

A pénzügyi közvetítőrendszer működésének újszerű modellezése – Ágensalapú makromodellek*

Mérő Bence

A tanulmány három olyan – bankrendszerrel bővített – ágensalapú makromodellt ismertet, melyek megfelelő mértékű továbbfejlesztést követően később a szabályozói döntések alapjául szolgálhatnak. E modellek bemutatásával és magyarázatával a szerző megkísérli megértetni az ágensalapú modellezés mibenlétét, lényegét és kereteit, továbbá rámutat a modellezés során felmerülő nehézségekre is.

Journal of Economic Literature (JEL) kódok: B52, E44, Y2

Kulcsszavak: ágensalapú modellezés, bankrendszer, pénzteremtés

1. Bevezetés

A pénzügyi válság hatására megnövekedett az igény olyan modellek fejlesztésére, amelyben vizsgálható a hitelezés szerepe a reálgazdasági visszacsatolások szempontjából, valamint amelyekkel a pénzügyi közvetítőrendszer működését lehet modellezni különböző szabályozási előírások mellett, különös tekintettel a pénzügyi stabilitást szolgáló makroprudenciális szabályozásra.

A tapasztalatok fényében egyre több főáramú modell épít be pénzügyi súrlódásokat (pl. *Gertler és Kiyotaki 2010, Gertler és Karádi 2011, Christiano et al. 2010, 2014, Cúrdia és Woodford 2016, Lindé et al. 2016*). A hitelezést tartalmazó DSGE-modellek döntő többsége pénzügyi közvetítőként modellezi a bankokat, amelyek a megtakarításokat folyósítják hitelként. A gazdaság tényleges működése során a bankrendszer azonban a hitel folyósításával párhuzamosan teremti meg a betéteket (*McLeay et al. 2014*). Ezt a megközelítést vezeti be a DSGE-modellekbe *Benes et al. (2014)* és *Jakab és Kumhof (2015)*. Utóbbi a makroprudenciális politika szempontjából fontos hitelciklusokat is generál, igaz, ehhez több olyan egymást követő, független exogén sokkra van szükség, melyet a szereplők egyáltalán nem látnak előre, vagyis az egyes

* A jelen kiadványban megjelenő írások a szerzők nézeteit tartalmazzák, ami nem feltétlenül egyezik a Magyar Nemzeti Bank hivatalos álláspontjával.

Mérő Bence a Magyar Nemzeti Bank közgazdasági elemzője és a Budapesti Corvinus Egyetem tanársegédje.
E-mail: merob@mnbb.hu

A magyar nyelvű kézirat első változata 2018. június 22-én érkezett szerkesztőségünkbe.

DOI: <http://doi.org/10.25201/HSZ.18.3.83113>

sokkok bekövetkeztek sem számítanak újabb sokkra a következő időszakokra vonatkozóan.

A hitelezés mibenléte és különösen az ezzel fellépő rendszerszintű kockázatok a háztartások és vállalatok nagymértékű heterogenitásán alapulnak. Míg a korábbi DSGE-modellek esetében a hitelezést sok esetben csak két típusú, egy türelmes és egy türelmetlen háztartás interakciója adta, a hitelezési kockázatok modellezéséhez szükséges a szereplők heterogenitásának a növelése. A HANK (Heterogenous Agent New-Keynesian) modellek tovább bővítik a heterogenitást, kontinuum számosságú háztartást bevezetve (pl. *Kaplan et al. 2018*).

A bankrendszer kockázatoságának szempontjából is meghatározó egyensúlytalanságok kialakulásához részben a szereplők korlátozott racionalitása vezethet. A korlátozott racionalitás a várakozásokat változtatja meg a főáramú makromodellekben. *De Grauwe (2012)* újkeynesi alapokon nyugvó modellje viselkedési közgazdaságtani megközelítést is tartalmaz, és egyszerű heurisztikák beépítésével képes endogén módon hullámszókat generálni a kibocsátásban. *Békési et al. (2016)* modelljében a háztartások reáljövedelemre és reálkamatra vonatkozó várakozásai nem modellkonzisztensek, hanem azt feltételezik, hogy meghatározott negyedév alatt érik el állandósult állapotbeli értékeiket.

A DSGE-modellek képesek a bankrendszerre vonatkozó szabályozási kérdéseket is modellezni: *Chadha és Corrado (2012)* a makroprudenciális politika likviditási vonatkozásait vizsgálja főáramú modelljében, *Alpanda és társai (2018)* pedig olyan DSGE-modellt fejlesztettek, melyben együtt vizsgálják a monetáris és a makroprudenciális politikát.

Az említett példák alapján látható, hogy különböző technikákkal sokkal valószerűbbé lehet tenni a DSGE-modelleket, és a kutatók igyekeznek olyan modelleket alkotni, melyben a monetáris és a makroprudenciális politikát is lehet elemezni. Az egyes területeken elért nagymértékű fejlődés ellenére azonban sok vezető közgazdász ad hangot annak, hogy szükséges más megközelítésben is modellezni a makrogazdaságot (vö. *Farmer és Foley 2009, Krugman 2011, Stiglitz 2011, Romer 2016*). Ezzel párhuzamosan meg is jelent a makroökonomiában egy másik megközelítés, az ún. ágensalapú modellezés (vö. *Tesfatsion és Judd 2006*). Az ágensalapú makromodellek a főáramú modellek egyenletrendszereinek megoldása helyett a gazdasági szereplők (ágensek) viselkedésének a szimulációjából állnak: az ágensek viselkedésük (pl. fogyasztási vagy termelési döntésük) során viszonylag egyszerű ökölszabályokat követnek egymás után.

Az ágensalapú modellek a gazdaságot heterogén szereplőkből kiindulva modellezik. A különböző típusú szereplőkből (mint például háztartás és vállalat) több ágens is lehet a gazdaságban, és mindegyik ágensnek megvannak a saját paraméterei

és változóinak épp aktuális állapota. Az egyes ágensek korlátozott racionalitással rendelkeznek, gazdasági döntéseiket pedig nem optimalizálással (és a teljes rendszer ismeretében) hozzák meg, hanem egyszerű szabályok alapján. Ezen döntések eredőjeként alakulnak az aggregált változók (alulról építkező megközelítés).

Az egyes szereplők viselkedési szabályainak meghatározásakor fel lehet használni a különböző viselkedési közgazdaságtani eredményeket, és ennek köszönhetően egyre realisztikusabb feltevések mentén lehet a gazdaságot modellezni. Ezeket a feltevéseket ráadásul nem kötik matematikai korlátok: szinte bármilyen szabályt be lehet vezetni, nem kell arra ügyelni, hogy a modell analitikusan vagy a jelenlegi megoldó algoritmusok segítségével kezelhető maradjon.

Az ágensalapú modellezés tulajdonságainak köszönhetően minden adott ahhoz, hogy a feltevések szintjén megfelelő módon lehessen kezelni a bankrendszert, a hitelezés és a reálgazdaság kapcsolatát, a heterogenitásból fakadó hitelezési kockázatokat, a különböző mikro- és makroprudenciális szabályokat stb. Az ágensalapú modelleket kevesebb korlát köti, mint a főáramú modelleket, és ezért megvan bennük a lehetőség arra, hogy a valóságnak jobb leképezését adják, és ennek megfelelően megbízhatóbb módon lehessen a különböző monetáris és makroprudenciális intézkedéseket vizsgálni. Ennek ellenére korai lenne kijelenteni, hogy az ágensalapú makromodellek valaha jobb alternatívát fognak jelenteni, hiszen nekik is nagymértékben kell még fejlődniük, és egyelőre ennek a fejlesztési iránynak is sok akadályt kell leküzdenie. Mindenesetre érdemes áttekinteni, hogy jelenleg milyen ágensalapú makromodellek találhatók a szakirodalomban, mivel lehet, hogy később ezek továbbfejlesztett változatának segítségével (is) fognak különböző előrejelzéseket végezni vagy szabályozást hozni a hitelintézeti szektorral kapcsolatban. Az ágensalapú makromodellezésről átfogó leírást nyújt pl. *Haldane és Turrell (2018)*, valamint *Dawid és Delli Gatti (2018)*. *Fagiolo és Roventini (2017)*, valamint *Dilaver et al. (2018)* a főáramú modellekkel vetik össze az ágensalapú makromodelleket. E tanulmány célja az, hogy három konkrét ágensalapú makromodell ismertetésén keresztül működés közben láttassa az irányzatban lévő lehetőségeket, különös tekintettel a bankrendszer működésére, mert megfelelő mértékű továbbfejlesztést követően az ilyen típusú modellek később akár a szabályozói döntések alapjául is szolgálhatnak.

A következő fejezetben röviden áttekintjük az ágensalapú makromodellezés legfontosabb jellemzőit, és meghatározzuk a bemutatandó ágensalapú makromodellek körét. Az azt követő fejezetekben ismertetjük a kiválasztott modellek jellemzőit. Az ágensalapú makromodellek fejlesztése során szerzett saját tapasztalatok fényében reflektálunk az egyes modellekre és általánosságban is az ágensalapú makromodellekre, végezetül összegzéssel zárunk.

2. Az ágensalapú makromodellezésről általánosságban

Pyka és Fagiolo (2007) alapján az ágensalapú makromodellek építésekor jellemzően az alábbiakból indulnak ki:

1. Alulról építkező (bottom up) megközelítés: a modell alapján véve a gazdasági szereplők egyedi (mikroszintű) döntésein nyugszik, a makroszintű dinamika ezen döntések eredőjeként áll elő.
2. Heterogenitás: az azonos szerepet betöltő ágensek (pl. vállalatok vagy háztartások) több dimenzió mentén különbözhetnek egymástól – ami lehet valamilyen egyszerű változó (pl. vagyon vagy jövedelem), de akár viselkedési szabály is. A valós gazdaság heterogén szereplőit tehát nem helyettesítjük reprezentatív fogyasztóval (vagy vállalattal), hanem az egyes szereplők külön-külön hoznak döntéseket, figyelembe véve a sajátosságaikat.
3. Korlátozott racionalitás: az egyes szereplők a véletlent leszámítva sem ismerik tökéletesen a gazdaság működését, így a várakozásaik nem feltétlenül modellkonzisztensek. Az egyes szereplők döntéseit befolyásolják a várakozásaik, de ezeket a legkülönbélebb szabályok alapján hozhatják meg. A modellekbe be lehet vezetni tanulást is, például tapasztalat alapján a szereplők változtathatnak a várakozási szabályaikon. Leggyakrabban azonban valamilyen adaptív várakozási szabályt alkalmaznak az ágensek.
4. Közvetlen (endogén) interakciók: az ágensek döntései függhetnek a többi ágens döntésétől (például térbeli modell esetén a szomszédos ágensek döntésétől), beleértve azt is, hogy az egyes ágensek mely más ágensekkel lépnek kapcsolatba. Idővel az ágensek kapcsolati struktúrája is változhat.
5. Választásalapú piaci mechanizmusok: az ágensek sok esetben piaci mechanizmusok alapján választhatják meg, hogy kivel lépnek kapcsolatba (pl. egy fogyasztó melyik vállalattól vásárol), ami a kevésbé jövedelmező vállalatok megszűnéséhez és új vállalatok megjelenéséhez vezethet.

A felsorolt feltételekből az alábbi jellemzők következnek:

6. Állapotfüggő dinamika: az adaptív várakozásokból következik, hogy állapotfüggő módon alakul a gazdaság pályája.
7. Komplex fejlődő rendszeren alapuló megközelítés: a modell szereplői komplex rendszerben élnek, amely az idő múlásával változhat.
8. Endogén és perzisztens innováció: az ágensek döntései folyamán endogén módon alakulhatnak ki strukturális változások.

