DR. RACSKÓ PÉTER

INFORMATIKA, TELEKOMMUNIKÁCIÓ ÉS GAZDASÁGI STABILITÁS

Fizikai példákon és matematikai modelleken bemutatjuk, hogy a rendszerek működésének hatékonyságnövekedése instabilitást eredményezhet. Megvizsgáljuk, hogy az informatika és a telekommunikáció fejlődése okozhat-e rendszerszintű instabilitást, illetve milyen gazdasági eszközök vannak a stabilitás fenntartására.

1. AZ INFORMATIKA ÉS A TELEKOMMUNIKÁCIÓ SZEREPE A GAZDASÁG MŰKÖDÉSÉBEN

A mai gazdaság működésének és fejlődésének egyik legfontosabb meghatározó tényezője az informatika. Nehezen találhatnánk olyan területet, legyen az bármilyen gyártás, szolgáltatás, vagy pénzügyek, ahol ha egyik pillanatról a másikra kikapcsolnánk a számítógépeket és a hálózatot, a tevékenységet akár csak néhány órán keresztül tovább lehetne folytatni.

Az informatika és a telekommunikáció fejlődése számos olyan új gazdasági modell létrejöttét tette lehetővé, amelyek akár egy negyed századdal ezelőtt még a gazdasági előrejelzésekben sem léteztek. Itt nem csak a hardver, szoftver és telekommunikációs iparágakra és szolgáltatásokra gondolunk, hanem elsősorban a gyakorlatilag korlátok nélküli gyors kommunikációra épülő új üzletágakra, mint például az internetes kereskedelem. Az amazon, az ebay, a skype, a google olyan új kereskedelmi, kommunikációs és hirdetési modelleket valósítottak meg, amelyek régebben nem létezhettek. Nem egyszerűen a meglevő modellek korszerűsítéséről van itt szó, hanem lényegükben új modellek létrejöttéről. Az amazon, amelyik a világ legnagyobb könyvesboltja és online kiskereskedelmi áruháza, nem rendelkezik nagy raktárkészletekkel, az ebay, mint a világ legnagyobb aukciós háza, nem rendelkezik egyetlen, az aukcióban résztvevő tárgy tulajdonjogával sem, a skype-nak nincs semmilyen saját távközlési infrastruktúrája, a google pedig saját on-line hirdetési modellt honosított meg a piacon. Az informatika és a telekommunikáció a gazdaságot, a társadalmat és a magánszférát átszövő szerepéről, közvetlen és közvetett gazdasági és társadalmi hatásairól számtalan elemzés jelent meg, nem célom ezekhez egy további opus hozzáadása. Ehelyett a következőkben – elsősorban egyszerű matematikai modellek szintjén – azt vizsgálom, hogy az informatika hogyan hat a gazdaság stabilitására. A cikkben azt szeretném megmutatni, hogy az informatika destabilizáló hatású is lehet a gazdaságban, és hogy ezt ellensúlyozandó, a „homok szórása a fogaskerekek közé" (ld. Keynes és Tobin-adó) a stabilitás fenntartását eredményezheti.

Ahhoz, hogy érzékeljük, hogy a technika fejlődése destabilizáló hatású is lehet és nem soha nem látott, egyedi jelenségről van szó, egy, az ipari forradalom korából származó klasszikus példát mutatok be.

