkel foglalkoznak.

Az egységes társadalomtudomány felé való visszakanyarodásnak az elvi fenntartások mellett módszertani akadályai is vannak, hiszen a társadalom komplex folyamatainak, az abban megfigyelhető interdependenciáknak és történetiségeknek a leírása meglehetősen nehéz a hagyományos elemzési keretek között. Az analitikus modellek nehézkesen vagy sehogy sem alkalmazhatók, hiszen a társadalom nagy szabadságfokú komplex rendszerként írható csak le.

A társadalmi élet összetettségének tárgyalásakor ki kell emelnünk az egyéni cselekvés társadalmi beágyazottságának kérdését (Granovetter 1985), amit különösen az ortodox közgazdasági modellek szoktak figyelmen kívül hagyni. Az egyéni cselekvés egyrészt időben, másrészt strukturálisan beágyazott. Az időbeni beágyazottság azt jelenti, hogy a cselekvés időpontja és eredményének időpontja gyakran távol esik egymástól, időközben a cselekvők közötti kapcsolatok, de maguk a cselekvők is változhatnak, bizonyos hatások pedig nagy késleltetéssel érvényesülnek. Az egyéni cselekvések emellett strukturálisan is beágyazottak, ami részint azt jelenti, hogy az egyéni cselekvés elválaszthatatlan a helyi interakciós folyamatoktól és társadalmi hálózati hatásoktól, részint pedig azt, hogy az egyéni cselekvők stratégiaileg is egymásra utaltak, cselekvésük és cselekvéseik eredménye kölcsönösen függ egymástól. Az

egyéni cselekvés társadalmi beágyazottsága szerves részét kell, hogy képezze a cselekvőt és a cselekvést középpontba állító kutatási programnak.

Természetesen léteznek olyan tudományos megközelítések, amelyek megoldást keresnek a fent részletezett problémákra. A cselekvők közötti strukturális-stratégiai összefüggések illusztrációjára és megértésére kiválóan alkalmasak például a játékelmélet kínálta keretek. Nem véletlen, hogy a játékelmélet különböző mélységű alkalmazásai egyre népszerűbbek a társadalomtudomány szinte minden területén.

A dinamikus és evolúciós játékelmélet képes megragadni a társadalom összetettségének, a mikro-makro átmenetnek, az időbeli- és társadalmi beágyazottságnak legfőbb jellegzetességeit azzal, hogy a cselekvőket és azok kapcsolatait állítja a középpontba, és szemben a klasszikus játékelmélettel, alacsonyabb fokú (azaz nem tökéletes) racionalitást, adaptív viselkedést feltételez a cselekvőkről.⁷ A lokális interakciós játékok irányzata (Ellison 1993; Chwe 1999; Morris 2000) emellett a strukturális-hálózati beágyazottságra is hangsúlyt helyez.

Az analitikus játékelmélet és a szimuláció szorosan összekapcsolódik, kapcsolatuk általában kiegészítő jellegű.⁸ Amit a valóság irányába közelített feltevések alapján nem lehet (vagy nagyon bonyolult lenne) levezetni, arra a kutatók számítógépes szimuláció segítségével próbálják meg megadni a választ. Talán ennek tudható be az a számtalan támadás, amely a szimuláció tudományosságát éri és vonja kétségbe. A támadók azt állítják, hogy a számítógépes szimuláció csak szemléltetésre jó, eredményei nem általánosíthatók és nem tekinthetők válasznak a tudományos problémákra.

Tanulmányunk második felében bemutatjuk, hogy az ágens alapú szimuláció hogyan segíthet megoldani a társadalomtudományok fentebb öt pontba szedett problémáit. Próbálunk kitérni a megfogalmazott kritikákra is, és amellet érvelünk, hogy a számítógépes szimuláció megfelelő kérdésekre megfelelően alkalmazva tudományos módszer, eredményei pedig megfelelnek a tudományossággal szemben állított kritériumoknak.

A szimuláció kínálta megoldások

Egyrészt, a szimuláció alapegységei, a közhiedelemmel ellentétben nem a bemenő paraméterek, hanem mint ahogy a módszertan neve is mutatja, az egyéni cselekvők. A szimulációban az ágenseknek kiadott utasítások alapján a cselekvők vásárolnak, szavaznak vagy éppen mindennapi munkájukat végzik. Tevékenységük aggregációjaként jönnek létre a rendszer olyan makrojellemzői, mint a fogyasztói kereslet, a parlament összetétele, a makrogazdaság teljesítménye vagy a munkapiaci egyensúly. Az egyéni cselekvőről alkotott feltevések, a cselekvés mechanizmusait kódoló algoritmusok és a környezeti visszacsatolások mozgatják a modellt, viszik előre a szimulációt a program futása közben (Gulyás 2002).

7 Lásd például Young (1998) vagy Fudenberg–Levine (1998) könyvét az evolúciós játékelméletről, melyben foglalkoznak azzal a kérdéskörrel is, hogy milyen következményekkel jár a tökéletes racionalitás helyettesítése adaptív viselkedéssel.

8 Nem véletlen, hogy az első társadalomtudományi folyóirat, amely a szimulációt címébe is emelte, a *Simulation and Gaming* volt (bővebben Axelrod 1997a).

Másrészt, a cselekvés hajtotta mechanizmusok kódolása történhet úgy, ahogy a kutató elméleti feltevései vagy éppen a gyakorlatban megfigyelt jelenségek diktálják. Nem szükséges feltétlenül lineáris és additív összefüggéseket feltételezni a mikroszinten zajló folyamatokról, sem azok aggregációjáról.

Harmadrészt, az emberi cselekvőről alkotott képet a szimuláció segítségével lehet finomítani és közelíteni a valósághoz. Az ágens alapú szimuláció logikájának elméleti alapjául akár a Vanberg (2002) által felvázolt program alapú cselekvés is szolgálhat, amely megfelelően egyszerű és mégis általános keretet nyújt a társadalomtudományos elemzéshez.