Az ágensalapú makromodellek egymást követő diszkrét időszakokból állnak, melyek általában negyedévek vagy hónapok. Míg az újkeynesi modellekben az egyes időszakokban minden szimultán módon határozódik meg, addig az ágensalapú modellekben minden időszakban előre meghatározott sorrendben követik egymást az események, a korábbi események pedig hatással lehetnek a későbbi döntésekre. Egy ágensalapú modell tehát események szekvenciális láncolata. A modell logikája nem zárja ki, hogy néhány esemény egymással párhuzamosan fusson (például a vállalatok egymással párhuzamosan hozhatnak döntést a termelendő mennyiségekről).

Az ágensalapú modellezés gyakorlatilag számítógépes szimuláció, ahol nem a modell egyenleteit vezetik le, hanem az egymást követő algoritmusokat programozzák le. Jellemzően objektumorientált programnyelvet használnak, az ágenseket ugyanis könnyű objektumoknak megfeleltetni. Minden ágensnek (objektumnak) megvannak a maga paraméterei és változói, amelyek a modell alakulásától függően változhatnak. És minden ágensnek megvannak a maga (gyakran paramétereiktől vagy egyéb változóktól függő) metódusai, például, hogy hogyan dönt egy vállalat az adott időszaki termeléséről, vagy egy fogyasztó az adott időszaki fogyasztásáról.

Az ágensalapú makromodellekben igen változatos modellezési struktúrákat lehet létrehozni, de egyelőre kevés a kiforrott szabály, szemben a DSGE-modellekkel. A bankrendszerrel kapcsolatban azonban van egy íratlan szabály: az ágensalapú makromodellek a bankrendszert úgy modellezik, hogy a bankok a hitelnyújtással párhuzamosan hozzák létre a betéteket, mint ahogyan az a valóságban is van. Könnyű lenne azt a megközelítést beépíteni, miszerint a bankok a megtakarításokat hitelezik tovább, de mivel az ágensalapú modellek a valósághoz minél közelebbi feltevéseket szeretnének szerepeltetni, ezért egyből a bankrendszer valós működési mechanizmusát implementálják.

A DSGE-modellek teljesen konzisztens modellek, ami a vagyonfelhalmozásra is vonatkozik, beleértve a tőkefelhalmozást és a pénzügyi eszközöket is: világos, hogy milyen erőforrásokból lesz a tőke, és a pénzügyi vagyon mellett egyből megjelenik ugyanakkora mértékű pénzügyi tartozás is. A modell egyenletei ezeket automatikusan biztosítják. Mivel az ágensalapú modellezésben nem egyenleteket oldunk meg, figyelni kell arra, hogy a modell elindításakor (a kezdőértékek megadásakor) az egyes ágensek vagyoni jellegű változói makroszinten is összhangban legyenek egymással: egy szereplőnek csak úgy lehet pénzügyi megtakarítása, ha másnak tartozása van, beleértve a bankok mérlegét is. Arra is kell figyelni, hogy a háztartások, vállalatok és egyéb szereplők vagyona legyen összhangban a gazdaság reáleszközeivel. Erre pedig nemcsak a kezdőértékek megadásánál kell figyelni, hanem az egyes szereplők változóinak frissítésénél is, a különböző döntések, tranzakciók során. Az így felépített modelleket *stock-flow-konzisztens* modelleknek hívjuk. Míg a DSGE-modellek a költségvetési korlátoknak és az egyensúlyi egyenleteknek köszönhetően szükségszerűen stock-flow-konzisztensek, az ágensalapú modelleknél erre külön figyelni kell.

A pénzügyi eszközök és egyéb vagyonelemek konzisztens modellezését nagyban segíti a mérlegmátrix és tranzakcióáramlás-mátrix alkalmazása (*balance sheet matrix*, *transaction flow matrix*). Ezek a mátrixok szereplőtípusonként aggregált értékeket tartalmaznak, és átlátható módon szemléltetik, hogy a modell adott állapotában az egyes szereplők vagyona mely más szereplők adósságával párosul (*balance sheet matrix*), valamint hogy adott időszak folyamán hogyan változnak a vagyonelemek (*transaction flow matrix*). Ezzel párhuzamosan az egyes szereplőtípusok egyedi mérlegeit is érdemes elkészíteni.

A stock-flow-konzisztens modellek a *Copeland (1949)* által megjelenített négyszeres könyvelésen alapulnak (*quadruple entry principle*): egy tranzakció mindkét szereplőjénél alkalmazzuk a kettős könyvelést. *Godley és Lavoie (2007)* ezt fejlesztette tovább, és egy keynesi gazdaságon belül teljesen konzisztens keretben tárgyalja a hitel, a pénz, a jövedelmek és a vagyon keletkezését és áramlását. Az ő modelljük ugyan nem ágensalapú, ám az ismertető ágensalapú modellek majdnem mind az ő stock-flow-konzisztens megközelítésükön alapulnak. Ez a megközelítés endogén pénzt tartalmaz, ami (a monetáris bázis mellett) hitelezéssel jön létre, a bankok pedig a hitelezéssel hozzák létre a betéteket, és nem a korábban összegyűjtött betéteket hitelezik tovább.

Az ágensalapú makromodellek sokfélék, de az elmúlt évek folyamán három megközelítés kezdett el kiemelkedni, amelyek kiindulási alapul szoktak szolgálni más kutatások számára is. Az egyik alapmodellt *Delli Gatti és szerzőtársai (2011)* fejlesztették, írásuk egyben érthető és alapos bevezetést is nyújt az ágensalapú paradigmába. A modell viszonylag egyszerű szabályokon alapul, amelyek a piaci alkalmazkodási mechanizmusokat is jól szemléltetik. A EURACE-modell (*Deissenberg et al. 2008* és további fejlesztések) ezzel szemben a valóság sok szegmensét próbálja meg egyszerre szerepeltetni, ennek következtében azonban a mechanizmusok nyomon követése nehezebb. *Dosi és szerzőtársai (2015)* olyan modellt mutatnak be, amely kellően összetett ahhoz, hogy fiskális és monetáris politikai kérdéseket is lehessen vele vizsgálni, a folyamatok mégis nagyjából átláthatók maradnak. A következő fejezetekben ezen modelleknek egy-egy olyan, továbbfejlesztett változatát mutatjuk be, melyekben a bankrendszerre jobban fókuszálnak.

A modellek ismertetése során bemutatjuk alapfeltevéseiket, magyarázóerejük kapcsán röviden kitérünk arra, hogy milyen empirikus megfigyeléseket tudnak visszaadni, a kalibráció és a validáció problémakörét azonban nem ismertetjük (ehhez ld. pl. *Grazzini és Richiardi 2015*, *Grazzini et al. 2017*, valamint *Lamperti et al. 2018*).

A kiválasztott modellek ismertetése segít az ágensalapú makromodellek megértésében és annak bemutatásában, hogy mennyire szerteágazó feltételezések mellett alkotnak modelleket az irányzat kutatói. Érdemes azonban utalni rá, hogy mindezek mellett más modellek is léteznek, melyek több-kevesebb hasonlóságot mutatnak

egymással, illetve az ismerttetendő modellekkel, és lehet, hogy a későbbiekben ezek közül fog valamelyik meghatározóbbá válni. *Caiani és szerzőtársai (2016)* például olyan stock-flow-konzisztens modellt ismertetnek, amelyet kifejezetten kiindulási alapul szánnak a későbbi modellekhez, és a kezdőértékek meghatározásához is bemutatnak egy alkalmazható módszert.

Chiarella és Di Guilmi (2011) pénzügyi válságok esetén vizsgálja a pénzügyi szektor gyengélkedésének transzmisszióját a reálszektorra, majd azt is megnézi, hogy milyen kimenetele lehet a sokkoknak különböző fiskális politikai és szabályozói lépések esetén (*Chiarella – Di Guilmi 2012*). *Salle és munkatársai (2013)* ágensalapú modelljükben próbálnak minél közelebb maradni az újkeynesi hagyományokhoz, miközben a szereplők várakozásait egyszerű szabályok határozzák meg, amelyek tanulás útján változnak is. Ezt bővíti tovább *Salle (2015)* a jegybank által nyújtott információkkal.

Delli Gatti et al. (2010) a pénzügyi akcelerátort modellezi, ahol az egyes vállalatok és bankok között hitelezési hálózatok alakulnak ki. Ezt a modellt *Riccetti et al. (2013)* többidőszakos hitelekkel egészítették ki, *Riccetti és társai (2016)* pedig bevezették a vállalatok piaci kapitalizációját, és monetáris politikai vizsgálatokat is végeztek.

Popoyan et al. (2017) modellje viszonylag egyszerű feltevései ellenére már képes a monetáris és makroprudenciális politika interakciójának vizsgálatára, a hitelintézeti szektor szempontjából pedig az ilyen vonatkozású kutatások egyre nagyobb jelentőséggel bírnak. Modelljük *Ashraf et al. (2017)* modelljének egy korábbi verzióján alapul.

Krug (2018) szintén a monetáris politika és a makroprudenciális politika interakcióját vizsgálja, a vállalati szektort pedig *Stolzenburg (2015)* ágensalapú, Solow-típusú növekedési modelljének segítségével írja fel.

3. Makroökonómia alulról

Delli Gatti és társai (2011) könyvet írtak az ágensalapú modelljükéről, *Macroeconomics from the Bottom-up* címmel. Az alulról építkező megközelítés minden ágensalapú modellre igaz, a könyv célja az, hogy bevezetést nyújtson az ágensalapú modellezésbe, és ehhez egy prototípus modellt is bemutat, amelynek egy egyszerűbb változata már *Delli Gatti et al. (2008)* munkájában is megtalálható. A modellben már szerepel egy kezdetleges hitelnyújtó bankrendszer is, a továbbiakban ennek *Assenza et al. (2015)* által továbbfejlesztett verzióját mutatjuk be, amelyben a bankrendszer is hangsúlyosabb szerepet kap.

A modellben három szereplőtípus van: háztartások, vállalatok, bankok. A háztartások vagy munkajövedelemből élnek (munkások), vagy a vállalatok tulajdonosaiként osztalékjövedelemből (tőkésék). Minden tőkés egy-egy vállalatot tulajdonol.

A vállalatok között megkülönböztetünk fogyasztási jószágot termelő vállalatokat (C-vállalatok) és tőkejószágot termelő vállalatokat (K-vállalatok). A C-vállalatok munkaerő és tőke segítségével állítják elő a homogén fogyasztási jószágot, a K-vállalatok pedig munkaerő felhasználásával termelik a tőkejószágot. A technológia mindkét termelőszektorban lineáris: a munkatermelékenység mindkét szektorban konstans, a fogyasztási jószágot termelő szektorban pedig a tőke és a munka tökéletes kiegészítők.

A vállalatok és a háztartások is halmozhatnak fel pénzügyi vagyont betétek formájában, a vállalatok pedig a termelési költségek vagy a beruházás finanszírozásához hitelt vehetnek fel, amennyiben az adott időszaki kiadásaik fedezéséhez nincsen elég felhalmozott pénzügyi vagyonuk, vagyis betétük. A modellben nincsen készpénz, minden pénzügyi tranzakció a bankrendszeren keresztül kerül lebonyolításra. A modell egyelőre eltekint a bankok közötti versenytől, valamint a bankrendszer likviditási kérdéseitől, ezért egyszerűsítésként a jegybank mellett egyetlen kereskedelmi bank szerepel, a hitelezés ciklusokban betöltött szerepét azonban ezen keresztül is megfelelőképpen lehet vizsgálni. A bankot a tőkések egyenlő arányban tulajdonolják.

A modellben összességében 4 piac van: a fogyasztási jószág piaca, a tőkejószág piaca, a munkaerőpiac és a hitelpiac. A fogyasztási jószág piacán a vállalatok ugyanazt a terméket termelik, viszont eltérő áron értékesíthetik. A munkaerő homogén, és minden vállalat ugyanakkora bért fizet minden időszakban. A hitelpiacon a vállalatok kockázatosságuk függvényében megállapított kamatláb alapján kaphatnak hitelt, a kockázatosságuk pedig a felvehető hitel nagyságát is befolyásolja.