2. EGY KLASSZIKUS PÉLDA, A WATT-FÉLE CENTRIFUGÁLIS REGULÁTOR

A gőzgépek működését szabályozó *centrifugális regulátor* bevezetését *James Wattnak* tulajdonítják. Watt a XVIII. század végén kezdte alkalmazni ezeket az eszközöket, amelyek az automatikus szabályozás elméletének azóta ikonjává váltak. [Pontrjagin 1962; Sotomayor et al, 2006; Denny, 2002]. A regulátor szerepe a gőzgépek sebességének szabályozása volt, változó terhelés mellett. A szerkezet maga egy függőlegesen álló, rögzített tengelyen szabadon csúszkáló hengerből, a hengerre csuklósan ráerősített két karból, amelyek végére egy-egy vasgolyó volt erősítve, valamint a hengerhez rögzített fogaskerékből állt, amely fogaskerék áttételen keresztül csatlakozott a lendkerékhez. A működés elve igen egyszerű, ha a gőzgép lendkereke gyorsabban forgott, akkor a fogaskerék áttételen hozzá fixen csatlakozó henger is gyorsabban kezdett forogni a tengely körül, a csuklósan ráerősített vasgolyók a centrifugális erő hatására - legyőzve a rájuk ható gravitációs erőt - megemelkedtek, és egy karon keresztül kisebbre zárták a gőz áramlását szabályozó szelep nyílását. Ennek hatására a lendkereket mozgató nyomás csökkent, a regulátor ismét nagyobbra nyitotta a szelepet, és rövid idő alatt a sebesség stabilizálódott. Ha a gépre adott terhelés nőtt, a lendkerék forgása lelassult, a szelep ismét nagyra nyitott és nagyobb nyomás alá helyzete a dugattyúkat, aminek hatására a gép sebessége ismét egyenletessé vált. [ld. Sotomayor et al., 2006] Az évtizedeken keresztül kiválóan teljesítő szabályozó eszköz azonban a XIX. század közepére megbízhatatlanná vált, a kívánt konstans sebesség helyett kiszámíthatatlan, esetenként kaotikus oszcilláció jött létre, amely gyakorlatilag meghiusította a gőzgép használatát. A mérnökök sokáig értetlenül álltak a jelenség előtt, a magyarázatot *Maxwell* [Maxwell, 1867] és *Vishnegradsky* [Vishnegradsky, 1876] adták meg. Ez utóbbi elemzés 1876-ban született, és talán közérthetőbb, mint Maxwell analízise. A lényeg [Pontrjagin, 1962] abban rejlik, hogy egy dinamikus rendszer fix pontjának (esetünkben egy fix sebességnek) a létezése mellett lényeges tulajdonsága a stabilitás. Vishnegradsky elemzése – a lényeget nem érintő egyszerűsítéssel – a stabilitás feltételéül az alábbi összefüggést mutatta ki:

$$s = \frac{I * b * v}{m} > 1 \tag{1}$$

ahol *I* a lendkerék tehetetlenségi momentuma, *b* a regulátor súrlódási koefficiense, *m* a regulátor súlyainak tömege, *v* a rendszer teljesítményének egyenetlenségét meghatározó koefficiens (a lendkerék szögsebessége deriváltjának és a terhelésnek a hányadosa) A XIX. század második felére a gyártási technológia fejlődésével csökkent a centrifugális regulátor tengelye és a rajta csúszó henger közötti súrlódási koefficiens. A gőzgép gyors elterjedése, a különböző alkalmazások egyre nagyobb teljesítményt és sebességet kívántak, mindez technológiailag a lendkerék méretének csökkentéséhez és a regulátor vasgolyói tömegének a növeléséhez vezetett, így akarták elérni a gyorsan változó terheléshez való gyors alkalmazkodást. Vishnegradsky feltételéből látjuk, hogy mindezek a vívmányok a gépek működésének instabilitásához vezettek. Kifejezetten érdekes tény, hogy a negatív visszacsatolás sebességének növelése destabilizáló tényező. A stabilitás visszanyeréséhez tehát növelni kellett a részek inhomogenitását, a súrlódást, lassítani a visszacsatolás folyamatát, „homokot kellett szórni a fogaskerekek közé”.

3. A STABILITÁS

Az előzőekben többször használtuk a stabilitás fogalmát, anélkül, hogy erre bármilyen definiciót adtunk volna. A továbbiakban ezt a hiányt – ha nem is teljes körűen – de pótoljuk. A stabilitást a dinamikus, tehát időben változó rendszerek körében kétféleképpen is értelmezzük:

1. A rendszer egy fix pontjának stabilitása
2. A rendszer strukturális stabilitása

Minthogy a továbbiak szempontjából nincs szükségünk a rendszerek differenciálegyenletekkel történő modellezésére, elegendő a szinte minden, stabilitással kapcsolatos jelenséget kitűnően bemutató iteratív modell [Devaney, 1986]

A rendszer egy x_0 pontból kiindulva az x_1, x_2, ... x_n állapotokat veszi fel, ahol $x_n=f(x_{n-1})$, x_n pedig egy k dimenziós valós komponensű vektor, $n=1,2$... Számunkra [Devaney, 1986] az egy dimenziós dinamika is elegendő municiót nyújt a továbbiakhoz.

Definiciók:

(1) Az x^* pont az $f(x)$ leképezés fix pontja, ha létezik olyan m természetes szám, hogy $f(x_n)=x^*$ minden $n>m$ esetén.

Intuitíve ez azt jelenti, hogy egy adott számú iteráció után a fix pont minden iteráltja önmaga lesz.

