

OTDK-DOLGOZAT

Gajdos András

BA

Veres-Szentkirályi András

BA

2011

**SZABÁLYOZÁS INFORMÁCIÓS ASZIMMETRIA MELLETT – EGY
ÁGENSALAPÚ MEGKÖZELÍTÉS**

**REGULATION WITH INFORMATION ASYMMETRY – AN AGENT
BASED APPROACH**

Gajdos András
Veres-Szentkirályi András

Kézirat lezárva: 2011. április

TARTALOM

1. BEVEZETÉS	6
2. AZ ÁGENS ALAPÚ MODELLEZÉS (ABM)	8
2.1. AZ ABM GYÖKEREI ÉS ELHELYEZÉSE	9
2.2. AZ ABM: MÓDSZERTAN ÉS SZEMLÉLET	11
2.3. AZ ABM EREDMÉNYEI, ALKALMAZÁS A GYAKORLATBAN ÉS A KUTATÁSBAN	12
2.4. AZ ABM MEGÍTÉLÉSE ÉS HELYZETE, KIHÍVÁSOK	14
3. AZ ABM MÓDSZERTAN RÉSZLETES BEMUTATÁSA	17
3.1. LÉTREHOZÓ SZEMLÉLET	17
3.1.1. Az emergenciáról	17
3.1.2. Egzaktság	18
3.1.3. Egyensúly?	18
3.2. AUTONÓMIA, DECENTRALIZÁLTSA, INTERAKCIÓ	19
3.2.1. Társadalmi normák	20
3.3. HETEROGENITÁS	21
3.4. KORLÁTOLT RACIONALITÁS, VALÓSÁGHŰ DÖNTÉSI VISELKEDÉS	23
3.4.1. A korlátlan racionalitás problémái	23
3.4.2. Korlátolt racionalitás	24
3.4.3. Valóságghű döntéshozatal	25
3.4.4. Evolúció, tanulási mechanizmusok	27
3.5. INFORMÁCIÓ ÉS KOMMUNIKÁCIÓ	30
4. DEMONSTRÁCIÓS MODELL	32
4.1. A MODELL LEÍRÁSA	32
4.1.1. A piac	32
4.1.2. Kereslet és kapacitás	33
4.1.3. A vállalatok, információ és attitűdök	34
4.1.4. A részpiacok állapota	34
4.1.5. A jóléti függvény	35
4.1.6. A szabályozás	36
4.1.7. A kifizetési mátrix és a vállalatok vagyona	37
4.1.8. Kiesés	37
4.1.9. Vállalatok magatartása, mozgása, terjeszkedése és vagyona	38
4.2. EREDMÉNYEK	39
4.2.1. Bevezető	40
4.2.2. Első futtatások	42
4.2.3. Második futtatások	45
4.2.4. Harmadik futtatások	48
4.2.5. Negyedik futtatások	49
4.3. KÖVETKEZTETÉSEK	50
5. ÖSSZEFOGLALÁS	52
6. MELLÉKLETEK	54
6.1. A WEBES FELÜLETEK	54
6.2. A PROGRAM TECHNOLÓGIÁJA ÉS TESZTELÉSE	55
6.3. A MODELL OSZTÁLYDIAGRAMJA	56
6.4. A MODELL SZEKVENCIAIDIAGRAMJA	57
7. IRODALOMJEGYZÉK	58

ÁBRÁK JEGYZÉKE

Ábra 1 Információs topológiák.....	31
Ábra 2 Kifizetési mátrix.....	37
Ábra 3 A változók alakulása szabályozás nélkül és erős szabályozás mellett	41
Ábra 4 Átlagos hatékonyságok az első futtatásokban.....	44
Ábra 5 Hatékonyságok pnot 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 és 0,5 értékek mellett öt különböző futtatásban.....	45
Ábra 6 Átlagos hatékonyságok a második futtatásokban	46
Ábra 7 A blokkosodás egy ritka esete.....	47
Ábra 8 Az első és a harmadik futtatások összevetése.....	48
Ábra 9 Átlagos hatékonyságok a harmadik futtatásokban	49
Ábra 10 Átlagos hatékonyságok a negyedik futtatásokban.....	50
Ábra 11 A webes kezelőfelület	54
Ábra 12 A webes megjelenítő felület	54
Ábra 13 A modell osztálydiagramja	56
Ábra 14 A modell szekvenciadiagramja	57

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

Táblázat 1 A komplex és a hagyományos rendszerek összehasonlítása.....	11
Táblázat 2 A bevezető futtatások paraméter-beállításai	41
Táblázat 3 Az első futtatások paraméter-beállításai	43

1. BEVEZETÉS

Egyes jelenségek hatékony modellezése alternatív megközelítést kívánhat, legyen szó akár közgazdaságtanról vagy egyéb területekről, ezekben a hagyományos módszertan elemzése és magyarázata nem mindig kielégítő, de legalábbis javítható. A megközelítés, amit be kívánunk mutatni, magyarul leginkább ágensalapú megközelítésnek (ezentúl ABM¹) nevezhető, és érzésünk szerint képességeihez képest mindmáig alulfoglalkoztatott. Mindezekből adódóan a dolgozatban elsősorban az alábbi kérdésekre keressük a választ:

- Miben áll az ABM szemlélete, és mik a legfontosabb tulajdonságai?
- Mikor, milyen jelenségcsoportra alkalmazható vagy alkalmazandó az ABM?
- Mik az előnyei és hol vannak a korlátai? Mik a legfontosabb eddigi eredményei?
- Hogyan egészítheti ki vagy helyettesítheti a hagyományos megközelítést?

Hogy ezeket a kérdéseket megválaszolhassuk, a dolgozat első felében áttekintjük a szakirodalmat, bemutatjuk az ABM szemléletét és módszertanát, először röviden, majd az egyes pontokat részletesen. Kitérünk a tudományág helyzetére, eddigi alkalmazási területeire, kihívásaira és kapcsolatára más diszciplínákkal. Összevetjük a modellezés hagyományos módszereivel, elméleteivel, felhívjuk a figyelmet előnyeire, de ugyanakkor hátrányaira is. Az ABM ismertetésével megmutatjuk, hogy amennyiben fő előnyei kiaknázzhatóak (heterogenitás, térbeli és tökéletlen információs jelleg, korlátolt racionalitás, kölcsönös kapcsolatok), akkor tudományos értelemben is értékelhető magyarázattal szolgál, illetve hatékony előrejelzés valósítható meg a használatával.

A dolgozat második felében arra vállalkoztunk, hogy egy saját fejlesztésű modellen keresztül is bepillantást nyerhessünk az ABM világába. Ez a modell vállalatok versengését mutatja be egyszerűsített formában, mely vállalatok – a játék szabályai szerint – önállóan döntenek a terjeszkedésről vagy az elmozdulásról, miközben egyesek közülük tisztességtelen gyakorlatot folytatnak, összebeszélnek, kooperálnak. Motivációnk egy komplex, alkotóelemi tekintve viszont letisztult modell létrehozása volt, mely a piac szabályozását mutatja be, természetesen

¹ Az ABM jelentése Agent Based Modeling, ez az általános elnevezés, és mi is ezt használjuk. Használatos még az ABMS is: Agent Based Modeling and Simulation, vagy amennyiben szigorúan közgazdasági témájú a jelenség, akkor az ACE, Agent Based Computational Economics terminológia választható, esetleg ACM, Agent Based Computational Modeling.

abból kiindulva, hogy egyik vállalat sem írja ki magára, hogy kooperál. Ebben a környezetben kézenfekvő választásnak tűnt az ABM, hiszen a vállalatok heterogenitása, a térbeli piac és a lokális illetve hiányos információk jól jellemzik a valóságos környezetet. Természetesen ezen túlmenően nem volt lehetőségünk egy gyakorlati, a döntéshozás szempontjából is felhasználható, vagy az elméleti rész összetettségéhez mérhető modellkeretet létrehozni (*demonstrációs* modell) azonban törekedtünk arra, hogy a moduláris felépítésnek köszönhetően az eredeti változat egyszerűen felvértézhető legyen tetszőlegesen bonyolult szabályrendszerrel.

Végül nem titkolt indíttatásunk volt az ABM modellek szépsége, illetve a modellalkotásnál élvezhető szabadság öröme is. Bízunk benne, hogy az első rész (2. és 3. fejezet) olvasása közben az egyéni habitusától függően az Olvasó is felismeri a modellezés ezen megközelítésének értékeit és szépségét.

2. AZ ÁGENS ALAPÚ MODELLEZÉS (ABM)

Kezdetben induljunk ki egy egyszerű példából. Tételezzük fel, hogy egy egytermékes piacon a rögzített inverz keresleti függvény $p=a-bQ$, ahol Q a piaci kínálat, b pedig egy tetszőleges pozitív konstans. Termeljen ezen a piacon két, azonos c határkölségű monopólium a Cournot-mennyiségi verseny² keretei között. Minden tudás köztudott, más költségeik nincsenek, harmadik vállalat belépése nem fenyeget, és tegyük fel, hogy a piaci kamatláb nulla, a szubjektív diszkontrátájuk pedig egy. Feltesszük, hogy mindkét vállalat játékelméletben jártas, így mennyiségi döntésénél figyelembe veszi a másik vállalat által reakcióként termelt mennyiséget és fordítva. Ekkor felírva a profitfüggvényeket, deriválva a saját döntési változó szerint, majd megoldva az egyenletrendszert, egy lépésben eljutunk a játék Nash-egyensúlyába, a Cournot egyensúlyi mennyiségekhez³. Mivel itt egyik vállalat sem tudna egyoldalúan, nyereségesen és tartósan eltérni ettől a mennyiségtől, e keretek között jogosan feltehetjük, hogy ez az állapot fog fennmaradni.

Ez az elmélet. Lévén nagyon jól meghatározott a modell, viszonylag egyszerűen meg lehet oldani analitikusan, egy lépésben. Sok esetben - vagy inkább mindig -, a piaci szituáció azonban nem ilyen világos, és sokakat nem elégít ki, hogy az ismert elméleti modellek közül, mintegy benchmarkot választva, csak közelíteni próbálja a valóságot. Itt jön képbe az ágens alapú szemlélet; végtelen sok tényező jöhet számításba, amik színessé tehetik a képet. Ezek közül csak néhány lehetőség: például a különböző, mások számára pontosan nem ismert költségviszonyok, vagy a piaci kereslet nem tökéletes ismerete, a piaci kereslet változása, újabb vállalatok belépési lehetősége, állami szabályozás a monopóliumok ellen, változó piaci kamatláb, stb... Mint alább megmutatjuk (lásd Egzaktság, 3.1.2 fejezet), ekkor is lehetséges lenne analitikus megoldást találni, azonban mi egy másik utat választunk.

Térjünk vissza a korábbi, tiszta Cournot-duopóliumra! Tegyük fel, hogy megvalósulnak ennek a feltételei, azaz a két vállalat mondjuk egy ritka gyógynövény gyártási titkának kizárólagos ismerői, és így a gyógynövény kizárólagos termelői, akik terményükből konstans c határkölség mellett tetszőleges mennyiséget elő tudnak állítani. Minden tudományuk

² Cournot-mennyiségi verseny: általánosan oligopolista, esetünkben duopolista verseny szimultán mennyiségi döntésű szereplőkkel. Elnevezését megalkotója, Antoine Augustin Cournot (1801-1877) francia matematikus - közgazdásról kapta.

³ Fontos hangsúlyozni, hogy ez egy igen elvont piaci szituáció, nagyon szigorú elméleti feltételeket támaszt. Természetesen nem biztos, hogy pont Cournot-egyensúly fog kialakulni, ezt csak a szemléltetés kedvéért tesszük fel.

azonban ez a gyógynövény: nem túl értelmesek és nem is igazán értenek a játékelmélethez. Némi jóindulattal feltételezhető, hogy ha a vásárnapi piacon megfigyelik a keresleti függvényt, a saját és a másik termelt mennyiségét, és az így kialakuló árat, akkor tudni fogják, hogy jövő héten a mostaninál több, vagy kevesebb terméket vigyenek-e a piacra profitjuk maximalizálása érdekében. Megmutatható, hogy ilyen „buta” szereplőkkel is szép lassan (iterálva) kialakul az egyensúly, legalábbis afelé fognak a mennyiségek konvergálni. Ezt az utat követi az ABM is. Az egyes esetekben nagy és bonyolult analitikus megoldások helyett a lehető legegyszerűbb, legegyszerűbb alkotórészeire és döntési helyzetekre bontjuk le a modellt, az egyéni döntések szintjére. Egyik nagy előnye, hogy nem csak ilyen egyszerű esetekben alkalmazható, hanem az előző bekezdésben taglalt tetszőleges kiterjesztés, egyre több tényező is viszonylag könnyen beépíthető, ráadásul nem csak az egyensúly figyelhető meg (ha van ilyen), hanem az egyensúlyhoz vezető út is, azaz a folyamat dinamikája⁴. Ezek a tulajdonságai tették számunkra is vonzóvá az ABM-et.

2.1. AZ ABM GYÖKEREI ÉS ELHELYEZÉSE

Az ágensalapú modellezés eredete a 40-es évekre nyúlik vissza, de a számítástechnika széles körben való alkalmazása előtt nem tudott elterjedni. Az első kísérletek Neumann János és Stanislaw Ulam nevéhez kötődnek, akik lefektették a sejtautomaták alapjait. Ezek között kiemelkedik Conway Életjátéka (Game of Life), mely a hihetetlenül egyszerű szabályai ellenére is meglepő, már-már nehezen hihető jelenségeket produkál⁵. Ugyancsak a hetvenes években jelent meg egy másik nagyhatású sejtautomata⁶, ami Thomas Schelling nevéhez fűződik, és a szegregáció jelenségét mutatja be⁷. A 80-as években Axelrod versenyt hirdetett, melyben algoritmusok küzdöttek egy ismételt fogolydilemmában. A győztes a szemet szemért

⁴ Minden tetszőleges tiszta és elméleti modell egyensúlya előállítható ABM-mel: például az előző példánkban, ha a két gyógynövénytermelőt felruházzuk a játékelméleti ismeretekkel, akkor azonnal, már az első periódusban egyensúlyba kerül a piac.

⁵ Aki egy gyors, de mégis beható ismertetőt szeretne a játékról, annak a Youtube-on elérhető videókat ajánlom:
<http://www.youtube.com/watch?v=XcuBvj0pw-E>

⁶ Diszkrét modellek, melyek prezentációja egy rács (általánosan n-dimenziós de esetünkben kettő), melynek elemei a sejtek, véges sok értéket felvehetnek, Schelling modelljében hármat: üres, első rassz, második rassz.

⁷ Modelljében Schelling bemutatja, hogy még a kismértékű preferálása a saját rasszunknak is teljes szegregációhoz vezethet. Az alábbi linken egy Netlogo model érhető el, mely kiválóan szemlélteti a modellt:
<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/run.cgi?Segregation.734.460>

lett (tit-for-tat), de ami ennél fontosabb, hogy az esemény nagy visszhangot kapott, és felhívta a figyelmet a játékelmélet – ebben a tágabb értelemben való – alkalmazásra.

Az ágens mint kifejezés ebben az értelemben való első használata nem tisztázott, de jelöltként legalábbis John Holland és John H. Miller neve kerül elő egy 1991-es tanulmányuk kapcsán (Holland, Miller 1991) [32]. 1996-ban jelent meg Joshua M. Epstein és Robert Axtell sokat citált könyve, a *Growing Artificial Societies* (Epstein, Axtell 1996) [22]. Ebben a könyvben mutatják be nevezetes Sugarscape modelljüket, melyet azóta sokan és sokféleképpen módosítottak. 1999-ben jelent meg Nigel Gilbert, úttörő könyve, a *Social Simulation: Simulation for the social scientist* (Gilbert, Troitzsch 1999 [26]), és közel ugyanabban az időben indította el *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*-t (JASSS), mely a terület egyik vezető folyóirata.

Manapság három szervezet, a NAACSOS (North American Association for Computational Social and Organizational Sciences), az ESSA (European Social Simulation Association) és a PAAA (Pacific Asian Association for Agent-Based Approach in Social Systems Science) működnek együtt nemzetközi szinten, 2006. óta kétfévente szerveznek világkongresszust.

Az ABM jelenleg még nem része a közgazdasági fősodornak, azonban híveinek száma folyamatosan növekszik⁸. Az Egyesült Államokban erősebben tartja magát a neoklasszikus felfogás, Európában nyitottabbak irányában. Általánosságban megállapítható - mint később még kitérünk rá –, hogy az ágens alapú megközelítés nem szorítkozik egyetlen tudományterületre vagy jelenségkörre. Adott feltételek mellett az ABM megközelítés szinte mindig *alkalmazható*, bizonyos, sokkal szigorúbb feltételek mellett pedig ez az a megközelítés, ami *alkalmazandó*. Ezek a határok nem mindig egyértelműek, de remélhetőleg a dolgozat hozzásegíti az Olvasót, hogy intuitív módon érezze őket.

Gyakran felmerül a kérdés, hogy az ABM *létrehozó* (lásd 3.1) módszertana induktív, vagy inkább deduktív megközelítésű-e. Epstein (2006 p.12 [23]) álláspontja szerint semmiképpen nem induktív, azonban a deduktívnál több, a létrehozó megközelítés implikálja a deduktivitást. Ez a reláció visszafelé azonban nem áll fenn, a deduktív eszköztár fontos eleme, az indirekt módon való bizonyítás például szögesen ellentmond a létrehozó szemléletnek.

⁸ A legjelentősebb folyóiratok a témában: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* (on line), *Computational Economics*, *Journal of Economic Behavior and Organization*, *Games and Economic Behavior*, *Journal of Economic Dynamics and Control*

Hozzáteszi, hogy a modellek sztochasztikus jellege egyáltalán nem összeegyeztethetetlen a deduktivitással, ugyanis ezek a véletlen számok sem teljesen véletlenek, determinisztikus módon sztochasztikusak és ezáltal megismételhetők⁹. Robert Axelrod és Leigh Tesfatsion (2006 [3]) véleménye a dedukció és a szimuláció kapcsolatáról az, hogy a szimuláció, a dedukcióhoz hasonlóan, alapfeltevésekből indul ki, azonban általánosságban nem bizonyítja a teóriát. A szimuláció sokkal inkább indukciós vizsgálatra alkalmas adatokat generál.

2.2. AZ ABM: MÓDSZERTAN ÉS SZEMLÉLET

Az alábbi összehasonlító táblázat sokat segíthet az áttekintésben:

	Complex System	Traditional Economy
Dynamism	Open, dynamic non-linear system	Closed, static, linear equilibrium system
Actors	Heterogeneous, individual learning and adaptation	Homogeneous, perfectly rational
Network	Explicit interactions between actors can change the network	Indirect interactions in the market
Emergentism	Macro-structure emerges from micro-specification	Separation between micro-and macroscopic perspective
Evolution	Differentiation, selection, diffusion	N/A

Táblázat 1 A komplex és a hagyományos rendszerek összehasonlítása (Beinhocker 2006 [9])

„Az ABM egy új eszköz az empirikus kutatáshoz. Természetes környezetet kínál a konnekcionista jelenségek vizsgálatához a társadalomtudományoknak. Egy hatékony lehetőséget biztosít, hogy régóta fennálló – és főleg interdiszciplináris – kérdésekkel foglalkozunk.”(Epstein 2006 p.4 [23])

Az ABM fő jellegzetességei a felsorolás szintjén a következők: heterogén, autonóm szereplők (továbbiakban ágensek), interakciók egymással és a környezettel, térbeli decentralizáltság, információs tökéletlenség. Az ágensek döntési képességeit illetően elvetjük a korlátlan racionalitást. Egyrészt az adott információs viszonyok között ez gyakran elméletileg is lehetetlen, másrészt nem tesszük fel, hogy minden szereplő rendelkezik a – például

⁹ A véletlenszám generálás egy sokkal összetettebb kérdés a szimuláció számára mint gondolnánk. Egy részletesebb betekintésért a problémakörbe lásd Benedek (2005 [10]).

hagyományos makroökonómiából ismert – optimalizáláshoz szükséges szellemi, számítási, és időkapacitásokkal. Ezekre a pontokra később még részletesen kitérünk.

Az ágensalapú megközelítésnél „top-down” helyett „bottom-up” modellezzük a jelenséget, gazdaságot, azaz alulról fölfelé. Mivel csak a szabályokat határozzuk meg, és a makrostruktúra már endogén módon alakul ki a modellben, így az ABM modellekre nem érvényes a Lucas-kritika (1976 [39]). Ez azt mondja ki, hogy egy esetleges külső beavatkozás – közgazdasági modellekben például egy gazdaságpolitikai lépés – hatását állandó paraméteres ökonometriai modellekkel elméletileg sem lehet pontosan modellezni, ugyanis a beavatkozás hatására a struktúra is változik, azaz a modell paramétereinek is módosulniuk kellene. Az ABM módszertanát így alkalmazhatjuk arra is, hogy a már meglévő tradicionális modelleket vizsgáljuk meg, hogy mennyire robusztusak az egyes alapfeltételezéseikre, a kalibrációkra. Epstein (2006 p.20 [23]) megjegyzi például, hogy a hagyományos csere elmélete az Edgeworth-négyszögben nem eredményez Pareto-hatékony allokációt már akkor sem, ha a fogyasztói preferenciáit nem rögzítjük. Az ABM célja azonban elsősorban egy jelenség megmagyarázása és ennek hatékony bemutatása, melynek során az esetek nagy része során számítógépes szimulációt alkalmazunk¹⁰.