*Negyedrész*t, az ágens alapú szimulációnak vezető szerepe lehet az egymástól értelmetlenül eltávolodott mikroszinttel és makroszinttel foglalkozó társadalomtudományi kutatások (pl. mikro- és makroökómia, mikro- és makroszociológia) összekapcsolásában. A gyakorlatban kivitelezhetetlen “mi lenne ha” típusú kérdések vizsgálatával ellenőrizhetőek, melyek azok a mikroszinten zajló mechanizmusok, amelyekből egy adott makrojelenség levezethető, illetve az is kideríthető, hogy egy adott mikroszintű feltételrendszerből milyen makrojelenségek következnenek. Az ilyen kutatási stratégia lényegében *gondolatkísérletek* sorozata, csak pontosabb és megalapozottabb kivitelezésben, mint ahogy azok fejből vagy tollal és ceruzával elvégezhetőek lennének (Macy 2001). A gondolatkísérletek világa természetesen olyan irány, amely kivezet a valóságos társadalom vizsgálatából. A közhiedelemmel ellentétben a valóság tökéletesen pontos és élethű leírása ugyanis nem célja az ágens alapú szimulációnak.⁹ A társadalmat, amelyben élünk, azáltal is sikerülhet megismernünk, ha feltárjuk, hogy milyen más társadalmak épülhetnének fel a kiinduló feltevésekből, illetve a feltételezett mikro-folyamatokból milyen virtuális makrotársadalom képe rajzolódik elénk. Az így felépített *mesterséges társadalmak* vizsgálata bevallottan az ágens alapú szimuláció egyik fő célja (Epstein–Axtell 1996).

A szimuláció tehát nem más, mint tervezett kísérletezés. A kísérletezésnek mindezek alapján kétféle célja lehet. Segítségével elméletek tesztelhetőek, azaz ellenőrizhető, hogy az adott makrojelenség levezethető-e a mikroszintű feltételrendszerből. Ez a fajta hipotetikus deduktív logika a pozitivisták empirikus kutatás módszertanával rokon (Popper, 1997[1934]). Ugyanakkor a szimuláció arra is használható, hogy megvizsgáljuk, ha ilyen és ilyen feltételek teljesülnének, milyen makrokövetkezményekkel számolhatunk. Ez a logika nem más, mint a makroszintű folyamatok „kitermelése” („levezetése”) a mikroszintű mechanizmusok (cselekvések) eredményeként. Ez a kutatási stratégia a társadalmi jelenségeket *alulról felfelé építve* vizsgálja (Epstein–Axtell 1996; Macy 2001). Az ilyen kutatási logika nagyobb átfedést mutat a tapasztalati úton megfogalmazott elméletek konstrukciójának a logikájával (bővebben Hales 1998). E kétfajta kutatási stratégia alkalmazásának és ötvözésének a kérdésére illetve az induktív és deduktív kutatási logika kérdésére még kitérünk.

*Ötödrész*t, a megnövekedett számítástechnikai kapacitás a szimuláció számára lehetővé teszi, hogy érdemileg hozzájáruljon a társadalmi élet összetettségének elemzéséhez. Ebbe beletartozik az is, hogy hatékonyan lehet továbbfejleszteni, és a valósághoz közelíteni a lecsupaszított cselekvőképet, illetve a cselekvésről alkotott feltevéseket. A szimulációs logika bizonyos értelemben a szociológiai gondolkodás térnyerését segíti

9 Ugyanakkor, mint ahogy már említettük, természetesen cél az elméletek valósághoz való *közelítése*.

elő: a társadalmi jelenségeket magyarázó modellek könnyebben számot vehetnek a cselekvés időbeni és strukturális beágyazottságával, a lokális interakció és a stratégiai egymásrautaltság hatásaival.

Az összetett társadalmi jelenségeket előidéző mechanizmusokat szeretnénk tehát pontosabban megfejteni a szimuláció segítségével. Ez bizonyos mértékig ellentmond az egyszerűség elvének, ami egy elméleti magyarázati séma kívánatos kritériuma. Ugyanakkor a tudományos gondolkodásban mind a túlságosan bonyolult, mind a túlságosan leegyszerűsített modellek értéktelenek (pl. Lindenberg 1992). Meg kell találni azt a középutat, amely hozzásegít a jelenség megértésének fejlődéséhez, ugyanakkor nem válik áttekinthetlenné. Az ágens alapú szimuláció is kompromisszumos utat jelent: a valósághoz jobban kötődő, nem feltétlenül lineáris modellek alkotását, de leegyszerűsített (axiomatikus) feltételrendszerrel. A szimuláció kompromisszum a bonyolultság és a túlzott leegyszerűsítések között, a valóság bonyolultságával megbirkózni igyekvő empirikus elemzések és a leegyszerűsítést eszközként használó elméleti modellek között.

Szimuláció: módszertani paradigmaváltás?

Ahogy már említettük, az ágens alapú szimuláció összességében tartalmaz elemeket az induktív és a deduktív társadalomkutatási módszertanból is, és sok tekintetben ötvözi azok előnyeit. Egyszerűen fogalmazva: a dedukció az általánosat vizsgálja és az egyedi megfigyelések alapján érvel. Az indukció pedig az egyedi megfigyelésekből próbál általános érvényű megállapításokra jutni. Axelrod (1997a: 5) szerint a szimuláció annyira elüt ezektől a hagyományos tudományos logikáktól, hogy egy harmadikféle tudományos kutatási módszernek tekinthető, „a tudomány művelésének egy új fajtája”.

Véleményünk szerint ez nem új tudományos logika, csak az indukció és a dedukció lépéseinek ötvözése. Hiszen lényegében véve a szimuláció során modelleket készítünk, ezekből a szimuláció segítségével adatokat generálunk, eredményeket vezetünk le és ezeket összevetjük az empirikus megfigyelésekkel. A tapasztalati megismerés indukciós logikájának szerepe főként az, hogy új szempontokat építsen, esetleg régieket hagyjon el, vagy hogy az alapfeltevések hangsúlyát változtassa. Azonban a cél nem a verifikálás, hanem a további elméletalkotás serkentése és az új elméletek vizsgálata. Összességében deduktív és induktív fázisok követik egymást, csakúgy, mint a tudományos gondolkodás fejlődésében általában, csak mindez sokkal gyorsabban és olajozottabban történik.

Ebben a kettősségben tökéletesen megfér egymás mellett a szimuláció „levezethetőség” és „felfedezés” funkciója (Axelrod 1997a; Hales 1998). A levezethetőség azt jelenti, hogy a szimuláció segítségével a komplex rendszerek általános és robusztus tulajdonságai mutathatók ki, míg a felfedezés a váratlan, rejtett, nem triviális kapcsolatok és jelenségek kimutatására vonatkozik.