(2) Az x^* fix pont vonzó, ha létezik olyan környezete R-ben, hogy e környzet minden pontjára teljesül, hogy $\lim_{n\to\infty} f(x_n) = x^*$

Intuitíve a vonzó fix pont (attractor) olyan fix pont, amelynek meghatározott környezetéből bármely pontból kiindulva a dinamikus rendszer a fix pont felé tart.

(3) Stabil fix pontoknak egy dinamikus rendszer vonzó fix pontjait nevezzük.

Ha egy fix pont nem vonzó, akkor számos, sokszor bonyolult dinamikus viselkedés jöhet létre. Például a pontnak létezhet olyan környezete, amelyből az iteráció eltávolítja a rendszert, ekkor a pontot *taszítónak* nevezzük. Előfordulhat olyan eset is, amikor a fix pont tetszőleges környezetében találhatók ciklikusan visszatérő pontok, vagy olyan eset is, amikor a fix pont bármely környezete tartalmaz egy Cantor-halmazt, amelynek pontjaiból az iteráció a fix ponthoz tart, míg az összes többi pontból kivezet a fix pont környezetéből.

STRUKTURÁLIS STABILITÁS

A strukturális stabilitás nem egy adott dinamikus rendszer fix pontjának, hanem magának a rendszernek a tulajdonsága. A pontos definícióhoz számos olyan fogalmat kellene bevezetnünk, amelyek itt nem feltétlenül szükségesek, ezért a strukturális stabilitásnak csak intuitív leírását adjuk azzal, hogy a pontos definíció megtalálható számos tankönyvben is. [Devaney, 1986] Intuitíve, egy dinamikus rendszer strukturálisan stabil egy adott értelmezési tartományban, hogy ha minden más, hozzá közeli rendszer hasonló dinamikai tulajdonságokkal rendelkezik. A közelséget itt a dinamikus rendszereket leíró iteratív leképezések és azok deriváltjainak távolsága határozza meg, a dinamikai hasonlóság azt jelenti, hogy az egyik rendszer fix pontjai a másik rendszerben is fix pontok, a periodikus pontoknak periodikus pontok felelnek meg, azaz az egymáshoz a fenti értelemben „közeli" rendszerek topológiailag konjugáltak. Még szemléletesebben, a strukturális stabilitás azt jelenti, hogy kis perturbáció hatására a rendszer fejlődési pályái minőségileg nem változnak.

Megjegyezzük, hogy a Watt-féle centrifugális regulátorra vonatkozó stabilitási feltételt Vishnegradsky a Ljapunov-féle stabilitáselmélet [Pontrjagin, 1962] felhasználásával kapta, ami a differenciálegyenletekkel modellezett rendszerek stabilitására ad feltételeket. A következőkben nem célunk ilyen feltételek származtatása a gazdasági rendszerekre, inkább azt vizsgáljuk, hogy a klasszikus és kevésbé klasszikus közgazdasági elméletek egyensúlyi pontjai, amelyeket rendszerdinamikai szempontból fix pontoknak is nevezhetünk, mennyire stabilak, illetve a modellek mennyire stabilak strukturálisan. A továbbiakban stabilitási kritériumok létrehozása sem célunk, hanem a stabilitás hiányának kimutatása, és gondolati kísérlet a stabilitás procedurális helyreállítására.

4. A FIX PONT, AZ EGYENSÚLY ÉS A STABILITÁS A GAZDASÁGBAN

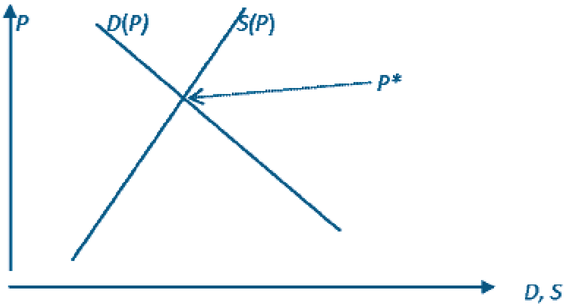
Az 1870-es években jelent meg *Leon Walras* és mások munkájának eredményeként a neoklasszikus közgazdaságtan egyik leglényegesebb elmélete, az általános egyensúlyelmélet. Az elmélet – rendszerdinamikai szempontból – a gazdasági rendszerek fix pontjait vizsgálja, és ennek létrehozását próbálja modellezni. Megjegyezzük, hogy maga Walras is kijelentette, hogy az egyensúly létezése, unicitása és stabilitása sem biztosított az általa leírt eljárásban. Az általános egyensúlyelméletet a XX. század közgazdászai lényegesen finomították és fejlesztették az 50-es években [Arrow, Debreu, 1954; Debreu, 1959]. Az újabb modellekben – bizonyos feltételek fennállása esetén – bizonyítható egyensúlyi pont (fix pont) létezése, az unicitás azonban csak részesetekben bizonyított.