2.3. AZ ABM EREDMÉNYEI, ALKALMAZÁS A GYAKORLATBAN ÉS A KUTATÁSBAN

Bonabeau¹¹ (2002 [11]) igen jól összefoglalta az ABM előnyeit és ajánlott alkalmazási területeit. Három szempontot emelt ki:

- Az ABM-mel jól megragadható a kiemelkedő jelenség (emergent phenomena).
- Az ABM lehetővé teszi a rendszerek természetes modellezését.
- Az ABM rugalmas.

¹⁰ A legegyszerűbb modellekhez az Excel nyújtotta keret is elég lehet, de léteznek külön erre a célra kifejlesztett programcsomagok is, például Starlogo, Netlogo, Matlab, Mathematica. Ha mélyebb programozási ismeretekkel rendelkezünk, akkor a legnagyobb szabadságot élvezhetjük, és bármilyen objektum orientált nyelv megfelelő lehet: C, C++, Java, stb. Nagy kaliberű modellek létrehozása esetén a kód egyes részeit külön-külön is beszerezhetjük. Előre elkészített ágensek és környezetek állnak a rendelkezásunkra, erről részletesen Macal és North (2010 pp.158-160 [41]) ír.

¹¹ Eric Bonabeau egyike a világ vezető kutatóinak a komplex rendszerek területén. Véleménye azért is különlegesen értékes, mert a gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából közelíti meg az ABM-et, 2000-ben alapított piaci vállalkozásának, az ICOSYSTEM-nek is ez a fő profilja.

Természetes, hogy akkor lehet az ABM választása indokolt, ha ezeket az előnyöket ki tudjuk aknázni. Ennek megfelelően négy alkalmazási területet emelhetünk ki:

- Folyamok: (tágabb értelemben) például kiürítési tervek, a vásárlók áramlásának tervezése vagy a közlekedési forgalom modellezése.
- Piacok: értékpapír piac, shopbots és software ágensek, stratégiai szimuláció.
- Szervezetek: működési kockázat és szervezeti felépítés megtervezése.
- Szétterjedés (diffusion): például az innováció szétterjedése és alkalmazásának dinamikája, vagy annak a modellezése miként válhat egy termék „slágerré”.

Összefoglalva tehát mikor érdemes ABM-et használni (Bonabeau 2002 [11]):

- Az egyéni viselkedés nemlineáris, diszkrét, azaz vannak benne törések, jellemzőek a „ha-akkor” szabályok. Az egyéni viselkedésben megjelenik a memória, késleltetés, autokorreláció, beleértve a tanulást és az alkalmazkodást, vagy az egyéni viselkedés túl összetett (komplex). Nem folytonos viselkedést nehéz leírni differenciálegyenletekkel, ám ha ezek használata még lehetséges is lenne, ahogy az összetettség fokozódik, az egyenletek száma exponenciálisan növekedne, így a rendszer áttekinthetatlenné válhatna.
- A populáció és az interakciók heterogének és képesek hálózati effektusok generálására. Az információs vagy térbeli topológia következtében a makro jelenség jelentősen eltérhet az egyéni viselkedések aggregációjától. A térbeliség kritikus, például az ágensek helyzete nem rögzített.
- Ha az átlagolás nem működik, a differenciálegyenletek hajlamosak simítani a fluktuációkat, nem úgy az ABM-ben, képesek vagyunk olyan stabil folyamatokat is modellezni, amik bizonyos kitérésre stabilak, ennél nagyobbra azonban divergenssé, instabillá válnak.
- A véletlen, vagy (hatékonyan) nem magyarázható komponens sokkal helyesebben jeleníthető meg az egyéni viselkedés szintjén, mintha önkényesen egyfajta fehér zajjal egészítenénk ki az aggregált egyenleteinket.

Bonabeau álláspontjával összhangban könnyen felfedezhetjük az említett jellemvonásokat az alábbi jelenségeken, melyeket ágensalapú megközelítésben tanulmányoztak, többek között a

jobbra elnyúló vagyoneeloszlás (Epstein, Axtell 1996 [22]), jobbra elnyúló vállalatméret és növekedési ráta eloszlás(Axtell 1999 [4]), árelasztlások (Bak et al. 1993 [6]), áregyensúly decentralizált piacokon (Albin, Foley 1990 [1] és Epstein, Axtell 1996 [22]), kereskedelmi hálózatok (Tesfatsion 1995 [54] és Epstein, Axtell 1996 [22]), a munkanélküliség térbeli mintázata (Topa 1997 [55]), A tőke megtérülés túlzott volatilitása (Bulard, Duffy 1998 [15]), járványok (Epstein Axtell 1996 [22] és Bagni et al. 2002 [5]), ágensviselkedés a részvénytiacon (Arthur et al. 1997 [2]), ellátási láncok (Macal 2004 [40]), a fogyasztói magatartás (North et al. 2009 [44]), TRansportation ANalysis SIMulation System (TRANSIMS) (Beckman et al. 1995 [8]).

Az ABM alkalmazása igen kiterjedt, a közgazdaságtantól eltérő más területeken sokkal előrébb jár, ezek – teljesség lehetősége nélkül – a fizika (részecskék mozgása, ütközése), szociológia, tömegrendezvények szimulációja (kiürítési tervek készítésénél), biológia és evolúciós, ökológiai kérdéskörök, műszaki tudományok (hálózatok).

Több részmodell egyesítéséből születtek mega-modellek is, melyek egy nemzetgazdaságot több, gazdasági, politikai, stb. szempontból, egyszerre kezelnek. Ezeknek a hatalmas modelleknek a célja a valóság minél részletesebb szimulálása, paramétereinek a száma igen nagy. Az ágensalapú megközelítés a manapság méltán népszerű DSGE (Dynamic Stochastic General Equilibrium) modellekben is megjelenik, ahol a makroökonómia jelenségeket a mikroökonómiai döntések rétegéből vezetik le, így ezekre sem áll a Lucas-kritika (Woodford 2003 [59] p. 11).

2.4.AZ ABM MEGÍTÉLÉSE ÉS HELYZETE, KIHÍVÁSOK

A legfőbb akadály a szemlélet terjedésének, hogy nincsenek bevett szabványok, ami jelentősen megnehezíti a modellek összehasonlítását, publikációját és replikációját. Ezek nagyon kényes kérdések, ugyanis egy-egy kis változtatás is hatalmas eltéréseket képes előidézni a rendszer egésze kapcsán¹². Ezen a téren éri az ABM-et a legtöbb kritika: túl sok az önkényesen megválasztott feltevés (mikrospecifikáció), ezért sok szereplő és sok periódus után a generált jelenség (makrostruktúra) nem megbízható. Erre a kritikára még később is válaszolunk, itt most csak annyit fűznénk hozzá, hogy ezért is nagyon kritikus a szituáció

¹² Epstein (2006 p.29 [23]) példaként megemlíti Nowak és May (1992 [45]) térbeli fogolydilemma játékát. Humberman és Glance (1993 [34]) egy évvel később megmutatta, hogy a Nowak és May modellje azonnal elcsúszik, ha a szereplőket nem egyszerre, hanem szekvenciálisan frissítik. Az együttműködés tartóssága, azaz egyensúlyi jellege azonnal megszűnik és a játék egyensúlya a tiszta defektáláshoz tart.

gondos kiválasztása és pontos dokumentálása. Másrészt a célunk nem feltétlenül a jelenség mértékének mérhető meghatározása, hanem vagy a magyarázata, vagy csupán az irányának a meghatározása. Gyakran ez is szép eredmény, ami más módszerrel nem meghatározható, nem demonstrálható. Harmadrészt álljon itt egy empirikusan becsült modell kritikája. Tegyük fel, hogy a gazdaságunk három aggregált makro változója x_1, x_2 és x_3 , melyek valamilyen elméleti megfontolás alapján függvényszerű kapcsolatban állnak egymással. Ezen változók értékét keressük, ugyanis tegyük fel, hogy nem megfigyelhetők. Tegyük fel továbbá, hogy a gazdaság többi, pontosan megfigyelhető, változója $y_1, y_2 \dots y_n$! Tegyük most fel, hogy a változók közötti kapcsolatot az alábbi egyenletrendszer írja le, ahol tudjuk, hogy y változók 90%-os pontossággal határozzák meg x értékeit. A rendszer most legyen tehát:

$$x_1 = x_1(x_2, x_3, y_1, y_2 \dots y_n)$$

$$x_2 = x_2(x_1, x_3, y_1, y_2 \dots y_n)$$

$$x_3 = x_3(x_1, x_2, y_1, y_2 \dots y_n)$$

Megoldható-e ez a rendszer egyáltalán az ismert pontatlanságok mellett, illetve ha igen, akkor az egyes x -ek elméleti értékei milyen eloszlás szerint és milyen intervallumban mozognak? Mi a helyzet akkor, ha a rendszer nem összefüggő, hanem:

$$x_1 = x_1(y_1, y_2 \dots y_n)$$

$$x_2 = x_2(x_1, y_1, y_2 \dots y_n)$$

$$x_3 = x_3(x_1, x_2, y_1, y_2 \dots y_n)$$

Látható, hogy a megbízhatatlanság tehát itt is jelen van. Ez természetes, hiszen amint valamit feltételezünk, abban a pillanatban valamiről feltételezzük, hogy nem igaz. Válaszként a kritikákra még hozzátennénk, hogy az ABM még a szándék szintjén sem a neoklasszikus szemlélet helyére, hanem mellé kíván állni, *kiegészíteni* kívánja a közgazdasági elemzés eszköztárát, fenntartva a kitételt, hogy lehetnek szituációk, amikor ez az egyedüli hatékony eszköz.

A szabványosítás kritikája azonban jogos. Kevés zseniális modell vagy elmélet értékelhető már önmagában is, a többi csak másokhoz tudjuk hasonlítani, ehhez pedig szükséges lenne valamilyen skála, korrekt összehasonlítási alap. Megoldás lehet a feltevések és a

modellparaméterek jól szisztematizált összegyűjtése és a leggyakrabban használt „csomagok” összeállítása. Ekkor a kutatónak nem kellene mindig külön kitérnie a feltevéseire, hanem hivatkozhatna, hogy modellkísérletei során végig az XY kódjelű csomagot használta, esetleg bizonyos módosításokkal. Persze ugyanígy szükséges maguknak a jelenségeknek a rendszerezése is. Másik nagy előnye lenne a rendszernek, hogy egyértelműen kijelölne a kutatás lehetséges irányait: egy erre a célra készített jegyzékből azonnal látszódná, hogy egy jelenséget már sikerült demonstrálni XY kódjelű környezetben, de XYZ-ben még nem. De azt is be lehetne bizonyítani, hogy ez nem is lehetséges. Ekkor a kísérletezés és az eredménye ugyanolyan jól definiált lehetne, mint a biológiai, vagy fizikai kísérleteknél.

A megoldási koncepciók is gyengék. Az, hogy elindítjuk a modellt és megnézzük az eredményt, nem igazol semmit, csakúgy, mint egy este a kaszinóban még nem mond ellent a „Gamblers Ruinnak” (Epstein 2006 p. 29 [23]). Egy megoldás nem általános megoldás. Matematikai fogalmakkal élve egy modell – minthogy minden modell függvényekből áll – csak egy eleme egy jól meghatározott függvénytérnek. Gyakran elég lenne egyetlen paramétert szisztematikusan változtatgatni, hogy megfigyelhessük, miféle kapcsolat rejlik közte és a végső jelenség között, de még ez a gyakorlat sem intézményesült eléggé.

Az ABM másik hátránya a terjeszthetőségében rejlik. Léván egy program, nem lehet olyan egyszerűen körbehordozni és népszerűsíteni, mint egy képletet vagy teóriát. Ez a gyengeség reményeink szerint a személyi számítógépek és notebookok terjedésével, illetve a világháló lehetőségeinek bővülésével eltűnik (a mi modellünk is megtalálható a neten, <http://pandora.db.bme.hu:8111/> és mindenféle telepítés nélkül azonnal futtatható).

Visszatérve az első kritikához, hasonlóan tehát a hagyományos modellekhez, itt is központi kérdés egy paraméter érzékenysége. Itt merül fel a következő probléma. Ahhoz, hogy képesek legyünk definiálni az egyik változó érzékenységét a másikkal az ABM viszonylatában is, ahhoz minden változónak mérhetőnek kellene lennie. Ha például a döntési szabály¹³:

1. szabály: Sose támadj meg senkit!
2. szabály: Akkor támad meg, ha zöld!
3. szabály: Akkor támad meg, ha kisebb, mint te!

¹³ A példa ebben a formában Epsteintől (2006 p.30 [23]) származik.

A 2-es vagy 3-as döntési szabály esik távolabb az 1-estől? Nemcsak, hogy sok esetben nem lehet kardinális skálát felállítani, sokszor még ordinálisra (rangsorolásra) sincs mód. Arányskáláról nem is álmodhatunk, és ilyen keretek között a hagyományos statisztikai és ökonometria módszerek eredeti formájukban nem alkalmazhatóak. Ha ebben a kérdésben egyértelmű és konzisztens álláspont létezne, az nagyban megkönnyítené a modellek értékelését és kiértékelését.

3. AZ ABM MÓDSZERTAN RÉSZLETES BEMUTATÁSA

3.1. LÉTREHOZÓ SZEMLÉLET¹⁴

Egy mesterséges társadalom vagy gazdaság létrehozása lehetővé teszi számunkra annak a demonstrálását, hogy a mikrospecifikációk bizonyos beállításai elégségesek az adott makró szintű jelenség generálására. Természetesen lehetséges, hogy több különböző modell, vagy több különböző beállítás generálja a kívánt jelenséget, ebben az esetben ritkán van egyetlen „jó” megoldás, ezért versenyeztetnünk kell a lehetőségeket, és fel kell állítanunk valamiféle sorrendet. De mi alapján döntsük el, hogy melyik megoldás jobb és melyik rosszabb? Nincs rá recept, de még egyértelmű iránymutatás sem. Ha a kívánt makro-struktúrát több mikro-specifikáció is generálja, a választásnál figyelembe kell vennünk mind az elméleti, mind az empirikus szempontokat is, így a modellező szabadságfoka hatalmas. Az ABM széles körben való elismerésének egyik nagy akadálya – mint említettük –, hogy nincsenek szabványai, ezáltal nehezen lehet kvantitatív módon értékelni egy-egy modellt. Egyelőre tehát az általános szempontokat tudjuk figyelembe venni. Ahol lehet, törekedjünk egyszerűsége és letisztultságra, éljünk minél kevesebb, ám annál általánosabban elfogadott alapfeltételezéssel. Fontos így tenni, hiszen a futtatás során feladatunk abból is fog állni, hogy a jelenség nem egyértelmű feltevésekre való érzékenységet, azaz annak robosztusságát vizsgáljuk.

3.1.1. AZ EMERGENCIÁRÓL

Az emergencia szó szerinti jelentése kiemelkedés. Emergencián azt értjük, amikor a rendszer olyan jelenséget produkál, ami a részegységek viselkedéséből nem következik, gyenge változatában legalábbis nem egyértelműen. Vagy: az egész több, mint a részeinek összege.

¹⁴ A létrehozó szemlélet az angol generative kifejezésből lett fordítva.

Epstein (2006 p.5 [23]) véleménye szerint a klasszikus emergentizmus és az ABM két különböző dolog, sőt összeférhetetlenek, ugyanis egy emergens jelenség az ABM kapcsán mindössze annyit tesz, hogy a rendszer nem úgy viselkedik, mint az ágensek, nem egy egyszerű aggregáció, mint mondjuk a reprezentatív szereplős modellekben. Ez a fajta eltérés azonban tökéletesen következetes, nincsen szó az alábbi definíció teljesüléséről (Broad 1925 p.61 [14])

„Az emergencia elmélete azt állítja, hogy vannak bizonyos (rendszerek), amik álljanak A, B és C alkotóelemekből, úgy, hogy ezek kapcsolata egymással R, hogy az így kapott $R(A,B,C)$ rendszer tulajdonságai még elméletben sem vezethetők le A, B és C egyedi tulajdonságaiból, még R legteljesebb ismerete mellett sem, továbbá A, B és C semmilyen olyan rendszerének (pl. $R(A,B)$) tulajdonságaiból, melyek nem pontosan $R(A,B,C)$ formájúak”.

Az emergencia tehát megjelenhet az ABM kapcsán, azonban nem egy misztikus, hanem egy tökéletesen egzakt és nyomon követhető formában, és mivel ez többnyire a heterogén szereplőknek és interakcióiknak köszönhető, mindenféleképpen egy, az ágensalapú megközelítés egy pozitív hozadékanak tekintendő.

3.1.2. EGZAKTSÁG

Sokan azzal a kritikával élnek az ABM-mel szemben, hogy nélkülözi a matematikai egyenletek nyújtotta keménységet és megbízhatóságot, túlságosan is „soft” a szabályrendszere. Nos, ez szerintünk tévedés. Az összes ABM modell felírható egyenletek formájában, még ha ezek esetenként hosszúak és/vagy rengetegen vannak is. Úgy is mondhatnánk, hogy ebből a szempontból az út nem különbözik a hagyományos modellezéstől, csak más irányba járjuk be. Míg eddig az összevont egyenletekkel határoztuk meg a rendszert és implikáltunk feltevéseket a szereplők viselkedését illetően, addig most ezek mikro szintű szabályok határozzák meg az egyenleteket. Kétségtelen, hogy erre a könnyedségre a számítástechnika miatt nyílik lehetőségünk, de nem a számítógép a lényeg. Minden modell visszavezethető ugyanis olyan kódra, amit egy Turing-gép is meg tudna oldani, azaz csupán időt takarítunk meg, de semmit sem veszítünk a magyarázóerőből és a matematikai keménységből. Az ABM modellek is matematikai egyenletekből állnak tehát.

3.1.3. EGYENSÚLY?

Arrow - Debreau (vagy Arrow- Debreu- McKenzie) általános egyensúlyelmélete (GET General Equilibrium Theory) óta a mikro és makro kutatás középpontjában az egyensúly áll.

Habár vannak kivételek, a hagyományos modellek többsége az egyensúlyi állapotot vagy állapotokat keresi, és ezen egyensúlyok között is kiemelt szerep jut a Nash-egyensúly(ok)nak, melyektől a definíció szerint egyetlen szereplő sem tud egyoldalúan nyereségesen eltérni. Nem foglalkoznak azonban azzal a kérdéssel, hogy ezek az egyensúlyok egyáltalán elérhetőek-e, illetve ha igen, akkor emberi mértékkel értelmes időtávon belül-e. Jórészt teljesen kívül esnek a neoklasszikus vizsgálat körén a nem-egyensúlyi rendszerek (nonequilibrium dynamics), ilyenre lehet példa egy akár pénzügyi fertőzés terjedése vagy bármilyen öngerjesztő folyamat. Ha a célunk nem csak az egyensúlyi állapot megkeresése, hanem a folyamat dinamikájának a megismerése, akkor erre is optimális megoldás lehet az ágensalapú megközelítés választása.

3.2. AUTONÓMIA, DECENTRALIZÁLTSAÉG, INTERAKCIÓ

Általában fel szoktuk tenni, hogy nincsen központi „top-down” irányítás, a rendszert az ágensek határozzák meg „bottom-up”. Ez nem jelenti azt, hogy nem lehet semmiféle szabályozást alkalmazni a modellben, hanem, hogy az ágensek egyedileg és önállóan döntenek¹⁵. A szabályozás (hatóság) tehát – ha van a modellben, akkor – a környezetet befolyásolja, a feltételeket, nem pedig az ágenseket, ami egyébként teljes összhangban van a modern szabályozási szokásokkal. A környezetről általában kifejezetten feltesszük, hogy térbeli kiterjedéssel rendelkezik. Ez megkönnyíti, hogy beépítsük a távolsággal járó kommunikációs nehézségeket, információs tökéletlenséget, és mindenféle tetszőleges utazási, szállítási, tranzakciós költséget, amik mind-mind a realiztikusságot növelhetik. Interakciós feltevésünknek köszönhetően olyan körülményeket teremtünk, amelyben a szereplők döntései hatással vannak a többi szereplő és a környezet helyzetére, ami pedig környezeti hatással van a szereplők helyzetére és így a döntéseire. Megjelenik tehát a körköröség, minden kapcsolat kétoldalú, matematikai hasonlattal élve általában minden változó függ az összes többitől, a rendszer nem dekomponálható. Hogyan döntsék hát, ha tudom, hogy ez befolyásolja a többiek döntését, ami aztán befolyásolja az én helyzetemet? Általánosságban elmondhatjuk, hogy ezekkel a döntési dilemmákkal foglalkozik a játékelmélet¹⁶, de esetekben, ha a rendszer túl komplex, pontosan ennek az elméletnek a kikerülése a cél, amikor a szimulációhoz

¹⁵ Döntéseiket egyedül *hozzák meg*, de ez természetesen nem azt jelenti, hogy nem befolyásolhatja őket a többi ágens megfigyelt vagy várható döntése (pl. csordaszellem, reklámok). Ez olyannyira így van, hogy nagyon gyakran élünk is ezzel a modellezés során.