Egy példa – A társadalmi befolyás dinamikus modellezése

Ebben a bekezdésben szeretnénk részletesebben bemutatni egy konkrét szimulációs elemzést, hogy a szimulációs módszertant szemléltessük.

Latané (1996) tanulmánya jól demonstrálja azt a jelenséget, hogy az egyéni cselekvésről tett nagyon egyszerű feltételezések is nem várt, összetett eredményekhez vezethetnek: olyan eredményekhez, melyek nem következnek „első ránézésre” a feltételezésekből – mégis mind a feltételezések, mind a következtetés megfelel elvárásainknak (ezt érti Axelrod a „felfedezés” funkció alatt).

A társadalmi befolyásolás általánosan úgy definiálható, mint az egyén szubjektív érzéseinek, hiedelmeinek és véleményének megváltozása más egyének cselekvéseinek eredményeképp. Latané azt tételezte fel, hogy a társadalmi befolyásolás ereje a más egyénektől való távolságtól, a kapcsolatok erősségétől és a befolyások számától függ – olyan feltételezések ezek, melyek teljesen megfelelnek mindennapi tapasztalatainknak. Elemzésének célja az volt, hogy megvizsgálja a társadalmi befolyás terjedésének dinamikus jellemzőit és a folyamat kimenetelét.

A kérdés a következő: van egy populációnk, n egyénnel (ágenssel). Minden egyén két álláspontot ($v1$ illetve $v2$) képviselhet (például támogathatja vagy ellenezheti a marihuána-fogyasztás engedélyezését, lehet vallásos vagy ateista, a Linuxot részesítheti előnyben a Windows-zal szemben, vagy fordítva stb.) A társadalmi teret Latané egy sejtautomatával modellezi: képzeljünk el egy négyzetrácsos lapot, melynek celláit ágensek töltik ki.¹⁰ A szomszédos négyzetrácsok azt jelentik, hogy az egyének szomszédosak/kapcsolatban állnak egymással. A társadalmi befolyást pedig definiáljuk úgy, hogy egy adott cella az őt ért hatások nyomására véleményt változtathat. (A hatás az egyes cellával szomszédos cellák véleményeinek súlyozott összege; a súlyokat az egyéntől vett távolság és a befolyásoló egyén fontossága jelenti).

Mi történik, ha a vélemények kezdeti véletlen elosztása után teret engedünk a társadalmi befolyásolás mechanizmusának? A szimulációt több időszakon keresztül futtatva meglepő eredményeket kapunk: a többségi vélemény ($v1$), bár még inkább teret nyer, nem terjed el teljesen. A $v2$ vélemény fennmarad, a kezdeti véletlen véleményeloszlás azonban jelentősen megváltozik és a vélemények területileg csoportosulnak - ez a csoportosulás az, ami megvédi a kisebbségi véleményt a kihalástól.

Bár a fenti szimuláció első ránézésre csak egy játéknak tűnik, sok gondolatébresztő szociológiai vonatkozása van. Például hogyan működnek a dinamikus lakóhelyi-környezeti hatások az ideológiák terjedésében, ha más lényegi hatásokat (pl. iskolázottság) kiszűrhetünk? Vagy: mi történne akkor, ha egy lakónegyed fő véleményformálóját meggyőznénk korábbi nézetének ellenkezőjéről? Még hasonló kérdések garmadája tehető fel, célunk itt azonban csak annak demonstrálása volt, hogy a szimuláció hogyan „vezethet le” egyszerű feltételezésekből különböző mintázatokat, és hogy e mintázatok hogyan mutathatnak utat a további kutatáshoz.¹¹

Fontos látni, hogy ezeket az „emergens” jelenségeket néhány nagyon alapvető feltételezésből kaptuk, és fontos megjegyeznünk, hogy ezek az eredmények robusztusak voltak, tehát nem függtek jelentősen a kezdeti beállításoktól.

10 Például a $v1$ véleményen lévő cselekvőknek megfelelő négyzetrács legyen piros, a $v2$ véleményen lévőé kék, a maradék (ahol nincs senki) pedig maradjon üres.

11 A társadalmi befolyásolás elméletéről további szimulációk találhatók Hegselmann–Flache(1998)-nál. A kérdés játékelméleti tárgyalásához pedig Young (1998) szolgál kitűnő adalékkal.

A szimuláció különböző technikái

Az ágens alapú szimuláció fogalmkörébe sokféle technika besorolható. A sejtautomata egyike az elsőknek és a legelterjedtebbeknek (ld. Latané modellje). Sok egyéb módszertan található a szakirodalomban – hogy egy adott kutatás melyiket használja, az függ a kutatott jelenség természetétől és a modell feltételezéseitől.

Néha nehéz is meghúzni a választóvonalat az ágens alapú szimuláció, illetve a mikroszimuláció vagy a dinamikus rendszerszimuláció között. A sorbanállási modellek (*queuing models*), a diszkrét eseménystimulációk (*discrete event simulation*), vagy a vállalati folyamatszimulációk (*business process modeling*) már rendelkeztek az ágens alapú szimuláció számos sajátosságával. Ugyanakkor ezeket a modelleket kevésbé vagy ritkán jellemzi a mikro-makro átmenet problémájának megoldása, illetve az ágensek közötti interakció (bár erre is van példa: pl. Back 2003).

Gilbert–Troitzsch (1999) csoportosításában külön kategóriát képeznek a többszintű modellek, amelyek emergens struktúrákat vagy szinergikus hatásokat vizsgálnak. Az ilyen modellek célja, hogy nyomon kövessék és elemezzék az ágensek viselkedéséből felépülő struktúrák kialakulását és időbeli változását. Lényegében a fizikában ismert szinergetikai szimulációk analógiájaként alkalmazták először társadalmi jelenségekre is. Mint Latané modelljében is láttuk, az ágensek térbeli elhelyezkedésének, mozgásának és helyi interakcióinak számbavételéhez kitűnő módszer a sejtautomata. A Neumann Jánostól eredő technika (Neumann 1966) használhatósága hosszú kerülőút után vált ismertté a magyar társadalomtudomány számára. A módszer elterjedésében jelentős szerepe volt a Conway-féle Életjáték (*Game of Life*) népszerűségének és Schelling (1969, 1971) zseniális szegregációs modelljeinek. A sejtautomata négyzettrácsos világa azonban nem feltétlenül mutat átfedést a társadalmi kapcsolatok hálózatának valós szerkezetével, legyen szó akár a neumann-i négy cellaszomszédáról, akár a moore-i nyolcóról (ez utóbbi esetben a négyzetek érintkező csúcsai is szomszédsági viszonyt jelentenek). Éppen emiatt az újabb társadalomtudományi alkalmazások között felbukkan a szabálytalan alakzatokkal dolgozó sejtautomata (*irregular cellular automata*: Flache–Hegselmann 2001) és a társadalmi kapcsolatok hálózatát gráfokkal megjelenítő gráfautomata (O’Sullivan, 2001). Ezeknek a technikáknak a nagy előnye, hogy a dinamikus társadalmi folyamatokat vizuálisan is érzékletesen illusztrálják.