Ismert, hogy az egyensúly és az egyensúlyi helyzetre való törekvés a gazdaságban nem abszolút értékek [Kornai, 1971] és nem is célok, de a különféle leíró és döntési modelleknél, valamint döntési helyzetekben mégis csak a fix helyzetekre, vagy az ezzel matematikailag ekvivalens fix fejlődési pályákra való törekvés érzékelhető, már csak a kiszámíthatóság és tervezhetőség érdekében is.

Az egyensúlyi pont(ok) stabilitásának kérdése is önálló vizsgálat tárgya, az alapvető gazdasági kérdés az, hogy egy feltételezett egyensúlyban lévő gazdaságot ért sokk (nem kell túlságosan messzire visszamennünk egy ilyen sokk észleléséhez) után visszatér-e a gazdaság az eredeti egyensúlyhoz, vagy nem, esetleg egy másik fix pont vonzáskörzetébe kerül-e, azaz vonzó-e az elhagyott egyensúlyi állapot, és ha igen, nem léptünk-e ki a vonzáskörzetéből és nem léptünk-e be egy másik egyensúlyi pont vonzáskörzetébe.

A következőkben azt szeretnénk szemléltetni, hogy a stabilitás igencsak lényeges kérdése még a viszonylag egyszerű esetekben is bonyolult választ eredményez.

A lehető legegyszerűbb gazdasági egyensúlyi modell a Marshall kereszt, amely az ár-kereslet és az ár-kínálat összefüggést ábrázolja egy grafikonon. A továbbiakban az egyszerűség kedvéért lineáris keresleti és kínálati függvényeken szemléltetjük a lényeget.



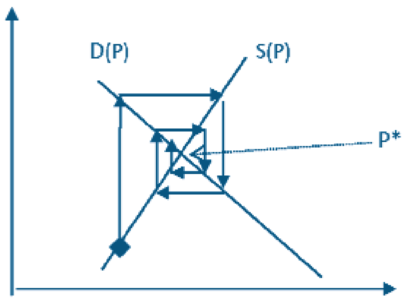
1. ábra: Marshall-kereszt

A fenti, jól ismert ábrán S jelenti a kínálatot, D a keresletet, P az árat.

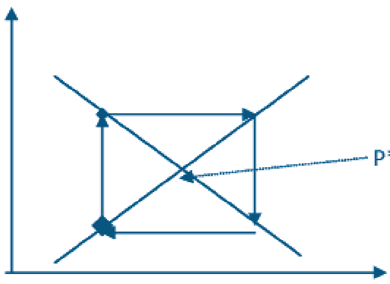
Ebben az esetben az egyensúlyi helyzet létrejöttének feltétele az, ha a P^* fix pontban a kínálat meredekségének abszolút értéke kisebb, mint a kereslet meredekségének abszolút értéke

$$\left|\frac{dS}{dP}\right| < \left|\frac{dD}{dP}\right| \tag{2}$$

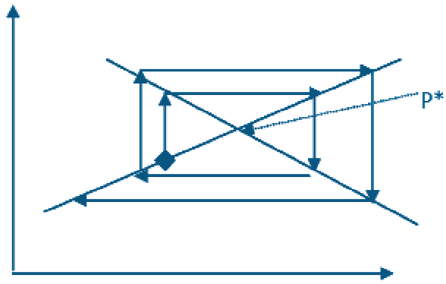
Grafikusan is szemléltethetjük, hogy ez esetben - feltételezve egy egyszerű iterációt - a fix pont valóban vonzó, azaz létezik egy olyan (P–ε, P+ε) intervallum, amelyből az iteráció hatására a rendszer egyre közelebb kerül a fix ponthoz (2. ábra).