¹⁶ Ehhez egy kiváló, közgazdasági kérdéskörre koncentráló magyar nyelvű forrás Gömöri (2001 [27])

folyamodunk. Azt vizsgáljuk ugyanis, hogy az elsősorban a saját érdekeiket figyelembe vevő és játékelméleti ismeretekkel hiányosan felvértezett ágensek milyen feltételek mellett (ha igen), és milyen sebességgel, dinamikával érik el – ha elérik egyáltalán – a kívánt (már játékelméleti) egyensúlyokat, tetszőlegesen komplex és folyamatosan változó játékokban, amelyeket direkt módon lehetetlen lenne megoldani.

3.2.1. TÁRSADALMI NORMÁK

Ha már a játékelméleti megközelítésnél tartunk, érdemes belegondolni a társadalmi normák jelenségébe is. Vajon miért pont az alakult ki, hogy jobb kézzel fogunk kezét, vagy, hogy nem az út bal, hanem jobb oldalán haladunk, és Angliában valamint néhány más országban ez az oldal miért a bal?

„A társadalmi normák bevett viselkedési szabályok, melyek koordinálják az interakcióinkat a többiekkel. Amint egy cselekvés bizonyos módozata szokásossá válik, utána már érvényes marad, ugyanis az emberek hajlamosak egy szabályhoz alkalmazkodni, ha arra számítanak, hogy a többiek is így tesznek.”(Lewis 1969 [38]).

Ezekre a normákra úgy is tekinthetünk, mint a koordinációs játékok egy lehetséges megoldásaira¹⁷, vagy, ha az ágens alapú modellezés felől közelítjük meg, akkor, mint az interakció egy magasabb fokozatára. Ezen a második szinten kapcsolódik közvetlenül össze az ABM és a játékelmélet, habár közvetett módon persze már rég összekapcsolódott akkor, amikor a gyógynövénytermelők példáján keresztül bemutattuk, hogy játékelméleti szempontból buta szereplők is képesek játékelméleti egyensúlyt elérni. A megoldás kulcsa az volt, hogy próbálgattak, vagyis iterálgatták a termelt mennyiségeket, egészen az egyensúlyig. Valamilyen szempontból pontosan ezt tesszük minden ABM szimuláció során is. Ahelyett, hogy előre kiszámolnánk, mi lesz majd a játék egyensúlya hagyjuk az ágenseket időszakra próbálgatni, vagy valamilyen összetettebb módszer szerint dönteni, hogy ők maguk találják meg az egyensúlyt - helyettünk. Ez már lehetne akár egy szekvenciális játék is, de továbbra is fontos különbség, hogy a szereplőkről általában nem tesszük fel a stratégiai szemléletmódot, azaz hogy látják előre a döntési fa alját.

Bizonyos értelemben tehát az ABM-mel tetszőlegesen nagy és komplex, nem teljes információs, akár időben változó játékok egyensúlyait kereshetjük iterációs (numerikus)

¹⁷ Klasszikus példák a Szarvasvadászat és a Nemek harca elnevezésű koordinációs játékok.

megközelítésben. Az ágensek döntési szabályai (ez a mikrostruktúra) határozzák meg a keresési módszert. Ha ennél a megközelítésnél maradunk, akkor továbbra is fontos hangsúlyozni, hogy

- nem minden játékelméleti szempontból létező egyensúly érhető el ily módon, másrészt
- egy egyensúly előállítására akár több mikrostruktúra is alkalmas lehet, azaz az egyensúly nem definiálja egyértelműen a mikrostruktúrát.

Végsősorban tehát egy ABM modell alkalmazása nem más, mint egy játék valamely egyensúlyának vagy valamely egyensúlyainak (ha ez/ezek létezik/léteznek és elérhető/k) numerikus módszerrel történő megkeresése. Ez az algoritmust függvények írják le és így eleme egy kellően meghatározott Hilbert vagy Sobolev függvénytérnek (Epstein 2006 p.29 [23]). Numerikus módszer lévén, ha rögzítjük a lépéseit, megkaphatjuk az egyensúlyhoz vezető folyamat dinamikáját is.

3.3.HETEROGENITÁS

A keynesi makroökonómiában megjelenik a takarékosági paradoxon, melynek állítása a következő: a megtakarítás nyilvánvalóan jó az egyén számára visszavonulás vagy nehezebb időszakok esetére. A keynesi közgazdászok szerint azonban, ha mindenki spórol, az recesszióhoz vezethet a fogyasztási kereslet visszafogásán keresztül. Amikor ezeket a hatásokat egyszerűen csak összeadnánk, és azt mondanánk, hogy ami mindenkinek jó, az egész rendszernek is jó, akkor elkövetnénk az összetétel hamisságának (fallacy of composition) nevezett hibát. Ugyanezt véthetjük el Kirman (1992 [35]) szerint is, ha reprezentatív szereplőt alkalmazunk. Másrészt az egyéni döntések racionalitása nem szükségszerűen eredményezi a teljes rendszer racionalitását. Példa lehet erre a tankönyvi közlegelők tragédiája¹⁸, vagy jóformán akármilyen externália a modellben.

Sonnenschein (1973 [52]) az alábbi kérdést tette fel: *Do Walras' identity and continuity characterize the class of community excess demand functions?* Vagy másképp: milyen fajta és hány egyensúly lehetséges? Mantel (1974 [43]) és Debreu (1974 [19]) válasza, a Sonnenschein-Mantel-Debreu téteként hivatkozott állítás röviden azt mondja ki, hogy az egyéni keresleti függvényekből képzett aggregált keresleti függvény nem tesz szükségszerűen

¹⁸ Bővebben lásd Hardin (1968 [30]).

eleget a kinyilvánított preferencia gyenge feltételeinek, nevezetesen a megoldás nem egyértelmű. Ennek következményeképpen - mutat rá a szerzőhármas – „minden lehetséges”, az általános egyensúlyelmélet keretein belül:

1. nem biztos, hogy létezik egyensúly,
2. ha létezik, nem biztos, hogy stabil (Scarf 1960 [49]),
3. az egyensúly nem egyértelmű, véges sok létezhet (Debreu 1974 [18]).

Gyakran emiatt a tételt Minden Lehetséges Tételnek is nevezik (Anything Goes Theorem). Corchón és Más-Colell (1996 [17]) megmutatta, hogy hasonló módon, majdnem minden lehetséges a heterogén szereplős oligopóliumokban, ami az egyensúlyokat és a hozzájuk való konvergenciát illeti, ezzel szemben homogén szereplőkkel csak akkor reprodukálhatóak hasonló eredmények, ha speciális követelményeket támasztunk, vagy externáliákat szerepeltetünk a költségfüggvényben.

Sokféle elmélet létezik a gazdasági ciklusok, fluktuációk magyarázatára. A reálciklus elmélet szerint például ez teljesen normális, a külső sokkokra adott természetes válasz, mások pedig azon az állásponton vannak, hogy ez egy tökéletlenség, amit orvosolni lehetne és kellene is. Ami a heterogenitást illeti, érdekes módon akár fokozhatja is a rendszer stabilitását. Megmutatták ugyanis, hogy a heterogenitás növekedése a megtakarítási hajlandóságban *csökkentheti* a makroökonómiai volatilitást. Pontosabban, Bosi és Seegmuller (2008 [12]) azt találták, hogy a heterogenitás növelése szűkíti a többi paraméter bizonytalanságot eredményező tartományát, kellően nagyfokú sokszínűség pedig teljesen kizárja a várakozások által gerjesztett fluktuációkat.

Az ágensek heterogenitása sokféleképpen megjelenhet modelljeinkben, lehet ez a döntési mechanizmusuk, élethosszuk, várakozásaik, tulajdonképpen bármi, ami indokolt. Ez az interakció szerepeltetésével együtt lehetővé teszi az „összetétel helyességét”, ami gyakran nem várt jelenségekhez vezethet.

3.4. KORLÁTOLT RACIONALITÁS¹⁹, VALÓSÁGHÚ DÖNTÉSI VISELKEDÉS

„A profit és a hasznosság abszolút maximumára törekedni túl sok időt venne igénybe. A vásárló nem töltheti egész napját a legolcsóbb fejes saláta felkutatásával; egy vállalat sem költhet dollármilliókat ezer termékének árrugalmasságát meghatározó ökonometriai elemzésekre.” (Samuelson, Nordhaus 1997 [47])

3.4.1. A KORLÁTLAN RACIONALITÁS PROBLÉMÁI

A közgazdasági fősodor még mindig leginkább a korlátlan racionalitás feltételezésével él, beleértve a várakozásokat is (racionális várakozások). A kettő együtt azt jelenti, hogy a szereplők az összes rendelkezésükre álló információ segítségével számítási hibák nélkül kialakítják a várakozásaikat, majd e várakozások alapján hasonló módon meghozzák döntéseiket. Ha ezen felül még azt is feltesszük, hogy minden szereplő minden információ birtokában van és az, ahogy döntenek, az köztudott tudás, akkor akár van interakció, akár nincs, a várakozások pontosan beteljesülnek, a szereplők tehát ismerik a jövőt.

A két fő érv a racionális várakozások mellett a Friedman-elv (Friedman 1986 [25]) és az evolúciós érv. Friedman szerint a modellek előrejelző képessége a fontos, nem pedig az alapfeltevéseik helytállósága, egy elmélet mindaddig helyes, amíg a tények nem cáfolják. Az evolúciós érv szerint pedig, mivel a racionális cselekvés biztosítja a legnagyobb (várható) hasznosságot vagy kifizetést, ezért a természetes kiválasztódás miatt ez fog elterjedni²⁰. Hajdu (2010 [28]) három tulajdonságát emeli ki a racionális várakozásokat alkalmazó modelleknek²¹:

1. $p_t^{expected} = p_t$, ahol p_t az ár
2. az egyensúly mindig kialakul
3. az egyensúlyból a modellt csak exogén sokkok mozdíthatják el.

¹⁹ A Korlátozott vagy korlátolt racionalitás (bounded rationality) első használata és kutatása ebben a kontextusban Herbert Simon Nobel díjas közgazdász nevéhez köthető. Egy magyar nyelvű összefoglalója munkásságának a témakörben Korlátozott racionalitás: Válogatott tanulmányok. Budapest: Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, 1982.

²⁰ Ez nem mindig teljesül. Feigenbaum és Caliendo (2010 [24]) és Schipper (2009 [51]) olyan modelleket mutatnak be, melyekben az irracionális, illetve az imitáló szereplők magasabb hasznosságot érnek el, mint a racionálisak.

²¹ Az egyes pontokra a citált forrás részletesen kitér, melyre az egész fejezet megírásában támaszkodtam.

3.4.2. KORLÁTOLT RACIONALITÁS

Az ABM modellekben általában feltesszük, hogy az ágensek nem *homo oeconomicusok*, hanem korlátolt racionalitással (bounded rationality) rendelkeznek. Hogy ezen túlmenően milyen tanulási, vagy tiszta valószínűségeen alapuló döntési szabályokat állítunk fel, az a mi hatáskörünk.

Az ágensek viselkedésével kapcsolatos szabadság egyben a legnagyobb dilemma is lehet. Abban a pillanatban ugyanis, hogy kilépünk a homogenitás, teljes információ és végtelen racionalitás biztonságot nyújtó pillérei alól, ingoványos talajra lépünk. A nehézség abban rejlik – mondjuk a racionalitás kapcsán –, hogy meg kell határoznunk azt a döntési mechanizmust, amit végül az ágensek használni fognak. De mi is legyen ez? Valóban életszerűnek kell lennie, ráadásul produkálnia kellene az elvárt jelenséget. Az információs tökéletlenség is belekeveredik a döntésbe. Ha engedünk a csábításnak, és mindig továbbbonyolítjuk a rendszert, akkor csak még több ilyen kérdés fog felmerülni, ezeket ezért inkább már az elején ügyesen megválasztott feltételezésekkel ki kell iktatni. A neoklasszikus feltevések sikere pontosan abban rejlik, hogy még mindig ez a legszigorúbb feltételrendszer, ami többé-kevésbe általános érvényű. Nem kell egy ABM modellnek minden elemében ABM-nek lennie. Egy-egy ABM-vonást akkor kell beleépíteni a modellbe, ha

- a vizsgált jelenség megköveteli, azaz megkerülhetetlen, vagy
- elméleti szempontból indokoltabb, mint a neoklasszikus választás, és empirikusan vagy elméleti úton megmutatható, hogy az adott szituációban valóban általános érvényű.

Minden más esetben a neoklasszikus alternatívánál vagy a sztochasztikusságnál érdemes maradni, ezek ugyanis a legjobb általános érvényű alternatívák. Végül minden modell sikerének titka a szépség és egyszerűség, és jobb a 60% 100%-át ábrázolni, mint a 100% 10%-át. Már volt szó az alábbi két remek példáról, hogy valóban nincs szükség bonyolult döntési szabályokra meglepő jelenségek létrehozásához, a szabályok leírása ugyanis egyik esetben sem lehet több néhány sornál. Schelling (1969 [50]) híres szegregációs modelljében bemutatja, hogy még a legkisebb fokú ellenérzések is gettósodást eredményeznek, illetve John Conway Életjátéka jól mutatja, hogy az egyszerű szabályrendszerben is látványos és meglepő eredményeket lehet elérni.

Epstein (2006 p.22 [23]) felhívja a figyelmet, hogy a racionalitás mikro szinten egyáltalán nem szükséges ahhoz, hogy elérjük az egyensúlyt makroszinten, pontosabban: vannak olyan egyensúlyok, melyekhez nem kell feltennünk a racionalitást, de ezek az egyensúlyok különbözhetnek azoktól, melyeket a racionális ágensek érnének el. Az állítás fordítottja is igaz, vannak olyan esetek, melyekben a racionalitás nem eredményez egyensúlyt, például a közlegelők tragédiája, általánosságban a közjavak esete. Összegzésképpen, az egyéni racionalitás nem szükséges – és nem is elégséges – feltétele az egyensúlynak, ez a két fogalom, ha úgy tetszik, logikailag független. A racionalitás más szempontból azonban fontos lehet. Epstein (2006 pp.146-173 [23]) a nyugdíjazási modelljében megmutatta például, hogy most sincs szükség racionális ágensekre az egyensúlyhoz, viszont a racionális ágensek aránya azt már igenis befolyásolja, hogy milyen gyorsan áll az be. Talán érezhető, hogy milyen fontos kérdés ez a szabályozás szempontjából. Ha bebizonyosodik, hogy nincs szükség racionalitásra, sokkal hatékonyabb lenne a szereplőinket utánzásra készíteni, mint széles körűen kioktatni, azaz felruházni őket a racionális döntés meghozatalához szükséges képességekkel és tudással. Sokkal egyszerűbb példaképeket állítani és azok utánzását ösztönözni. Az ehhez kapcsolódó társadalmi kockázat persze óriási, ezek a kritikátlan utánzók ugyanis nagyszerű alanyai olyan mozgalmaknak, mint a boszorkányüldözés, lincselések stb. ABM biztosan nem az egyetlen módja, hogy ezt a társadalmi hatást vizsgáljuk, de erélyes módszer lehet, ha a jelenség térbeli, és a kérdéses populáció heterogén.

Még egy megjegyzés. Sok közgazdász úgy véli, hogy ha az egyén nem elég racionális, akkor ennek egyenes következménye, hogy a rendszer jó esetben is suboptimális szintre van kárhozthatva. Erre is ellenpélda lehet az előző bekezdésben említett nyugdíjazási modell, ahol egyetlen racionális ágens nélkül a rendszer mégis hatékony.

3.4.3. VALÓSÁGHŰ DÖNTÉSHOZATAL

Természetesen lehetetlen az emberi döntéseket pontosan szimulálni, előre jelezni. Nem is lehet ez a cél. Világunk legpontosabb modellje a világ maga, de nem lehetünk meggyőződve, hogy amennyiben újraindítanánk az idő kerekét, minden ugyanígy alakulna, így tehát – ha ezt a másodikat tekintjük az első modelljének – nem sikerült reprodukálnia az eredetit. Komplex, emberi tényezős rendszerekben a bizonytalanság mindig megjelenik. Ezzel egyben ki is jelöltük a modellezés végső határait, az előző példában a modell ugyanis tökéletes, a modellezendő objektum maga. A reális cél az lehet, hogy meghatározzuk a lehetséges kimeneteket, vagy ezek olyan intervallumait, amelyek közé a rendszer adott szignifikancia szinten eljuthat, vagy sokkal inkább, az egyes beavatkozások, külső változások hatását

(feltételes előrejelzés) vagy a változók közötti átváltási lehetőségeket. Többek között a bizonytalanság melletti döntések vizsgálatáért 2002-ben közgazdasági Nobel díjjal jutalmazták Daniel Kahnemant, akinek a munkássága nagyban hozzájárult az emberi gondolkodás megértéséhez. Amos Nathan Tverskyvel közös kutatásuk a Kilátáselmélet az irracionális emberi döntésekkel foglalkozik²². Eredményeik szerint a gyakorlati életben ritka a valóban kockázatsemleges szereplő, vagy másképp: egy bizonytalan, de biztosan veszteséggel járó kimenetelt hajlamosak felülsúlyozni, de általában is megfigyelhető, hogy ugyanakkora veszteség rosszabb, mint amilyen jó ugyanakkora nyereség. Véleményünk szerint erre a jelenségre az alábbi magyarázat is elképzelhető: amennyiben bizonyos vagyonnal rendelkezünk, úgy ahhoz már nagy valószínűséggel hozzárendeltünk egy lehetséges „elköltségi tervet”, azaz egy fogyasztást, hogy hogyan alakítsuk hasznossággá. Így egy veszteség azonnal párosul a hasznosság egy részéről való lemondással, ellenben egy váratlan vagy kvázi váratlan (bizonytalan) nyereség esetén időre van szükség ahhoz, hogy hozzárendeljük a tervezett fogyasztást, ezért kisebb hatású az azonnali reakció. Kicsit másképp azt is mondhatnánk, hogy már kis veszteség is azonnal és direkt módon rontja a várható fogyasztási pályát, viszont sokkal nagyobb nyereség lenne szükséges ahhoz, hogy ezt a pályát valóban minőségileg javítsa.

Sok tényező a hagyományos eszközökkel nehezen, vagy nem modellezhető, mint például a bizalom vagy a hűség. Ezek meghatározó szerepet játszanak Kirman (2001 [36]) híres marseille-i halpiacában. De példaként állhatna itt akár az érzelmi állapot, múltbeli, akár irreleváns események emléke, csordaszellem, befolyásolás, trendek, divathullámok, reklámok, a rosszindulat vagy pont az altruista viselkedés²³. Messze túlmutatna a dolgozat keretein az emberi döntéshozatal ilyen szintű boncolgatása. A modellépítés tekintetében az a fontos, hogy az adott modell szempontjából leginkább releváns részletét ragadjuk meg a döntési mechanizmusnak, ismerjük fel, ha egy fenti jelenség közrejátszik, a többit pedig válasszuk olyannak, ami általánosságban leginkább megállja a helyét.

²² Ha két mondatban kellene összefoglalnunk, az alábbi lehetne: A klasszikus megközelítésben a várható kifizetés szerint születik a döntés, mely az egyes kimenetek abszolút kifizetése szorozva a matematikai valószínűséggel. Ez két ponton módosul. Egyrészt a kezdeti kifizetéseket nem a nulla szinthez viszonyítjuk, hanem a kiinduló - mondjuk - vagyonhoz, másrészt nem matematikai valószínűségeket használunk, hanem az emberi valószínűségérzékelésnek jobban megfelelő valószínűségérzékelést.

²³ Ezek egy részletesebb bemutatásáért lásd Hajdu (2010 [28]).

3.4.4. EVOLÚCIÓ, TANULÁSI MECHANIZMUSOK

Mivel a tanulási folyamat meghatározására egyáltalán nincs konszenzus, de még irányadás sem, így a fejezet célja néhány alapelv és módszer ismertetése, illetve részletes források bemutatása.

