

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Varga János Zoltán

Szeged, 2023

**Szegedi Tudományegyetem
Gazdaságtudományi Kar
Közgazdaságtani Doktori iskola**

Modellezési megközelítések a közgazdaságban

Egyenlet-alapú, ágens-alapú és adatmodellek

Doktori értekezés

Varga János Zoltán
Szegedi Tudományegyetem
Gazdaságtudományi Kar
Közgazdaságtani Doktori Iskola

Témavezetők:

Dr. habil. Kiss Gábor Dávid
Egyetemi docens
Szegedi Tudományegyetem
Gazdaságtudományi Kar

Dr. Kovács György
Egyetemi Docens
Szegedi Tudományegyetem
Gazdaságtudományi Kar

Szeged, 2023

„A bölcseknek beszédei hasonlatosak az ösztökhéhez, és mint a szegek, erősen le vannak verve a gyülekezetek tanítóinak szavai; melyek egy pásztortól adattak.” (Préd 12,13.)

Tartalomjegyzék

| | |
|--|----|
| 1. Bevezetés | 7 |
| 2. A modellezés tudományfilozófiai megalapozása | 9 |
| 2.1 A tudás vizsgálatának filozófiai előzményei | 9 |
| 2.2 Induktív szkepticizmus, logikai pozitivizmus, Karl Popper..... | 12 |
| 2.3 Konstruktivizmus | 22 |
| 2.4 Pragmatikus tudományfilozófia, kulturális evolúció | 29 |
| 2.5 Reprezentáció, modell, megközelítések..... | 40 |
| 2.5.1. Szemiotika, Peirce, Sausser | 40 |
| 2.5.2 Alapvető kérdések a reprezentáció tudományfilozófiai elméletében | 44 |
| 2.5.3 A modellezés főbb tudományfilozófiai megközelítései | 49 |
| 2.5.4 Modellezés és a közgazdaságtudományi módszertan | 57 |
| 2.6 Hipotézisek | 61 |
| 3. Adatmodellek - A mintavételezés hatása pénzügyi adatok statisztikai tulajdonságaira | 64 |
| 3.1 Adatmodellek | 64 |
| 3.2 A tudományos elméletek alulhatározottsága, Duhem-Quine tézis | 67 |
| 3.3 A mintavételezés hatása a pénzpiaci adatok statisztikai tulajdonságaira..... | 68 |
| 3.3.1 Pénzügyi adatok szolgáltatásának és a kereskedés technológiai fejlődése | 69 |
| 3.3.2 Pénzügyi adatsorok tulajdonságai | 70 |
| 3.3.3 Alternatív módok a pénzpiaci mintavételezésre..... | 73 |
| 3.3.4 Adatok, módszertan..... | 76 |
| 3.3.5 Eredmények | 78 |
| 3.3.6 Összefoglalás és következtetések | 81 |
| 4. Egyenlet- alapú modellek – közgazdasági alkalmazás..... | 82 |
| 4.1 Bevezetés | 82 |
| 4.2 A termékenység és jövedelem kapcsolatára vonatkozó főbb elméletek | 83 |
| 4.2.1 Közgazdasági modellek | 83 |
| 4.2.2 Evolúciós és kulturális modellek | 86 |
| 4.3 Pozicionális javak és gyermekvállalás..... | 89 |