Ugyancsak jellegzetes csoportot alkotnak a társadalmi rend kialakulásával, a társadalmi evolúcióval foglalkozó modellek és technikák. Az ide tartozó tanulmányok fő kutatási kérdései, hogy az egoista (és rövidtávon optimalizáló) viselkedés hogyan vezethet egy sikeres, kooperatív kollektív cselekvés kialakulásához, a normák létrejöttéhez vagy társadalmilag hasznos intézmények megszületéséhez. Ezek a modellek javarészt játékelméleti alapokon állnak és gyakran ültetik át a biológiai evolúció ismert szabályszerűségeit a társadalmi viselkedés kialakulásának leírására.

A legtöbbször vizsgált kiinduló szituáció a fogolydilemma, amelyben az egyénileg rövidtávon racionális döntés társadalmilag nem vezet optimális eredményre (ld. például Hankiss 1985). A szimulációs kutatások nagyban segítettek annak megértésében, hogy központi hatalom hiányában is és mindezek ellenére a társadalmi szempontból kívánatos viselkedés (a kooperáció, elérhető és sikeresnek bizonyulhat a társadalmi csapdahelyzetekben. A kooperáció stabilitásához szükséges jóindulatot, bizalmat és megbocsátást kizárólag az interakciók időbeli és strukturális beágyazottsága teszi le-

hetővé. A terület szimulációs úttörője Robert Axelrod volt a *The Evolution of Cooperation* (1984) című nagyhatású, de sok vitát is kavart könyvével.

Az evolúciós kiválasztás logikájának társadalmi viselkedésekre való szimulációs alkalmazásában is Axelrod (1987) volt a legnagyobb hatással. Természetesen ez a megközelítés egyáltalán nem új (Becker 1976; Trivers 1971; Maynard Smith 1982), és már külön tudományos diszciplínák épülnek rá, úgy mint a szociobiológia (Wilson 1975), az evolúciós pszichológia (Cosmides–Tooby–Barkow 1992), vagy az evolúciós játékelmélet (Selten 1991; Weibull 1995). Az erre a megközelítésre épülő szimulációk közé tartoznak az evolúciós „körversenyek”, amelyekben makroszinten zajlik a kiválasztás (pl. Axelrod 1997b), a genetikai algoritmusok, amelyben a sikeres magatartásminták párban kereszteződnek (pl. Holland 1975; Macy 1996), és a genetikai programozás (áttekintést ad Edmonds 1999). Ezen technikák sajátossága, hogy a különböző magatartási programokat vagy stratégiákat „génekbe” kódolják – ezek a gének határozzák meg, hogy az adott feltételek mellett hogyan fog viselkedni a hordozó ágens. A rendszer fejlődése evolúciós analógiára épül: a sikeres (pl. több pontot elért) stratégiák nagyobb valószínűséggel fognak „utódokkal” rendelkezni a következő generációban, mint a kevésbé sikeres stratégiák.

Ugyancsak sokszor alkalmaznak játékelméleti kereteket a különböző társadalmi problémák magyarázatában a mikroszintű tanulási modellekkel dolgozó kutatások. A tanulás az evolúciós logikával ellentétben nem a populáció szintjén történik (azaz a kevésbé sikeres nem fog utóddal rendelkezni), hanem egyéni szinten: a sikerrel járó döntés valószínűsége nő, a sikertelené csökken, az ágensek saját, múltbeli hibájukból tanulnak. A tanulási modellek klasszikusai Thorndike (1898) és Bush–Mosteller (1955), valamint a Bayes-i felülvizsgálat modellje. A tanulási modelleket alkalmazásai között megjelennek az alap játékelméleti szituációk, mint a koordinációs problémák (Young 1998) vagy az ismételt fogolydilemma (Nowak–Sigmund 1993; Micko 1994; Macy 1995).

A tanulási modellek jelentik az alapját a mesterséges neurális hálót alkalmazó modelleknek (pl. Bainbridge 1995) és a mesterséges neurális hálókat társadalmi hálózatokra illesztő modelleknek (*attractor neural nets*, Kitts–Macy–Flache, 1999). Már korábban megjelentek a mesterséges intelligencia (AI) modellek az emberi kognitív folyamatok modellezésére. Ezek az egyén szintjén belül maradtak az elosztott mesterséges intelligencia (DAI) kísérletek megjelenéséig, amelyekben több intelligens ágens (pl. szoftverprogramok) léptek interakcióba egymással. Ezek az intelligens ágensek már környezetüktől is gyűjtnek információt, interpretálják azokat, majd később ezeket tudásalapként használják döntéseik meghozatalában (pl. Doran 1997).

Az elméleti igények kielégítésére valamennyi felsorolt technika választ nyújthat, és mindegyik módszer beilleszthető a már részletezett Vanberg-féle (2002) program alapú cselekvés logikájába. A kutatóknak a konkrét kutatási kérdés függvényében kell eldönteniük, melyik utat járják.

Kritikák

A szimulációs módszer számos ellenzője és kritikusa úgy véli, hogy a szimuláció nem tekinthető tudományos módszertannak. Ahogy Macy (2001) írja, az ágens alapú modelleket sokszor, különböző oldalokról támadták és támadják azzal, hogy

(1) absztrakt, valóságatlan világot ábrázolnak. – A szimulációs eredményeknek nincs köze a valós világhoz, mivel a szimuláció, a matematikai modellezéshez hasonlóan túl stilizált és túl absztrakt, nem arról a világról beszél, melyben élünk. Az ágens alapú modellek az emberi viselkedés túlzottan leegyszerűsített képét használják, melyek figyelmen kívül hagyják az emberi lény bonyolult természetét.