A korlátolt racionalitással együtt az evolúció bevezetésének is az a célja, hogy minél valóságosabb modellt alkothassunk. Ha feltesszük, hogy az ágensek képesek a tanulásra, vagy azt, hogy az utód tulajdonságai előnyös irányba módosulhatnak, akkor ezzel magát a döntési algoritmust tesszük részben a rendszer által meghatározottá. A döntés és a tanulás szorosan összefügg, általánosságban azt mondhatjuk, hogy döntési algoritmus az ismert információk alapján meghatározza a döntést, a tanulási mechanizmus pedig az ismert információkat és a döntési mechanizmust határozza meg. A legnagyobb nehézség tehát most sem a formalizálás, gyakorlatilag ugyanis tetszőlegesen bonyolult tanulási folyamatot képesek vagyunk beépíteni egy modellbe²⁴. Sokkal kényesebb kérdés a modell úgymond kalibrálása, azaz most az, amikor meghatározzuk, hogy a szereplők milyen fajta tanulást, és milyen sebességgel, hatásfokkal végeznek. A tanulás és az evolúció kapcsolata az ABM modellezésben az, hogy amennyiben egy ágensnek az életpályája alatt változik a döntési mechanizmusa és az információi, akkor azt tanulásnak, amennyiben pedig ezek csak az utód ágensnél módosulnak, akkor azt evolúciónak nevezhetjük. A hétköznapi konvencióknak megfelelően azt is mondhatjuk, hogy a tanulás egy életpályán belüli evolúció, amely azonban tipikusan nem örökíthető.

A tanulásnak kétféle szintjét különböztethetjük meg. Az első a tanulás egyéni szintje, mely alatt azt értjük, hogy az ágens a saját múltbeli tapasztalataiból tanul. A tanulás populációs szintjén az ágens a többi szereplő viselkedéséből tanul, például legegyszerűbb esetben úgy, hogy utánozza a megfigyelt viselkedésüket. Ezen két szint közötti különbségeket hangsúlyozza Vriend (2000 [56]), és modelljében megmutatja, hogy mennyire különbözik a piaci egyensúly, ha a vállalatok egyéni-szintű genetikusan algoritmusokkal tanulnak, és ha populációs-szintűvel.

Mielőtt áttekintenénk a tipikus tanulási metódusokat, le kell szögeznünk, hogy az ABM világában a tanulás – definíció szerint – nem feltétlenül jár együtt a kifizetések

²⁴ „Minden, amit kimerítően és egyértelműen szavakba lehet foglalni - alkalmas véges neurális hálózattal ipso facto realizálható is.” Neumann János

növekedésével. Egyrészt az megtörténhet, hogy a tanulás egyenesen káros, mondjuk abban az esetben, ha az ágens rosszul méri fel a játékot, és egyre több – azonban téves – információt halmoz fel, de egy interaktív modellben még a „helyes” tanulás is lehet hátrányos. Hanaki (Hanaki et al. 2009 [29]) koordinációs játékkal egybekötött fogolydilemmájában a tanulási sebességben heterogén játékosoknak kezdetben kevés információja van a játékról, az információjukat azonban tanulóval bővíthetik. Az eredmények szerint ugyan a gyors tanuló magasabb kifizetésekhez juthat, mint a lassúak, de előfordulhat az is, hogy mindannyian rosszabbul járnak, mintha minden játékos lassú tanuló lenne. Ezzel összhangban, egy játékos jobban járhat akkor, ha korlátozott ismeretekkel rendelkezik – abban az esetben, ha a többi játékos is hasonló cipőben jár.

Tipikus tanulási/evolúciós folyamatok²⁵

A genetikai algoritmusok talán a legismertebb evolúciós algoritmusok, első változatukat Holland (1975 [31] és 1992 [33]) fedezte fel 1975-ben. A technikai részletek nélkül a genetikai algoritmus egy keresési eljárás, melynek során az ágensekhez számsorozatok (gén) rendelünk, melyek meghatározzák azok tulajdonságait. Az ágenseink és génjeik ezek után kereszteződhetnek (rekombináció) vagy mutálódhatnak, és a „kevésbé életképes” egyedek (vagy alacsony fitness-értékű egyedek) kisselektálódnak.

A mesterséges neurális háló, esetleg neuronháló vagy nemlineáris háló, a biológiai agy szerkezeti felépítéséhez és működéséhez hasonlít. Két objektumból áll: csomópontokból (neuronok) és az őket összekötő élekből (szinapszis), melyek súlya azt mutatja, hogy a rajta átmenő jelet mennyire erősíti vagy gyengíti, reprezentációjában tehát egy súlyozott gráfra kell gondolnunk. A kezdeti jelet, vagyis az inputot, a neuronok azon társaik felé továbbítják, amelyekkel össze vannak kötve, de egy neuron minden esetben csak akkor továbbítja a jelet, ha a hozzá érkező jelet vagy jelek volumene egy küszöbértéket meghalad. Attól függően rendelünk az inputhoz egy outputot, hogy a végén mely neuronokhoz érkezik a jelet. A tanulás során a gyakrabban használt pályák, azaz élek, megerősödnek és erősebben továbbítják a jelet, a ritkábban használtak pedig akár meg is szűnhetnek. Néhány gyakran használt típus, ill. háló architektúra például az MLP; RBF; CMAC; FNN vagy az LMS²⁶.

²⁵ Az ágensek tanulásának modellezése igen kiterjedt irodalommal rendelkezik. Ennek remek áttekintése Duffy (2006 [21]) és Brenner (2006 [13])

²⁶ Egy részletes áttekintéshez lásd Russel és Norvig (2000 [46]) vagy Mitchell (1998 [42]).

A szemlélet és módszerek helyett nézzünk két érdekes példát az ABM témaköréből. A tanulási algoritmusok egyik kihívása az, hogy egyes jelenségek nehezen taníthatóak meg a szereplőknek, – persze ésszerű feltételezések és egyértelmű utasítások nélkül – azaz, hogy egy természetes környezetben kvázi magától jelenjen meg (emelkedjen ki) egy meghatározott fenoména, nem egyértelmű. Két ilyen magatartásforma a kooperáció és a spekuláció. Lehet talán érezni, hogy a szigorúan egyoldalú profitmaximalizálás illetve a fundamentális érték alapján való kereskedelem sokkal kézenfekvőbb, ezért egyszerűbben formalizálható. A kooperációnál gondolhatunk a klasszikus fogolydilemmára²⁷, de némi fantáziával felfedezhető a párhuzam az oligopolista vállalatok szimultán mennyiségi döntéseiben is. Waltman és Kaymak (2008 [57]) modelljében ún. Q-tanulással²⁸ sikerült elérni, hogy az ismételt Cournot oligopóliumban a kooperáció – legalábbis lokálisan – megjelenjen, úgy, hogy nincs lehetőség explicit kommunikációra a vállalatok között. A spekuláló magatartásformát a Kiyotaki-Wright (Kiyotaki, Wright 1989 [37]) modellen keresztül mutatjuk be²⁹, ami gyakorlatilag egy cseregazdaság véletlenszerű találkozásokkal. A szereplők saját maguk által nem, de mások által fogyasztható jóságokat termelnek, és véletlenszerű találkozásaik alkalmával vagy cserélnek, vagy nem, de ha általuk nem fogyasztható termék rajtuk marad, akkor tárolási költséget kell fizetni. A fundamentális stratégia ebben a modellben az, hogy a szereplők csak abban az esetben cserélnek, ha a partner jósága számukra olcsóbban tárolható³⁰, a spekulatív stratégia pedig, hogy számukra drágábban tárolható jóságot is hajlandóak cserélni, ha arra számítanak, hogy az piacképesebb, azaz azzal a birtokukban hamarabb találkoznak olyan partnerrel, akinek a birtokában számukra fogyasztható jóság van, és hajlandó is velük azt elcserélni. A modell 1989-es megjelenése után csak közel 10 évvel később sikerült stabilan szimulálni a spekulatív egyensúlyt (Basci 1999 [7] Staudinger 1998 [53] és Duffy 2001 [20]), illetve a kevert egyensúlyt elsőként Sarlós (2001 [48]), Duffy (2001 [20]) rendszerét a megerősítéssel tanulással kiegészítve.

²⁷ A kooperáció megjelenése ismételt fogolydilemmákban, azért érdekes és sokat vizsgált kérdés, mert mint ismert a defektálás a domináns (Nash-egyensúlyi) lépés. Epstein egyik legtöbbet hivatkozott modellje ezt a jelenséget vizsgálja: Generating Zones of Cooperation in the Prisoner's Dilemma Game, lásd pl. itt: (Epstein 2006 pp.196-224 [23])

²⁸ A Q-tanulás a megerősítéssel tanulás egyik fajtája mely az egyes akciók múltbeli kifizetéseit súlyozza, az új tapasztalatokat nagyobb súllyal. Ez a Q-érték. Ezután a az akciók közül véletlenszerűen választ egy logit modell segítségével, ahol a valószínűségek a Q-értéktől függenek.

²⁹ A Kiyotaki-Wright modell és vizsgálati eredményei bemutatásánál Benedek (2005 pp. 71-81 [10])-re támaszkodtam.

³⁰ Vagy természetesen, ha fogyasztható.

3.5. INFORMÁCIÓ ÉS KOMMUNIKÁCIÓ

A hagyományos modellekben az információ és az információs szerkezet kérdése vagy nem szerepel, vagy többnyire a tökéletes informáltságot feltételezik, azaz minden tudás köztudott tudás³¹. Erre azért is lehet szükség, mert az információs hiányosságok vagy aszimmetriák jelentősen megnehezítik a modell vagy játék megoldását, sok (és főleg különböző) szereplő esetén a kézi megoldás kivitelezhetetlen. A számítógép és a programozási környezet fejlődése azonban lehetővé teszi ilyen modellek építését és kiértékelését.

Egy modell kommunikációs struktúrája célszerűen egy gráffal jellemezhető. Ebben a gráfban az ágensek a csúcsok, és a kapcsolatok az élek, és ezen élek reprezentálhatják:

1. az interakciós szerkezetet, azaz, hogy egy ágens mely ágensekkel léphet kapcsolatba, interakcióba³².
2. az információs szerkezetet, vagyis azt, hogy a szereplőnek a többi szereplőről milyen információja van, melyet a döntési vagy tanulási mechanizmusában felhasználhat.

Általában feltesszük, hogy a két struktúra nem független egymástól, de ha különbözik, akkor célszerű külön ábrázolni őket, főleg, ha a futtatás során nem rögzítettek (dinamikusak). Felmerülhet a kérdés, hogy egy ilyen információs szerkezetben hogyan lehet ábrázolni, ha egy ágens nem ágensekről, hanem ágensek közötti interakcióról rendelkezik információval? Kézenfekvő lenne engedélyezni az éleket élek között is, azonban ekkor le kellene mondanunk a gráfelmélet jól kidolgozott tételeiről, így más megoldást javasolunk. Vagy az interakciókat kell csúcsocként ábrázolnunk – és akkor azt is könnyen modellezhetjük, ha egy ágens csak az interakciót magát „látja” de azt nem, hogy kik között jött létre –, vagy pedig az ágensekben hozunk létre egy külön blokkot interakcióiknak és célpontjaiknak, és ezt tesszük mások számára megfigyelhetővé.

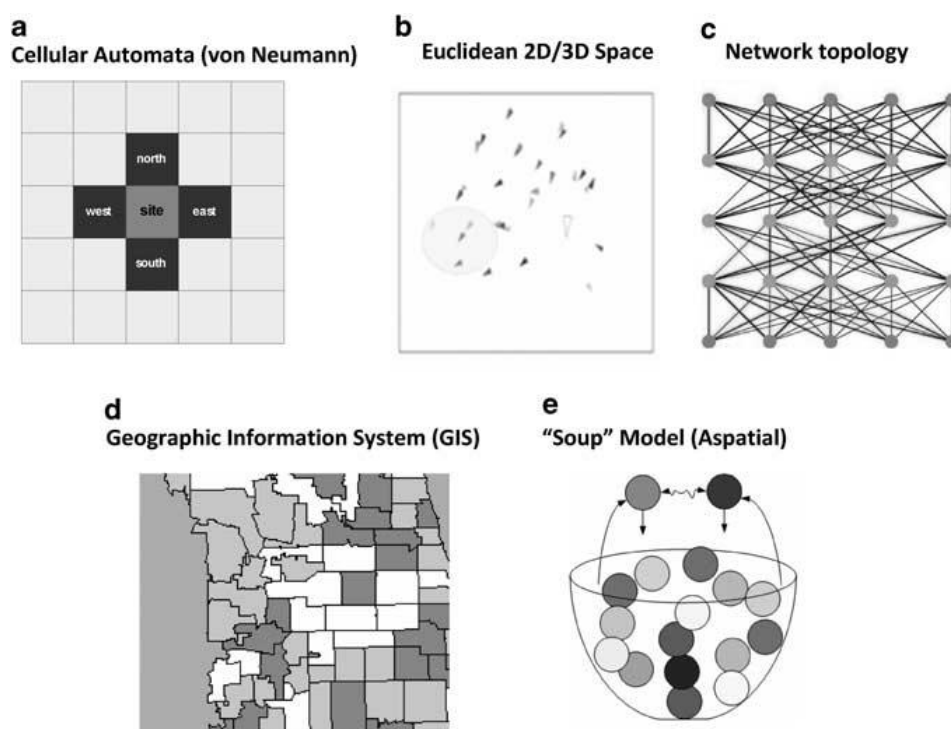
Azonban nagyon előreszaladtunk. Egy játékos informáltsága nemcsak azt mutathatja, hogy ismeri-e a többi játékos tulajdonságai, lépéseit, vagy a játék „szabályait”, a kifizetéseket. Ez már egy előrehaladott feltételezés. Az első kérdés az, hogy a játékos tudja-e, hogy játékos, azaz tudja-e egyáltalán, hogy részt vesz egy játékban? Ha a válasz igen, akkor a következő fokozat az, hogy tudja-e, *milyen* játékban vesz részt. A kifizetések és egyéb részletkérdések

31 A köztudott tudás, közös tudás, vagy köztudás játékelméleti bevezetése Robert Aumann nevéhez fűződik, egy formális definíció magyar nyelven megtalálható: Gömöri (2001 p.193. [27]).

32 Az előző fejezet Kiyotaki-Wright modelljében ez az interakciós szerkezet egy teljes gráf, mivel minden szereplő minden szereplővel kereskedhet (random match)

csak ezután jönnek. Camerer (2003 p.474 [16]) szerint a “mit *hisznek* az emberek, milyen játékot játszanak a 10 legfontosabb kérdés egyike a kísérleti játékelméletben.

ABM modellezés során általában feltesszük, hogy az informáltság nem teljes, az ágensek „globális információk” helyett csak „helyi információkkal”, azaz az információs szerkezet által meghatározott információkkal rendelkeznek. Információs *szerkezet* helyett gyakran információs *topológiát* találunk, ugyanis a topológia bevett kifejezés a gráfelméletben és a matematikában, mi a két kifejezést szinonimaként használjuk. Mint az ábrából látható, nem mindig gráfokkal ábrázolják az információs szerkezetet, de a programozáshoz célszerű lehet ebben gondolkodnunk, mert a gráfok könnyen a számítógép számára is kezelhető mátrixformákba konvertálhatóak.



Ábra 1 Információs topológiák, forrás: Macal, North (2010 p.155 [41])

A modellezés során a feladatunk minél valóságosabb szerkezet implementálása. Ehhez először is ki kell mutatnunk valamilyen struktúrát, majd utána ezt formalizálva képeseknek kell lennünk generálni, ugyanis általános következtetésekhez nem elég egy adott szerkezetben vizsgálódni. A minket érintő területeken a leggyakoribb topológia talán az ún. kisvilágok³³

³³ [10] kiemelt szerepet tulajdonít a kisvilágstruktúráknak. A definíció szerint n és k paraméterekkel adott gráfot kisvilággráfnak nevezünk, ha koncentráltága a hasonló paraméterű rácsgráfokéhoz van közel, míg a karakterisztikus úthossza a hasonló paraméterű véletlen gráfokéhoz.

(small world), melyek a teljesség igénye nélkül jellemzőek mindenféle szociális hálózatra, a világhálóra, szervezeti hálózatokra, az együttműködésre, de még az *Caenorhabditis elegans* nevű féreg agyának a felépítésére is (Watts 1999 [58] , és Benedek 2005 pp. 102-108 [10]).

4. DEMONSTRÁCIÓS MODELL³⁴

A következőkben bemutatunk egy általunk fejlesztett modellt, mely vállalatok működését mutatja be egy térbeli kiterjedéssel rendelkező piacon. A motiváció az a kérdés volt, hogy a piacszabályozási funkciót betöltő szerv (ezen túl szabályozás) mennyire legyen szigorú, amennyiben nem ismeri fel a tisztességtelenül tevékenykedő vállalatokat, és fennáll a kockázata, hogy a „jófiúkat” bünteti, a modellben kizárja. Konkrétan: keressük a játék keretein belül a kizárás valószínűségének és a piacról egy körben maximálisan kizárható vállalatok számának optimális értékét a többi beállítás fix értéke és egy önkényes jóléti függvény mellett. Sok ihletet merítettünk Epstein (1996 p.6 [22]) Sugarscape modelljéből: a játéktér ábrázolása, a Schelling féle szegregációs modellből és Conway életjátékából: egyszerű döntési mechanizmusok, és az ismételt térbeli fogolydilemmából: kooperálás és defektálás kifejezések, és a részpiacokon megvalósuló kimenetek³⁵. Az volt a célunk, hogy egy komplex játékot építsünk fel a kérdés vizsgálatára, amely azonban mégis leegyszerűsített és világos. Legfontosabb eredményünknek ezért talán nem is a levont következtetéseket tekintjük, hanem a kiterjeszthető, jól meghatározott lépésekből és blokkokból álló keretet. A moduláris szerkezetnek köszönhetően külön-külön tudjuk módosítani a játékot az aktuális igényeknek megfelelően, például egyszerűen megváltoztatjuk a vállalatok mozgási vagy terjeszkedési szabályát.

4.1. A MODELL LEÍRÁSA

4.1.1. A PIAC

A piacot egy $n \times m$ -es négyzetháló, egy mátrix reprezentálja. n és m értéke az űrlapon állítható a piac szélessége és magassága mezőkben, ahol a mezők különböző termékeket reprezentálnak. A termékekre a továbbiakban x_{ij} -ként hivatkozunk, ahol i a sor-, j pedig az

³⁴ Megtalálható a neten és mindenki által szabadon hozzáférhető: <http://pandora.db.bme.hu:8111/>. Amennyiben probléma merül fel (lefagyás, proxy error) kérjük frissítse az oldalt vagy lépjen velünk kapcsolatba, a legvalószínűbb, hogy megtelt a merevlemez.

³⁵ A kifizetési mátrix tetszőlegesen megadható, így akár a fogolydilemmáé is, de elméleti szempontból talán nem ezé a játéké a legindokoltabb.

oszlopindex. Feltesszük, hogy minden terméknek önálló és független *részpiaca* van, aminek a *piac* egy mezője felel meg.

4.1.2. KERESLET ÉS KAPACITÁS

A részpiacok kereslete d_{ij} valós szám, melyek időben egymástól függetlenül változnak az alábbi módon. Minden periódus legelején d_{ij} értéke egyharmad valószínűséggel nő, egyharmad valószínűséggel csökken, és egyharmad valószínűséggel nem változik. Hogy erre a „sorsolásra” sor kerül-e, annak a valószínűségét a kereslet-változás valószínűsége mezőben szabhatjuk meg az űrlapon. Ekkor minden részpiac kereslete – egymástól függetlenül – ekkora valószínűséggel fog változni, fenntartva, hogy ekkor is van egyharmad valószínűsége annak, hogy nem változik. Azt is beállíthatjuk, hogy amennyiben változásra kerül a sor, egyszerre mennyit változzon a kereslet. Ezt a kereslet-változás nagysága pontnál tehetjük meg, illetve a kiindulási keresletnél meghatározhatjuk a keresletek kezdő értékeit (ez minden d_{ij} esetén ugyanakkora lesz). A keresletek alapján definiáljuk a részpiacok *kapacitását* (k_{ij}) a $k_{ij} = \left\lfloor \frac{d_{ij} + |d_{ij}|}{2} \right\rfloor$ képlet alapján, ahol a $\lfloor \cdot \rfloor$ operátor az alsó egészrészt jelöli. A periódust jelölő felső t időindexet egyelőre még elhagyjuk, mert nem okoz félreértést. Ennek megfelelően k_{ij} szigorúan nemnegatív egész szám lesz, aminek a várható növekménye a kereslet változásának minden beállítása mellett pozitív³⁶. A kapacitás határozza meg a részpiac eltartó képességét, esetünkben azt, hogy pontosan legfeljebb hány vállalat tartózkodhat rajta.

A részpiac *telítettsége* alatt azt értjük, hogy az aktuális periódus kapacitásához képest mennyi vállalat tevékenykedik. Telítettnek mondjuk a részpiacot, ha a két érték megegyezik, *kihasználatlan kapacitás* alatt pedig ezek különbségét értjük, azaz $k_{ij} - a_{ij}$ értékét, ahol a_{ij} a részpiacon tevékenykedő összes vállalat száma. Telített részpiacra a belépés, illetve azon leányvállalat létrehozása nem lehetséges. Üres egy piac, ha nincs rajta vállalat, ami lehetséges akkor is, ha a kapacitása nem nulla, de ha nulla, akkor szükségszerűen üres.