| | |
|--|-----|
| 4.4 A pozícionális hatás modellezése | 92 |
| 4.4.1 Kiindulási modell | 92 |
| 4.4.2 A pozícionális függvénnyel kiegészített modell | 93 |
| 4.5 Összegzés | 96 |
| 5. Ágens-alapú modell – Komplex rendszerek, hálózatos hatások modellezése szimulációs eszközökkel... | 97 |
| 5.1. Komplexitás | 97 |
| 5.2. Az egyszerű rendszerek tulajdonságai | 98 |
| 5.3 Komplex rendszerek tulajdonságai | 99 |
| 5.3.1 Instabilitás és kiszámíthatatlanság..... | 99 |
| 5.3.2 Irreducibilitás, önszerveződés és emergens tulajdonságok | 101 |
| 5.3.3 A komplex rendszerek hálózatos tulajdonságai | 102 |
| 5.4 Ágens-alapú modellezés..... | 105 |
| 5.4.1 Ágensek és a környezet..... | 107 |
| 5.4.2 ABM alkalmazási területek..... | 109 |
| 5.4.3 ABM és EBM – módszertani megjegyzések | 110 |
| 5.5 Hálózatos hatások ágens-alapú modellezése – Társas csoportok közötti verseny hatása az együttműködésre | 112 |
| 5.5.1 A modell | 113 |
| 5.5.2 Módszertan | 117 |
| 5.5.3 Eredmények | 118 |
| 5.5.4 Következtetés..... | 119 |
| 5.6 Összegzés | 120 |
| 6. Záró gondolatok | 121 |
| Felhasznált Irodalom | 124 |
| Függelék | 143 |
| A1 Az adatok előállításának és módja és a kockázat mérése | 143 |
| A2 A korlátos optimalizálási eredmény levezetése | 147 |
| Az értekezés témakörében megjelent saját publikációk..... | 149 |

Ábra és táblajegyzék

| | |
|--|-----|
| 1. Táblázat A modellezéssel kapcsolatos főbb tudományfilozófiai álláspontok | 53 |
| 2. Táblázat. A pénzügyi mintavételezési eljárások összefoglalóan..... | 73 |
| 3. Táblázat. A napon belüli adatokból, különböző módokon mintavételezett részvényhozamok alapvető statisztikái. | 78 |
| 4. Táblázat. 1 év kereskedési adataiból, különböző módokon mintavételezett részvényhozamok alapvető statisztikái. | 81 |
| 5. Táblázat. A közgazdasági, evolúciós és kulturális modellek a gyermekvállalás motivációra vonatkozóan. | 91 |
| 6. Táblázat. Kifizetési mátrix két csoport között (sorjátékos perspektíva) | 117 |
| | |
| 1. ábra. Historikus energiafelhasználás, i.e. 14000 – i.sz. 2000..... | 33 |
| 2. ábra. Microsoft 1 perces hozamok eloszlásai..... | 79 |
| 3. ábra Microsoft napi hozamok eloszlásai | 81 |
| 4. ábra A napi, volumen alapú, illetve összérték alapú adatsorok alapján készített VaR alakulása | 83 |
| 5. ábra 4-Reguláris gráf és bináris fa | 107 |
| 6. ábra. Társadalmi struktúra és együttműködés | 115 |
| 7. ábra. A legnagyobb összefüggő komponens mérete az egyéni projekciós gráfban. | 120 |
| 8. ábra A Microsoft részvény árfolyamának alakulása, napi záróár, volumen és összérték záróár alapján | 145 |
| 9. ábra A napi, volumen alapú, illetve összérték alapú adatsorok alapján készített VaR alakulása | 146 |