Adott időszak folyamán az alábbi sorrendben követik egymást az események:

1. A tervezett kibocsátás függvényében a vállalatok a munkaerőpiacon új álláshelyeket hirdetnek meg, amennyiben több munkaerőre lenne szükségük, mint az előző időszakban. Ellenkező esetben véletlenszerűen elbocsátanak annyi munkavállalót, amennyit az alacsonyabb termelés indokol.
2. Megnyílik a munkaerőpiac: a munkanélküliek meghatározott számú vállalatot keresnek fel véletlenszerűen, és az első olyan vállalat veszi fel őket, ahol még van betöltetlen állás. (Az új munkavállalók mindaddig az adott vállalatnál maradnak, amíg az el nem bocsátja őket.)
3. A bank a korábbi időszaki adatok alapján logisztikus regressziót becsül a hitelért folyamodó vállalatok csődvalószínűségére.
4. Amennyiben egy vállalatnak a munkabérek kifizetéséhez vagy a beruházás költségeihez a betétállományán kívül további forrásra van szüksége, hitelért folyamodik a bankhoz. A bank az adott vállalat kockázatosságának függvényében dönt az újonnan folyósított hitel kamatlábáról, valamint a folyósítható hitel nagyságáról.

5. Ha egy vállalat nem kapott elegendő hitelt, véletlenszerűen elbocsát a munkavállalói közül annyit, hogy a megmaradt munkavállalók bérét ki tudja fizetni. Megtörténik a termelés mindkét szektorban, és a vállalatok kifizetik az alkalmazottaik bérét. A termeléshez felhasznált tőke adott százaléka amortizálódik.
6. Megnyílik a tőkejóság piaca: a *C*-vállalatok meghatározott számú *K*-vállalatot keresnek fel véletlenszerűen, és addig vásárolnak tőlük, amíg el nem érik a tervezett beruházásuk nagyságát (vagy ameddig az egyes *K*-vállalatok készlete, illetve a *C*-vállalatok pénze el nem fogy). A tőkejóság tartós, ezért az el nem adott tőkejóság raktáron marad (és a következő időszakban ismét árulni fogják).
7. A háztartások döntenek az adott időszaki fogyasztási kiadásukról.
8. Megnyílik a fogyasztási jóság piaca: minden háztartás meghatározott számú vállalat árait látja, és mindig a legolcsóbb vállalattól vásárol egészen addig, amíg fogyasztási keretét ki nem meríti (és van még eladó termék az általa véletlenszerűen felkeresett vállalatoknál). Az el nem adott termékek megsemmisülnek.
9. A vállalatok kamatot fizetnek, és törlesztik a hiteleik megfelelő részét. Pozitív profit esetén osztalékot fizetnek a tulajdonosuknak.
10. A bank pozitív profit esetén osztalékot fizet a tőkéseknek.
11. A *C*-vállalatok üzembe helyezik az újonnan vásárolt tőkejavakat.
12. A csődbe ment vállalatok helyett tulajdonosaik újat hoznak létre saját megtakarításaikból.
13. A *C*- és *K*-vállalatok döntenek a következő időszakra vonatkozó tervezett termelés nagyságáról és a termékük áráról, valamint a *C*-vállalatok a tervezett beruházás nagyságáról is.

A fogyasztási jóságot termelő vállalatok az adott időszaki termelésről és árázáról való döntés során azt veszik számításba, hogy az utolsó időszakban a termékük ára hogyan viszonyult az átlagárhoz, valamint hogy a termékükből túlkereslet volt-e vagy túlkínálat. Egy vállalat adott időszakban vagy a tervezett termelés mértékén változtat vagy az árázason. Ha például egy vállalat az utolsó időszakban az átlagárnál magasabb áron értékesített, és mégis túlkereslet volt a terméke iránt, akkor a következő időszakban a túlkereslet mértékével arányosan tervezi növelni a kibocsátását, míg amennyiben túlkereslet volt a termékei iránt, miközben az átlagárnál alacsonyabban értékesített, akkor a vállalat nem a termelését tervezi növelni, hanem az árat. A *K*-vállalatok is hasonló logika alapján döntenek a termelésről és az árázásról.

A beruházásról való döntés során a vállalatok figyelembe veszik, hogy a termeléshez átlagosan mennyi tőkét kellett használniuk az elmúlt időszakok folyamán

(exponenciális súlyozással). A modellben szerepel egy hosszú távú tőkekihasználtsági mutató, és a vállalatok annyit ruháznak be, hogy az ennek megfelelő tőkekihasználtsággal tudjanak termelni. A tőkekihasználtsági mutató egynél kisebb, aminek köszönhetően a vállalatoknak rövid távon is van mozgásterük a termelés bővítésére.

Egy háztartás adott időszaki jövedelme vagy munkajövedelemből áll, vagy – tőkések esetén – a vállalatuktól (és a banktól) kapott osztalékból. Amikor a háztartások a fogyasztási kiadásukról döntenek, megbecsülik permanens jövedelmüket, a korábbi időszakok bevételeinek exponenciálisan súlyozott átlagaként. Fogyasztási kiadásuk permanens jövedelmükkel egyezik meg, valamint pénzügyi megtakarításuk egy bizonyos hányadával.

A háztartások és a vállalatok minden pénzügyi vagyonukat a kereskedelmi banknál vezetett számlán tartják. A bank a betétek után nem fizet kamatot, ellenben betétteremtéssel hitelt helyezhet ki, amiért a bank egyedi kamatot számít fel. A bank a *C*- és a *K*-vállalatok esetében a korábbi megfigyelések alapján a csődvalószínűsége egy-egy logisztikus regressziót ír fel az egyes vállalatok tőkeáttételének függvényében. Az így kapott logisztikus regresszió a csődbemenetel szélén álló vállalatok esetében (amelyeknél túl nagy a tőkeáttétel) a csőd valószínűségét szisztematikusan alulbecsli. A vállalatok minden évben vehetnek fel hitelt, és ezeket a hiteleket külön törlesztik, mindegyiket a felvételkor megszabott kamatláb alapján. Minden hitel esetén az egyes periódusokban az eredeti összeg egyre kisebb hányadát törlesztik. Amikor a hitel nyújtásakor a bank megszabja a kamatlábat, figyelembe veszi a törlesztés folyamán várható kamatbevételeket, valamint a várható tőkeveszteséget az említett logisztikus regresszió segítségével. A bankra nem vonatkozik tőke megfelelési előírás, hitelkínálatát azonban egy belső szabály korlátozza: egy vállalatnak adott időszakban maximum akkora új hitelt folyósít, hogy a logisztikus regresszió alapján becsült várható tőkeveszteség (nemteljesítés valószínűsége \times kihelyezett új hitel) ne haladja meg a bank tőkéjének egy meghatározott hányadát. A bank tőkeállományának növekedése tehát növeli a kihelyezhető hitelek nagyságát vállalatonként, míg a bank tőkeállományának csökkenése esetén egyre több vállalatot köthet a hitelkorlát.

A modell stock-flow-konzisztens, az egyes szereplők mérlegei közötti összefüggéseket az 1. táblázat tartalmazza. A mérlegmátrix alapján látható, hogy a modellben az egyes szereplők pénzügyi vagyona más szereplők adósságával párosul. Ezért az egyes ágensek mérlegében szereplő kezdeti mérlegadatokat is úgy kell megadni, hogy azok aggregált szinten összhangban legyenek egymással. Ezt követően, négy-szeres könyvelést alkalmazva biztosítható, hogy a mérlegösszefüggések aggregált szinten is teljesüljenek.

1. táblázat

A különböző típusú szereplők mérlegtételeit összesítő mérlegmátrix

Mérlegtétel	Háztartások	C-vállalatok	K-vállalatok	Bank	Jegybank	Összesen
Tőke		K				K
Készletek		Δ^C	Δ^K			Δ
Betétek	D^H	D^C	D^K	$-D$		0
Tartalékok				R^B	$-R^B$	0
Hitelek		$-L^C$	$-L^K$	L		0
Államkötvények					B	B
Saját tőke	$-E^H$	$-E^C$	$-E^K$	$-E^B$		$-(K + \Delta + B)$

Megjegyzés: A negatív értékek az egyes szereplők mérlegeinek forrás oldalát képezik, a pozitív értékek pedig az eszköz oldalt. K =fizikai tőke könyv szerinti értéken, Δ =készletek, D =betét, R =tartalék, L =hitel, B =államkötvény, E =saját tőke (háztartások esetén pénzügyi vagyon)

Forrás: Assenza et al. (2015)

A modellben rendszertelenül jelennek meg kismértékű oszcillációk a hosszú távú GDP körül, amit olykor jelentős mértékű visszaesés tör meg, lassú kilábalással. Az Egyesült Államok GDP-, beruházási, fogyasztási és munkanélküliségi idősorait összevetve a modell vonatkozó idősoraival az egyes változók HP-szűrővel szűrt ciklikus tagjaira hasonló szórásokat és autokorrelációkat kapunk (egyedül a beruházás szórása tér el jelentősebben, ami a modellben az empirikus értéknek kétszerese). Az egyes változók késleltetettjeinek GDP-vel vett korrelációi is az empiriához hasonló lefutást mutatnak.

A modell alapján a likviditás szektorok közötti áramlásának vizsgálatával könnyen meg lehet érteni a nagy válságok kirobbanását: a válság kirobbanása előtt a C-vállalatoknál a rendszerben lévő likviditás 30 százaléka található, míg a nagy válság alatt ez 5 százalékra csökken, miközben a K-vállalatoknál lévő likviditás 20 százalékról 60 százalékra nő. A felfutás alatt a C-vállalatok egyre többet ruháznak be, megnő a kereslet a tőkejőség iránt, aminek az ára is elkezd növekedni. Ezzel párhuzamosan a C-vállalatok likviditása, ahogyan növelik a beruházási kiadásait, leépül, ráadásul ehhez egyre több hitelt kell felvenniük. A C-vállalatok eladósodottságának növelésével kockázatok épülnek fel a szektorban, a bank egyre magasabb kamatok mellett ad hitelt, ráadásul a sérülékenység miatt egyre több vállalatnál korlátozza a kihelyezett hitel nagyságát. Ezáltal csökken az aggregált kereslet, ami a profitok csökkenésén keresztül növeli a vállalatok tőkeáttételét és a nemteljesítés valószínűségét, ezen keresztül pedig tovább csökkenti a banki hitelezést. Ez a mechanizmus tovább súlyosbítja a recessziót. A válság alatt végül elkezdődik a fogyasztási szektorban az adósságállomány leépülése, majd a C-vállalatok likviditásból való részesedése elkezd emelkedni, az egészségesebb szerkezetnek köszönhetően pedig a banki hitelezés is növekedni kezd.

4. Ingatlanár-buborékok és üzleti ciklusok

A EURACE-modell fejlesztését 2006-ban kezdték el az Európai Unió támogatásával, célja pedig eredetileg az egész Európai Uniót megjelenítő, ágensalapú modell létrehozása volt, nagyszámú ágenssel. Komplexitása és a szükséges nagy számítási kapacitás miatt a modell implementálásához a programozást külön erre a célra fejlesztett környezetben végzik, ami a FLAME nevet viseli (Flexible Large-scale Agent Modelling Environment). *Deissenberg és szerzőtársai (2008)* bemutatják a modell tervezett építőköveit. A végső modellben az összes tagállamot szerepeltetnék, a vállalatokat, háztartásokat, üzleteket és más egyéb ágenseket térben elosztva. Ezenkívül az EU-t nyitott gazdaságként tervezik vizsgálni, és az inputok között az energiát is számításba vennék. Az ágensek döntései akár napi szintű tevékenységeket is takarhatnak. A végső modell még nem készült el, ellenben több cikk is bemutatja a EURACE valamelyik modellverzióját (pl. *Cincotti et al. 2012, Raberto et al. 2012, Holcombe et al. 2013*).