³⁶ Megfelelően magas d_{ij} mellett a kapacitás (k_{ij}) várható növekménye nulla, mivel a növekedés csökkenés szimmetrikus és azonos valószínűséggel következik be. A paraméter beállításoktól függően azonban megfelelően alacsony érték mellett ez már nem áll fenn, hiszen a kapacitás nulla alá már nem tud menni, tehát csak növekedhet. Ezt az aszimmetriát nagyon felerősíti, ha nem az egyes kapacitásértékeket, hanem azok összegét vizsgáljuk.

4.1.3. A VÁLLALATOK, INFORMÁCIÓ ÉS ATTITŰDÖK

A vállalatok tehát a részpiacokon tevékenykedhetnek, céljuk a profitmaximalizálás és a kiesés elkerülése. Háromféle vállalatot különböztetünk meg attitűd szerint: *kooperáló*, *defektáló* és *alkalmazkodó*. Hogy ezek a magatartásformák mit is jelentenének a való világban pontosan, azt nem definiáljuk, ugyanis az mindig az aktuális szituációtól függ. Annyit teszünk csak fel, hogy a kooperáló vállalatok valamilyen jólét szempontjából káros, ezáltal a szabályozás által büntetendő tevékenységet folytatnak vagy folytatnának. Feltesszük, hogy a kooperáló vállalatok mindig kooperálnak, ez az egyetlen lépésük. A defektálás ezzel szemben annak feleltethető meg, hogy nem beszélnek össze, hanem egymástól függetlenül tevékenykednek, állapítják meg például a kínált mennyiséget vagy az árat. A defektáló vállalatok mindig defektálnak. Az alkalmazkodó vállalatok úgymond flexibilisek, azaz mind a két magatartásformát játszhatják. Ennek a mikéntjére még részletesen kitérünk.

Az úrlapon a kezdő telítettség pontban meghatározhatjuk, hogy a kiinduló állapotban mekkora legyen a részpiacok telítettsége a kezdő kereslet értékéhez képest, a vállalatok száma ez, lefelé kerekítve, minden részpiacon ugyanakkora. Beállíthatjuk továbbá (a kooperáló vállalatok és defektáló vállalatok arányánál) a vállalatok megoszlását. A maradék helyek alkalmazkodó vállalatokkal lesznek feltöltve. Az itt beállított értékek az egész piacra vonatkozó arányok, az egyes részpiacokon a vállalatok megoszlása a kezdeti állapotban véletlenszerű.

4.1.4. A RÉSZPIACOK ÁLLAPOTA

A részpiacok állapota alatt azt értjük, hogy az adott részpiacon tevékenykedő vállalatok többsége az adott periódusban mit játszik. Pontosabban: ha a vállalatok szigorú többsége kooperál, akkor azt mondjuk, hogy a *részpiac kooperál*, egyébként pedig a részpiac *defektál*. Ha egy piac üres, akkor ez egyben az állapota is, illetve, ha egyetlen vállalat van rajta, akkor függetlenül az attitűdjétől és a lépésétől a részpiac állapota *monopol*.

A vállalatok informáltságáról feltesszük, hogy csak a szomszédos részpiacok k_{ij} és a_{ij} értékeit látják, azaz a szomszédos (átlósan nem) piacok telítettségét, de állapotát nem. Semmi másról nincs információjuk, csak ezeket az értékeket használják fel a magatartásuk, mozgási, illetve terjeszkedési szándékaik meghatározásakor.

Technikai – és a későbbi kiterjesztés – szempontjából indokolt definiálni az *új belépő* fogalmát. Ha egy vállalat elmozdult (vagy terjeszkedett), akkor az új részpiacon új belépőnek számít (a leányvállalata). Ez azt jelenti, hogy nem tudja az adott részpiac előző periódusbeli

állapotát. Ennek kooperáló és defektáló vállalatok esetén nincs jelentősége, ők úgyis mindig kooperálnak illetve defektálnak, de az alkalmazkodó vállalat - amennyiben új belépő – a modellünkben ezért véletlenszerűen lép.

4.1.5. A JÓLÉTI FÜGGVÉNY

Az alábbi önkényes jóléti függvény figyelembe veszi mind a termelői, mind a fogyasztói többleteket, értéke minden periódusban kiszámításra kerül egy meghatározott pillanatban. Az alapgondolat az, hogy a kereslet minden egységére 1 egységnyi jólét jutna optimális esetben, azaz akkor, ha a részpiac defektál. Amennyiben kooperál vagy monopol, akkor ezen jóléti egység $(1-\omega)$ része elveszik. A ki nem elégített kereslet után egyáltalán nem termelődik jólét, és persze ha a részpiac üres, akkor sem. Az időindex t , i és j indexek pedig minden esetben a részpiacra utalnak. Legyen ekkor:

$$\Omega_{ij}^t = \begin{cases} 1, & \text{ha a részpiac defektál} \\ \omega, & \text{ha a részpiac kooperál, vagy monopol} \end{cases}$$

és a jólét értéke egy részpiacon³⁷:

$$w_{ij}^t = \Omega_{ij}^t * a_{ij}^t$$

ahol ekkor a jóléti függvény értéke ezek összege:

$$W^t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij}^t$$

A különböző futtatások keresletei és kapacitásai a fentebb leírt sztochasztikus folyamat jellege miatt nagyon eltérhetnek egymástól (nagy a szóródásuk), így sok futtatást kellene elvégezni ahhoz, hogy azokat jóléti szempontból érdemben összehasonlíthassuk. Megtehetnénk, hogy szabályozzuk a folyamatot : kívülről meghatározzuk azt, hogy például a periódusok pontosan felében kell növekednie és felében csökkennie a keresletnek, és csak ezek megoszlását hagyjuk sztochasztikusnak. Természetesen még ekkor is több futtatásra van szükség, ugyanis ez a megoszlás is meghatározó fontosságú, illetve ezen kívül is sok sztochasztikus elem

³⁷ Ez persze egy igen „buta” jóléti függvény, nem veszi figyelembe a különböző attitűdű vállalatok megoszlását vagy azt sem, hogy a termékek esetleges helyettesítő jellege miatt a fogyasztók átpártolhatnak a versenyző, feltételezhetően alacsonyabb áru, részpiacokra. Természetesen a fix ω , mondhatni holtteher veszteség is teljesen önkényes, azonban elsődleges célunk csupán a különböző állapotok jóléte közötti sorrend felállítása.

marad a modellben. A másik lehetőség a „spórolásra” ha a célfüggvényünket, azaz a jólétet, valamilyen módon a sztochasztikus állapotok függvényében fejezzük ki, mérjük. Defináljuk ezért a *potenciális jólétet*:

$$W_p^t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_{ij}^t$$

ami nem más tehát, mint a mindenkor kapacitások összege. Jól látható, hogy a $W = W_p$ pontosan akkor, ha minden kapacitás teljes mértékben ki van elégítve (az adott részpiacra pontosan annyi vállalat tevékenykedik, mint a kapacitás) és minden részpiac defektál.

Képezzük az alábbi változót, amely azt fejezi ki, hogy az adott futtatásban a kapacitások alakulásához képest, azaz a potenciális jóléthez képest mekkora jólét valósul meg de facto. Nevezhetnénk potenciális jólét kihasználtsági rátának, de végső soron ez nem más, mint a rendszer *hatékonysága* (efficiency):

$$E^t = \frac{W^t}{W_p^t}$$

Hasznos lehet még képezni ennek a hatékonyságnak egy adott futtatás alatt felvett átlagos értékét. Bár ezzel sok információt veszítünk, előzetes következtetések levonásához segítséget nyújthat. Számtani átlagot használunk T a szimuláció hossza.

$$\bar{E} = \frac{\sum_{t=1}^T E^t}{T}$$

4.1.6. A SZABÁLYOZÁS

A szabályozás egy külön nem ábrázolt szereplő, melynek egyetlen célja a jóléti függvény, pontosabban a *hatékonyság* maximalizálása. Ezt a célt kizárólag a kooperáló vállalatok kizárásával próbálhatja elérni. A jóléti függvény formájából következik, hogy az üres vagy nem telített piacok is jóléti veszteséget jelentenek, így nem megoldás mindenkit kizárni, és feltesszük, hogy a szabályozás nem tudja megkülönböztetni egymástól a különböző attitűdű vállalatokat, így a kép tovább bonyolódik.

A kizárás menete a következő. A szabályozás végignézi a részpiacokat, és minden kooperáló részpiac esetében a kooperáló részpiac észrevételének valószínűsége pontban meghatározható valószínűséggel észreveszi, ha egy részpiac kooperál. Ekkor legfeljebb – a kizárások max. száma pontban megadott – számú vállalatot kizár azok közül, akik az adott körben

kooperáltak. A kizárások véletlenszerűek, így a kizártak között lehetnek alkalmazkodó attitűdű vállalatok is.

4.1.7. A KIFIZETÉSI MÁTRIX ÉS A VÁLLALATOK VAGYONA

Feltevésünk szerint a vállalatok tisztességtelenül kooperálhatnak, illetve tisztességes versenypiaci magatartást is tanúsíthatnak, azaz defektálhatnak. De miért kooperálnának, ha ezzel azt kockáztatják, hogy (amennyiben a részpiacuk kooperál) a szabályozás kizárhatja őket? Természetesen a nagyobb profit érdekében. Ezt tükröznie kell a kifizetési mátrixnak is, aminek alapesetben az alábbi formát tételeztük fel, de ezek az értékek az úrlapon tetszés szerint módosíthatóak.

		Vállalat lépése	
		Kooperál	Defektál
Részpiac állapota	Kooperál	A= 1	B= 0
	Defektál	C= 0	D= 0,2

Ábra 2 Kifizetési mátrix

A részpiacok állapotának meghatározása és a mátrix ezen formája alapján a játék egy koordinációs problémának is tekinthető. Persze minden konkrét kifizetési meghatározás támadható, ezért is hagytuk meg a választás lehetőségét. Mi azért döntöttünk mégis egy ilyen tulajdonságú mátrix mellett, mert feltesszük, hogy a kooperáció csak akkor sikeres, ha „elég sokan benne vannak” és a részpiac kooperál. Azaz, ha csak néhányan kooperálnak, (a részpiac defektál), akkor az elég sok versenyző vállalat – mondjuk alacsony áraival – kielégítheti a keresletet, és a kooperálók termékeit ekkor senki sem veszi, hoppon maradnak (C). Ezzel szemben, ha elég sokan kooperálnak, akkor képesek valamilyen úton-módon kiszorítani azokat, akik nem tartanak velük³⁸, és ekkor a defektálók járnak rosszul (B). Most feltesszük tehát, hogy A és D nagyobb, mint B és C, továbbá azt, hogy kooperáló részpiacon a kooperálók nagyobb profitra tesznek szert, mint defektáló részpiacon a defektálók, azaz $A > D$.

4.1.8. KIESÉS

A vállalatok kétféleképpen eshetnek ki. Az egyik az, hogy a részpiac keresletének megváltozása következtében csökken a részpiac kapacitása, és a vállalatok száma sosem lehet

³⁸ Ez egy igen érdekes kérdés, mi olyan jelenségre gondoltunk, mint az összehangolt (ellen)reklámkampányok vagy lobbizás, amivel ha rövid távon nem is, hosszú távon mindenképpen képesek lehetnek „kiszűrni” a kívülállókkal.

nagyobb a részpiac kapacitásánál. Feltesszük, hogy ekkor mindig a legkisebb vagyónú vállalat(vállalatok) esik(esnek) ki, ha több ugyanolyan van, akkor véletlenszerűen választunk. A másik lehetőség a kiesésre az, hogy a szabályozás kizárja a vállalatot.

4.1.9. VÁLLALATOK MAGATARTÁSA, MOZGÁSA, TERJESZKEDÉSE ÉS VAGYONA

A fentiekben definiáltuk a piacot, a vállalatokat, a szabályozást, a kifizetéseket és a jóléti függvényt/hatékonyságot. Most el szeretnénk indítani a játékot, ehhez szükségünk van a további szabályok tisztázására.

Definiáljuk a vállalat *vagyonát*! Ez a vagyon kezdeti állapotban az összes vállalatnak 100, és minden körben a kifizetések szerint módosul. Mivel a kifizetési mátrix elemei tetszés szerint megválaszthatóak, és a vagyonnak csak a relatív szintje érdekes, nem szűkítjük az elemzés keretét azzal, hogy értékét 100-ban rögzítettük.

Magatartás: A kooperáló vállalatok csak kooperálni tudnak, a defektálók pedig csak defektálni. Az alkalmazkodó vállalatokról azt tesszük fel, hogy amikor belépnek egy piacra, azaz új belépők, még nem tudják, hogy hogyan kéne lépniük a magasabb profit érdekében, ezért azonos valószínűséggel kooperálnak vagy defektálnak, véletlenszerűen. Az ezt követő körökben mindig azt lépik, amit a részpiac az előzőben.

Mozgás: A lehető legegyszerűbb, de racionális feltételezés, hogy a vállalat akkor szándékozik ellépni, ha a másik részpiacon nagyobb az életben maradási valószínűsége. Ez a kiesés szabálya miatt pontosan akkor teljesül, ha az ottani telítettség alacsonyabb. A vállalatok egy mezőt léphetnek egyszerre. Explicit módon nem rendeltünk költséget a mozgáshoz, viszont a vállalatok mozgási gyakoriságát limitáljuk, legfeljebb egyszer mozdulhat el adott számú körönként, ahol ez a szám az űrlapon beállítható a mozgás maximális gyakorisága pontban. Feltesszük továbbá, hogyha a részpiac a vállalatok attitűdjének megfelelő állapotban van, akkor „kevésbé” akar elmozdulni. Defektáló vállalatok defektáló részpiacról, kooperáló vállalatok kooperáló részpiacról illetve alkalmazkodó vállalatok a részpiac állapotától függetlenül csak akkor akarnak elmozdulni, ha létezik számukra elérhető – azaz szomszédos – szigorúan alacsonyabb telítettségű piac. Defektáló vállalatok kooperáló piacról és kooperáló vállalatok defektáló piacról pedig akkor is, ha a telítettségek értékei megegyeznek.

Korábbi modellváltozatok tapasztalatai alapján célszerű korlátozni az egy részpiacra egyszerre belépő vállalatok maximális számát, technikai okokból ezért ezt a számot egyben

határoztuk meg. Amennyiben többen is be akarnak lépni, közülük véletlenszerűen választunk, egy részpiacról az egyszerre kilépők száma azonban nincs limitálva.

Terjeszkedés: A kiesést ellensúlyozandó be kell vezetnünk egy mechanizmust, ami potenciálisan pótolhatja a kieső vállalatokat. Evolúciós és gyakorlati megfontolásból a terjeszkedés lehetőségét a vállalatok vagyonától tettük függővé, azaz a terjeszkedésnek költsége van. Amennyiben a vállalat vagyona 200 fölé emelkedik kötelező jelleggel terjeszkednie kell, legalábbis meg kell próbálnia. Magyarázat: amennyiben a vagyon átlépi a határt, létrejön egy terjeszkedési szándék, ami a modellünkben analóg az elmozdulási szándékkal, azzal a különbséggel, hogy a vállalat az eredeti részpiacon is jelen marad. Nem garantálható azonban a terjeszkedés létrejötte a korlát miatt, ha nincs szabad kapacitás a környező piacokon, vagy arra több belépő is pályázik. Ekkor a szándék egészen addig fennmarad, amíg a vállalat ki nem esik, vagy vagyona nem csökken 200 alá (pozitív kifizetéssel ez utóbbira nem kerülhet sor). Ha létrejön a terjeszkedés, akkor az új vállalat új belépőnek számít az adott részpiacon, attitűdje megegyezik az anyavállalatával, és vagyona 100 lesz. Az anyavállalat vagyona ugyanennyivel csökken.

4.2. EREDMÉNYEK

Most megismerkedhetünk a modellel és megvizsgálhatjuk, hogy feltevéseink hogyan állják meg a helyüket a gyakorlatban. Igen nagy a felhasználó szabadságfoka a paraméterek beállításában, ez célunk is volt. Ez a szabadság nehézség is, ugyanis minden esetben el kell végezni a modell kalibrációját³⁹, emiatt, a rendszer összetettsége, illetve dolgozat terjedelmi korlátai miatt nem volt lehetőségünk teljes egészében feltérképezni a modellt – nagyon sokféle beállítás elképzelhető –, de úgy gondoljuk és reméljük, hogy a legfontosabb működési sajátosságait és alapelveit sikerült megértenünk. A releváns kérdések, amiket a futtatásokkal kapcsolatban érdemes feltennünk, a következők:

1. Bizonyos szabályozási szigor képes-e a megfigyelt időszakban teljesen, vagy csaknem teljesen felszámolni a kooperálást? Ha igen, akkor milyen százalékban, illetve ha több szabályozás is hasonló eredményességű, akkor, ha a kiindulási telítettség miatt

³⁹A kalibrálásra nem a klasszikus értelemben gondolunk, a modell elméleti jellege miatt ugyanis, nem elsősorban a valósághoz közeli kalibráció volt a cél, hanem a működés szempontjából „arányos” beállítás. Ezalatt azt értjük, hogy egy hatás sem domináns, azaz nem lesz tehát sem teljesen üres a piac, sem teljesen telített, vagy a vállalatok nem rendelkeznek hatalmas kihasználhatatlan vagyonnal. Mint később látni fogjuk, ez a fajta működés hosszú távon csak nehezen valósítható meg.

visszaesés figyelhető meg a futtatások elején, akkor ezen szabályozások közül ezt is figyelembe véve melyik választandó?

2. Ha a szabályozás az egyes pontnak megfelelően eredményesnek tekinthető, akkor érdemes vizsgálni, hogy ezt milyen gyorsan éri el, hány periódus alatt?
3. Ha a szabályzás nem képes felszámolni teljesen, vagy közel teljesen a kooperálást, akkor azt érdemes nézni, hogy mennyit tudtak javítani a kezdeti hatékonysághoz képest, ha erre képesek voltak.
4. Milyen szabályozási értékek elégtelenek, azaz a feladatukat ellátni képtelenek: mikor terjed el teljesen a kooperálás? Értelmes időtávon belül ezt csak megfelelően változékony piac esetén figyelhetjük meg.

A futtatások számeredményei és mellékszámításai igen sok helyet foglalnának el, ezért a CD-n kaptak helyet az eredmények mappában⁴⁰, a dolgozatban csak a megfigyeléseink, illetve az indokolt grafikonok szerepelnek⁴¹. A fejezet végén összefoglaljuk következtetéseinket.

4.2.1. BEVEZETŐ

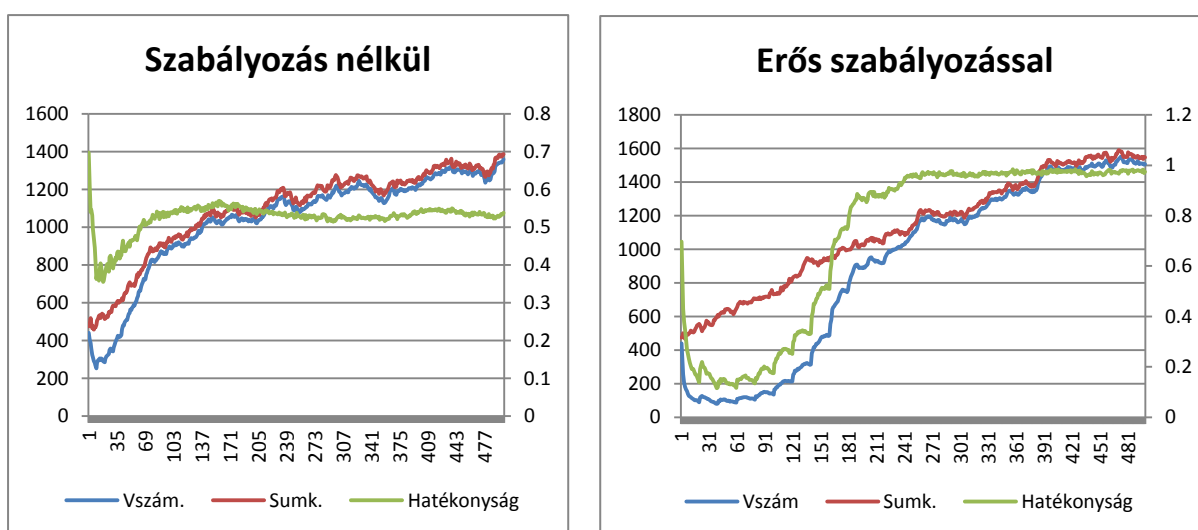
Először nézzünk két szélsőséges esetet! Az elsőben nincs semmi szabályozás (zero), a másodikban pedig nagyon szigorú (max). Most csak egy-egy futtatást végzünk a két esetben, az alábbi paraméter-beállítások szerint:

⁴⁰ Bevezető futtatások, Első futtatások, Második futtatások, Harmadik futtatások, Negyedik futtatások és Blokk mappák. A többi mappa (Ötödiktől Kilencedik futtatások), szintén futtatások eredményeit tartalmazzák melyeknek a dolgozatban már nem jutott hely.

