

**Ügynökalapú modellezéstől a mikroszkopikus piaci  
dinamikáig: Statisztikus fizikai megközelítés**

From multi-agent modeling to microscopic market dynamics:  
A statistical physics approach

**PhD téziszfüzet**

**Tóth Bence**

**Témavezető: Prof. Kertész János**

**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
ELMÉLETI FIZIKA TANSZÉK  
2008**



## 1. A kutatások előzményei

A statisztikus fizika alkalmazási területe nagymértékben tágult az elmúlt két–három évtized során. A skálázás, rendezetlen rendszerek, nem-egyensúlyi és kritikus viselkedés tanulmányozása során kidolgozott módszereket egyre többször alkalmazzák szociológiai és gazdasági rendszerek vizsgálata során. Az analógia alapja, hogy mindezen rendszerek nagyszámú egység kölcsönhatásával jönnek létre. A kutatások jelentős része pénzügyi adatsorok statisztikus elemzésére irányult, sok esetben univerzális „stilizált tényeket” keresve. Fizikai rendszerekkel ellentétben, a pénzügyi rendszerek esetében még messze vagyunk a meghatározó dinamikák megértésétől.

A gazdaságfizika egyik legkevesebbet tanulmányozott területe a mikroszkopikus piaci dinamika alapján a kereskedők viselkedésének vizsgálata. Ez a terület nemcsak intellektuális kihívás, mely sok kutatási területet (közgazdaságtan, pszichológia, adatelemzés, fizika, matematika, szociológia) fog össze, de egyben segíthet a gazdaságfizikusok és közgazdászok közötti közeledésben is. A mai közgazdaságtanban két egymásnak ellentmondó paradigma él, sok tudományos kérdést szinte hitbéli kérdéssé változtatva. A hagyományos (neoklasszikus) iskola hívei a piaci szereplőket (egyformán) racionálisnak tartják, és a piacokat egy úgynevezett reprezentatív ügynökön keresztül modellezik. Ezen leírás oka az egzakt modellekre való törekvés, és célja a közgazdaságtant a matematikához hasonló, tételeken és bizonyításokon alapuló tudománnyá alakítani. Ez az irányzat jelentős intellektuális eredményeket hozott, és hozzájárult számos fogalom tisztázásához, valamint háttérbe szorította a verbális, ideológiai alapú közgazdaságtant. Ugyanakkor az erős leegyszerűsítő feltevések miatt az eredmények a tapasztalatoktól gyakran távol esnek. A másik, az elmúlt évtizedek során kialakult és sokkal kevésbé elterjedt megközelítés azon a tényen alapul, hogy a kereskedők nem mindig viselkednek racionálisan, valamint nem ugyanazok a céljaik. Ezen „irracionalitással” számolni kell, és amennyiben a piaci folyamatok mikroszkopikus leírására törekszünk, figyelembe kell venni kevésbé egzakt tudományok, elsősorban a pszichológia eredményeit.

A dolgozatban igyekszem azonosítani azon piaci folyamatokat, melyekben a kereskedők viselkedése játszik kulcsszerepet, illetve azokat,

melyek reprodukálhatóak az ügynökök viselkedésével kapcsolatos feltevések nélkül is.

## **2. Célkitűzések**

Kutatásom célja a piaci dinamika jobb megértése. Konkrétan a mikroszkopikus piaci dinamika és az emberi komponensre visszavezethető jelenségek közötti kapcsolatot szeretném tisztázni. Ehhez piaci adatokat vizsgálok és az empirikus eredményeket egyszerű, a lehető legkevesebb viselkedéssel kapcsolatos feltevést tartalmazó modellekkel igyekszem reprodukálni. Ezen modellek segítségével megkülönböztethetőek azok a jelenségek, melyek az egyéni viselkedés eredményei, azaz nem reprodukálhatóak ezzel kapcsolatos feltevések nélkül, azoktól a jelenségektől, melyek pusztán a piaci mechanizmusok eredményeinek tekinthetőek.

## **3. Vizsgálati módszerek**

A kutatásban empirikus adatelemzést, modellezést, számítógépes szimulációt, valamint modellek analitikus elemzését végeztem. Az empirikus munka fontos része volt egy programcsomag elkészítése az adatok vizsgálatára. Ennek része volt az adatok „megtisztítása”, és a fontos változók mérése. Az ajánlati könyvet tartalmazó adatok esetében ez magába foglalta az ajánlatok teljes dinamikájának rekonstruálását, gyakorlatilag a mikrofolyamatok újbóli felépítésével. Az empirikus analízist a statisztikus fizikában használatos módszerek alapján végeztem. Az empirikus eredmények jobb megértése céljából mind ügynök alapú, mind fenomenologikus modellezést alkalmaztam. Az ügynök alapú modellek a mikroszkopikus dinamika megértésének, valamint a kialakuló makroszkopikus, mérhető mennyiségek vizsgálatának eszközei voltak. A fenomenologikus modellek célja a valódi adatokra hasonlító helyettesítő adatsorok generálása volt, a hipotéziseim ellenőrzését elősegítendő.