1. Bevezetés

A közgazdasági és általában a tudományos tevékenység szerves részét képezi a modell-építés, vagyis a vizsgált jelenségeket általában valamilyen közvetítő modellen keresztül tudjuk csak megragadni. Az újkori közgazdasági gondolkodás fejlődése is nagyjából nyomon követhető a meghatározó modellek vizsgálatával: így például François Quesnay Tableau économique-ja, Alfred Marshall kereslet-kínálati modellje, Arrow-Debreu-féle általános egyensúlyi modell, a Keynes (és Hicks) féle IS-LM modell, a tőkepiaci árfolyamok modellje, Black-Scholes opcióárazás, dinamikus-sztochasztikus általános egyensúlyi (DSGE) modellek stb. Felmerül a kérdés, hogy mely tényezők tesznek egy (közgazdasági) modellt meghatározóvá? Vajon az empirikus eredmények, a matematikai elegancia, az egyszerűség, a további okfejtést lehetővé tevő jelleg, talán befolyásos közgazdászok és közgazdasági iskolák kevésbé egzakt módon meghatározott preferenciája vagy esetleg valami más körülmény, ok emel ki bizonyos reprezentációkat, modelleket a teljes kínálatból? A különböző közgazdasági jelenségek milyen módszerekkel, modellekkel vizsgálhatók, vannak-e inherens tulajdonságai bizonyos modellezési megközelítéseknek, amelyek jobban vagy kevésbé alkalmazhatóvá teszik őket? A naiv válasz szerint az a modell a legjobb, amelyik a valóságot legjobban leírja. Amint azt később igyekszem bemutatni a helyzet nem ennyire egyszerű, így a fenti szempontok komoly szerepet játszhatnak a modellek közötti versenyben.

Amint majd látni fogjuk, a fenti kérdésekre adott válaszok egyáltalán nem maguktól értetődőek. Jelen dolgozat témája tehát a modellezés, a modell és valóság viszonya, a különböző típusú modellek előnyei és hátrányai. Mindezt természetesen elsősorban a közgazdaságtan szempontjából vizsgálva. Ennek érdekében először a modellezés kerül elhelyezésre a tudományfilozófián belül, majd a közgazdaságtan által leggyakrabban alkalmazott három modellezési eljárás bemutatása történik meg, egy-egy konkrét példán keresztül. Ilyen módon, az egymástól érdemben különböző megközelítések segítségével kerülnek kifejtésre az általam fontosnak tartott jellemzői a modell-építésnek.

A dolgozat felépítése a következő: a második fejezetben a modellezéshez kapcsolódó tudományfilozófiai álláspontok áttekintése történik meg. Ezt követően az a modellek egy speciális típusának, az ún. adatmodelleknek a legfontosabb sajátosságai kerülnek áttekintésre. A negyedik fejezetben az elméleti közgazdasági modellek leggyakrabban alkalmazott eszközét, az egyenlet-alapú modellezést (korlátos optimalizálás) mutatom be egy példán

keresztül. Az ötödik fejezetben egy alternatív modellezési eljárás, az ágens-alapú modellezés kerül tárgyalásra és összevetésre az egyenlet-alapúval.

2. A modellezés tudományfilozófiai megalapozása

A bevezetőben megfogalmazott kérdések vizsgálatához mindenekelőtt érdemes elhelyezni a modellezést az episztemológián belül, és áttekinteni a kapcsolódó tudományfilozófiai ismereteket. Mindez ugyanis strukturálja a tárgyalást, és kijelöli a legfontosabb vizsgálandó problémákat a (tudományos) modellekkel kapcsolatosan.

2.1 A tudás vizsgálatának filozófiai előzményei

A tudományok történetével foglalkozó kutatók véleménye megoszlik, hogy az ókori görög intellektuális élet eredményeit nevezhetjük-e tudománynak, vagy tudományos vizsgálódásnak, de abban általában egyetértenek, hogy a tudomány gyökerei onnan erednek. Az is kellő magabiztossággal állítható, hogy a tudományos gondolkodás alapjait is ők rakták le. De mit is jelent ez a tudományos gondolkodás? Pszichológusok, idegtudománnyal foglalkozó szakemberek egyetértenek abban, hogy az ember természetes gondolkodási mechanizmusa narratív, azaz történetek segítségével alkotunk képet a világról és magunkról (Pennebaker 1999; Wilson 2010; Damasio 2010; Bruner 2005). A tudományos gondolkodás ezzel szemben analitikus, absztrakt, történetektől mentes, éppen ezért, több kutató is úgy érvel, hogy nem természetes az emberi elme számára, ezért is nehezebb absztrakt dolgokat elsajátítanunk (Wolpert 1994; McCauley 2011). A görögök jelentősége (többek között) az, hogy miután a föníciaiaktól átvették az általuk használt, gazdaságos és hatékony jelrendszert (Hause – Maltby 2004) lehetőségessé vált az írástudás széleskörű elterjedése, az írott, kodifikált ismeretek kumulálódása. Írás nélkül a tudás szájhagyomány útján terjed, ami egyrészt azt jelenti, hogy az emberi memória szűk felső korlátot szolgáltat a közösségen belül felhalmozható ismeret mennyiségére nézve, másrészt a tudás átadásának pontossága sem tökéletes.¹ Az írás azonban lehetővé teszi, hogy az írott mű önálló életet éljen, és azt, a görögök által megalkotott retorika, logika és grammatika segítségével részletesen elemezni lehessen (Donald 2001; McCauley 2011).