⁴¹ A szimulációs futtatások komplett felvételei is archiválásra kerültek, ezeket nagy méretük (>30GB) miatt nem tudjuk szilárd adathordozón közreadni, de a megadott paraméter-beállításokkal történő önálló futtatás a honlapon bármikor elvégezhető.

Szimuláció:		zero	max
Szélesség	m	10	10
Magasság	n	10	10
Kiinduló kereslet	$d(0)$	5	5
Kiinduló telítettség	$konc(0)$	1	1
Koop. váll. kezdeti aránya	$ratkoop(0)$	0,3	0,3
Def. váll. kezdeti aránya	$ratdef(0)$	0,3	0,3
Koop. piac koop. vállalat kifizetés	Kk	10	10
Koop. piac def. vállalat kifizetés	Kd	0	0
Def. piac def. vállalat kifizetés	Dd	0	0
Def. piac koop. vállalat kifizetés	Dk	5	5
Mozgás max. gyakorisága	$movefreq$	5	5
Kereslet változás nagysága	Δd	1,5	1,5
Kereslet változás valószínűsége	$\vartheta \Delta d$	1	1
Koop. részpiac észrevételének valószínűsége	$\vartheta pnot$	0	1
Kizárások maximális száma	exc	0	2
Szimuláció időtartama	dur	500	500
Holtteher veszteség	ω	0,5	0,5

Táblázat 2 A bevezető futtatások paraméter-beállításai



Ábra 3 A változók alakulása szabályozás nélkül és erős szabályozás mellett

A nagyobb áttekinthetőség kedvéért nem ábrázoltuk minden változót, azonban az esetek 90% százalékában már e három is elegendő. A Sumk. (a kapacitások összege az összes részpiacon) és a Vszám. (vállalatszám) különbségéből lehet következtetni a telítettségre, a telítettségből és a Hatékonyságból pedig adódik a kooperáló részpiacok súlya. (A Hatékonyság csak akkor lehet egyhez közeli, ha a részpiacok telítettek és defektálnak, így a bal oldali esetben rögtön látszik, hogy mivel a telítettség közel teljes, a Hatékonyság értéke csak úgy lehet ~0,5 a holtteher-vesztesség 0,5-ös beállításával, ha majdnem minden részpiac kooperál.)

Mind a két esetben teljesen telített piacokból indultunk ki, mely telítettség az keresletek változásával kezdetben mindkét esetben visszaesett. Jól látható, hogy a bal oldali ábrán ez a

visszaesés nem annyira jelentős, itt ugyanis kizárások nem történtek. Ezzel összhangban gyorsabban visszaáll a teljes telítettség, azonban az 50 periódusra csak 15 defektáló részpiac marad, a többi kooperál. A jobb oldali ábrán sokkal jobban elnyúlik és nagyobb is a kezdeti telítetlenség, azonban a kooperáció teljesen eltűnik.

4.2.2. ELSŐ FUTTATÁSOK

A modell tulajdonságaiból adódóan a keresletek és kapacitások változása mindentől függetlenül (minden más folyamattól függetlenül) történik a megadott paramétereknek megfelelően, a kifizetések és az elmozdulások maximális gyakorisága pedig meghatározza a vállalatok túlélési képességét, azaz a kieséstől való megmenekülésének képességét.

Induljunk ki kezdetben teljesen telített részpiacokból! Mivel a vállalatok kezdő vagyona 100 (és a szabályozás is azonnal elkezd működését) a szimulációk elején csak kiesés/kizárás lehetséges, terjeszkedés nem, azaz a vállalatok száma csak csökkenhet. Amint a vállalatok vagyona tesznek szert és a telítettség is alacsonyabb szintre kerül, a vállalatok száma növekedésnek indul (lásd 3.Ábra). Az első fontos észrevétel, amit így tehetünk, hogy nem feltétlenül a szimuláció legelejétől kezdve érdemes összehasonlítani a jólét vagy a hatékonyság értékeit, ha valamilyen értelemben egyensúlyi helyzetből akarunk kiindulni. *Ha* egyensúlyi helyzetből akarunk kiindulni! A dolgozat első felében nehezményeztük, hogy a hagyományos modellek nagy része az egyensúlyi helyzetekre koncentrált, ezért valamilyen értelemben ekkor szembemennénk magunkkal, másrészt nem teljesen elrugaszkodott a valóságtól, ha telített piacokból indulunk ki. Tegyük fel ugyanis, hogy az első periódusig tervgazdaság volt, és minden részpiacra kívülről volt megszabva az (állandó) kereslet! Az is feltehető ekkor, hogy – ösztönző híján – a vállalatok nem halmoztak fel vagyont, az esetleges nyereséget mind kivették az üzletből. A modell indulásával a gazdaság a piacgazdaság korszakába lép, ahol a már változó igények határozzák meg a keresleteket, így a 3.ábrán látható kezdeti visszaesés összhangban van például a rendszerváltó országokban megfigyelhető váltás utáni visszaeséssel, de mivel az esetben más okok talán sokkal inkább közrejátszottak, ezért nem kívánunk párhuzamot vonni. Harmadrészt, ha a szimulációk kezdeti, nem egyensúlyi szakaszait nem vennénk figyelembe, akkor felmerülne a kérdés, hogy mikortól kezdve kezdjük az összehasonlítást, ami egy korrekt módon igen nehezen megválaszolható probléma lenne. Negyedrészt az ábrán a hatékonyság tekintetében vízszintes szakasz sem tekinthető szigorúan egyensúlyinak, ugyanis lehetséges, hogy a különböző attitűdű vállalatok aránya, vagy a vállalatok vagyona változik. Végül pedig a modell és megvalósításának szintje talán nem is teszi indokolttá, hogy ennyire uniformizáljuk az

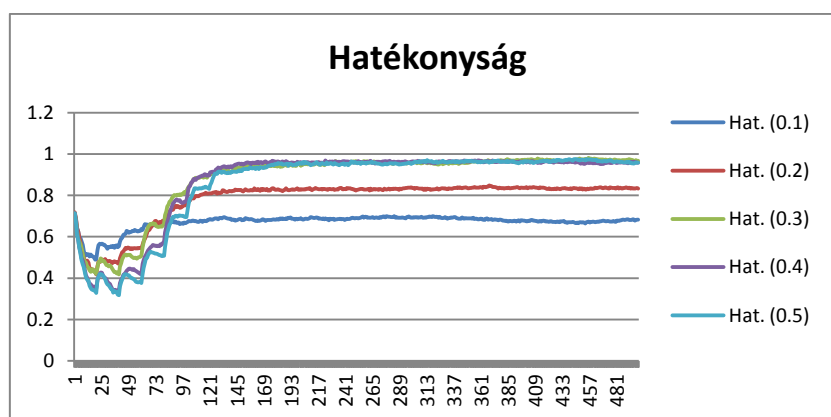
outputot. A legnagyobb előnye annak, ha valamilyen egyensúlyinak tekinthető állapotból indítjuk a futtatásokat az lenne, hogy a kapott minta homogén lesz, így statisztikai tesztek széles skálája állna rendelkezésünkre elemzésükhöz és összehasonlításukhoz.

A sztochasztikusságot azonban természetesen kezelniük kell, így az alábbi megoldási koncepciót választjuk. A különböző karakterisztikájú piacok (kereslet változás jellemzői, kifizetési mátrix, elmozdulás maximális gyakorisága) esetében egy bizonyos szabályozási mérték beállítása mellett nem egy, hanem minden esetben (legalább) 5 darab egymástól független futtatást végzünk. Természetesen több még jobb lenne, javítaná következtetéseink megbízhatóságát. Amiért nem tesszük ezt, annak elsősorban kapacitásbeli okai vannak, a rengeteg vállalat és periódus igen lassú futást eredményez. Másodsorban egy futtatás is felfogható egyfajta simításként, ugyanis az előző példában szereplő 100 részpiac kereslete, az 1000 vállalat lépései, a szabályozás kizárásai és a többi sztochasztikus esemény egymástól független sorsolás eredményeképpen következik/nem következik be, ezért amikor 1 futtatás aggregált változóit szemléljük, már az is egy jelentős átlagolás. Ennek ellenére látni fogjuk, hogy nagyon fontos több futtatást végezniük, ugyanis a vállalatok kezdeti elrendezésének jelentősége illetve modellben megjelenő interakciók miatt az események nem tekinthetők teljesen függetlennek. Minden beállítás mellett ezért több futtatást végzünk, majd ezek eredményeiből képzett számtani átlagokat is összehasonlítjuk a változtatott paraméter különböző értékeinél. Az első futtatások beállításai az alábbiak:

Szimuláció		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Szélesség	m	10	10	10	10	10
Magasság	n	10	10	10	10	10
Kiinduló kereslet	$d(0)$	5	5	5	5	5
Kiinduló telítettség	$konc(0)$	1	1	1	1	1
Koop. váll. kezdeti aránya	$ratkoop(0)$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Def. váll. kezdeti aránya	$ratdef(0)$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Koop. piac koop. vállalat kifizetés	Kk	10	10	10	10	10
Koop. piac def. vállalat kifizetés	Kd	0	0	0	0	0
Def. piac def. vállalat kifizetés	Dd	0	0	0	0	0
Def. piac koop. vállalat kifizetés	Dk	5	5	5	5	5
Mozgás max. gyakorisága	$movefreq$	5	5	5	5	5
Kereslet változás nagysága	Δd	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Kereslet változás valószínűsége	$\vartheta \Delta d$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Koop. részpiac észrevételének valószínűsége	$\vartheta pnot$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Kizárások maximális száma	exc	1	1	1	1	1
Szimuláció időtartama	dur	500	500	500	500	500
Holtteher veszteség	ω	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Táblázat 3 Az első futtatások parameter-beállításai

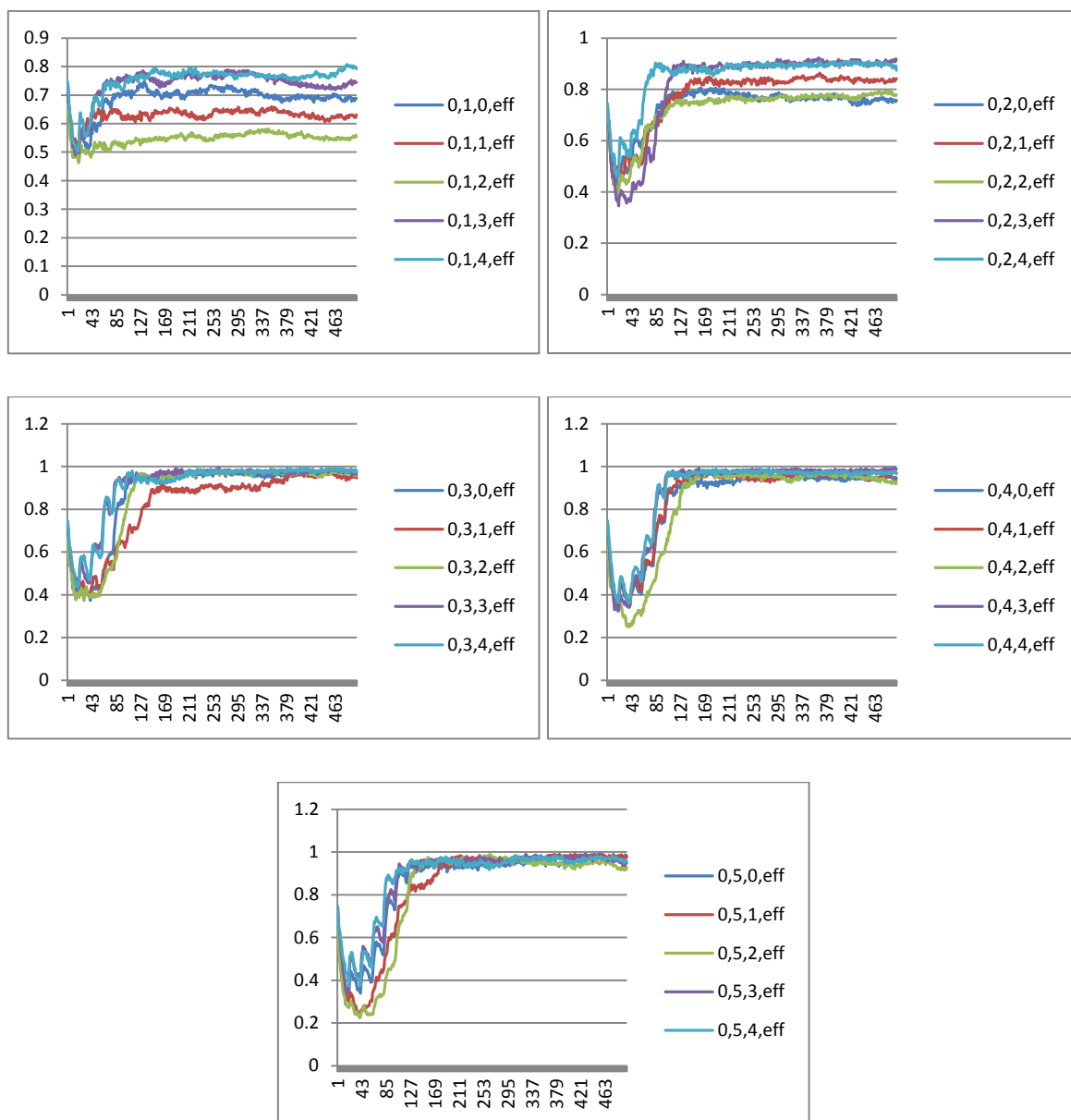
A öt futtatás átlagos hatékonysága különböző esetekben a alábbi módon alakul:



Ábra 4 Átlagos hatékonyságok az első futtatásokban

A futtatások elején jól felismerhető a visszaesés időszaka, melyet minden esetben egy stabil szakasz követ. Ne felejtjük, hogy a kapacitások összege a folyamat generálási szabályából adódóan folyamatosan növekedik, miközben az egyes részpiacok kereslete és kapacitásainak varianciája is.

Az is jól látható, hogy a szigorúbb szabályozás hatására az elején nagyobb volt a visszaesés és később érnek csak a stabil szakaszba. Hogy melyik hatékonyságot tekintjük optimálisnak az attól is függ, hogy milyen időtávot tekintünk, hiszen szigorúbb szabályozás nagyobb visszaeséséhez magasabb hosszú távú érték párosulhat. Az egész futást szemlélve azt mondhatjuk, hogy a 0,1-es és 0,2-es érték túl alacsony, a 0,3 0,4 és 0,5-ös értékek viszont már egyaránt egyhez közeli hosszú távú hatékonyságot eredményeznek, így a kisebb kezdeti visszaesés miatt ezek közül leginkább a 0,3 választandó. Mielőtt tovább pontosítanánk az optimálisnak tekinthető szabályozás intervallumát, vessünk egy pillantást az egyes önálló futtatások (nem átlagolt) hatékonysági értékeire a különböző szabályozási szigor mellett!

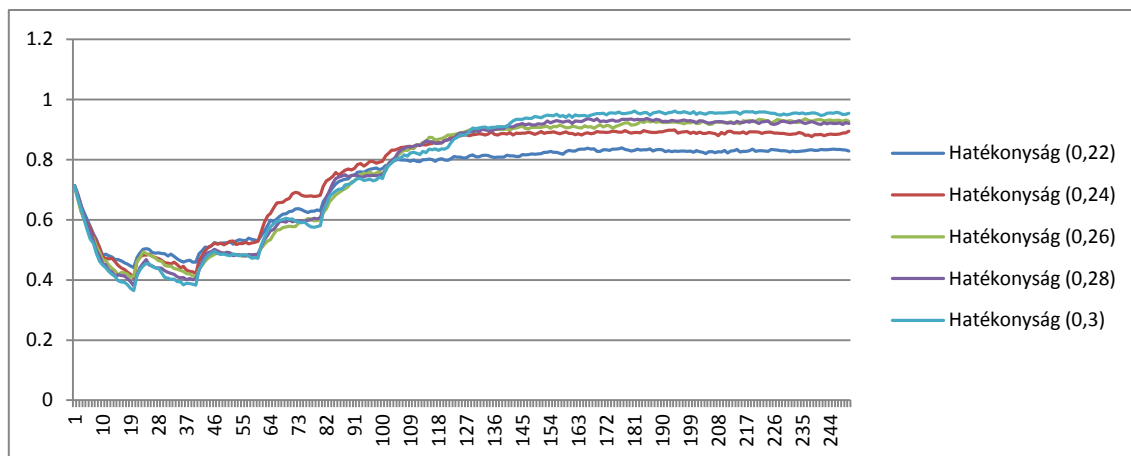


Ábra 5 Hatékonyságok pnot 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 és 0,5 értékek mellett öt különböző futtatásban

Az ábrából jól látszik, hogy a szabályozás szigorodásával hogyan „koncentrálódnak” a hatékonyságok hosszú távú értékei. 0,1-es érték mellett a terjedelme majdnem három tized, míg 0, 3 és nagyobbak mellett nullához közeli.

4.2.3. MÁSODIK FUTTATÁSOK

Korábban megállapítottuk, hogy 0,2 és 0,3 között keresendő az optimális érték, nézzük ezt az intervallumot pontosabban! (a többi paraméter nem változik, a pnot értékei 2,2 és 3 között vannak a futtatás hossza 250 a korábbi 500 helyett)



Ábra 6 Átlagos hatékonyságok a második futtatásokban

Itt is jól megfigyelhető, hogy szigorúbb szabályozás nagyobb kezdeti visszaesést eredményez, azonban a hosszú távú hatás már nem annyira szignifikáns: 0,26-os érték mellett 5 futtatás átlagos hatékonysági értéke a végén magasabb, mint 0,28 mellett, de ne felejtsük el, hogy most 2%-os eltéréseket vizsgálunk, és más hatásmechanizmusok is jelen vannak a modellben.

Ezen a ponton az alábbi következtetéseket vonhatjuk le. Szigorúbb szabályozást növeli annak a valószínűsége, hogy hosszú távon a modell az optimálisnak tekinthető 1 körüli⁴² hatékonysági szintre álljon be. Ez a szint egyszerre jelenti azt, hogy gyakorlatilag nincsen kooperáló részpiac, illetve, hogy azok telítettsége közel teljes. Az 6. ábra alapján azt mondhatjuk, hogy 0,26 és 3 közötti értékek tűnnek megfelelőnek ebben a piaci környezetben, és ettől eltérni inkább felfelé érdemes.

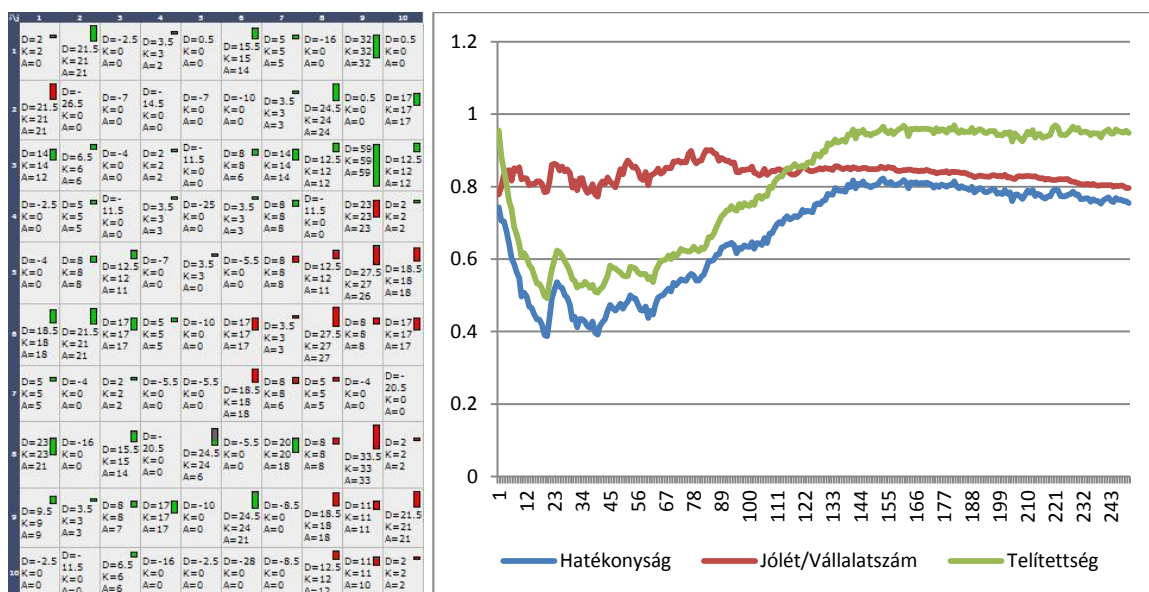
Enyhébb szabályozás mellett nagyobb valószínűséggel valósul meg tartósan suboptimális hatékonysági szint, azonban meg kell jegyezni, hogy ezzel párhuzamosan a kezdeti visszaesés mértéke is alacsonyabb. Ekkor is van esély viszonylag magas hatékonyság elérésére (0,2-es érték mellett egy esetben 0,91) de a kooperációt az 500 periódus alatt tipikusan nem képes teljesen felszámolni. Ezzel összhangban enyhe szabályozás mellett fennáll a majdnem totális kooperáció veszélye (0,1-es érték mellett 0,55-ös hatékonyság a 0,5-ös holtteher veszteség mellett gyakorlatilag totális kooperációt jelent, lásd 5.ábra első grafikon). Megfigyelhetjük, hogy a tartósan fennálló kooperációt szinte minden esetben egy „blokkosodás”-nak nevezhető jelenség váltja ki, és az enyhébb szabályozás mellett nagyobb valószínűséggel létrejövő blokkok már nem, vagy nehezen kezelhetőek a szabályozás számára, kizárás esetén ugyanis

⁴² Pontosan 1 tartósan sohasem lehet a keresletek változásának és a kieséseknek köszönhetően.

nagy valószínűséggel ugyancsak kooperáló vállalat lép a kizárt helyére. Nézzünk egy konkrét példát!