Az empirikus analízis és szimulációk során elsősorban C programozási nyelvet, valamint MatLab és R statisztikus programcsomagokat használtam.

## 4. Új tudományos eredmények

1. Vizsgáltam a piaci hozamok közötti korrelációk dinamikáját és időskálafüggését.

- Megmutattam, hogy a hozamok közötti keresztkorrelációk nagymértékben megváltoztak a vizsgált időszakban: a korrelációk erősebbé váltak és maximumhelyük a nulla felé tolódott. Ezen eredmények azt jelzik, hogy a piacok egy növekvő hatékonyságú fázisban vannak, melynek oka elsősorban a piaci informatika elterjedése és az információfeldolgozás gyorsulása. Ez a piaci szereplők együttes viselkedésének megváltozását jelzi, mely mögött a piaci mechanizmusok és nem emberi sajátosságok állnak [1].
- Vizsgáltam az egyidejű piaci korrelációk függését a  $\Delta t$  mintavételezési időskálától: a korrelációk kis  $\Delta t$  esetén jóval alacsonyabbak a csak néhány órás mintavételezési időskálákon elért aszimptotikus értéküknél (Epps-effektus).

Megmutattam az Epps-effektusra adott korábbi, az aszinkronitáson alapuló magyarázat hiányosságait. Beláttam, hogy a különböző időszakokra mért Epps görbék az aszimptotikus értékükkel skálázhatók, míg a piaci aktivitással történő skálázás nem működik [3].

Összefüggést adtam a különböző időskálákon mért korrelációk értékei között. Az általam kidolgozott módszerrel megadható a teljes Epps görbe csupán a legrövidebb értelmes időskálán végzett mérések alapján. Megmutattam, hogy az Epps-effektus karakterisztikus ideje az emberi reakcióidővel van kapcsolatban, mely megmagyarázza, hogy miért nem változik a karakterisztikus idő a piaci aktivitással [4].

2. Módszert dolgoztam ki a fizika számos területén fellépő probléma kezelésére, aszinkron jelek közötti korrelációk pontos becslésére. A módszerrel becsülhetők az aszimptotikus korrelációk hosszú időablakok alkalmazása, és így a statisztika romlása nélkül. Az elv az Epps-effektus leírása során kidolgozott dekompozíciós technika általánosításán alapul, melyben a nagyfrekvenciás adatokon mért

időfüggő korrelációkat használom fel. Ezzel közel egy nagyságrenddel megnövelhető a korrelációk mérésének pontossága illetve lecsökkenthető a szükséges mérési kapacitás mind valódi, mind numerikus kísérletek esetében [8].

3. A londoni tőzsde (London Stock Exchange) ajánlati könyveinek adatait vizsgáltam nagy napközbeni árváltozások környezetében.

- Vizsgáltam a volatilitást, a legjobb ajánlatok árkülönbségét (bid-ask spread), a kereslet-kínálat arányát, a könyvben „várakozó” ajánlatok számát, a kereskedők aktivitását, a különböző típusú ajánlatok relatív számát. Azt tapasztaltam, hogy a mért mennyiségek megváltoznak, az árugrás pillanatában extrémumot mutatva. A megváltozás után az összes mennyiség relaxációja lassú, hatványfüggvénnyel illesztve a legtöbb esetben  $\approx 0.4$  exponenssel jellemezhető. A volatilitás és a legjobb ajánlatok árkülönbsége (bid-ask spread) megnő és hatványfüggvényszerű lecsengést mutat; a kereslet-kínálat aránya eltolódik, lassan relaxálva; a könyvben várakozó ajánlatok száma megváltozik, mely csak lassan cseng le, a lecsengés a könyv két oldalán nagyon különböző; a kereskedők aktivitása megnő, ez látható mind az új ajánlatok megjelenésének, mind az ajánlatok törlésének számában; ezen változók ugyancsak hatványfüggvényszerű relaxációt mutatnak,  $\approx 0.4$  exponenssel. A különböző típusú ajánlatok relatív számát vizsgálva (mely a kereskedési stratégiák stabilitásának mértékeként is értelmezhető) nem találtam erős megváltozást a dinamikában, azt jelezve, hogy általában a piaci tevékenységek aktivitása növekszik, nem a piaci szereplők stratégikus viselkedése változik meg. Vizsgáltam a legjobb ajánlatokhoz közeli betöltetlen árszintek számának (gap) eloszlását. Az eredmények alátámasztják azt az elméletet, miszerint a nagy árváltozásokat elsősorban alacsony likviditás, azaz nagyszámú egymás melletti betöltetlen árszint okozza: azt találtam, hogy a legjobb és az azután következő ajánlatok közötti árkülönbség eloszlása különbözik nagy árváltozások előtti periódusokban a normál periódusbeli eloszlástól [9].