(2) semmi „újat” nem nyújtanak, csak azt, ami a feltevésekből következik (Macy 2001: *unwrapping*). – A matematikai modellekhez hasonlóan a szimuláció nem tud semmi újat mondani, hiszen az adott feltételezéseket beépítve a számítógép semmi mást nem tesz, mint végrehajta a programot.

(3) nem lehet az eredményeket általánosítani (ellentétben az analitikus eredményekkel) – A matematikai modellekkel szemben a szimulációk numerikusak, így nem tudnak általánosan érvényes megállapításokhoz vezetni.

Mint láthatjuk, ezek a támadások két oldalról jönnek: egyesek szerint a szimulációs módszer, durván fogalmazva, túl formalizált (1-es és 2-es kritika), mások szerint pedig nem eléggé (3-as kritika). Pontosban ugyanezen kritikákat vetnék egymás szemére, ha mondjuk egy antropológus és egy ökonóméter kezdene el vitatkozni.

Véleményünk szerint éppen itt keresendő a szimulációs módszer fő előnye. Olyan jelenségekre és kérdésekre tud formalizáltabb választ adni, melyekre eddig nem tudtak. Mint már írtuk, a szimuláció egy absztrakt világban vizsgálódik, azonban ez az absztrakt világ – azáltal, hogy valósabb feltételezésekkel él – jóval kevésbé absztrakt, mint mondjuk a klasszikus mikroökonómiáé.

A kritikák azonban nem csak a túl formalizált – nem eléggé formalizált dimenzióban születnek; számos olyan veszélyre is felhívják a figyelmet, melyek elkerülésére figyelni kell. Sajnos több szimulációs elemzés nem elég körültekintő, így eredményeik és következtetéseik ténylegesen kétségbe vonhatók. Ebben a pontban felsoroljuk e veszélyeket, utat mutatunk elkerülésükre, majd a következő pontban összegezzük és kiegészítjük azokat a kritériumokat, melyeket az elemzés során be kell tartani e veszélyek elkerülése érdekében.

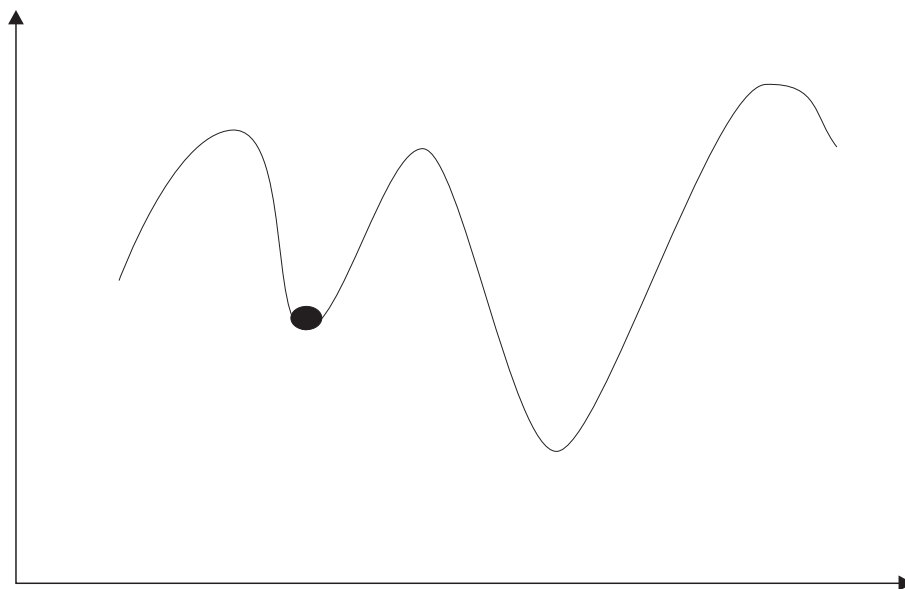
(4) Megfeneklés lokális egyensúlyi helyzetekben.

A kapott eredmények sokszor lokális egyensúlyhoz konvergálhatnak (2. ábra). Ennek kiküszöbölésére szolgál az általánosíthatóság kritériuma: ahhoz, hogy az eredmény robusztus legyen, a kezdeti beállítások minél nagyobb skáláján végig kell futtatni a modellt, így a lokális szélsőértékek félreértelmezése elkerülhető.

5) Számos alternatív mikromodell tartozhat egy makrojelenséghez – hogyan válasszunk az alternatív modellek közül?

A probléma kettős: egyrészt a cselekvőről, a cselekvők interakcióiról alkotott különböző feltételezések is vezethetnek ugyanahhoz a makroviselkedéshez, másrészt a különböző modellezési technikák eltérő eredményekhez vezethetnek (ez utóbbiról lásd a következő pontot).

2. ábra. Megfeneklés lokális egyensúlyi helyzetekben



A cselekvőről és a cselekvők interakciójáról alkotott különböző feltételezések természetesen minden modellezési módszer esetében különböző következtetésekhez vezethetnek. A dilemma, hogy melyik modellt válasszunk, a szimuláció esetén jóval nagyobb veszélyt hordoz magával, mint az analitikus módszerek esetében: mivel a kezdeti beállítások következményei egy gombnyomásra megvizsgálhatók, nagyon nagy a csábítás, hogy a kutató addig keressen a feltételezések lehetséges halmazában, míg egy számára megfelelő következménnyel járót talál – majd ezt tudományos eredményként publikálja.

A problémát azzal küszöbölhetjük ki, hogy elvárjuk a szimulációs modelltől (mint általában a modellektől), hogy egy már korábban alkalmazott feltevés-csoportra/elméletre épüljön. Nagyon fontos tehát, hogy szimuláció ebben az értelemben inkább módszertan legyen, mint út a felfedezéshez.

6) A modellezési technika ad hoc választása (*domain validity*: Macy 2001)

A feltevések ad hoc megválasztása melletti másik veszélyt a modellezési technika ad hoc megválasztása jelenti. Mint már korábban bemutatottuk, egyes jelenségek elemzésére különböző szimulációs modellfajták (sőt, almodellek) használhatók. Ez is komoly veszélyt hordozhat magában, ugyanis a különböző szimulációs modellek ugyanarra a jelenségre néha különböző válaszokat adnak,¹² így természetesen nem mindegy, melyiket alkalmazzuk.