Nem véletlen, hogy az önmagára reflektáló tudás is, illetve ennek az igénye megjelent már az ókori görögöknél és valószínűleg Parmenidész volt az első, aki ezzel komolyabban

¹ A tudományos haladás egyik jellemzője a meghökkentő, nem várt eredmények megjelenése. Az orális hagyomány útján terjedő információ azonban pontosabban adódik át, amennyiben az intuitív, vagy már meglévő kulturális sztereotípiákat erősít meg (Mesoudi et al. 2006).

foglalkozott (Kenny 2004). Az alapvető kérdések, amelyek felmerülnek a tudással kapcsolatosan a következők (Musgrave 1993, nyomán):

1. Tudhatunk-e bármit is?
2. Ha igen, milyen dolgokat tudhatunk?
3. Milyen módon juthatunk tudáshoz?

Ugyanez kissé formálisabban, milyen feltételek teljesülése esetén fogadjuk el igaznak, a következő mondatot²: *A* tudja, hogy *P*, ahol *A* egy személyt, *P* pedig egy állítást jelöl.

Az első két feltétel intuitív és természetesnek tűnik:

1. feltétel: *A* azt gondolja, hogy *P*.
2. feltétel: *P* igaz.³

A két feltétel azonban nem elegendő; gondoljunk a példa kedvéért a lottó számsorsoláson az összes számot sikeresen eltaláló esetére – mindkét fenti feltétel teljesül, mégsem mondanánk, hogy az illető *tudta* a nyerőszámokat. Ezért jellemzően még egy további feltételt is megkövetelünk:

3. feltétel: *A*-nak bizonyítania kell, alá kell támasztania azt a véleményét, hogy *P*.

A problémák itt kezdődnek, ugyanis minden egyes alkalommal, amikor bizonyítani szeretnénk egy véleményt (állítást, meggyőződést, hiedelmet stb.), egy vagy több egyéb véleményt használunk fel. Ha ezek nincsenek bizonyítva, akkor alá kell támasztanunk ezeket is, és így tovább a végtelenségig – ezt hívják a filozófusok a végtelen regresszus problémájának. A fentiek alapján három lehetséges választ tudunk adni, arra, hogy mi igazolja, bizonyítja az állításainkat:

1. Semmi sem bizonyítja azokat, a vélelmeink nem megalapozottak.
2. A vélelmeink bizonyítások végtelen láncolatával válnak megalapozottá.
3. A vélelmeink bizonyítások körkörös láncolatával válnak megalapozottá, azaz vannak olyan állítások, amelyek többször is felbukkannak a bizonyítási láncolatban.

² A filozófusok a tudás több típusát is megkülönböztetik. A jelen tárgyalás az ún. propozicionális tudásra, vagyis az explicit módon, mondatokban megfogalmazható tudásra szorítkozik, tekintettel arra, hogy a tudomány szempontjából ez a típus a legfontosabb.