Blokkosodás

A blokkosodás egy kivételes esetét sikerült megfigyelni, nem is olyan alacsony, 2,8-as pnot érték mellett. A kezdeti viszonylag egyenletes eloszlás a 250. periódusra a 7. ábrán a bal oldalon látható formát öltötte. Könnyen kivehető a jobb alsó sarokban található egyébként folyamatosan növekedő kooperáló blokk, aminek következtében az 7. ábra grafikonján megfigyelhető a hatékonyság folyamatos romlása.



Ábra 7 A blokkosodás egy ritka esete

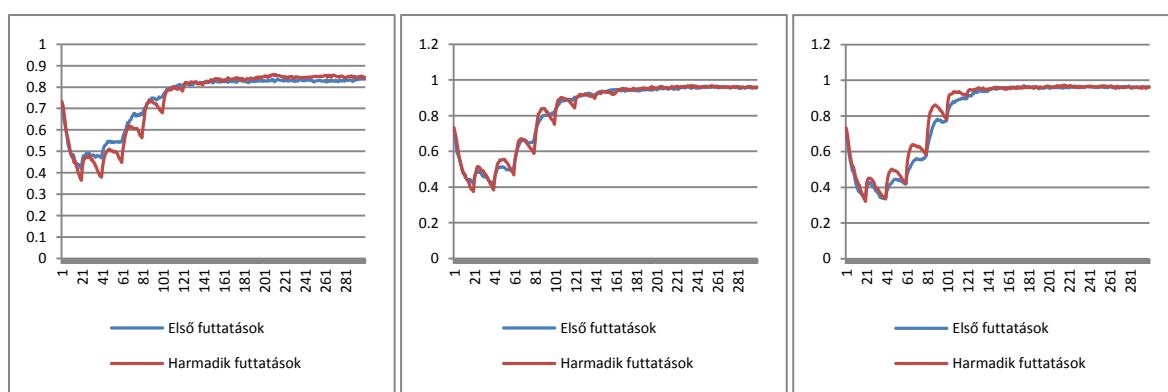
Ebben az esetben tehát nem a piac telítetlensége, hanem a kooperáló részpiacok súlyának növekedése eredményezi a hatékonyság romlását. Bevezetve a Jólét/Vállalatszám változót, a Hatékonyságénál közvetlenebb módon is megfigyelhetjük, hogy az egy vállalatra eső jólét értéke hogyan csökken. Hogy a folyamat merre halad tovább, azt nehéz megjósolni, de mindenesetre az tény, hogy a blokk már az 50. periódusban egyértelműen felismerhető, és attól kezdve folyamatosan növekszik, a teljes kooperáció irányába mutathat. Az is lehetséges azonban, hogy egy kizárás vagy kisesési hullám következtében a blokk felbomlik, és akkor a több irányból jövő terjeszkedési szándékok már képesek lesznek felszámolni.

Ez a blokk, mint korábban jeleztük, egyáltalán nem egyedi, „berögzült” állapotban szinte mindig hasonlóan karakterizálható a piacot reprezentáló tábla: különböző blokkok jelennek meg, kooperálók és defektálók egyaránt. Azért mutattuk be ezt a példát, mert az viszont már ritka, hogy ilyen rövid idő alatt annyit növekedjen.

4.2.4. HARMADIK FUTTATÁSOK

Most arra voltunk kíváncsiak, hogy az első és második futtatások eredményeihez képest milyen különbségek adódnak akkor, ha az ezekben induláskor található 40% alkalmazkodó vállalatot egyenlő részben kooperáló és defektáló vállalattal helyettesítjük. Azaz kezdetben most fele-fele defektáló és kooperáló vállalat lesz, alkalmazkodó pedig nem.

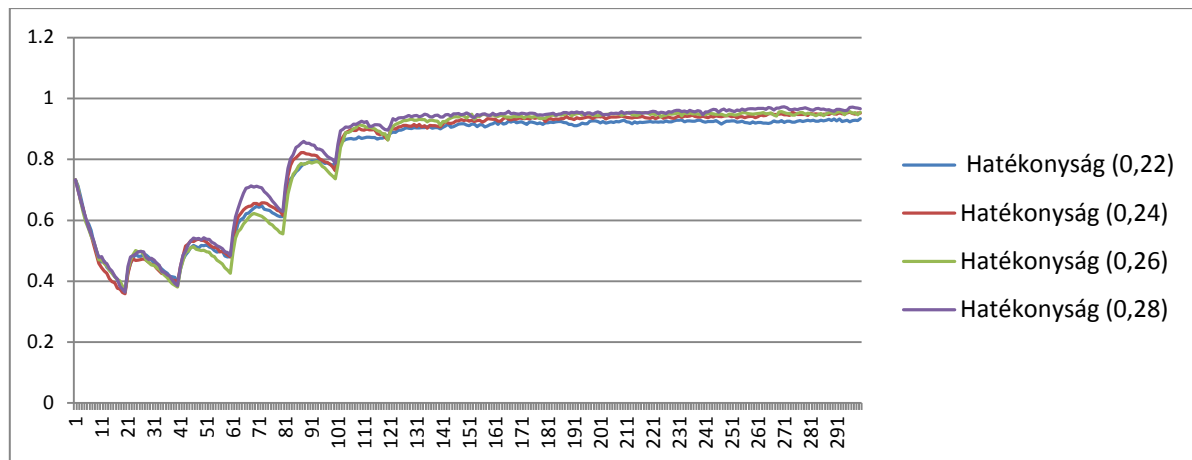
Pnot 0,2 érték mellett két esetben sikerült a 300 periódus alatt szinte teljesen felszámolni a kooperációt, 0,3-nál azonban minden esetben sikerrel járt csakúgy, mint 0,4-nél, így ennél nagyobb értékeket nem vizsgáltunk. Hasonlítsuk össze az első és a harmadik futtatások átlagos jóléti értékeit azonos pnot érték mellett!



Ábra 8 Az első és a harmadik futtatások összevetése pnot 0,2, 0,3 és 0,4 mellett

Látható, hogy a grafikonok fő tulajdonságai megegyeznek, a szembetűnő különbség a grafikon szignifikánsabb fűrészfog jellege a harmadik futtatásokban, mely az első futtatásokban is megjelenik, ott azonban nem olyan erősen. A jelenség okát illetően először a terjeszkedés ciklikusságára gondoltunk a vagyonok kellő szintre emelkedésének közel egyszerre való megtörténésének köszönhetően, de az, hogy most, a vállalatok kezdeti összetételének változásra ilyen szignifikáns különbség mutatkozik, azt mutatja, hogy az alkalmazkodó vállalatok jelenléte a simítás oka az első futtatásokban. A szabályozás visszaszorítja a kooperáló piacokat, és ezeken így üres helyek szabadulnak fel. A környező defektáló részpiacokon „megbúvó” kooperáló vállalatok nagyobb valószínűséggel lépnek át a szabályok miatt, így a már megtisztított defektáló részpiac ismét kooperálóvá válhat. Ha alkalmazkodó vállalat lépne be, ami mozgás után véletlenszerűen viselkedik, az tompítaná a jelenséget. Ez okozza az tehát az ugrást a hatékonyságban, mely a kooperálás megszűnésével maga is eltűnik.

Nézzük most meg pontosabban pnot egyes értékei hogyan viselkednek alkalmazkodó vállalatok híján!



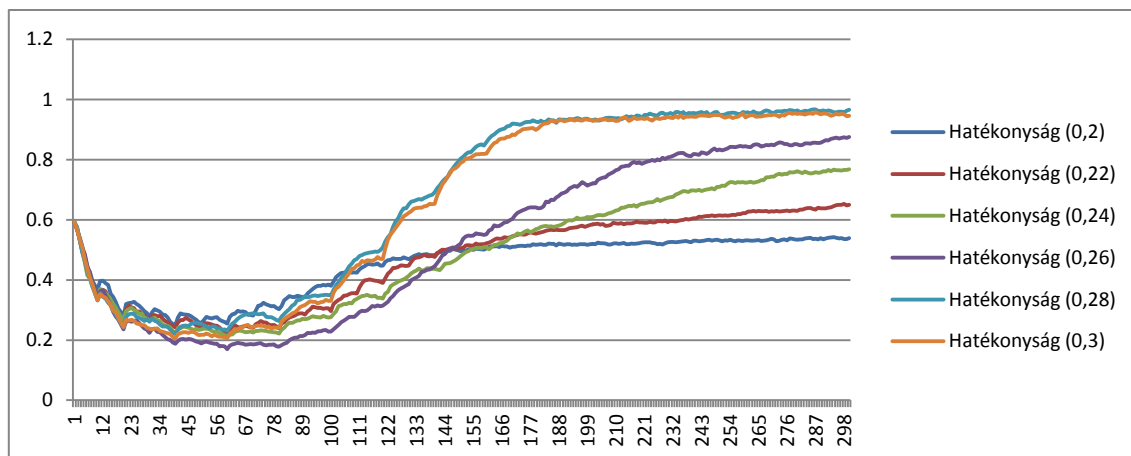
Ábra 9 Átlagos hatékonyságok a harmadik futtatásokban

Összevetve a 6. ábrával a három legnagyobb különbség az fűrészfogak nagysága, a hosszú távú értékek kisebb szóródása és ezek magasabb értéke. Ezek most 0,933 és 0,965 között helyezkednek el, míg a másik esetben 0,827 és 0,926 között voltak. Alkalmazkodó vállalatok nélkül tehát egy enyhébb, 0,2-0,22 pnot érték is már elégségesnek tekinthető.

4.2.5. NEGYEDIK FUTTATÁSOK

Az előző paraméter beállításoknál maradva azt vizsgáljuk, hogy mi változik a második futtatásokhoz képest, ha a kiinduláskor az ott szereplő összes alkalmazkodó vállalatot kooperálóval helyettesítjük. Most tehát a defektáló és kooperáló vállalatok aránya induláskor 0,333 és 0,666.

Először azt tapasztaltuk, hogy pnot 0,2 értéke minden esetben (majdnem) teljes kooperációhoz vezetett, míg 0,3 és 0,4 mellett minden esetben tiszta defekciót kaptunk. A markáns különbségek miatt elvégeztünk még 5-5 tesztet, de ugyanazokat az eredményeket kaptuk. Vegyük észre, hogy az első futtatásokban pnot 0,2 értéke mellett nagyobb a hosszú távú hatékonyság szóródása: 0,757-0,915, míg most 0,464-0,636 (vegyük figyelembe, hogy az első esetben 5, míg a másodikban 10 mérést nézünk), amellet, hogy mostani értékeink sokkal alacsonyabbak. A pontosabb eredmények érdekében finomítottuk a felosztást, az alábbi grafikonokat kaptuk:



Ábra 10 Átlagos hatékonyságok a negyedik futtatásokban

Ha összevetjük a 6. ábrával, szembetűnő, hogy most mennyivel egyértelműbb sorrendet állítanak a 2%-os különbségek pnot értékében, mint ott. Mind a két esetben 300 periódust néztünk, tehát a következtetés erre az időtávra igaz. Ez most azért is különösen fontos leszögezni, mert a legalacsonyabb (0,2) és a két legmagasabb (0,28 és 0,3) pnot értéket leszámítva még egyértelműen kivehető a növekedés a hatékonyságban, így valószínű hogy a hosszú távú érték még változni fog. Következtetésképp azonban leszögezhetjük, hogy az alkalmazkodó vállalatok hiánya csökkenti a bizonytalanságot, azaz adott pnot paraméter mellett a hosszú távon megvalósuló hatékonysági érték szóródását.

4.3.KÖVETKEZTETÉSEK

A futtatások alapján az alábbi legfontosabb – globális – következtetéseket vontuk le:

1. Szinte minden esetben, amikor a szabályozás a megfigyelt időtartam alatt nem képes teljesen felszámolni a kooperálást az figyelhető meg, hogy több részpiacból álló, kooperáló blokkok jönnek létre. Ezekkel szemben a szabályozás kizárásai nem, vagy kevésbé hatékonyak, ugyanis a kizárt vállalat helyére a térbeli elhelyezkedés miatt nagy valószínűséggel ugyancsak kooperáló vállalat kerül. Analóg módon, ha egy részpiac kereslete a blokkban időlegesen lecsökken, akkor az újbóli növekedés esetén is kooperáló vállalatok lépnek be. Ha a keresletek megfelelő dinamikával változnak, akkor ezek a blokkok növekedésnek is indulhatnak, ugyanis ha a blokk határán lévő defektáló piacokon szabad kapacitás jelenik meg, akkor, ha a kooperáló vállalat be tud lépni, az átlagosan magasabb vagyonának köszönhetően nem ő fog kiesni, így a részpiac idővel kooperálóvá válhat.

2. Kisebb piac ceteris paribus hajlamosabb egyfajta berögzült állapotba kerülni, ugyanis arányaiban több a három vagy kettő szomszédal rendelkező részpiac, így, ha ezek a szomszédok üresek, akkor a részpiac teljesen el van zárva. Emiatt egyrészt, ha meg is jelenik a kereslet, vállalatok nem tudnak belépni, másrészt hasonló megfontolásokból a részpiac állapota is nehezebben változhat.
3. A keresletek generálási szabálya miatt a részpiacok kapacitásának varianciája folyamatosan növekszik. Emiatt hosszú futtatások alkalmával fokozódik egyes részpiacok elszigetelődésének a kockázata, főleg kisebb méretű piacokon, ami pedig ezek elüresedéséhez vezethet.
4. Az alkalmazkodó vállalatok hiánya csökkenti a bizonytalanságot, azaz adott pnot paraméter mellett a hosszú távon megvalósuló hatékonysági érték szóródását. Az alkalmazkodó vállalatok jelenléte mindkét irányba elmozdíthatja a piacot, a harmadik és az első futtatásokból nyerhető következtetés ennek megfelelően az, hogy ha adott valószínűséggel teljesen fel akarjuk számolni a kooperációt, akkor ceteris paribus magasabb pnot értéket kell választanunk, ha egyenlő számú kooperáló és defektáló vállalat mellett több az alkalmazkodó kiinduláskor.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Reméljük, hogy a dolgozattal sikerült átadni az ágensalapú szemlélet legfontosabb gondolatait, vagy ami ennél is fontosabb, sikerült úgy bemutatnunk, hogy még az esetlegesen szkeptikus Olvasónak is meghoztuk a kedvet a további ismerkedéshez. Az ABM filozófiája nyújtja a maximális szabadságot a modellezőnek, hiszen attól, hogy megengedi a legelemibb szintre való leereszkedést, semmiképpen sem kötelez rá, és ott ahol nincs erre szükség, élhetünk makroszintű feltevésekkel is, az ABM eszköztára teljes mértékben támogatja ezt. A betegségtől függően az orvos is dönthet úgy, hogy a szerveket vizsgálja, de az is lehet, hogy a sejtek szintjén kell keresni a kiváltó okot, vagy – mint ismeretes – a gáztörvények levezethetőek a részecskék Brown-mozgásából is, ám semmi értelme ezen a szinten vizsgálni, ha valaki csupán a hőlégballonjának az emelési képességeit szeretné meghatározni.

Az orvosi példa talán szerencsésebb, mert a közgazdasági modellek szereplői, az ágensok semmiképpen sem a gázmolekulákkal vannak egy szinten, de még a sejteknél is sokkal összetettebbek. Mégis, teljes mértékben sohasem (?) leszünk képesek az emberi cselekvést és döntéshozatalt algoritmizálni, és ezért talán minden kritérium közül, amiket a ABM alkalmazásához fogalmaztunk meg, a legfontosabb az, hogy a vizsgált jelenség szempontjából releváns viselkedés szelet legyen jól megragadható. Nem vagyok biztos benne, de talán Epstein mondta egyik interjújában, hogy ő az idő 90%-át a jelenség kiválasztásával és lehetséges megragadásával tölti, és csak 10%-ot az algoritmus konkrét meghatározásával. Ha ezeket a szabályokat betartjuk, illetve képesek vagyunk a specialitásait kihasználni (heterogenitás, térbeli és tökéletlen információs jelleg, korlátolt racionalitás, kölcsönös kapcsolatok) akkor az ABM legnagyobb vonzereje talán abban rejlik, hogy a relatíve egyszerű ágensekből képzett komplex rendszer meglepő, nem várt, emergens jelenségeket produkálhat.

Az ABM láthatóan egy hatékony eszköz. Amennyiben megfelelően választjuk ki a jelenséget, önállóan is megállja a helyét, de kiválóan alkalmazható a már meglévő modellek mellett, kiegészítő jelleggel is. A dolgozatban részletezés nélkül bemutattuk a terület legfontosabb eddigi eredményeit, majd kitértünk a tudományág jelenlegi helyzetére, kihívásaira és lehetséges fejlődési irányaira. Ezt követően – főleg az angol nyelvű szakirodalomra támaszkodva – részletesen átvettük az ABM azon jellemzőit, melyekkel mindenkinek tisztában kell lennie, aki a témával foglalkozik.

A dolgozat második felében megismerkedhettünk az általunk fejlesztett modellel, melynek megalkotásával természetesen nem a szabályozási gyakorlat megreformálását tűztük ki célul, mégis úgy érezzük, hogy a vállalkozás sikeresnek tekinthető. Gondosan teszteltük a modellünket, amely a tesztelés során visszaadta a tőle előzetesen elvárt jelenségeket, ráadásul pedig karakterizálta a szabályozás hatástalanságának okozóit – és egyben következményeit – a *kooperáló blokkok* formájában. Tehát amikor a kezdeti piaci állapotot nem sikerült egy bizonyos idő alatt teljesen, vagy közel teljesen felszámolnia, akkor:

- a futtatások időtartama alatt döntően ezt már később sem tudta megtenni, az állapot „berögzül” vagy tovább romlik.
- ennek a berögzülésnek az oka szinte kivétel nélkül a blokkosodás, több részpiacből álló kooperáló blokkok létrejötte volt. Ezek ellen a szabályozás hatástalan, ugyanis amit egy vállalatot kizár, nagy valószínűséggel kooperáló vállalat lép a helyére.

A létrehozott modell és a rajta végzett szisztematikus szimulációk sokasága tehát „bizonyította” azt az újszerű jelenséget, hogy a – más területekről már ismert – blokkosodás egy szabályozási környezetben is felléphet, és megakadályozhatja a szabályozás működését. Ennek a felismerésnek gyakorlati jelentősége is van.