Ebben a fejezetben az ICEACE nevű modellt ismertetjük (*Erlingsson et al. 2014*), ami sok egyszerűsítést tartalmaz a EURACE modellhez képest, másrészt azonban lakáspiacca és építőiparral bővíti azt. A modellben vizsgálják a jelzáloghitelezés hatását az ingatlanárakra, az ingatlanárak alakulása pedig közvetlenül hat a fogyasztásra, valamint az építőipari aktivitásra. Így összességében a modellben a jelzáloghitelezés és a reálgazdaság kapcsolatát vizsgálják, miközben a jelzáloghitelezéssel kapcsolatos pénzügyi stabilitási kérdéseket is elemzik.

A modellben termelők (fogyasztási jószágot termelő vállalatok, építőipari vállalatok), kereskedelmi bankok és háztartások szerepelnek, valamint egy tőkealap, egy központi bank és egy kormányzat. A vállalatok és a háztartások is vehetnek fel hitelt.

A fogyasztási jószágot termelő és az építőipari vállalatok is munkaerő segítségével termelnek, lineáris technológia alapján. Minden vállalatnak van fizikai tőkéje is, amelynek szintje állandó. A fogyasztási jószágot termelő vállalatok esetében ennek nincsen hatása a termelésre, a fizikai tőke értéke azonban hatással van a saját tőke nagyságára. Az építőipari cégek esetében a fizikai tőke nagysága felső korlátot ad a termelésnek. A cégek eladósodhatnak, de hitelt nem közvetlenül a termeléshez vesznek fel, hanem azért, hogy kellő likviditás híján osztalékot tudjanak fizetni, valamint hogy fedezni tudják a kamatkiadásukat. Az általuk felvett hitelek esetében nem törlesztenek, mindig csak a tőketartozás után járó kamatot fizetik ki.

A fogyasztási jószágot termelő vállalatok egységköltség alapján áraznak, az egységköltség azonban tartalmazza a kamatkiadásokat is. A saját egységköltségére minden fogyasztási jószágot termelő vállalat azonos felárat tesz. A vállalatok minden hónapban annyit próbálnak termelni, hogy a korábbi időszokról megmaradt készleteiket figyelembe véve a várható keresletet ki tudják elégíteni. A várható kereslet a korábbi időszak eladásaival egyezik meg, ha azonban nem maradt készletük,

akkor meghatározott arányban növelik a várható keresletet. A felesleges oszcillációk elkerülése érdekében a tervezett termelésen egy viszonylag egyszerű formula segítségével még korrigálnak.

A lakáspiacon homogén lakásegységek cserélnek gazdát, melyeket a háztartások vásárolják meg. Az eladók a háztartások, valamint az építőipari cégek. Az építőipari cégek havonta döntenek az új termelésről, egy egység elkészítése azonban 12 hónapot vesz igénybe. A termelési szabály igen egyszerű: növekvő lakásárak esetén az egyes vállalatok véletlenszerűen növelik a termelési szintjüket, ami a jelenlegi termelésük és a fizikai tőkéjük által meghatározott maximális termelési szint különbsége közötti véletlen egész szám, csökkenő lakásárak esetén pedig 1 és a jelenlegi termelési szintjük közötti véletlen egész szám. Növekvő lakásárak esetén tehát növekszik az egyéni és az aggregált termelés is, csökkenő lakásárak esetén pedig csökken. Az építőipari cégek az újonnan elkészült, valamint a már korábban elkészült, de még eladatlan egységeket viszik a piacra. A háztartások meghatározott valószínűséggel lesznek eladók egy adott hónapban (normál eladók), és ugyanekkora valószínűséggel lesznek vásárlók is. Ezenkívül a háztartásoknak akkor is piacra kell vinniük egy egységet (meg kell próbálniuk likvidálni), ha túl kockázatos adósokká váltak, ami abban az esetben áll fenn, ha a negyedéves hitelköltségük meghaladja az elmúlt negyedéves jövedelmük egy meghatározott százalékát. Az eladó háztartások is egy-egy egységet visznek piacra, és a vevők is egy-egy egységet vásárolnak egy adott hónapban. Az építőipari cégek és a véletlenszerűen választott eladó háztartások az egységeiket egyenletes eloszlásból származó felár mellett viszik a piacra, ahol a felárat az előző időszaki tranzakciók átlagára teszik rá. A likvidálásra kényszerített háztartások az előző időszaki tranzakciók átlagára alatti árat választanak egyenletes eloszlásból. A vásárlásra kiválasztott háztartások véletlenszerű sorrendben jönnek egymás után, és mindig a még eladó legolcsóbb egységet vásárolják meg. Amennyiben az adott vásárlónak nincsen elég likviditása, egy általa választott bankhoz fordul jelzáloghitelért. A hitelt akkor kapja meg, ha a jelenlegi hitelei és az új hitel törlesztőrészleteinek az összege nem haladja meg negyedéves jövedelmének egy meghatározott részét. A jelzáloghitelek változó kamatozása, de fix futamidejű hitelek.

A háztartások minden hónapban a buffer-stock-elmélet alapján határoznak a fogyasztási kiadásuk nagyságáról (*Carroll 2001, Deaton 1992*), amihez a törlesztőrészletekkel csökkentett negyedéves nettó jövedelmüket veszik alapul. A buffer-stock-elmélet alapján számított fogyasztást azonban korrigálják az ingatlanárak változásából fakadó vagyonhatással: vagyis az ingatlanárak növekedése esetén többet, az ingatlanárak csökkenése esetén kevesebbet fognak fogyasztani.

A bankok csak úgy hitelezhetnek, ha a saját tőkéjük meghaladja a kihelyezett hiteleik egy részét, vagyis a modellben van tőkemegfelelési előírás. Ha az egyes hitelezett vállalatok tőkéje relatíve túl alacsony, vagy ha egyes háztartások törlesztési terhe

relatíve túl magas, akkor az érintett hitelek megfelelő részét leírják a bankok, ami csökkenti a tőkét és így a hitelkínálatukat is.

A jegybank minden hónapban Taylor-szabály alapján dönt az alapkamatról. A kormányzat adót szed be és munkanélküli segélyt, valamint általános transzfert ad a háztartásoknak. Ezek mértékét időről-időre változtathatja, azonban nullszaldós egyenlegre törekszik.

A vállalatok és a bankok a tőkealapnak fizetnek osztalékot, és a tőkealap ezt egyrészt szétesztja a háztartások között, másrészt ebből nyújthat forrást olyan vállalatoknak, amelyek a kereskedelmi bankoktól nem kaptak hitelt, de még tőkeerősnek tekinthetők.

A modellben bizonyos események negyedéves, mások havi vagy heti frekvencián történnek. Egy negyedév eseményei két részre bonthatók: először a havi frekvenciájú események játszódnak le, majd ezt követően a negyedévet záró lépések következnek. Vagyis az események az alábbi sorrendben követik egymást:

- Havi frekvenciájú események (egy negyedéven belül háromszor egymás után):
 - a. A vállalatok (beleértve az építőipari vállalatokat is) döntenek a termelés adott havi tervezett szintjéről, az árákról, valamint meghatározzák a tervezett termeléshez szükséges munkaerő nagyságát.
 - b. A munkaerőpiacon az alábbi események követik egymást:
 - i. Azon vállalatok, amelyek növelni akarják a munkaerő-felhasználásukat, az általuk felkínált bért meghatározott százalékkal növelik. A hiányzó munkahelyekre állást kínálnak.
 - ii. Azon vállalatok, amelyek csökkenteni akarják a munkaerő-felhasználásukat, elbocsátják a megfelelő számú alkalmazottat (akik átmenetileg munkanélküliek lesznek).
 - iii. Minden alkalmazott meghatározott valószínűséggel elhagyhatja a munkahelyét, magasabb fizetés után nézve. Az így felszabaduló munkahelyekre szintén új állást kínálnak a vállalatok. Ezek a munkavállalók sorban a legjobban fizetett ajánlatokat fogadják el (ameddig még van állásajánlat).
 - iv. A munkanélküli háztartások sorban egymás után elfogadják a legjobban fizetett ajánlatokat (ameddig még van állásajánlat).

- c. A lakáspiacon az alábbi események követik egymást:
- i. Az építőipari cégek piacra viszik elkészült egységeiket, valamint a véletlenszerűen eladónak kiválasztott háztartások és a kényszerértékesítésre kötelezett háztartások egy-egy egységet a megfelelő áron piacra visznek.
 - ii. A véletlenszerűen választott vásárlók sorban egymás után az elérhető legolcsóbb egységet veszik meg, amennyiben van kellő likviditásuk, vagy fel tudnak venni jelzáloghitelt. Amennyiben az eladónak volt jelzáloghitel, a bevételből a tőketartozását csökkenti.
- d. A háztartások meghatározzák a havi fogyasztási kiadásuk nagyságát.
- e. A fogyasztási jószágot termelő vállalatok meghatározzák termékeik árát.
- f. A háztartások hetente fogyasztanak (négyszer egymás után): minden héten véletlenszerűen sorba rendezve őket, egymás után megpróbálják elkölteni havi fogyasztási kiadásuk megfelelő részét egy véletlenszerűen választott vállalatnál (amennyiben az adott vállalatnál van elegendő termék). Minél alacsonyabb egy vállalat termékének az ára, annál nagyobb valószínűséggel fogják a háztartások az adott vállalatot választani. Az el nem adott termékek készleten maradnak.
- g. A foglalkoztatott háztartások bért kapnak a munkáltató vállalatuktól és jövedelemadót fizetnek az államnak, a munkanélküliek munkanélküli segélyt kapnak az államtól. Minden háztartás azonos mértékű általános transzfert kap az államtól.
- h. Az alkalmazott munkaerő felhasználásával megtörténik a termelés: az elkészült fogyasztási javak készletre kerülnek, a megkezdett lakásegységek (megfelelő felhasznált munkaerő esetén) egy hónappal előrébb lévő állapotba kerülnek. Az elkészült termékek és egységek készletre kerülnek.
- i. A jegybank változtat az alapkamaton.
- Negyedév végi események:
 - a. A háztartások törlesztőrészletet fizetnek a bankoknak. A túl magas törlesztőrészlettel rendelkező háztartások hitelének megfelelő részét leírják. A bankok az alapkamat függvényében változtatnak a jelzálogkamatokon.
 - b. A vállalatok hitelért folyamodnak, amennyiben nincsen kellő likviditásuk az osztalék- és a kamatfizetéshez.
 - c. Amennyiben egy vállalat nem kapott kellő mennyiségű hitelt, csökkenti a szándékolt osztalékkifizetést, és a tőkealaphoz fordul tőkéért.

- d. Ha egy vállalat a tőkealaptól sem kaphatott forrást, illikviditási procedúrán megy keresztül, amely során tartozásának egy részét leírják. A negatív tőkével rendelkező vállalatok esetében a teljes hiteltartozást leírják, és helyettük új vállalatok lépnek a piacra.
- e. A vállalatok kamatot fizetnek a bankoknak, valamint a vállalatok és a bankok osztalékot fizetnek a tőkealapnak.
- f. A tőkealap osztalékot fizet a háztartásoknak, a háztartások adót fizetnek az osztalékjövedelem után.
- g. A kormányzat változtat az adók és a transzferek mértékén.