Erre a veszélyre egy megoldás látszik: konszenzusra kellene jutni a terület szakértőinek arról, hogy melyik modellezési fajta a megfelelő és releváns egy adott probléma-

¹² Lásd például az ismételt fogolydilemma sikeres stratégiáinak különböző módszerekkel és kiindulási feltételekkel történő elemzését (pl. Axelrod 1984; Linster 1992; Kollock 1993; Bendor–Kramer–Swistak 1996; Macy 1996; Binmore 1998).

körnél. Amíg azonban ez a konszenzus nincs meg, addig a vizsgálandó témakört a rendelkezésre álló összes modellel illik megvizsgálni, hogy a válaszuk általános és érvényes legyen. Mert amíg ez nem így van, addig jogosan a tudós szemére vethető, hogy ad hoc modellekkel dolgozik, ugyanis „minden jelenségre lehet találni olyan feltételrendszert és mechanizmust, ami megmagyarázza azt.”

7) A kezdeti feltételekkel szembeni érzékenység. – A komplex rendszerek elemzésénél különösen jelentős lehet az, hogy a kezdeti feltételek alapvetően befolyásolják az eredményt.¹³ Ez a probléma erősen összefonódik az érvényesség kérdésével. Hogy tudnánk ugyanis összehasonlítani, egyezővé vagy különbözővé nyilvánítani két modellt, ha az eredmények nagyon érzékenyek a kezdeti feltételekre?

A problémára a megoldás az, hogy a szimulációt minél többször, a legkülönbözőbb paraméter-beállítások mellett ismételten le kell futtatni. Ezek után választ lehet adni a szimulációs modell robusztusságára (ami az érvényesség egyik fő feltétele).

A szimulációval szemben támasztott követelmények

Bár a számítógépes szimuláció módszere egyértelműen jelentős előnyökkel járhat, ha használata jól megtervezett és a megfelelő problémákra van alkalmazva, a tudományos munka során számos kritérium és korlát merülhet fel, melyeket figyelembe kell venni ahhoz, hogy a módszertant elfogadják. Tanulmányunk végén összefoglaljuk azokat a kritériumokat, melyet egy társadalomtudósnak egy szimulációs elemzés során – véleményünk szerint – be kell tartania. Ezek a kritériumok nem popperi értelemben vett „demarkációs kritériumok”: betartásuk választ ad a legtöbb kritikára, de nem feltétlenül elégséges ahhoz, hogy az elemzést minden társadalomtudós elfogadja.

Belső és külső érvényesség

Alapvető fontosságú, „[...] hogy a szimulációs program pontosan feleljen meg az elméleti modellnek – Axelrod (1997a) ezt nevezi *belső érvényességnek*. Ennek elengedhetetlen feltétele a *szintaktikus érvényesség*, ami annyit jelent, hogy nincs programozási hiba a szimulációban. A program nemcsak futtatható, de az algoritmusok logikájába sem csúszott hiba. Ez azért fontos, mert egy váratlan eredmény „felbukkanása” lehet a modell meglepő emergens következménye, de eredhet egyszerűen programozási hibából is. Emiatt ennek a feltételnek való megfelelés igen alapos és felelősségteljes programozási feladatot igényel, amelyet még alaposabb ellenőrzésnek kell követnie (*debugging*). Mindemellett a szemantikus érvényesség is fontos követelmény, ami annyit takar, hogy az elméleti koncepciók megfelelően operacionalizáltak és épülnek be a szimulációba.

A *külső érvényesség* azt takarja, hogy az alkalmazott modell és a modell következtései mennyiben felelnek meg valós megfigyeléseknek. Ezt általában tesztelés eredményeként kaphatjuk meg, mely tesztelés alapulhat empirikus adatokon, kísérleteken, stb.

13 Evolúciós szakkifejezéssel: a folyamat nem ergodikus.

A folyamatos kettős tesztelés a belső- és külső érvényesség vizsgálatán kívül a szimulációs modell és ezáltal az elmélet fejlesztéséhez vezethet. Létezik tehát egy indukzív visszacsatolás is, azaz ha a valós megfigyelések során olyan szempontokat és jelenségeket találunk, melyek nem szerepelnek a szimulációban, módosíthatjuk a szimulációs modellünket, ami akár az elméletünk/hipotézisünk felülvizsgálásához is vezethet.¹⁴ Fontos azonban az 5)-ös és 6)-os *Kritikák* alpontban már elemzett veszélyek elkerülése, azaz nem szabad hagyni, hogy a modell következtetései „irányítsanak” és elszakadjunk eredeti elméletünkötől.

Megismételhetőség és használhatóság

A megismételhetőség, az eredmények reprodukálhatóságának kritériuma, mint általában minden tudományos elemzés esetén,¹⁵ itt is elemi fontosságú. A szimuláció futtatható kell legyen ismételten az alkotók vagy bárki más által. Ezen felül az eredményeket olyan outputnak kell leírnia, amely mindenki számára értelmezhető. Ahogyan Axelrod (1997a) megjegyzi, ez a jelenleg uralkodó nyomtatott forma esetében elég nehézkes vagy egyáltalán nem kivitelezhető. Ezt a problémát a részletes dokumentáció, esetleg a forráskód vagy magának a szimulációs programnak a közzététele jelenti.

Általánosíthatóság, robusztusság

Sokszor kritizálják a szimulációt amiatt, hogy a kapott eredmények nagyon specifikusak és más kontextusban nem állják meg a helyüket. A teljesség bizonyos korlátok között a szimuláció ismételt lefuttatásával elérhető, a kutatónak meg kell próbálnia modelljét a legkülönbözőbb beállítások mellett elemezni, és ahogy a *Kritikák* 7) alpontjában írtuk, a jellegzetességek elemezhetők, és választ lehet adni a szimulációs modell általánosságára/robusztusságára.