³ Annak a meghatározása, hogy pontosan mit is jelent az, hogy „*P* igaz”, komoly filozófiai nehézségekbe ütközik, amelynek tárgyalása szétfeszítené a jelen dolgozat kereteit. A tudományos kutatók implicit igazság definíciójához talán az Arisztotelésztől származtatott, de azóta jelentősen átdolgozott ún. *megfeleltetés vagy realista* (correspondence) igazság megközelítés áll, ami (végtelenségig leegyszerűsítve) nagyjából azt jelenti, hogy egy vélelem igaz, ha az megfelel a valóságnak (Burgess – Burgess 2014).

Ez az úgynevezett Agrippa Trilemma (Pritchard 2014), és szkepticizmus a neve annak az irányzatnak, amely azt mondja, hogy semmit sem tudhatunk biztosan. A következetesen végig vitt szkeptikus gondolatmenet a külső világ létezését megkérdőjelező következtetéshez vezet. Tekintettel arra, hogy ez az alternatíva nem kimondottan vonzó, ezért több kísérlet is történt a végtelen regresszus megállítására, vagyis olyan ismeretek, vélelmek keresése, amelyek nem igényelnek további bizonyítást. Ezen kísérleteket hívjuk összefoglaló néven dogmatizmusnak. Történetileg két nagy ága van a dogmatizmusnak, a csoportképző ismerv pedig, hogy mely irányból támadták a végtelen regresszust. (Musgrave 1993)

Empirizmus az egyik iskola, és nézeteik szerint az érzékszervi tapasztalat lehet a forrása a bizonyítást nem igénylő állításoknak. A szkeptikusok reakciója erre az, hogy az érzékszerveink nem megbízhatóak (érdemes itt például a legkülönbözőbb optikai csalódásokra gondolni), egy megbízhatatlan eszköz pedig nem lehet alapja a tudásnak, vagyis a bizonyított ismereteknek.

Racionalizmus követői ezzel szemben azt mondják, hogy a bizonyítás nélküli állítások gondolkodás útján érhetők el, és a tudás talapzatát olyan kijelentések alkotják, amelyek a racionális személy számára magától értetődőek. A magától értetődő állítások azonban, érvelnek a szkeptikusok, nem biztos, hogy igazak, illetve semmi sem garantálja, hogy egy állítás, amely magától értetődő *A*-nak, *B* számára is az, ennél fogva a racionalizmus sem lehet a tudás végső forrása. Továbbá, ha találnánk is állítások egy halmazát, amit el lehet fogadni bizonyítás nélkül, nem szükségszerű, hogy abból további releváns állítások levezethetők.⁴

A szkeptikusok és dogmatikusok imént röviden összefoglalt érvei jellemzően már az ókorban ismertek voltak, új lendületet a szellemi küzdelem a XVI. században kapott, köszönhetően a különböző keresztény tanítások közötti különbségek kiéleződésének, illetve az újonnan felfedezett földrészek és az európaiktól gyökeresen eltérő kultúrák megismerésének (Kenny 2006). A dolgozat természetesen nem vállalkozhat az episztemológia és a tudományfilozófia részletes bemutatására, kizárólag arra próbál szorítkozni, hogy a tudományos modellezéssel kapcsolatos jelentős és meghatározó gondolatokat kompakt módon felvázolja. Ennek megfelelően először az úgynevezett induktív szkepticizmussal foglalkozom bővebben.

⁴ Például, Descartes híres mondata a „cogito ergo sum” is azt hivatott demonstrálni, hogy a tudatunk, a tudatosság maga olyan tapasztalat, amit nem lehet megkérdőjelezni. Más kérdés, hogy erre az ismeretelméleti talapzatra lehet-e további komoly állításokat építeni (Musgrave 1993).

2.2 Induktív szkepticizmus, logikai pozitivizmus, Karl Popper

Indukció alatt olyan logikai következtetési eljárást értünk, amely során egyes megfigyelésekből vonunk le általánosításokat. A példa kedvéért tekintsük a következő (klasszikus), hollókra vonatkozó állítást:

Állítás: Minden holló fekete.