A modellben a háztartások csak akkor kaphatnak jelzáloghitelt, ha az új hitellel együtt a törlesztőrészek összege nem haladja meg jövedelmük meghatározott (β) részét. Magasabb β tehát kockázatosabb, míg alacsonyabb β óvatosabb banki hitelezést jelent. A modellt több β -érték mellett is lefuttatták, és a magasabb értékek magasabb lakásárakat és volatilisabb GDP-t eredményeztek. A modell kellően nagy β esetén endogén módon üzleti és lakásárciklusokat is generált, a magasabb β pedig magasabb kilengésekhez vezetett. Ennek hátterében a jelzáloghitelezésnek a lakáspiacra és a reálgazdaságra való visszacsatolása áll. Magasabb β esetén egyre több háztartás tud újabb és újabb lakásegységet venni a lakáspiacon, ami kezdetben minden időszakban egyre feljebb hajtja a lakásárakat. A lakásárak növekedése két módon is visszahat a reálgazdaságra: egyrészt az építőipari cégek az árak emelkedésének hatására többet építenek, és növelik a munkaerőkeresletüket és a kifizetett béreket, ami növeli a háztartások fogyasztását. Másrészt a lakásárak növekedése a vagyonhatáson keresztül is többletfogyasztásra ösztönzi a háztartásokat. A megnövekedett fogyasztás hatására az építőipar vállalatai mellett a fogyasztási szektor vállalatai is növelik a termelésüket. Minél lazábbak a hitelezési korlátok, kezdetben annál gyorsabb a GDP növekedése. A fellendülés alatt a lakásárak növekedésével párhuzamosan azonban a háztartások egyre inkább eladósodnak az egyre drágább lakásegységek megvásárlásával. A fellendülés alatt a központi bank is emeli az alapkamatot, ami tovább növeli a háztartások törlesztési terheit. Mivel a háztartások a törlesztőrészlettel csökkentett nettó negyedéves jövedelmük alapján fogyasztanak, egy idő után a gazdasági növekedés és a vagyonhatás már nem tudja ellensúlyozni a törlesztőrészek emelkedésének fogyasztásra gyakorolt negatív hatását. Ráadásul bizonyos háztartások esetében az alapkamat növekedésével oly mértékűvé válhat a törlesztőrészlet, hogy kényszerértékesíteniük kell egy-egy háztartási egységet, vagy nemteljesítővé is válhatnak, főként, ha munkanélküliek lesznek. A kényszerértékesítések hatására a lakásárak elkezdnek csökkenni, ami az építőipari tevékenység és a vagyonhatás csökkenésén keresztül mélyíti a recessziót. Az első recesszió főként a háztartások nemteljesítővé válásával jár együtt, a vállalatokat ez kevésbé jellemzi, ugyanakkor a vállalatok tőkéje csökken. A második ciklus során

a meggyengült vállalatok erősítik fel a ciklust: az első recessziót követően a lakásárak normalizálódásával és a háztartások eladósodottságának csökkenésével ismét kezdetét veheti egy újabb növekedési szakasz, azonban a modellben a vállalatok alacsonyabb tőkével indulnak neki a második ciklusnak. Amikor ismét recesszióba fordul a gazdaság, akkor a háztartások mellett a vállalatok is nagyobb mértékben válnak nemteljesítővé, ami a bankrendszer tőkéjének nagyobb mértékű csökkenésén keresztül tovább erodálja a kereskedelmi bankok hitelezési képességét és még tovább mélyíti a recessziót.

A modell jól rámutat a jelzáloghitelezés és a reálgazdaság közötti visszacsatolásokra, ugyanakkor a lakáspiac modellezése sok súrlódástól eltekint, azzal a feltevéssel, hogy a háztartások egy-egy egységgel növelik vagy csökkentik a lakásvagyonukat. Léteznek azonban olyan ágensalapú lakáspiaci modellek, amelyben teljes ingatlanok cserélnek gazdát. *Axtell és szerzőtársai (2014)* Washington, D.C. lakáspiacát modellezi a ténylegesen megfigyelt tranzakciók alapján, és modelljük szintén a lakásárak ciklikus változását eredményezi. *Baptista et al. (2016)* részegységek helyett szintén teljes lakások adásvételét modellezi. Megkülönböztetnek befektetési célú lakásvásárlást, és modelljükben a befektetők jelenléte felnagyítja a lakásárciklusokat. *Mérő és Vágó (2018)* magyar adatokra épített keresletvezérelt lakáspiaci modellt, melyben a lakásárciklusok generálása mellett megvizsgálták a lakáshitelezést szabályozó makroprudenciális eszközök hatását. Mindhárom modell mikroadatbázisokból kiindulva generál háztartásokat és/vagy lakásokat. Bár utóbbi modellek realisztikusabb feltevésekkel élnek a lakáspiacca kapcsolatban, egyelőre hiányzik belőlük a reálgazdasági visszacsatolás.

5. Hitelciklusok és anticiklikus tőkepuffer

Dosi et al. (2015) egy olyan ágensalapú modellt mutat be, amelyben a kereslet keynesi, a technológiai fejlődés pedig schumpeteri alapokon nyugszik, és amiben fiskális és monetáris politikai döntések hatását is elemezni tudják. *Dosi et al. (2006)* mutatja be az első modellváltozatot, amelyben már endogén módon alakulnak ki az üzleti ciklusok. Ezt a modellt több lépcsőben bővítették (*Dosi et al. 2008, 2010, 2013*).¹ *Hosszú és Mérő (2017)* a 2015-ben publikált változatot vette alapul egy olyan modell kidolgozásához, amelyben képesek voltak a gazdasági ciklusoknál hosszabb hitelezési ciklusokat generálni, ahogyan az az empiriában is megfigyelhető (*Drehmann et al. 2012*). A modell néhány feltevésén egyszerűsítettek, a hitelezést azonban komplexebbé tették. A bankrendszer részletezettsége és a hitelciklusok generálása miatt a továbbiakban ezt a változatot mutatom be.

¹ A modell további változataival kapcsolatban ld. pl. *Dosi et al. (2017a, 2017b)*.

A modellben (a többi bemutatott modellhez hasonlóan) egy fogyasztási jószág van, amit heterogén vállalatok termelnek, és eltérő áron értékesíthetnek. A fogyasztási jószágot munka és fizikai tőke segítségével állítják elő. A tőkét a tőkejószágot termelő heterogén vállalatok állítják elő munkaerő felhasználásával, és különböző termelékenységű tőkét tudnak előállítani az egyes időszakokban. A háztartások a fogyasztási és a tőkejószágot termelő vállalatoknak kínálják fel a homogén munkaerejüket, és fogyasztanak. A fogyasztási jószágot termelő vállalatok a kereskedelmi bankoktól vehetnek fel rövid és hosszú lejáratú kölcsönt, a kereskedelmi bankokat ugyanakkor egy bank reprezentálja, tekintve, hogy a modell nem az egyes bankok sérülékenységét, illetve a bankok közötti versenyt vizsgálja. A modell a piaci szereplőkön kívül három hatóságot tartalmaz: központi bankot, kormányzatot és makroprudenciális hatóságot. A központi bank végső hitelezőként lép fel, az alapkamatot azonban változatlan szinten tartja. A kormányzat adót szed be és munkanélküli segítyt ad a munkanélküli háztartásoknak, valamint csőd esetén kiegészít a kereskedelmi bankot. A makroprudenciális hatóság az anticiklikus tőkepufferráta mértékét határozza meg minden időszakban. A monetáris politika és a fiskális politika exogén, a modell a makroprudenciális politika vizsgálatára helyezi a hangsúlyt, amit annak köszönhetően tud vizsgálni, hogy a modell kellő hosszúságú (akár 20–25 éves) hitelciklusokat generál (vö. *Schüler et al. 2015*).

A modellben a másik két ismertett modellhez hasonlóan nincsen készpénz, a vállalatok és a háztartások is betétben tartják a pénzüket a kereskedelmi banknál, az állam számláját pedig a központi bank vezeti. Az állam eladósodása esetén a központi bank és a kereskedelmi bank is tarthat államkötvényt.

A fogyasztási jószágot termelő vállalatok tőke és munkaerő segítségével termelnek. Minden egységnyi tőke egy egységnyi fogyasztási jószág előállítását teszi lehetővé, vagyis a tőkeállomány megadja a fogyasztási jószágot termelő vállalat kapacitását. Az egyes tőkejószágok azonban különböző termelékenységek lehetnek, ami azt mutatja meg, hogy hány egységnyi munkaerőre van szükség ahhoz, hogy az adott tőkével megtermeljék a fogyasztási jószágot. A fogyasztási jószágot termelő vállalat mindig ugyanattól a tőkejószágot termelő vállalatól vásárol tőkét, a vele kapcsolatban álló vállalat azonban egyre nagyobb termelékenységű tőkét kínálhat fel a különböző időszakokban.

A vállalatok termelési döntése a korábbi időszakok keresletétől függ. Ez alapján számszerűsítik az adott időszaki keresletre vonatkozó várakozásukat, és annyit próbálnak termelni, hogy a várt keresleten felül bizonyos mértékű többlettel rendelkezzenek (az el nem adott készletek azonban nem vihetők át a következő időszakra). Ha az adott időszaki tervezett termelési szintet a tőkeállományuk szűkössége miatt nem tudják megvalósítani, akkor bővítési beruházási igénnyel lépnek fel. A bővítési beruházási kereslet mellett azonban lehetőségük van hatékonyságnövelő beruházásra is, ami a kevésbé hatékony tőkeállomány lecserélését jelenti, és így az egységköltségük

fog csökkenni. A hatékonyságnövelési beruházás mértéke egyszerű szabály alapján határozódik meg: tőkeállományuk azon részét próbálják meg lecserélni a számukra az adott időszakban elérhető tőkére, amely esetében az egységköltségen való megtakarítás meghatározott időszakon belül megtérül.

A munkaerő homogén, a munkabér pedig makroszinten határozódik meg, így minden vállalat ugyanakkora bért fizet. A fogyasztási szektor vállalatainak a bért és a beruházási költségeket azelőtt kell megfizetniük, mielőtt az adott időszaki termelésből bevételt realizálnak. A tervezett termelés, valamint beruházás alapján a fogyasztási szektor vállalatai számszerűsítik az adott időszakra vonatkozó kiadásaikat, és amennyiben ezek fedezéséhez nem rendelkeznek elég betéttel, a bankhoz fordulnak hitelért: a munkaerőköltségek fedezéséhez rövid lejáratú forgóeszközhitelt, a beruházások fedezéséhez pedig hosszú lejáratú beruházási hitelt igényelnek.

A tőkejóságot termelő vállalatok a rendeléssel együtt megkapják a tőkejóság árát, így nekik likviditási kérdéseik nincsenek, nem vesznek fel hitelt. A tőkeszektor minden vállalatának technológiáját kismértékű idioszinkratikus pozitív sokk éri, aminek következtében eltérő mértékben javul az általuk megtermelt tőke hatékonysága. A vállalatok ugyanakkor valamikor valószínűséggel lemásolhatják egy másik, véletlenszerűen választott vállalat technológiáját. Az idioszinkratikus sokkon kívül a gazdaságot alacsony valószínűséggel nagyobb mértékű exogén sokk is érheti, ami egy véletlenszerűen választott vállalat technológiáját javítja. A tanulásnak (másolásnak) köszönhetően azonban ez a technológia lassan elterjed a gazdaságban.

A háztartások négyféleképpen tehetnek szert jövedelemre: elsődleges jövedelmük a munkabér, de ők a vállalatok és a kereskedelmi bank tulajdonosai is, ezért a vállalatok és a bank nyeresége után osztalékjövédelmet kaphatnak. Munkanélküliség esetén munkanélküli segílyt kapnak az államtól, illetve megtakarításaik után (ami a banknál elhelyezett betűtüket jelenti) a bank kamatot ír jóvá nekik. A háztartások minden időszakban permanens jövedelmük egy bizonyos részét fordítják fogyasztásra, permanens jövedelmüket pedig a korábbi időszakok jövedelmének exponenciálisan súlyozott átlagaként határozzák meg (figyelembe véve a felsorolt jövedelemforrásokat). A fogyasztási kiadásokat a piaci részesedések arányában osztják szét az egyes vállalatok között. A vállalatok piaci részesedése függ az általuk termelt jóság relatív árától, valamint a korábbi piaci részesedéstől is. Az előbbi feltétel a versenyt segíti elő, míg az utóbbi ragadóságot visz a rendszerbe.