Valószínű, hogy a kapott eredmények nem (vagy csak nagyon nehezen) alakíthatók át általános analitikus összefüggésekké (Byrne 1997).¹⁶ Úgy véljük azonban, hogy egy megfelelően széles feltételrendszer-spektrumon kapott szimulációs eredmény sokszor többet tud mondani az analitikus levezetéseknél, mivel (1) tökéletesen reprodukálni tudja az analitikus eredményeket és (2) olyan beállításokra is eredménnyel szolgál, amelyekre a rendszeresen nagyon leszűkített értelmezési tartományú analitikus eredmények nem.

14 Érdemes összehasonlítani ezt a sémát Gerschenson (2002) sémájával, aki a szimuláció szerepét az elméletek konzisztenciájának ellenőrzésében látja.

15 Például a kísérleti dokumentáció a kísérleti fizikában, a levezetés a matematikában vagy a módszertan leírása a piackutatásban.

16 Byrne álláspontjával nem egyezik meg Gilbert (1996) álláspontja, aki szerint sok összefüggést később le tudunk vezetni majd analitikusan.

Konklúziók

A tanulmányban amellet érveltünk, hogy a társadalomtudományokban (például a szociológiában, a politikatudományban és az empirikus közgazdaságtanban) a magyarázó sémák sokszor hiányosak: bizonyos tényezők hatásait vizsgálják anélkül, hogy feltárnák a hatások mögött rejlő oksági mechanizmusokat. Ezek a magyarázatok nem beszélnek a mikro-makro szint kapcsolatáról. Ugyancsak végletes a neoklasszikus közgazdaságtan vagy a behavioralista pszichológia társadalomképe, mivel túlságosan leegyszerűsített képet alkotnak az emberi cselekvőről, elhanyagolva a cselekvés társadalmi és időbeli beágyazottságát.

Alternatívánk, a számítógépes szimuláció kompromisszumot jelenthet a végletek között, a szimulációs modellek képesek mind a mikro-makro átmenet, mind a cselekvés beágyazottságának megragadására. A módszer létjogosultsága mellett szól az is, hogy tud kezelni olyan komplex és nemlineáris jelenségeket, melyekkel a korábbi módszerek nem tudtak mit kezdeni. Mindezek mellett lehetőséget nyújt olyan hipotézisek tesztelésére, amelyek éppen a társadalmi élet összetettségének okán a valóságban nem lennének ellenőrizhetők.

Az elemzés középpontjába a tanulmány második részében azt a kérdést állítottuk, hogy mennyiben teljesíti a szimuláció a tudományosság kritériumait és emiatt mennyiben tekinthető a tudományos megismerés adekvát módjának. Amellet érveltünk, hogy ha betartjuk a megfelelő szabályokat, akkor a szimulációval kapott eredmények tudományosnak tekinthetők. Sőt, a szimuláció „hagyományos” módszertani paradigmákban jártas kritikusainak a féltékenységét is alaptalannak tartjuk, akár az analitikus szigorúság és általánosság irányából, akár a társadalom összetett kérdéseire verbális válaszokat kínáló kutatóktól származik. A szimuláció elterjedése a társadalomtudományokban ugyanis nem feltétlenül teremt konkurenciát az általánosan elismert módszereknek, hanem elsősorban új lehetőségekkel, elméletekkel és ismeretekkel gazdagítja a társadalomtudományos megismerés eszköztárát.

Irodalom

- Axelrod, R. (1984): *The Evolution of Cooperation*. New York, Basic Books.
- Axelrod, R. (1987): The Evolution of Strategies in the Iterated Prisoner's Dilemma. In Davis, L. (ed.): *Genetic Algorithms and Simulated Annealing*. London: Pitman 32–41.
- Axelrod, R. (1997a): Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences. *Complexity*, 3(2): 16–22.
- Axelrod, R. (1997b): *The Complexity of Cooperation. Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton NJ: Princeton University Press.
- Back H. I. (2003): *Application of Formal Methods in Social Sciences*. Master thesis, Budapest University of Technology and Economics, Department of Measurement and Information Systems.
- Bainbridge, W. S. (1995): Neural Network Models of Religious Belief. *Sociological Perspectives*, 38(4): 483–495.

- Becker, G. S. (1976): Altruism, Egoism, and Genetic Fitness: Economics and Sociobiology. *Journal of Economic Literature*, 14(3): 817–826.
- Bendor, J.–Kramer, R.–Swistak, P. (1996): Cooperation under Uncertainty: What Is New, What Is True, and What Is Important. Comment on Kollock, ASR, December 1993. *American Sociological Review*, 61: 333–338.
- Binmore, K. (1998): *Just playing. (Game Theory and the Social Contract; vol. 2)* London (UK)–Cambridge (USA): The MIT Press.
- Bush, R.R.–Mosteller, F. (1955): *Stochastic Models for Learning*. New York: Wiley.
- Byrne, D. (1997): Simulation: A Way Forward? *Sociological Research Online*. <http://www.socresonline.org.uk/socresonline/2/2/4.html>
- Chwe, M. S-Y. (1999): Structure and Strategy in Collective Action. *American Journal of Sociology*, 105: 128–156.
- Coleman, J. S. (1990): *The Foundations of Social Theory*. Cambridge (Mass.): The Belknap Press.
- Cosmides, L.–Tooby, J.–Barkow, J. H. (1992): Introduction: Evolutionary Psychology and Conceptual Integration. In Barkow, J. H.–Cosmides, L.–Tooby, J. (eds.): *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*. New York [etc.]: Oxford University Press.
- Doran, J. E. (1997): Distributed Artificial Intelligence and Emergent Social Complexity. In van de Leeuw, S. E.–McGlade, J. (eds.): *Time, Process and Structured Transformation in Archaeology*. London & New York: Routledge, 283–297.
- Edmonds, B. (1999): The Uses of Genetic Programming in Social Simulation. A Review of Five Books. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2(1), <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/2/1/review1.html>
- Ellison, G. (1993): Learning, Local Interaction, and Coordination. *Econometrica*, 61: 1047–1071.
- Epstein, J. M.–Axtell, R. (1996): *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Washington DC: Brookings Institution Press.
- , R. (2001): Do Irregular Grids make a Difference? Relaxing the Spatial Regularity Assumption in Cellular Models of Social Dynamics. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4(4), <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/4/6.html>
- Fudenberg, D.–Levine, K. (1998): *The Theory of Learning in Games*. Cambridge: MIT Press.
- Futó P. (1988): A mikroszimulációs modellezés főbb irányai és jelentkezésük a budapesti konferencián. IIASA Workshop on Demographic Microsimulation. Budapest 1987 november. Budapest, KSH.
- Gershenson, C. (2002): Philosophical Ideas on the Simulation of Social Behaviour. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 5(3), <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/3/8.html>