2. ábra: Vonzó egyensúlyi pont



3. ábra: Ciklus



4 ábra: Taszító egyensúlyi pont

A 2. ábrán a *P** pontban a (2) feltétel teljesül. Egy lehetséges kínálati pontból kiindulva – amely egy adott árat is meghatároz – áttérünk a kínálatnak megfelelő ár szerinti keresletre, amely egy más, magasabb árat határoz meg. Ehhez a magasabb árhoz viszont nagyobb kínálat tartozik, és ezt az iterációt folytatva egyre közelebb kerülünk az egyensúlyi helyzethez. Az egyensúlyi pont ebben az esetben vonzó fix pont. Minthogy a keresleti és kínálati görbét lineárisnak választottuk, a fix pont vonzási tartománya a teljes pozitív ártartomány.

A 3. ábrán a *P** pontban a két derivált egyenlő, ez esetben bármely pontból kiindulva ciklust kapunk, a fix pont nem vonzó.

A 4. ábrán a (2) egyenlőtlenség ellentettje az igaz a *P** pontban, ez esetben nyilvánvaló a folyamat divergenciája.

A fenti példák természetesen csak illusztrációk, nyilvánvalóak a modell jelentős korlátai.

Az illusztrációban azt a mindennapi gyakorlatban ismert tényt szemléltettük, hogy az egyensúlyi pont általában nem a semmiből jön létre, hanem egy döntéseken alapuló iterációs folyamat eredménye. (Walras is megfogalmazta a „tatonnement" folyamatot, ami lényegében egy iteráció). Ha például egy új, innovatív termék megjelenik a piacon (mobiltelefon-szolgáltatás, DVD-lejátszó, plazma TV stb.) az magas bevezető árral indul, majd a fenti iterációs folyamaton végigmenve az árak egy alacsonyabb szinten stabilizálódnak, azaz azonos árat kell fizetni a mindenkori azonos kategóriájú termékért. (Már amennyiben a piaci szereplőknek sikerül „gondoskodni" arról, hogy a (2) reláció igaz legyen. Ha ez nem sikerül, a termék eltűnik a piacról, ld. Pl. HDTV-technológia.)

Az iteráció folyamatát továbbgondolva, felmerül a kérdés, hogy ez a valóságban hogyan megy végbe, illetve hogyan modellezhető maga az iteráció folyamata. Ez meglehetősen bonyolult kérdés, hiszen számos, a piaci szereplőket befolyásoló tényező együttes hatása érvényesül, amelyek között nemcsak gazdasági, hanem társadalmi és szociálpszichológiai stb. megfontolásokat is figyelembe kell venni. Minthogy célunk nem a folyamat pontos modellezése, hanem a folyamat során esetlegesen fellépő, esetenként meglepő dinamikus jelenségek bemutatása, az alábbi egyszerű, logisztikus modellt választjuk, amelyet nagy sikerrel alkalmaznak más tudományterületeken is, például a matematikai biológiában [Volterra, 1931].

Legyen $F(P)=S(P)-D(P)$ ahol P a termék ára, $S(P)$ a kínálat, $D(P)$ a kereslet a P ár mellett. A logisztikus modell szerint $F(P)$ változása egyenesen arányos $F(P)$ értékkel és $F(P)$ egy határértéktől való eltérésével. A fenti összefüggés intuitívan értelmezhető úgy, hogy a kereslet és kínálat különbségének változása egyrészt függ a különbség nagyságától, másrészt a változás mértéke felülről korlátos, a korlátot L-lel jelöljük.

Az előbbi összefüggéseket a következő differenciálegyenlettel írjuk le:

$$\frac{dF}{dP} = \lambda * F(P)(L - F(P)) \tag{3}$$

ahol λ>1.

Látjuk, hogy ez az egyenlet konzisztens a (2) feltétellel, ugyanis ha *F(P)=L*, akkor ciklus jön létre, ha *F(P)<L*, akkor a folyamat konvergál, ha *F(P)>L*, akkor divergál.

A továbbiakban azt szemléltetjük, hogy az egyensúlyi helyzet elérésének folyamata milyen jelenségekhez vezet. A jobb kezelhetőség és a diszkrét modell relevanciája miatt a

$$F_{n+1} = \lambda * F_n(1 - F_n) \tag{4}$$

differencia-egyenlettel helyettesítjük a (3) differenciálegyenlet, és λ>1. A (4) iteráció dinamikájában lényegében nem tér el (3)-tól, viszont a diszkrét iteráció jobban megfelel a gazdasági folyamatoknak, mint a folytonos modell, feltételezve, hogy a piaci szereplők iteratív, próbálgatásos folyamatban jutnak el a kívánt egyensúlyi helyzet közelébe, amennyiben az iteráció ezt lehetővé teszi. A (4) iterációt a [0,1] tartományban értelmezzük, ezen kívül ugyanis bármely λ>1 esetén az iteráció a végtelenbe divergál.