6. MELLÉKLETEK

6.1. A WEBES FELÜLETEK

Agent Based Modeling

Szimuláció indítása

Kezdőállapot

Modell szélessége: 10

Modell magassága: 10

Kiindulási kereslet: 5

Kezdő telítettség (0-1): 1

Kooperáló vállalatok aránya (0-1): 0.3

Defektáló vállalatok aránya (0-1): 0.3

Kifizetési mátrix

Koop. piac vs. koop. vállalat: 1

Def. piac vs. koop. vállalat: 0

Koop. piac vs. def. vállalat: 0

Def. piac vs. def. vállalat: 0.2

Mozgás és terjeszkedés

Mozgás max. gyakorisága: 1

Kereslet-változás

Kereslet-változás nagysága: 1

Kereslet-változás valószínűsége (0-1): 1

Szabályozás és kizárás

Koop. piac észrevétel valószínűsége (0-1): 0.3

Kizárások max. száma: 2

Egyebek

Szimuláció időtartama: 10

Holtteher-vesztesség (ω) (0-1): 0.5

Futtatások száma: 1

Alapértékek

Létrehozás

Legutóbbi szimuláció

Korábbi szimulációk

ID	
20110328.121222.pnot_0.2	Megnyit Töröl
20110328.121222.pnot_0.4	Megnyit Töröl
20110328.121339.pnot_0.6	Megnyit Töröl
20110328.121339.pnot_0.8	Megnyit Töröl
20110328.122033.pnot_0.2	Megnyit Töröl
20110328.122033.pnot_0.4	Megnyit Töröl
20110328.122034.pnot_0	Megnyit Töröl
20110328.125900.086d9e84	Megnyit Töröl
20110328.125904.08b07c64	Megnyit Töröl
20110328.130505.086758ac	Megnyit Töröl
20110328.130508.088de3e4	Megnyit Töröl
20110328.130509.088e71c4	Megnyit Töröl
20110328.130851.088d9cec	Megnyit Töröl
20110329.000928.088fa02c	Megnyit Töröl
20110329.000934.087a413c	Megnyit Töröl
20110402.020810.087bf24c	Megnyit Töröl

Diagram: Vállalatok száma Generálás Exportálás CSV-be

Ábra 11 A webes kezelőfelület

<< Első ciklus

< Előző ciklus

1

Következő ciklus >

Utolsó ciklus >>

Jóliét: 92.5 Vállalatok száma: 125 db Kihasználtság: 100% Összes kereslet: 125.5 Összes kapacitás: 125

Piac

Vállalatok

i \ j	1	2	3	4	5	Név	Piac	Attitűd	Tőke	Wishlist M
1	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	0 (1; 1) KOOP	150		1	
						1 (1; 1) KOOP	150		1	
						2 (1; 1) KOOP	150		1	
2	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	3 (1; 1) DEF	105	(2; 1)	1	
						4 (1; 1) DEF	105		1	
						5 (1; 2) KOOP	150		1	
3	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	6 (1; 2) KOOP	150		1	
						7 (1; 2) KOOP	150		1	
						8 (1; 2) KOOP	150		1	
4	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5,5 K=5 A=5	9 (1; 2) KOOP	150		1	
						10 (1; 3) DEF	115		1	
						11 (1; 3) KOOP	105	(2; 3)	1	
5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	12 (1; 3) DEF	115		1	
						13 (1; 3) KOOP	105	(1; 4) S	1	
						14 (1; 3) DEF	115		1	
20	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	D=5 K=5 A=5	15 (1; 4) KOOP	150		1	
						16 (1; 4) KOOP	150		1	
						17 (1; 4) DEF	105	(1; 5)	1	
						18 (1; 4) KOOP	150	kizárva	1	
						19 (1; 4) KOOP	150		1	
						20 (1; 5) DEF	115		1	
						21 (1; 5) DEF	115		1	

Ábra 12 A webes megjelenítő felület

6.2.A PROGRAM TECHNOLÓGIÁJA ÉS TESZTELÉSE⁴³

A rendszer Python nyelven került megvalósításra, tesztelését CPython 2.6.6 referencia implementáción végeztük. Választásunk a nyelvre és a futtatókörnyezetre elsősorban platformfüggetlensége, a modell egyszerű módosíthatósága, a dokumentáció mennyisége és minősége, valamint a szabadon elérhető függvény-könyvtárak gazdagsága miatt esett. A szimulátort tíz modulban, három modell- és három segédosztály létrehozásával valósítottuk meg, ezek együttműködését és szerkezetét UML osztály- és szekvenciadiagram dokumentálja.

A rendszer elsődleges felülete webes, ilyenkor a rendszer két rétegre bontható. Az alsó, szerverréteg (web.py) a Python beépített webserveren keresztül fogadja a HTTP kéréseket, melyeket két esetben módosít; szimuláció indításkor és törléskor. A webes felület a webalkalmazásoknál megszokottal ellentétben nem kérésenként generált, hanem változás esetén egyszeri alkalommal létrehozott, egyébként statikus erőforrásokból (HTML és JSON fájlokból) áll. Emiatt egyrészt a már legenerált szimulációk nem igényelnek dinamikus webkiszolgálást, amely a cachelés lehetősége miatt skálázhatóvá és a kisebb támadási felület miatt biztonságossá teszi a rendszert.

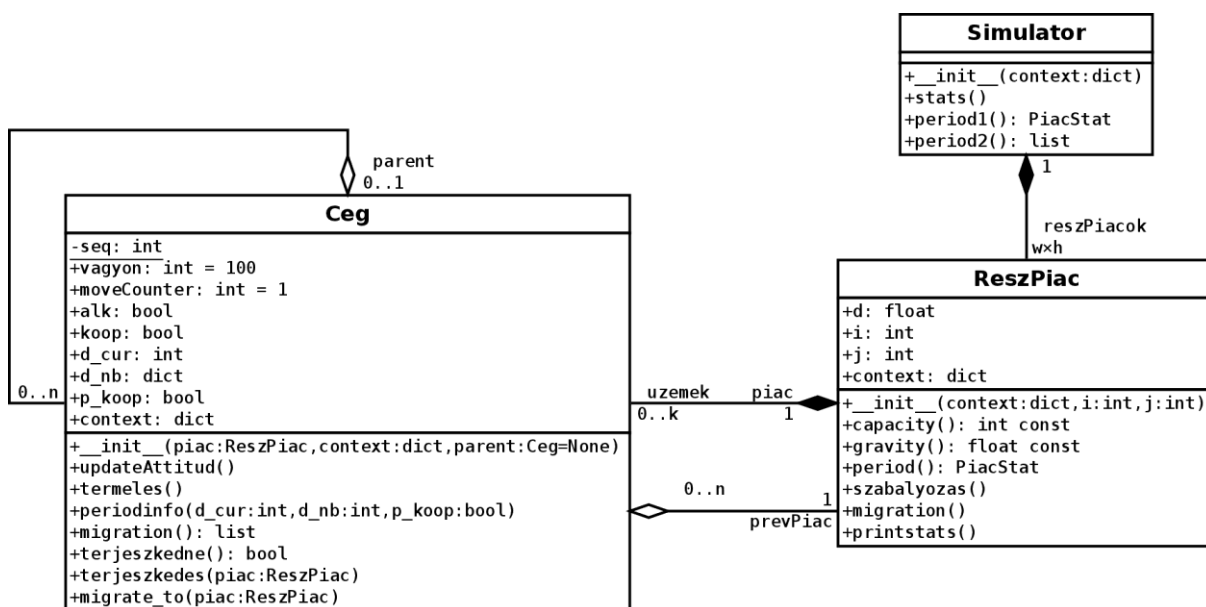
A másik réteget a böngészőben megjelenő weboldal adja, mely JavaScript használatával dinamikusan, kliensoldalon állítja elő a szimuláció adataiból annak nézeteit. Ehhez a szabadon terjesztett Prototype és flot könyvtárakat használtuk, előbbi a böngésző-független JS platformot bővíti ki, utóbbi pedig a diagramok elkészítéséért felelős. A webes felület betöltődés után újratöltés nélküli, ún. AJAX kérésekkel éri el a szimuláció adatait tartalmazó szerveren tárolt JSON formátumú erőforrásokat. A formátum előnye, hogy kizárólag ASCII karaktereket tartalmazó szöveges fájl, így szinte bármilyen platformon kezelhető, kevésbé "bőbeszédű", mint az XML, és a Prototype AJAX támogatása automatikusan képes JavaScript objektumokká deserializálni.

A rendszer ezen kívül rendelkezik még egy tesztelési funkciókat ellátó, konzolból futtatható interfésszel (abm.py), mely a fejlesztésnél nyújt segítséget, mivel kimenete különböző szűrőkön irányítható át a "pipes and filters" tervezési mintának megfelelően. Szöveges kimenete mellett képes komolyabb vizualizációra is, melynek használatakor az egyes ciklusok utáni állapotokat bitképekben (bmp) tárolja el.

⁴³ Veres-Szentkirályi András, a szimuláció programozójának ismertetője.

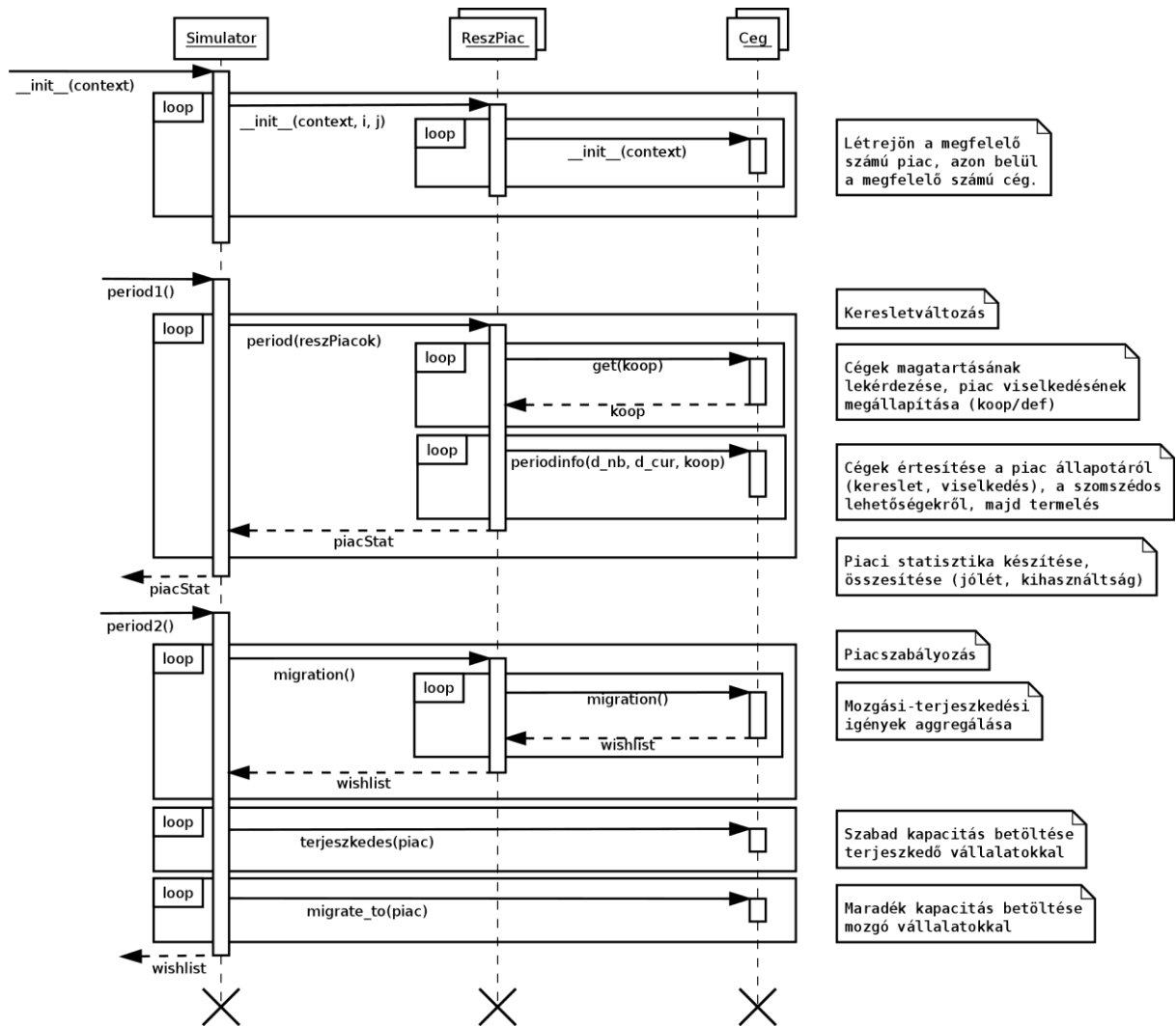
A rendszer tesztelését a konzolos interfész kimenetének feldolgozásán kívül a kódba épített feltételezésekkel (assertion) végeztük, melyek olyan alapvető összefüggések, kényszerek meglétét ellenőrzik, melyek nem teljesülése biztos jele annak, hogy a rendszer nem a specifikációnak megfelelően üzemel. Ezen kívül a rendszer bonyolultsága és az idő rövidsége miatt a tesztelés fennmaradó részét manuális inspekció segítségével végeztük, melynek során a szimulációkat tesztadatokkal futtatva ellenőriztük, hogy az eredmények megfelelnek-e az elvárásainknak.

6.3. A MODELL OSZTÁLYDIAGRAMJA



Ábra 13 A modell osztálydiagramja (Veres-Szentkirályi András munkája)

6.4. A MODELL SZEKVENCIADIAGRAMJA



Ábra 14 A modell szekvenciadiagramja (Veres-Szentkirályi András munkája)

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Albin, P. S., and D. K. Foley. (1990) Decentralized, Dispersed Exchange without an Auctioneer: A Simulation Study. *Journal of Economic Behavior and Organization* 18(1):27-51.
- [2] Arthur W. B., Durlauf S. N., and Lane D.A (eds). (1997) *The Economy as an Evolving Complex System II*, Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity. Addison- Wesley, Reading, MA
- [3] Axelrod R., Tesfatsion L. (2006) "A Guide for Newcomers to Agent-Based Modeling in the Social Sciences", Appendix A (pp. 1647-1659) in Leigh Tesfatsion and Kenneth L. Judd (Eds.), *Handbook of Computational Economics*, Vol. 2: Agent-Based Computational Economics, *Handbooks in Economics Series*, Elsevier/North-Holland, Amsterdam, the Netherlands.
- [4] Axtell, R. L. (1999) The Emergence of Firms in a Population of Agents: Local Increasing Returns, Unstable Nash Equilibria, and Power Law Size Distributions. *Santa Fe Institute* 9:28-32.
- [5] Bagni R., Berchi R., and Cariello P. (2002) A comparison of simulation models applied to epidemics. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 5(3)
- [6] Bak, P., Chen, J. Scheinkman, and M. Woodford. (1993) Aggregate Fluctuations from Independent Sectoral Shocks: Self-Organized Criticality in a Model of Production and Inventory Dynamics. *Ricerche Economiche* 47:3-30
- [7] Basci, E. (1999): Learning by imitation *Journal of Economic Dynamics and Control*, 23. 1569-1585
- [8] Beckman, R., Smith, L., Anson, D., Nagel, K., Williams, M., (1995) TRANSIMS: TRansportation ANalysis and SIMulation System, 5. National transportation planning methods applications conference, Seattle, WA (United States), 17-21 Apr 1995; Other Information: PBD: [1995]
- [9] Beinhocker Eric D. (2006) *The Origin of Wealth*, McKinsey & Company, Inc.
- [10] Benedek Gábor (2005) *Evolúciós gazdaságok szimulációja*, Akadémiai Kiadó
- [11] Bonabeau, Eric. (2002) Agent-Based modeling: Methods and techniques for simulating human systems, the paper results from the Arthur M. Sackler Colloquium of the National Academy of Sciences, "Adaptive Agents, Intelligence, and Emergent Human Organization: Capturing Complexity through Agent-Based Modeling," held October 4–6, 2001, at the Arnold and Mabel Beckman Center of the National Academies of Science and Engineering in Irvine, CA
- [12] Bosi, S. Seegmuller, T. (2008) Can heterogenous preferences stabilize endogenous fluctuations? *Journal of Economic Dynamics & Control* 32, pp. 624–647

- [13] Brenner, T., (2006) Agent learning representation: advice on modelling economic learning. In: Tesfatsion, L., Judd, K.L. (Eds.), Handbook of Computational Economics, vol. 2. Elsevier, Amsterdam, pp. 895–947
- [14] Broad, C.D. (1925) The Mind and Its Place in Nature, London, Routhledge and Kegan Paul
- [15] Bulard, J., and J. Duffy. (1998) Learning and Excess Volatility. Macroeconomics Seminar Paper, Federal Reserve Bank of St. Louis.
- [16] Camerer, C.F., (2003) Behavioral Game Theory: Experiments in Strategic Interaction. Russell Sage Foundation, New York.
- [17] Corchón, L.C, Más-Colell A. (1996) On the stability of best reply and gradient systems with applications to imperfectly competitive models. Economics Letters 51, 59–65
- [18] Debreu, G. (1970) Economies with a finite set of equilibria. Econometrica 38, 387–392.
- [19] Debreu, G. (1974) "Excess demand functions". Journal of Mathematical Economics 1: 15–21
- [20] Duffy, J. (2001) Learning to speculate: Experiments with artificial and real agents, Journal of Economic Dynamics and Control, 25, pp. 295-319. 31
- [21] Duffy, J., (2006) Agent-based models and human subject experiments. In: Tesfatsion, L., Judd, K.L. (Eds.), Handbook of Computational Economics, vol. 2. Elsevier, Amsterdam, pp. 949–1011.
- [22] Epstein, J. M., and R. L. Axtell. (1996) Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up. Washington, DC: Brooking Institution Press, Cambridge: MIT Press.
- [23] Epstein, J.M., (2006) Generative Social Science: Studies of Agent-Based Computational Modeling, Princeton University Press
- [24] Feigenbaum, J. Caliendo, F.M. (2010) Optimal irrational behavior in continuous time, Journal of Economic Dynamics & Control 34 (2010) 1907–1922
- [25] Friedman M. (1986) Inflation, munkanélküliség, monetarizmus KJK, Budapest. 18-50
- [26] Gilbert, N. Troitzsch, K. G. (1999) *Simulation for the social scientist*. Milton Keynes: Open University Press
- [27] Gömöri, A., (2001) Információ és Interakció: Bevezetés az információs aszimmetria közgazdasági elméletébe, Budapest, Typotex,
- [28] Hajdu Gergely István (2010) A mainstream közgazdaságtani modellezés problémái

- [29] Hanaki N., Ishikawa R., Akiyama E. (2009): Learning Games, *Journal of Economic Dynamics & Control* 33, 1739–1756
- [30] Hardin G., (1968) "The Tragedy of the Commons", *Science*, Vol. 162, No. 3859, pp. 1243-1248.
- [31] Holland, J. H. (1975) *Adaptation in natural and artificial systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI
- [32] Holland, J.H.; Miller, J.H.; (1991). Artificial Adaptive Agents in Economic Theory *American Economic Review* 81 (2): pp.365–371.
- [33] Holland, J. H. (1992) *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with application to biology, Control and artificial intelligence*. MIT Press, Bradford Books, Cambridge MA
- [34] Humberman, B., and N. Glance. (1993) Evolutionary Games and Computer Simulations. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 90:7715-18
- [35] Kirman A. P., (1992) Whom or what does the representative individual represent? *Journal of Economic Perspectives* 6: 117-136.
- [36] Kirman A. P., Vriend N. J., (2001) Evolving market structure: An ACE model of price dispersion and loyalty, *Journal of Economic Dynamics & Control* 25, 459-502
- [37] Kiyotaki, N., Wright, R. (1989) On money as a medium of exchange, *Journal of Political Economy*, 97., 924-954
- [38] Lewis, D. (1969) *Convention: A Philosophical Study*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- [39] Lucas, R. E., Jr. (1976) *Econometric policy evaluation: A critique*, Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy 1:19-46.
- [40] Macal C. M. (2004) Emergent Structures from trust relationships in supply chains. Macal C., Sallach D., and North M. (eds). *Proceedings of Agent 2004: Conference on Social Dynamics: Interaction, Reflexivity and Emergence*. Argonne National Laboratory: Chicago, IL, 7-9 October, pp 743-760.
- [41] Macal, C. M, North, M. J. (2010) Tutorial on agent-based modelling and simulation, *Journal of Simulation* 4, 151–162
- [42] Mitchell, M. (1998) *An introduction to genetic algorithms*, MIT Press,
- [43] Mantel, R. (1974) "On the characterization of aggregate excess demand". *Journal of Economic Theory* 7: 348–353
- [44] North M. et al. (2009) Multi-scale agent based consumer market modeling. *Complexity* 15: 37-47

- [45] Novak, M. A. and R. M. May (1992) Evolutionary Games and Spatial Chaos. *Nature* 359:826-29
- [46] Russel, S. J., Norvig, P. (2000) *Mesterséges intelligencia modern megközelítésben*, Panem, Budapest.
- [47] Samuelson, P. A. - Nordhaus, W. D. (1997) *Közgazdaságtan, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest*
- [48] Sarlós T (2001) A Kiyotaki-Wright modell. Évfolyam dolgozat, Budapesti Közigazgatástudományi és Államigazgatási Egyetem
- [49] Scarf, H., (1960) Some examples of global instability of competitive equilibrium. *International Economic Review* 1, 157–172.
- [50] Schelling, T.C. (1969) Models of Segregation. *The American Economic Review*, Vol. 59, No.2, Papers and Proceedings of the Eighty-first Annual Meeting of the American Economic Association. May, 1969, pp. 488-493.
- [51] Schipper, B.C. (2009) Imitators and optimizers in Cournot oligopoly, *Journal of Economic Dynamics & Control* 33 1981–1990
- [52] Sonnenschein, H. (1973) "Do Walras' identity and continuity characterize the class of community excess demand functions?". *Journal of Economic Theory* 6: 345–354
- [53] Staudinger, S. (1998) Money as a medium of exchange: An analysis with genetic algorithms. Working paper, Technical University, Viena
- [54] Tesfatsion, L. (1995) A Trade Network Game with Endogenous Partner Selection. *Economic Report 36*, Department of Economics, Iowa State University.
- [55] Topa, G. (1997) Social Interactions, Local Spillovers and Unemployment. Manuscript, Department of Economics, New York University
- [56] Vriend, Nicolaas (2000) An Illustration of the Essential Difference Between Individual and Social Learning, and its Consequence for Computational Analyses, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 24, pp. 1-19
- [57] Waltman, L., Kaymak, U., (2008) Q-learning agents in a Cournot oligopoly model *Journal of Economic Dynamics & Control* 32 (2008) 3275–3293
- [58] Watts, D. J. (1999) *Small Worlds: The Dynamics of Networks between Order and Randomness*. Princeton University Press, New Jersey
- [59] Woodford, M. (2003) *Interest and Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy*. Princeton University Press