A problémát az jelenti, hogy függetlenül attól, mennyi fekete hollót láttunk korábban, az még nem biztosítja az állítás igazságtartalmát. Kivételt képez természetesen az a szituáció, amikor véges számú holló létezik, és mindegyiket megfigyeltük. Egy darab nem-fekete holló felbukkanása viszont azt jelentené, hogy az állítás hamis. Másképpen fogalmazva, a jövő nem szükségképpen olyan, mint a múlt, a korábban megfigyelt mintázatok lehet, hogy később nem ugyanúgy jelennek meg, nem ismétlődnek; vagy ha úgy tetszik, a tér-idő nem homogén. Az induktív következtetés tehát logikailag érvénytelen, éppen emiatt a tudományos forradalmak előtt a filozófiában jellemzően az arisztotelészi deduktív logikát tekintették a tudás egy lehetséges forrásának. Francis Bacon volt az, aki felvette a kesztyűt és meggyőzően érvelt az induktív következtetések mellett, amely egyúttal a tudományos módszertan egyik korai és meghatározó normatív meghatározására is szolgált. Bacon csokorba szedte azokat a tényezőket, amelyek a jó (ámde logikailag továbbra is érvénytelen) induktív következtetést alááshatják. Ezeket Bacon idolumoknak (ködképnek) hívja, és ide tartoznak azok az emberi, nyelvi, kulturális tényezők, amelyek az objektív, elfogulatlan következtetést torzítják (Ladyman 2001).

Az induktív érveléssel kapcsolatos fenntartásokat David Hume domborította ki talán legélesebben, és az ő nevéhez kötik az induktív szkepticizmust. A tudományos vizsgálódás szempontjából hatványozottan aggasztó az induktív következtetéssel kapcsolatos probléma, ugyanis szinte sosincs lehetőségünk teljeskörűen megfigyelni egy jelenséget, így, szigorúan logikai szempontból, ez azt jelenti, hogy indukció útján nem tudunk bizonyítani semmi fontosat, a tudományos megállapításaink érvénytelenek.

Az indukció problémája különösen foglalkoztatta a Bécsi Kört, a XX. század 20-as, 30-as éveiben működő informális tudós csoportot, illetve az ebből kinövő filozófiai irányzatot, a logikai pozitivizmust és követőit. Legismertebb alakjai közé tartozik Rudolf Carnap, Moritz Schlick, Otto Neurath, Hans Reichenbach, illetve az angol nyelvterületről Alfred Jules Ayer. A logikai pozitivizmus az empirizmus radikális ágának tekinthető, szerintük a tapasztalat az egyetlen útja a tudás megszerzésének, egy állítás pedig akkor

tekinthető értelmesnek, ha elvileg lehet verifikálni, azaz meg lehet állapítani tapasztalati alapon, hogy igaz vagy hamis (Kenny, 2007).⁵ Schlick például úgy érvel, hogy a filozófia feladata az állítások jelentését vizsgálni és meghatározni, a tudományé pedig az igazságát megállapítani (Schlick 1979/2002). A reakció az induktív szkepticizmusra azonban nem volt egységes; Reichenbach például pragmatikus álláspontot képvisel, elfogadja az induktív szkepticizmust, de ennek ellenére azt mondja, hogy az indukciónál nincs jobb ismeretszerző eszközünk, ezért használni kell a tudományos kutatás során. Carnap javaslata valószínűségi logika bevezetése és kidolgozása volt – azaz (végtelenül leegyszerűsítve) azt nem tudjuk mondani, hogy minden holló fekete, sok megfigyelés után azonban nagyon valószínű. Karl Popper, aki a Bécsi Kör rendezvényeit látogatta, de nem tartozott filozófiailag a logikai pozitivisták közé, éles vitában állt velük, ezzel szemben elveti a konfirmáció lehetőségét; egy állítást nem lehet verifikálni, csak falszifikálni (Pritchard, 2014).