- Egy, a stratégikus viselkedést figyelmen kívül hagyó (ügynevezett *zero intelligence*), ülepedési modellekhez hasonló modellt készítettem az ajánlatok dinamikájának reprodukálására. Vizsgáltam a modell stabil dinamikáját, valamint a nagy árváltozások hatását. Azt tapasztaltam, hogy a modell kvalitatíve reprodukálja az empirikusan talált lassú, hatványfüggvény-szerű lecsengéseket a volatilitás és legjobb ajánlatok árkülönbsége esetében. A szimulációkban tapasztalt lassú lecsengések exponense valamivel magasabb az empirikus értékeknél. Ez azt jelezheti, hogy bár a valódi lecsengések kicsivel lassúbbak a modellbelieknél, a relaxációk jellege mégis reprodukálható a kereskedők stratégikus viselkedéséről tett feltevések nélkül. A modellt analitikusan vizsgáltam. Egy határesetben, valamint általános esetben rövid időkre analitikus leírást adtam a bid-ask spread modellbeli lecsengésére [9].

4. Piaci megfigyelések és kísérleti eredmények magyarázata céljából ügynökalapú modellt készítettem egy folytonos kettős aukción alapuló tőzsdét szimulálva. A modellben az információnak a kereskedelemre és a piac hatékonyságára való hatását vizsgáltam. Az információt a jövőbeli árváltozások (az osztalék-idősor alapján történő) előrejelzési képességeként definiáltam. A szimulációk azt mutatták, hogy a többlet információ nem mindig hat pozitívan a piaci teljesítményre: míg a teljesen informálatlanok teljesítménye a piaci átlagot éri el, addig a közepesen informáltak az átlag alatt teljesítenek és csak a legjobban informáltak („bennfentesek”) nyernek. A szimulált piac reprodukálja a valódi piacokról ismert főbb empirikus tényeket és információs hatékonyságot mutat. Megengedtem az ügynököknek a kereskedési stratégiák közötti váltást, amennyiben huzamosabb ideig a piaci átlag alatt teljesítettek. A lehetséges két stratégia: (1) használni az előrejelzési képességüket (fundamentalista stratégia), vagy (2) trendeket követni („chartist” stratégia). Az eredmények azt mutatták, hogy míg a legjobban informáltak fundamentalista stratégiát követnek, használva az információjukat, addig a kevésbé informáltak a két lehetséges stratégiát váltogatják állandóan [2, 5, 6, 7]. Ez alátámasztja az eredményt, miszerint a részleges információ nem mindig és feltétlenül hasznos.

## Hivatkozások

- [1] B. Tóth and J. Kertész. Increasing market efficiency: Evolution of cross-correlations of stock returns. *Physica A*, 360:505–515, 2006.
- [2] B. Tóth, E. Scalas, J. Huber, and M. Kirchler. Agent-based simulation of a double-auction market with heterogeneously informed agents. *PROCEEDINGS of Potentials of Complexity Science for Business, Governments, and the Media*, 2006.
- [3] B. Tóth and J. Kertész. On the origin of the Epps effect. *Physica A*, 383(1):54–58, 2007.
- [4] B. Tóth and J. Kertész. The Epps effect revisited. *accepted for publication to Quantitative Finance*, 2007.
- [5] B. Tóth, E. Scalas, J. Huber, and M. Kirchler. The value of information in a multi-agent market model. *Eur. Phys. J. B*, 55:115–120, 2007.
- [6] B. Tóth, E. Scalas, J. Huber, and M. Kirchler. Is it worth being an informed trader? *Periodicals of Implicit Cognition*, 2:10–11, 2007.
- [7] B. Tóth and E. Scalas. *The value of information in financial markets: An agent-based simulation*, pages 95–114. Linde Verlag Wien, 2008.
- [8] B. Tóth and J. Kertész. Accurate estimator of correlations between asynchronous signals. *submitted*, 2008.
- [9] B. Tóth, J. Kertész, and J. Doyne Farmer. Studies of the limit order book around large price changes. *in preparation*, 2008.