A fogyasztási jóságot termelő vállalatok kiszámítják, hogy átlagosan mekkora munkaerőköltséggel tudják előállítani a terméket, és erre tesznek valamikor változó nagyságú felárat. Ha egy vállalat a hatékonyságnövelő beruházásai következtében jelentősen tudta csökkenteni az egységköltséget, akkor magasabb felárat alkalmaz, de úgy, hogy a termékének az ára versenyképes maradjon. Ez a magasabb felár autoregresszív folyamat során csökken. A termelékenységnövekedés ennek

köszönhetően eleinte növeli az egyes vállalatok profitabilitását, majd az árrés csökkenésével átgűrűzik a reálbérekbe.

A kereskedelmi bank hitelezési tevékenységét a tőke megfelelési előírás szabályozza, a tőke megfelelési előírás pedig az anticiklikus tőkepufferráta mértékét is tartalmazza. A makroprudenciális hatóság a Bázel-III követelményekkel összhangban határozza meg az adott időszakra vonatkozó anticiklikus tőkepufferráta (CCB_t) értékét, mégpedig expanzió esetén az előző időszaki hitelrés (GAP_{t-1}) alapján:

$$CCB_t = \begin{cases} 0\%, & \text{ha } GAP_{t-1} \leq 2\% \\ 2,5 * (GAP_{t-1} - 2\%) / 8\%, & \text{ha } 2\% < GAP_{t-1} \leq 10\% \\ 2,5\%, & \text{ha } 10\% < GAP_{t-1} \end{cases} \quad (1)$$

A tőkepuffert akkor oldja fel a makroprudenciális hatóság, ha a GDP-arányos hitelállományban legalább 5 százalékpontos csökkenést tapasztalnak (a GDP trendjéhez viszonyítva).

A kereskedelmi bank a bevételarányos nyereség alapján rangsorolja a vállalatokat, és ezen rangsor szerint teljesíti a hitelkérelmeket, ameddig a saját tőkéje azt lehetővé teszi. Először azonban a forgóeszközhitelket folyósítja, és csak akkor tér át a beruházási hitelek folyósítására, ha minden vállalat forgóeszközhitel-igényét kielégítette. Ennek köszönhetően a hitelkínálat szűkössege esetén a beruházási hitelek volumene csökken először, ami nagyobb volatilitást eredményez a beruházásokban. A vállalatok minden időszak végén kamatostul fizetik vissza a felvett forgóeszközhitelket, a beruházási hitelek esetében azonban csak a fennálló tartozás meghatározott százalékat törlesztik. Ha azonban egy vállalat hitelállománya meghaladja a termelési költségeinek egy bizonyos hányadát, vagy ha túl nagy arányú a hitelállományának a növekedése, akkor likviditásának függvényében valamekkora összeget előtörleszt.

A modellben minden periódus egy negyedévnek felel meg. Az átláthatóság érdekében ennél a modellenél is közöljük, hogy egy periódus eseményei milyen sorrendben követik egymást, ami a modell egy-két további részletére is rávilágít:²

1. Adott időszakra érvényes nominális bérek meghatározása. A makroprudenciális hatóság meghatározza az anticiklikus tőkepufferráta nagyságát.
2. A fogyasztási szektor vállalatai meghatározzák az áraikat.
3. A tőkeszektor vállalatainak technológiáját idioszinkratikus sokk éri, a tőkeszektor vállalatai meghatározzák az általuk termelt tőke árát, és elküldik az árat és a tőkejóságuk technológiai tulajdonságát a velük kapcsolatban lévő fogyasztási vállalatoknak.

² A felsorolást szó szerint vettük át az eredeti cikkből.

4. A bank meghatározza a még kihelyezhető hitel mennyiségét, és rangsorolja a vállalatokat hitelképesség (jövedelmezőség) szerint.
5. A fogyasztási szektor vállalatai meghatározzák, hogy az adott időszakban mennyit termeljenek és mennyit ruházzanak be kapacitásnövelési, valamint lecserélési (termelékenységnövelési) céllal. A termeléshez és a beruházáshoz szükséges pénzmennyiség és a vállalati betétek függvényében a vállalatok elküldik hitelkérelmüket a banknak.
6. A bank hitelt nyújt a vállalatoknak, figyelembe véve a banki hitelkorlátot. A hitelnyújtást a vállalati rangsor alapján végzi: először az adott időszaki termeléshez szükséges forgóeszközhitelt folyósítja a vállalatoknak, majd ismét a rangsor alapján a beruházási hitellel folytatja.
7. Termelés: amennyiben a fogyasztási szektor vállalatai az általuk kérvényezett hitelösszegnek csak egy részét kapták meg, akkor először a kitűzött termelési szintet próbálják elérni, és csak az ezen felül maradó likvid forrásból kívánnak beruházni, a beruházási szándékukat pedig elküldik a velük kapcsolatban álló tőkeszektorbeli vállalatnak. A tőkeszektor és a fogyasztási szektor vállalatai is felveszik a szükséges munkaerőt, bért fizetnek, a megtermelt termékek pedig raktárkészletre kerülnek. A termelést követően a fogyasztási vállalatok tőkéjének egy része amortizálódik. Az állam munkanélküli-segélyt fizet a munkanélkülieknek.
8. Fogyasztás: kialakul a fogyasztási szektor vállalatainak piaci részesedése, a háztartások pedig meghatározzák fogyasztási kiadásuk nagyságát. Az egyes háztartások fogyasztási kiadásukat a piaci részesedés alapján osztják szét az egyes vállalatok között, túlkereslet esetén azonban a piaci részesedést figyelmen kívül hagyva a még felesleggel rendelkező vállalatoktól is vásárolhatnak. A vállalatok megvásárolják a tőkejavakat, üzembe helyezik azokat, a szükséges mennyiséget pedig lecserélik.
9. Időszak végi pénzáramlások:
 - a. a vállalatok adót fizetnek az államnak; kamatfizetések meghatározott sorrendben: a vállalatok kamatot fizetnek az előző időszaki záró hitelállományuk, valamint az adott időszaki forgóeszközhitelük után; a bank kamatot kap az előző időszaki záró államkötvény-állománya után; a bank kamatot fizet az előző időszaki záró betétállománya után, valamint az előző időszak végi jegybanki hitele után (ha volt);
 - b. a vállalatok megpróbálják visszafizetni a forgóeszközhitelüket, végül a beruházási hitelek előző időszaki záróállományának egy részét is törlesztik;
 - c. az állam kimenti a bankot, ha az túl kevés saját tőkével rendelkezik, és nem felel meg a szabályozói előírásoknak;

- d. a vállalatok osztalékot fizetnek a háztartásoknak;
- e. a bank adót fizet az államnak, majd osztalékot a háztartásoknak;
- f. az időszak végén rögzítjük az egyes szereplők tartozásait és az adott időszaki kamatlábak függvényében azt, hogy a következő időszak folyamán milyen kamatfizetési kötelezettségeik lesznek.

A modellben a gazdasági ciklusok a kis valószínűségű, de nagymértékű exogén technológiai sokknak köszönhetően alakulnak ki, aminek hatására a GDP-növekedés üteme középtávon nő. A termelékenység-növekedés egy vállalattól indul, de a technológia másolásának következtében szétterjed a gazdaságban, aminek hatására egyre több vállalat cseréli le a tőkeállományának egy részét hatékonyabb tőkére. A technológia terjedésének köszönhető a termelékenység-növekedés perzisztenciája. A megnövekedett beruházási igény csökkenti a munkanélküliséget és növeli a fogyasztást, aminek hatására a vállalatok a hatékonyságnövelő beruházás mellett kapacitásbővítő beruházásokat is végrehajtanak, ami tovább növeli a GDP-növekedés kilengését. A beruházások csökkenésével a GDP növekedési üteme is elkezdi csökkenni.

A gazdasági expanzió során a magasabb beruházáshoz a vállalatoknak több hitelt kell felvenniük, aminek következtében a hosszú lejáratú hitelállomány nő. A GDP-növekedés csökkenése során azonban a hitelállomány csak lassan kezd el leépülni, így egy következő gazdasági ciklus esetén a vállalatok nagyobb eladósodottság mellett növelik a beruházásaikat, ami tovább növeli a hitelállományt. Ennek köszönhető, hogy a hitelciklusok hosszabbak lehetnek a gazdasági ciklusoknál. Az újabb felledülés során a magasabb hitelállomány magasabb törlesztési terhet ró a vállalatokra. A törlesztési terhet azonban nem tudja minden vállalat ugyanolyan könnyen kigazdálkodni. A hiteltörlesztés jellemzően azoknak a vállalatoknak okoz kevesebb nehézséget, melyek a gazdasági ciklusok elején kezdenek hatékonyságnövelő beruházásba (innovátorok). Ők a többi vállalatnál alacsonyabb költségek mellett tudnak termelni, ezért profitabilitásuk nő, amiből ki tudják gazdálkodni a magasabb törlesztési terheket. Az alacsonyabb termelési költségek következtében az innovátorok piaci részesedése nő, ahogyan az árrésüket csökkentik. A később beruházó vállalatok (követők) a hatékonyságnövelő beruházással inkább azt érik el, hogy piaci részesedésük ne csökkenjen. Mivel az innovátoroknál nem lesznek hatékonyabbak, profitabilitásuk alacsonyabb lesz, mint az innovátorok esetében. Ennek következtében nehezebben tudják kigazdálkodni a törlesztési terhet, illetve lassabban törlesztik a hosszú távú hiteleiket. A gyengébb technológiával rendelkező vállalatok, illetve azok a követők, akik eleve jobban el voltak adósodva, idővel csődbe mehetnek, különösen akkor, amikor a GDP-növekedés elkezdi lassulni. A kereskedelmi bank tőkéje ennek hatására csökken, ami a hitelkínálat csökkenéséhez vezet, így pedig kevesebb vállalat jut beruházási hitelhez, ami csökkenti az aggregált keresletet, és újabb vállalatok

csődjéhez vezet. A modellben zárt gazdaság szerepel, aminek következtében a hitelkorlát még nagyobb GDP-visszaesést eredményezhet: míg nyitott gazdaságban a hitelkorlát egy része az importkeresletet csökkenti, addig zárt gazdaságban a hitelkorlát teljes egészében a hazai aggregált kereslet csökkenésében csapódik le.

A modellben két dolog tompíthatja a recessziót. Egyrészt a kormányzat kimentheti a kereskedelmi bankot, amikor az túl kevés saját tőkével rendelkezik, és így kisebb mértékben fog csökkenni a hitelkínálat. Másrészt az anticiklikus tőkepuffer szintén mérsékeli a hitelkínálat csökkenését a recesszió során, a felszabadított tőkepuffer ugyanis újabb hitelkihelyezéseket tesz lehetővé. A modellszimulációk során az anticiklikus tőkepuffer enyhén alacsonyabb átlagos GDP-növekedést eredményez: egyrészt hamarabb kötheti a hitelezési tevékenységet a tőkemegfelelési mutató, másrészt a magasabb tőkeelőírás miatt a bank kevesebb osztalékot fizet, ami a háztartások alacsonyabb fogyasztásán keresztül csökkenti az aggregált keresletet. Az anticiklikus tőkepuffer alkalmazása esetén ugyanakkor a recessziók is kisebb mértékűek, vagyis a bankrendszer stabilitásának növelése mellett a GDP ciklikus ingadozását is csökkenti a vizsgált makroprudenciális eszköz.