A [0,1] tartomány pontjai az iteráció során különböző pályákat írhatnak le. (A P_0 pont pályájának a P_0, $F(P_0)$, $F(F(P_0))$,... pontsorozatot nevezzük.)

A pályák tulajdonságait lényegesen befolyásolja λ értéke. A részletes, matematikai pontosságú elemzést megtalálhatjuk Devaney, [1986] könyvében, itt csak a számunkra lényeges eredményeket foglaljuk össze.

1< λ <3 értéknél az iterációnak – a [0,1] tartomány bármely pontjából is indulunk ki, azaz a teljes tartományra – van egy vonzó fix pontja, a $(\lambda-1)/\lambda$ pont és egy taszító fix pontja, a 0. Ha λ értékét 3-ra növeljük, majd tovább egészen a 4 értékig, az egyetlen fix pont helyett egyre több periodikus pont jelenik meg, a Sarkovsky tétele [Sarkovsky, 1964] által meghatározott törvényszerűség szerint.

Megjegyezzük, hogy a periodikus pontok száma végtelen minden olyan esetben, amikor létezik olyan periodikus iteráció, ahol a periódus nem kettő hatványa. λ >4 esetén azon pontok halmaza, amelyek az iteráció során a [0,1] intervallumban maradnak, egy *Cantor-halmaz*, ami a gyakorlatban azt is jelenti, hogy bármely olyan pont, amelynek pályája nem visz ki a [0,1] intervallumból, azaz nem tart a végtelenhez, bármilyen kis környezetében található olyan pont, amelynek pályája a végtelenhez tart. Anélkül, hogy a kaotikus dinamika pontos definícióját megadnánk, megjegyezzük, hogy ez kaotikus viselkedés.

Összegezve, azt látjuk, hogy kis λ értékeknél a rendszer „jól, kiszámíthatóan" viselkedik, míg nagyobb λ értékeknél vagy oszcillációra, vagy káoszra számíthatunk. A λ egészen kis mértékű változása is jelentősen megváltoztathatja a rendszer dinamikus viselkedését. Fellép az ún. *Hopf-bifurkáció*, amely a periodikus pontok megkettőződését vagy többszöröződését jelenti. Itt tipikusan a strukturális stabilitás hiánya tapasztalható.

Gyakorlati szempontból λ tekinthető a döntési rendszer hatékonyságának, minél nagyobb az értéke, annál erőteljesebben vesszük figyelembe mind a rendszer adott állapotát, mind a fejlődés lehetőségeit. Itt – hasonlóan Watt regulátorához, de természetesen kevésbé konkrét példán és erős egyszerűsítésen keresztül – ismét olyan jelenségre bukkantunk, hogy a hatékonyság növelése destabilizálja a rendszert. Matematikai eszközökkel bizonyítható, hogy a stabilitás feltétele a $\lambda<3$ feltétel teljesülése.

Az előbbiekben azt szemléltetjük egy viszonylag egyszerű modellen, hogy az egyensúlyi pont megtalálása egy iteratív módon alkalmazott szabály alapján – ha ezt nagy hatékonysággal tesszük – sokszor nem lehetséges, a rendszer viselkedése számos esetben kiszámíthatatlan lesz.

A továbbiakban visszatérünk az informatika szerepére a gazdaságban. Azt próbáljuk megmutatni, hogy az informatika, mint hatékonyságnövelő tényező, lehet destabilizáló hatású is.

5. AZ INFORMATIKA SZEREPE A GAZDASÁGI DÖNTÉSEKBEN

A gazdaság – legyen az egy kisebb vagy nagyobb gazdálkodó szervezet, ország, vagy éppen a globális világgazdaság – emberi döntések alapján fejlődik. A döntéselmélet könyvtárnyi irodalma kellő részletességgel tárgyalja a személyes, vagy csoportdöntések számos aspektusát, a gazdasági racionalitástól kezdve a pszichológiai és szociológiai tényezőkig. Mi itt az informatika és a racionális döntések viszonyát vizsgáljuk.

A továbbiakban elsősorban hipotéziseket fogalmazunk meg, nem tudunk matematikai értelemben modelleket vagy bizonyításokat bemutatni, vagy ilyenekre hivatkozni.