- Gilbert, N. (1996): *Simulation: An Emergent Perspective*. Paper presented at the Conference on New Technologies in the Social Sciences, 27-29 October, Bournemouth, UK. <http://www.soc.surrey.ac.uk/research/simsoc/tutorial.html>
- Gilbert, N.–Troitzsch, K. G. (1999): *Simulation for the Social Scientist*. Buckingham: Open University Press.
- Gömöri A. (2001): *Információ és interakció: Bevezetés az információs asszimétriához közgazdasági elméletébe*. [közrem. Badics J.; Bognár K.; Csorba G.; Hünlich Cs. és Kocsis V.] Budapest: Typotex.
- Granovetter, M. (1985): Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness. *American Journal of Sociology*, 91: 481–510.
- Gulyás L. (2002): On the Transition to Agent-Based Modeling: Implementation Strategies from Variables to Agents. *Social Science Computer Review*, 20(4): 389–399.
- Gulyás L.–Tatai G. (1999): “Ágensek és multi-ágens rendszerek” In Futó I. (szerk.): *Mesterséges Intelligencia*. Budapest: Aula Kiadó, 709–755.
- Hales, D. (1998): Artificial Societies, Theory Building and Memetics. <http://citeseer.nj.nec.com/117691.html>
- Hankiss E. (1985): *Társadalmi csapdák*. Budapest: Magvető.
- A. (1998): Understanding Complex Social Dynamics: A Plea For Cellular Automata Based Modelling. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 1(3), <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/1/3/1.html>
- Holland, J. H. (1975): *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. Ann Arbor (MI), University of Michigan Press.
- Kitts, J. A.–Macy, M. W.–Flache, A. (1999): Structural Learning: Attraction and Conformity in Task-oriented Groups. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 5(2): 129–145.
- Kollock, P. (1993): “An Eye for an Eye Leaves Everyone Blind”: Cooperation and Accounting Systems. *American Sociological Review*, 58: 768–786.
- Kreps, D. M. (1990): *A Course in Microeconomic Theory*. Princeton: University Press.
- Latané, B. (1996): Dynamic Social Impact: Robust Predictions from Simple Theory. In Hegselmann, R.–Mueller, U.–Troitzsch, K. (eds): *Modelling and simulating in the social sciences from a philosophy of science point of view*. Dordrecht: Kluwer.
- Lindenberg, S. (1992): The Method of Decreasing Abstraction. In Coleman, J. S.–Fararo, T. J. (eds.): *Rational Choice Theory. Advocacy and Critique*. Newbury Park: Sage; 3–20.
- Linstler, B. (1992): Evolutionary Stability in the Repeated Prisoner’s Dilemma Played by Two-State Moore Machines. *Southern Economic Journal*, 58: 880–903.
- Macy, M. W. (1995): PAVLOV and the Evolution of Cooperation: An Experimental Test. *Social Psychology Quarterly*, 58(2): 74–87.

- Macy, M. W. (1996): Natural Selection and Social Learning in Prisoner's Dilemma. Coadaptation with Genetic Algorithms and Artificial Networks. *Sociological Methods and Research*, 25: 103–137.
- Macy, M. W. (2001): Social Simulation. In Smelser, Neil J.–Baltes, Paul B.: *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Macy, M. W.–Willer, R. (2002): From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling. *Annual Review of Sociology*, 28: 143–66.
- Maynard Smith, J. (1982): *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Meadows, D. H. et al. (1972): *The Limits to Growth. A report for the Club of Rome project on the predicament of mankind*. Universe Books.
- Micko, H. C. (1994): Learning Models for the Prisoner's Dilemma Game: A Review. In Schulz, U. –Albers, W.–Mueller, U. (eds.): *Social Dilemmas and Cooperation*. Berlin: Springer Verlag.
- Morris, S. (2000): Contagion. *Review of Economic Studies*, 67: 57–78.
- Neumann J. (1966): *Theory of Self-Reproducing Automata* (edited and completed by Burks, A. W.). Urbana: University of Illinois Press.
- Nowak, M.–Sigmund, K. (1993): A Strategy of Win-Stay, Lose-Shift that Outperforms Tit-for-tat in the Prisoner's Dilemma Game. *Nature*, 364: 1 July, 56–58.
- O'Sullivan, D. (2001): Graph-Cellular Automata: A Generalised Discrete Urban and Regional Model. *Environment and Planning B: Planning & Design* 28(5), 687–705.
- Popper, K. R. (1997) [1934]: *A tudományos kutatás logikája* (Logik der Forschung). Budapest, Európa.
- Schelling, T. C. (1969): Models of Segregation. *American Economic Review*, 59: 488–493.
- Schelling, T. C. (1971): Dynamic Models of Segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1: 143–186.
- Selten, R. (1991): Evolution, Learning, and Economic Behavior. *Games and Economic Behavior*, 3(1): 3–24.
- Simon, H. A. (1987): Giving the Soft Sciences a Hard Sell. *Boston Globe*, 3 May.
- Szivós P.–Rudas T.–Tóth I. Gy. (1998): *TÁRSZIM97 Mikroszimulációs modell az adók és támogatások hatásvizsgálatára*. Budapest: TÁRKI.
- Thorndike, E. L. (1898): Animal Intelligence: An Experimental Study of the Associative Processes in Animals. *Psychological Monographs*, 2.
- Trivers, R. L. (1971): The Evolution of Reciprocal Altruism. *Quarterly Review of Biology*, 46: 35–57.
- Vanberg, V. J. (2002): Rational Choice vs. Program-Based Behavior. *Rationality and Society*, 14(1): 7–54.

- Weibull, J. W. (1995): *Evolutionary Game Theory*. Cambridge (Mass.): MIT Press.
- Wilson, E. O. (1975): *Sociobiology: The New Synthesis*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press.
- Young, H. P. (1998): *Individual Strategy and Social Structure – An Evolutionary Theory of Institutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Zafir M. (1988): A magyar háztartásstatistikai mikroszimulációs rendszer céljai és struktúrája. IIASA Workshop on Demographic Microsimulation. Budapest 1987 november. Budapest, KSH.