6. Reflexió a modellekre a tapasztalatok fényében

Az ágensalapú modellek igen sokfélék lehetnek, bár néhány közös vonás – mint például a hitelnyújtással történő betéttörlesztés és a stock-flow-konzisztencia – kezd bevett gyakorlattá válni. Azonban minden modellnek megvan a saját világa, amit elsőre nehéz átlátni. A DSGE-modellek felírásakor sok esetben csak az a kérdés, hogy az épp vizsgált problémát milyen egyenlet segítségével jelenítik meg a szerzők, de a gondolkodási keret lényegében egységes, emiatt könnyebben átláthatók a modellek. A mechanizmusokat sok esetben az olvasó is magától felismeri, amikor látja a modell felépítését. Az ágensalapú modelleknél a teljes és biztos megértés érdekében azonban meglehetősen részletesen kellene leírni a modell mechanizmusait. Nem elég csak a szabályokat leírni, mert az olvasóknak még nem feltétlenül van akkora gyakorlatuk, hogy a szabályrendszer a fejükben koherens egészzé álljon össze. *Delli Gatti és szerzőtársai (2011)* könyvet jelentettek meg a modelljükéről, ami lehetővé tette, hogy részletesen írják le a modellt, közben sok utalást téve a mechanizmusokra. A folyóiratokban lévő publikációk esetében azonban igen fáradságos munkát igényelhet az olvasó részéről, hogy pontosan értse a modell működését.

Nagy előnye az ágensalapú modelleknek, hogy az alkalmazott döntési szabályok megalkotásakor viszonylag könnyen képesek beépíteni az empirikus megfigyeléseket, de vigyázni kell arra, hogy a sok alkalmazott szabály a modell egészének szintjén is kezelhető maradjon. Mivel nem kell arra figyelni, hogy a modell egésze analitikusan kezelhető maradjon, az ágensalapú modellezők esetében nagy a kísértés, hogy egyszerre mindenféle valósághoz közelinek tűnő szabályt beletegyenek

a modellbe. Emiatt a modell igen gyorsan átláthatatlanná válhat: bár a modellezőnek lehet elképzelése arról, hogy egy-egy szabály alapján véve milyen eredményeket fog szülni, az egyes szabályok interakcióját részletesen meg kell érteni. A EURACE-modell bővítései kapcsán sokszor előfordul, hogy annyi feltevést tesznek bele egyszerre, hogy a gazdaság hatalmas kilengéseket képes produkálni akár rövid idő alatt is. Ugyan az eredményeket nem kell levezetni, minden szabály esetében pontosan át kell gondolni néhány példa segítségével, hogy az milyen dinamikát vihet a rendszerbe, és miért. Ha megértjük a folyamatokat, az segíthet a szabályok megfelelő módosításában és kiegészítésében is. *Delli Gatti et al. (2011)* és *Dosi et al. (2015)* egyébként kevesebb feltevéssel él, mint a EURACE-modell, és alapján véve valószínűbb eredményeket is ad a vizsgált változók esetében.

Az ágensalapú modellekben fontos a szabályok megalkotásakor a simítás (például, hogy a hirtelen megugró keresletet ne akarja egy vállalat teljes egészében kielégíteni). Amennyiben nem alkalmazunk simítást, néhány folyamat képes egyre nagyobb kilengéseket eredményezni. Ugyanakkor arra is kell figyelni, hogy a modellbe legyenek valamilyen mértékben automatikus stabilizátorok beépítve, amelyek valahogyan vissza tudják húzni a gazdaságot a nagyon szélsőséges értékektől. Míg a DSGE-modellekben a racionális várakozások a modellt nem engedik elszállni, az ágensalapú modellek esetén könnyű úgy megalkotni egy modellt, hogy a gazdaság idővel vagy felrobbanjon, vagy eltűnjön. *Hosszú és Mérő (2017)* modelljében például a nem megfelelően megválasztott munkanélküli segély esetén bármelyik véglet bekövetkezhetne, amennyiben a kormányzat eladósodásának nem szabnak gátat. Ha túl nagy a munkanélküli segély, akkor túl nagy lehet az aggregált kereslet, túl alacsony munkanélküli segély mellett pedig az aggregált kereslet fokozatosan akár el is halhat. Alacsonyabb munkanélküli segélyek mellett ez utóbbi mechanizmus *Dosi et al. (2015)* modelljében még gyakrabban előfordulhat: a fogyasztók nem kapnak osztalékot, így azonban munkajövedelmük összességében alacsonyabb lesz, mint a bérköltségen felül felárral értékesített termékek összértéke, aminek következtében a fogyasztók más jövedelemforrás híján egyre kevesebbet tudnának csak fogyasztani.

Ami az ágensalapú modellek által reprodukált stilizált tényeket illeti, a modellek azokat az eredményeket emelik ki, amelyek legalább kvalitatíve megvannak, arról azonban értelemszerűen nem esik szó, hogy mennyi mindenben kellene a valósághoz közelebbi eredményeket kapni. *Assenza et al. (2015)* például utal rá, hogy a különböző makrováltozók szórásai és autokorrelációi, valamint a GDP és a többi makrováltozó késleltetettjei közötti korrelációk mennyire hasonlítanak az empirikus értékekre, a modellben keletkezett endogén recesszió azonban túlságosan elnyújtott.

Az ágensalapú modellek gyakran hivatkoznak arra, hogy endogén módon alakulnak ki bennük a ciklusok. *Delli Gatti et al. (2011)* modelljében 100 vállalat van,

és megjegyzik, hogy az endogén ciklust a vállalatokat érő idioszinkratikus sokkok okozhatják szemben a DSGE-modellek exogén termelékenységi sokkjával. A vállalatok mérete ugyanakkor balra ferde eloszlás szerint alakul, és (endogén módon) kialakul néhány relatíve nagy méretű vállalat. Ha azonban az idioszinkratikus sokk valamelyik nagyvállalatot érinti, ami a termelésnek jelentős hányadát adja, akkor ez a sokk nem feltétlenül áll távol egy exogén aggregált sokktól. A recesszió kialakulásához ugyanakkor a sérülékenységek továbbra is endogén módon épülnek fel.

Az ágensalapú modellek fejlesztése igen nagy kihívás elé állítja a fejlesztőket: analitikus levezetések helyett rengeteg szabály közvetlen hatását és kölcsönhatását kell kielemezni, és a kalibráció is sok esetben fáradságos munkát vesz igénybe, finomhangolni kell az egyes szabályokban szereplő paraméterek értékét, különben könnyen kapunk a valóságtól elrugaszkodott dinamikákat.

Az ágensalapú modellek igen számításigényesek lehetnek. *Assenza et al. (2015)*, valamint *Hosszú és Mérő (2017)* esetében még viszonylag kevés a szereplő: az alkalmazott bonyolultsági szintnél néhány száz ágens döntéseit végigszámolni nem számításigényes. Amikor azonban néhány nagyságrenddel változik az ágensek száma (amit a EURACE tűzött ki célul), egy-egy modell futtatása sok ideig is eltarthat. Ez a fejlesztés és a kalibráció során is problémákat okozhat. A fejlesztés során nagyon sokszor kell lefuttatni a kódokat a folyamatok megértése, a sok szabály kipróbálása és a hibakeresés miatt egyaránt. A kalibráció során a helyes paraméterek megtalálásához szintén sok futtatás szükséges. A bankrendszer megfelelő modellezéséhez pedig az ágensek számát növelni kell: például minden időszakban kellő megfigyelés kell a csődbe ment vállalatokat illetően, ha ugyanis átlagosan csak néhány vállalat mehet csődbe egy időszak folyamán, akkor a hitelezési veszteségek túl nagy volatilitást mutathatnak. Ha a makromodellt lakáspiaccal is szeretnénk bővíteni, akkor ahhoz, hogy minden időszakban legyen kellő számú tranzakció, szintén sok háztartást kell szerepeltetni.

7. Összegzés

A válság hatására egyre több közgazdász kezdett el ágensalapú modelleket fejleszteni a főáramú modellek helyett. Ezekben a modellekben jelenleg könnyebb a reálgazdaságra, a lakáspiaccra és a hitelezésre vonatkozó súrlódásokat egyszerűen szerepeltetni. Az ágensalapú modellek egyre inkább próbálják beépíteni a viselkedési közgazdaságtani eredményeket az alkalmazott feltevések során, hogy minél realiztikusabbá tegyék a modellezést. A bankrendszert is úgy jelenítik meg, hogy a betétek a hitelezéssel együtt jönnek létre. A hitelezésben jelen lévő kockázatok vizsgálata során fontos szempont az adósok heterogenitásának figyelembevétele, ha pedig a heterogenitást mikroadatbázisok alapján építik be a modellbe, azzal a valós veszteségeket is megalapozottabban lehet számszerűsíteni. Ezen tulajdonságaiknak

közönhetően egyre több ágensalapú makromodellt fejlesztenek egyre szofisztikáltabb pénzügyi közvetítőrendszerrel és/vagy lakáspiaccal kiegészítve. Sok modell egyelőre néhány kvalitatív jellemzőt ad vissza, más modelleket ugyanakkor már sikerült több kvantitatív összefüggésre is kalibrálni. Idővel ezek a modellek alkalmasak válhatnak arra, hogy szabályozói döntésekhez szolgáltatassanak megalapozott szimulációkat.

Felhasznált irodalom

- Alpanda, S. – Cateau, G. – Meh, C. (2018): *A policy model to analyze macroprudential regulations and monetary policy*. Canadian Journal of Economics, 51(3): 828–863. <https://doi.org/10.1111/caje.12339>
- Ashraf, Q. – Gershman, B. – Howitt, P. (2017): *Banks, market organization, and macroeconomic performance: An agent-based computational analysis*. Journal of Economic Behaviour & Organization, 135(March): 143–180. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2016.12.023>
- Assenza, T. – Delli Gatti, D. – Grazzini, J. (2015): *Emergent dynamics of a macroeconomic agent based model with capital and credit*. Journal of Economic Dynamics & Control, 50(January): 5–28. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2014.07.001>
- Axtell, R. – Farmer, D. – Geanakoplos, J. – Howitt, P. – Carrella, E. – Conlee, B. – Goldstein, J. – Hendrey, M. – Kalikman, P. – Masad, D. – Palmer, N. – Yang, C.-Y. (2014): *An Agent-Based Model of the Housing Market Bubble in Metropolitan Washington, D. C.* Deutsche Bundesbank's Spring Conference on „Housing markets and the macroeconomy: Challenges for monetary policy and Financial stability”.
- Baptista, R. – Farmer, J.D. – Hinterschweiger, M. – Low, K. – Tang, D. – Uluc, A. (2016): *Macroprudential policy in an agent-based model of the UK housing market*. Bank of England Staff Working Paper, 619. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2850414>
- Benes, J. – Kumhof, M. – Laxton, D. (2014): *Financial Crises in DSGE Models: A Prototype Model*. IMF Working Papers 14/57. <https://doi.org/10.5089/9781475540895.001>
- Békési, L. – Köber, Cs. – Kucsera, H. – Várnai, T. – Világi, B. (2016): *The macroeconomic forecasting model of the MNB*. MNB Working Papers 2016/4.
- Caiani, A. – Godin, A. – Caverzasi, E. – Gallegati, M. (2016): *Agent based-stock flow consistent macroeconomics: Towards a benchmark model*. Journal of Economic Dynamics & Control, 69(August): 375–408. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2016.06.001>