Herbert Simon a XX. század ötvenes éveinek első felében [Simon, 1982] fogalmazta meg először azt a tézisét, hogy a racionális döntéshozatal, illetve a gazdasági optimalizálás korlátokkal rendelkező folyamat. A „racionális embernek” vannak korlátai. A korlátok igen sokfélék lehetnek, például a döntést hozó ember rendelkezésére álló információ nem teljes, nem teljesen pontos, vagy nem időszerű, vagy a racionalitásra törekvő embernek nincsenek megfelelő eszközei a nagy mennyiségű információ feldolgozásához és az optimális döntés meghozatalához, nem mindig lehet egyértelmű, kiszámítható optimalitási kritériumot definiálni, ezen kívül számos kognitív és szociális tényező is korlátozza a racionális döntést. Simon tézisei azonban csak az utóbbi két évtizedben nyertek igazán létjogosultságot a közgazdasági kutatásokban, ekkor jelentek meg azok a matematikai modellek, amelyek a korlátozott racionalitás egyes tényezőit használják a jelenségek leírására és esetenként kielégítően jó gazdasági megoldások megtalálására. A következőkben a korlátozott racionalitásnak arra az esetére koncentrálunk, amikor a racionális döntés elsődleges korlátja a rendelkezésre álló információ megszerzésének, kommunikációjának, tárolásának és feldolgozásának korlátozottsága. *Rubinstein* [1998] több formális modellt állított fel a korlátozott információszerzés, tárolás és feldolgozás mellett hozott döntésekre. Ezekből a modellekből formálisan is látható, hogy az információ megszerzési, továbbítási és feldolgozási költségeinek csökkenésével egyre hatékonyabb döntésekhez jutunk. Ha eltekintünk most a korlátozott racionalitás Herbert Simon által egyébként igen lényegesnek tartott társadalmi és pszichológiai tényezőitől, a formális modellek szintjén is bizonyítható, hogy az informatika és a telekommunikáció fejlődése – ahol a fejlődésen az olcsóbbá és gyorsabbá válást értjük, mindennel, ami ezzel jár, azaz a széles körű alkalmazással, az általános elérhetőséggel stb. – a gazdasági döntések hatékonyságát növeli. Vizsgáljuk meg, hogy ezek a stabilitást érintő kérdések hogyan jelentkeznek a gyakorlatban.

6. GAZDASÁGI RENDSZEREK STABILITÁSA, KELL-E HOMOKOT SZÓRNI A FOGASKEREKEK KÖZÉ?

A lokális ill. globális, „válságnak" nevezett gazdasági jelenségeket tekinthetjük az adott gazdasági rendszer instabil viselkedésének. A rendszer ilyenkor tipikusan a strukturális stabilitás hiányát mutatja, intuitíven fogalmazva, míg egy rendszer normál állapotában elvárhatjuk, hogy a döntések, szabályozások kisebb változtatására maga a rendszer is kiszámítható módon, kis mértékben változik, a strukturális instabilitás állapotában kisebb változás, akár csak egy kis információs többlet is, nem kiszámítható, jelentős kilengéseket okozhat. Az a tény, hogy a válságok általában nem vezetnek gazdasági összeomláshoz, annak köszönhető, hogy az országok közössége számos, a gazdasági rendszeren kívüli, a stabilitást szükség esetén helyreállító mechanizmust működtet (jegybankok, IMF, alkalmi szabályozási beavatkozások, a pénzügyi rendszernek juttatott kölcsönök stb.). Az informatika és a távközlés fejlődése – hasonlóan a Watt-féle regulátor esetéhez – egyes gazdasági rendszerek instabilitásához vezethet. Az elmúlt időben például számos esetben láthattuk, hogy olyan pénzügyi termékek kereskedelme folyt – hozzájárulva a legutóbbi globális gazdasági válság kialakulásához –, amelyek összetételét, kockázati szintjét, értékét már csak az informatikai eszközök „ismerték", és a folyamatok komplexitása és gyorsasága, amely gyakorlatilag kikapcsolta az embert, mint korlátozó tényezőt a folyamatból, előre kiszámíthatatlan rendszerszintű következményekkel járt. Nyilvánvaló, hogy az informatika és a távközlés fejlődését a legcsekélyebb mértékben sem fogja lassítani a destabilizációs hatás lehetősége. A stabilitással kapcsolatos kérdésekre nem a technológia fejlesztésének visszafogásával lehet megtalálni a választ. Az ötlet, hogy a stabilitás megőrzésére szolgáló visszacsatolási rendszereket kellene bevezetni, nem új. *Keynes* [1936] a Wall Street-i spekulatív kereskedelem fékezésére javasolta a tranzakciókat terhelő, nem jelentéktelen állami adó bevezetését, *Tobin* [1978] pedig a valuták átváltásának megadóztatását javasolta a nemzetközi pénzügyi rendszer stabilitásának megőrzése céljából. *Palley* [1999] mikroökonómiai modellen bemutatja, hogy a Tobin-adó bevezetése hogyan juttatja előnyhöz a tőzsdén a fundamentális befektetőket (akik feltehetően a stabil gazdaságot preferálják a spekulációt folytató „noise traderekkel" szemben) A különböző, a hatékonyságot csökkentő adók bevezetése valójában a stabilitás fenntartására irányul.

7. KÖVETKEZTETÉSEK

A Watt-féle regulátor példáján láttuk, hogy a hatékonyság növekedése rendszerszintű instabilitást okozhat. Egy nagyon egyszerű példán megmutattuk, hogy a kínálatkereslet egyensúlyának elérésére használt egy lehetséges – és általánosan használt – iteratív algoritmus is rendszerszintű instabilitást okozhat. Az informatika és a kommunikáció, mint napjaink egyik leggyorsabban fejlődő technológiája, szintén eszköze lehet olyan döntéshozatali mechanizmusoknak, amelyek rendszerszintű instabilitást okozhatnak a gazdaságban. A stabilitás megtartásának egyik rendszerszintű eszköze a hatékonyságot csökkentő adók bevezetése. Arra a kérdésre, hogy a stabilitás fenntartásához „mennyi homokot szórjunk a fogaskerekek közé”, nincs elméleti válasz. Számos kutatás [Schmidt, 2007] foglalkozik az optimális Tobin-adó meghatározásának kérdésével, de ehhez nyilván pontosabb dinamikus modelleket kell felállítani és azokat kell vizsgálni.

IRODALOM

Arrow, K. J., Debreu, G, 1954. „Existence of a Competitive Equilibrium for a Competitive Economy”. *Econometrica* (Econometrica, Vol. 22, No. 3) 22 (3): 265-90

Debreu, G: 1959: *Theory of Value . An Axiomatic Analysis Of Economic Equilibrium*, Yale Univ. Press New Haven

Denny M. 2002, „Watt Steam Governor Stability” *European Journal of Physics* v23 p 339–51

Devaney, R. L, 1986: *An Introduction to Chaotic Dynamical Systems*. The Benjamin/Cummings Publishing Co., Inc. Menlo Park, CA.

Keynes, J. M. 1936 *The General Theory of Emloyment, Interest and Money*, London, Macmillan

Kornai, J, 1971: *Anti-equilibrium : A gazdasági rendszerek elméleteiről és a kutatás feladatairól* Közgazdasági és Jogi KKv Budapest

Maxwell, J.: 1867: 'on Governors' Proc. Of the Royal Society v16 p270–83

Palley, T.I, 1999: Speculation and Tobin Taxes: Why Sand in the Wheels Can Increase Economic Efficiency, *Journal of Economics*, vol. 69 , 1999 No2 pp. 113-126)

Pontryagin L.S, 1962: *Ordinary Differential Equations*, Addison-Wesley Publishing Company Inc, Reading

Rubinstein, A, 1998: *Modeling Bounded Rationality*, The MIT Presss, Cambridge Mssachussets,

Sarkovsky, O.M. „Co-existence of Cycles of a Continuous Mapping of a line onto Itself” *Ukrainian Mathematical Journal* 16 61–71, 1964

Schmidt, R. 2007 *Currency Transaction Tax: Rate & Revenue Estimates*, The North-South Institute

Simon, H: 1982. *Models of Bounded Rationality*, Vols. 1 and 2. MIT Press. Massachusetts

Sotomayor, J; Mello, L.F; Braga, D.C, 2006: *Bifurcation Analysis of the Watt Governor System*, arXiv: math/0604177v1(mth DS) Cornell University

Tobin, J, 1978: A Proposal for International Monetary Reform” *Eastern Economic Journal*, 4: 153–159

Volterra, V. 1931. *Lecons sur la Theorie Mathematique de la lutte pour la vie*. Gauthier-Villars et C^{le} ed. Cahiers Scientifiques Publies sur la direction de M. Gaston Julia Fascicile VII

Vyshnegradskii, I.A. 1876: *Sur la théorie générale des régulateurs*, C.R. Acad. Sci. Paris, 83 (1876) 318–321