- Carroll, C.D. (2001): *A theory of the consumption function, with and without liquidity constraints*. Journal of Economic Perspectives, 15(3): 23–45. <https://doi.org/10.1257/jep.15.3.23>
- Chadha, J.S. – Corrado, L. (2012): *Macro-prudential policy on liquidity: What does a DSGE model tell us?* Journal of Economics and Business, 64(1): 37–62. <https://doi.org/10.1016/j.jeconbus.2011.04.004>
- Chiarella, C. – Di Guilmi, C. (2011): *The financial instability hypothesis: A stochastic microfoundation framework*. Journal of Economic Dynamics & Control, 35(8): 1151–1171. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2011.02.005>
- Chiarella, C. – Di Guilmi, C. (2012): *The Fiscal Cost of Financial Instability*. Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics, 16(4): 1–29. <https://doi.org/10.1515/1558-3708.1970>
- Christiano, L. – Motto, R. – Rostagno, M. (2010): *Financial factors in economic fluctuations*. Working Paper Series 1192, European Central Bank.
- Christiano, L. – Motto, R. – Rostagno, M. (2014): *Risk shocks*. American Economic Review, 104(1): 27–65. <https://doi.org/10.1257/aer.104.1.27>
- Cincotti, S. – Raberto, M. – Teglio, A. (2012): *The EURACE macroeconomic model and simulator*. In: Aoki, M. – Binmore, K. – Deakin, S. – Gintis, H. (ed.): *Complexity and Institutions: Markets, Norms and Corporations*, 81–106. Palgrave MacMillan.
- Copeland, M.A. (1949): *Social accounting for moneyflows*. The Accounting Review, 24(3): 254–264.
- Cúrdia, V. – Woodford, M. (2016): *Credit frictions and optimal monetary policy*. Journal of Monetary Economics, 84(C): 30–65. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2016.10.003>
- Deissenberg, C. – van der Hoog, S. – Dawid, H. (2008): *EURACE: A massively parallel agent-based model of the European economy*. Applied Mathematics and Computation, 204(2): 541–552. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2008.05.116>
- Dawid, H. – Delli Gatti, D. (2018): *Agent-Based Macroeconomics*. Bielefeld Working Papers in Economics and Management, 02-2018. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3112074>
- Delli Gatti, D. – Desiderio, S. – Gaffeo, E. – Cirillo, P. – Gallegati, M. (2011): *Macroeconomics from the Bottom-up*. Springer-Verlag, Olaszország. <https://doi.org/10.1007/978-88-470-1971-3>
- Delli Gatti, D. – Gaffeo, E. – Gallegati, M. – Giulioni, G. – Palestrini, A. (2008): *Emergent Macroeconomics. An Agent-Based Approach to Business Fluctuations*. Springer-Verlag, Olaszország.

- Delli Gatti, D. – Gallegati, M. – Greenwald, B. – Russo, A. – Stiglitz, J. (2010): *The financial accelerator in an evolving credit network*. Journal of Economic Dynamics & Control, 34(9): 1627–1650. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2010.06.019>
- De Grauwe, P. (2012): *Booms and busts in economic activity*. Journal of Economic Behaviour & Organization, 83(3): 484–504. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2012.02.013>
- Deaton, A. (1992): *Household Saving in LDCs: Credit Markets, Insurance and Welfare*. The Scandinavian Journal of Economics, 94(2): 253–273. <https://doi.org/10.2307/3440451>
- Dilaver, O. – Jump, R. – Levine, P. (2018): *Agent-based macroeconomics and dynamic stochastic general equilibrium models: Where do we go from here?* Journal of Economic Surveys, 32(4): 1134–1159. <https://doi.org/10.1111/joes.12249>
- Dosi, G. – Fagiolo, G. – Napoletano, M. – Roventini, A. (2013): *Income distribution, credit and fiscal policies in an agent-based Keynesian model*. Journal of Economic Dynamics & Control, 37(8): 1598–1625. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2012.11.008>
- Dosi, G. – Fagiolo, G. – Napoletano, M. – Roventini, A. – Treibich, T. (2015): *Fiscal and monetary policies in complex evolving economies*. Journal of Economic Dynamics & Control, 52(March): 166–189. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2014.11.014>
- Dosi, G. – Fagiolo, G. – Roventini, A. (2006): *An evolutionary model of endogenous business cycles*. Computational Economics, 27(1): 3–34. <https://doi.org/10.1007/s10614-005-9014-2>
- Dosi, G. – Fagiolo, G. – Roventini, A. (2008): *The microfoundations of business cycles: an evolutionary, multi-agent model*. Journal of Evolutionary Economics, 18(3–4): 413–432. <https://doi.org/10.1007/s00191-008-0094-8>
- Dosi, G. – Fagiolo, G. – Roventini, A. (2010): *Schumpeter meeting Keynes: A policy-friendly model of endogenous growth and business cycles*. Journal of Economic Dynamics & Control, 34(9): 1748–1767. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2010.06.018>
- Dosi, G. – Napoletano, M. – Roventini, A. – Treibich, T. (2017a): *Micro and macro policies in the Keynes+Schumpeter evolutionary models*. Journal of Evolutionary Economics, 27(1): 63–90. <https://doi.org/10.1007/s00191-016-0466-4>
- Dosi, G. – Pereira, M. C. – Roventini, A. – Virgillito, M. (2017b): *When more flexibility yields more fragility: The microfoundations of Keynesian aggregate unemployment*. Journal of Economic Dynamics & Control, 81(August): 162–186. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2017.02.005>
- Drehmann, M. – Borio, C. – Tsatsaronis, K. (2012): *Characterising the financial cycle: don't lose sight of the medium term!* BIS Working Papers, 380.

- Erlingsson, E. – Teglió, A. – Cincotti, S. – Stefansson, H. – Sturluson, J. – Raberto, M. (2014): *Housing Market Bubbles and Business Cycles in an Agent-Based Credit Economy*. Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal, 8, 1–42. <http://dx.doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2014-8>
- Fagiolo, G. – Roventini, A. (2017): *Macroeconomic Policy in DSGE and Agent-Based Models Redux: New Developments and Challenges Ahead*. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 20(1) 1. <https://doi.org/10.18564/jasss.3280>
- Farmer, J. D. – Foley, D. (2009): *The economy needs agent-based modelling*. Nature, 460(August): 685–686. <https://doi.org/10.1038/460685a>
- Gertler, M. – Kiyotaki, N. (2010): *Financial Intermediation and Credit Policy in Business Cycle Analysis*. Handbook of Monetary Economics, Volume 3, pp. 547–599. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53238-1.00011-9>
- Gertler, M. – Karádi, P. (2011): *A model of unconventional monetary policy*. Journal of Monetary Economics, 58(1): 17–34. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2010.10.004>
- Grazzini, J. – Richiardi, M. (2015): *Estimation of ergodic agent-based models by simulated minimum distance*. Journal of Economic Dynamics & Control, 51(February): 148–165. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2014.10.006>
- Grazzini, J. – Richiardi, M. – Tsionas, M. (2017): *Bayesian estimation of agent-based models*. Journal of Economic Dynamics & Control, 77(April): 26–47. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2017.01.014>
- Godley, W. – Lavoie, M. (2007): *Monetary economics – An Integrated Approach to Credit, Money, Income, Production and Wealth*. Palgrave MacMillan, New York.
- Haldane, A. G. – Turrell, A. E. (2018): *An interdisciplinary model for macroeconomics*. Oxford Review of Economic Policy, 34(1–2): 219–251. <https://doi.org/10.1093/oxrep/grx051>
- Holcombe, M. – Coakley, S. – Kiran, M. – Chin, S. – Greenough, C. – Worth, D. – Cincotti, S. – Raberto, M. – Teglió, A. – Deissenberg, C. – van der Hoog, S. – Dawid, H. – Gemkow, S. – Harting, P. – Neugart, M. (2013): *Large-scale modeling of economic systems*. Complex Systems, 22(2): 175–191. <https://doi.org/10.25088/ComplexSystems.22.2.175>
- Hosszú Zsuzsanna – Mérő Bence (2017): *Hitelciklusok és anticiklikus tőkepuffer egy ágensalapú keynesi modellben*. Közgazdasági Szemle, 64(május): 457–475. <https://doi.org/10.18414/KSZ.2017.5.457>
- Jakab, Z. – Kumhof, M. (2015): *Banks are not intermediaries of loanable funds – and why this matters*. Bank of England Working Papers, No. 529. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2612050>

- Kaplan, G. – Moll, B. – Violante, G. L. (2018): *Monetary Policy According to HANK*. American Economic Review, 108(3): 697–743. <https://doi.org/10.1257/aer.20160042>
- Krug, S. (2018): *The interaction between monetary and macroprudential policy: should central banks 'lean against the wind' to foster macro-financial stability?* Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal, 12–7, 1–69. <http://dx.doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2018-7>
- Krugman, P. (2011): *The Profession and the Crisis*. Eastern Economic Journal, 37(3): 307–312. <https://doi.org/10.1057/ej.2011.8>
- Lamperti, F. – Roventini, A. – Sani, A. (2018): *Agent-based model calibration using machine learning surrogates*. Journal of Economic Dynamics & Control, 90(C): 366–389. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2018.03.011>
- Lindé, J. – Smets, F. – Wouters, R. (2016): *Challenges for Central Banks' Macro Models*, in: Taylor, J.B. – Uhlig, H. (ed.): Handbook of Macroeconomics. North Holland, Volume 2, 2185–2262. <https://doi.org/10.1016/bs.hesmac.2016.04.009>
- Mérő Bence – Vágó Nikolett (2018): *Keresletvezérelt lakáspiaci modell a lakáshitelezést szabályozó makroprudenciális eszközök tanulmányozására*. Közgazdasági Szemle, 65(november): 1115–1153. <http://dx.doi.org/10.18414/KSZ.2018.11.1115>
- McLeay, M. – Radia, A. – Thomas, R. (2014): *Money creation in the modern economy*. Bank of England, Quarterly Bulletin 2014Q1, 14–27.
- Pyka, A. – Fagiolo, G. (2007): *Agent-based modelling: A methodology for Neo-Schumpeterian economics*, in: Hanusch, H. – Pyka, A. (szerk.): The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics. Cheltenham, Edward Elgar Publishing.
- Popoyan, L. – Napoletano, M. – Roventini, A. (2017): *Taming macroeconomic instability: Monetary and macro-prudential policy interactions in an agent-based model*. Journal of Economic Behaviour & Organization, 134(February): 117–140. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2016.12.017>
- Raberto, M. – Tegli, A. – Cincotti, S. (2012): *Debt, Deleveraging and Business Cycles. An Agent-Based Perspective*. Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal, 6, 1–49. <http://dx.doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2012-27>
- Ricetti, L. – Russo, A. – Gallegati, M. (2013): *Leveraged network-based financial accelerator*. Journal of Economic Dynamics & Control, 37(8): 1626–1640. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2013.02.008>
- Ricetti, L. – Russo, A. – Gallegati, M. (2016): *Stock market dynamics, leveraged network-based financial accelerator and monetary policy*. International Review of Economics & Finance, 43(May): 509–524. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2016.01.012>

- Romer, P. (2016): *The Trouble With Macroeconomics*. The American Economist, megjelenés alatt. <https://paulromer.net/trouble-with-macroeconomics-update/>. Letöltés ideje: 2018. április 15.
- Salle, I. (2015): *Modeling expectations in agent-based models – An application to central bank’s communication and monetary policy*. Economic Modelling, 46(April): 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.12.040>
- Salle, I. – Yildizoglu, M. – Sénégas, M.-A. (2013): *Inflation targeting in a learning economy: An ABM perspective*. Economic Modelling, 34(August): 114–128. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.01.031>
- Schüler, Y. – Hiebert, P. – Peltonen, T. (2015): *Characterising the Financial Cycle: A Multivariate and Time-Varying Approach*. ECB Working Paper, 1846.
- Stiglitz, J. (2011): *Rethinking Macroeconomics: What Failed, and How to Repair It*. Journal of the European Economic Association, 9(4): 591–645. <https://doi.org/10.1111/j.1542-4774.2011.01030.x>
- Stolzenburg, U. (2015): *The agent-based Solow growth model with endogenous business cycles*. Economics Working Papers 2015-01, Christian-Albrechts-University of Kiel, Department of Economics.
- Tesfatsion, L. – Judd, K. (szerk.) (2006): *Handbook of Computational Economics*. Volume 2: Agent-Based Computational Economics. North Holland.