A tudományra vonatkozó elképzelései, a komoly logikai megalapozottság ellenére (vagy éppen azért), viszonylag röviden összefoglalhatók. Elméletének két építőköve van: a demarkáció és a falszifikáció. Egyik alapvető célja volt a tapasztalati tudományok és nem tapasztalati elméletek, világmagyarázatok éles megkülönböztetése, elválasztása egymástól – ezt érti a demarkáció problémája alatt. Ugyanakkor, ellentétben a logikai pozitivistákkal, a nem tapasztalati elméleteket nem gondolta értelmetlennek, jelentés nélkülinek,⁶ bizonyos metafizikai spekulációkat kimondottan hasznosnak találta a tudomány fejlődésének szempontjából. A demarkáció azt jelenti nála, hogy a tudományos jelzõt akkor érdemli ki egy elmélet, ha olyan hipotézisekkel szolgál, amelyeket empirikusan lehet tesztelni. Korának két nagyon népszerű gondolati irányzata, a pszichoanalízis és a marxizmus, Popper szemében nem volt tapasztalati tudomány, mert a megfigyelések post hoc módon valahogy mindig beilleszthetők voltak az elméletbe, nem szolgáltak olyan hipotézisekkel, amelyek nem teljesülése megingatta volna a gondolati építményt (Godfrey-Smith, 2003). Demarkációs kritériumként a falszifikálhatóságot javasolta, azaz, elfogadván az induktív szkepticizmust, egy elméletet nem lehet sohasem verifikálni, bizonyítani tapasztalati alapon, csak

⁵ Carnap viszonylag korán feladta a verifikáció kritériumát és a konfirmációt tette meg követelménynek (Psillos 1999). Ennek a részletezése azonban meghaladja a dolgozat kereteit.

⁶ A logikai pozitivisták metafizikával szembeni hozzáállását kiválóan mutatja Rudolf Carnap híres, *A metafizika kiküszöbölése a nyelv logikai elemzésén keresztül* című tanulmánya, amelyben többek között Heidegger írásaiból vett mondatokat vizsgál (pl. „A semmi maga semmizik.”) és arra a megállapításra jut, hogy a metafizikát művelők valójában tehetségtelen művészek, akik az „életérzést” nem tudják megfelelő művészi eszközzel kifejezni (Carnap 1932).

falszifikálni: „egy tapasztalati-tudományos rendszernek alkalmasnak kell lennie arra, hogy a tapasztalat megcáfolja.” (Popper, 1997, p. 50.). Ha egy elmélet kiállta a falszifikáció próbáját, tehát empirikusan tesztelésre került az elméletből következő hipotézis, és az nem lett elutasítva, akkor *korroboráltak* tekinthető (átmenetileg). Popper tehát teljes mértékben magáévá tette a fallibilizmust, azt a filozófiai doktrínát, mely szerint nem kerülhetünk birtokába végső, abszolút tudásnak, minden ismeretünket revideálhatjuk.

A végtelen regresszus problémáját Popper sem oldja meg:

[...] egy elmélet minden ellenőrzése meg kell, hogy álljon valamely alapállításnál, amelyről úgy döntünk, hogy elfogadjuk. Tehát egy ponton a kutatók egyetértenek az alapállításokban; ha egy napon már képtelenek lennének egyetértésre jutni az alapállításokkal kapcsolatban, ez a nyelv, mint egyetemes kommunikációs eszköz csődjét jelentené. Egy új „Bábel tornyával” lenne egyenértékű (Ibid. 137. o.).

Ugyanakkor az alapállítások is csak olyan kijelentések lehetnek, amelyet elvileg alá lehetne vetni tesztelésnek, de végső soron a folyamat konszenzuális jellegű:

Az objektív tudomány tapasztalati alapjában tehát nincs semmi abszolút. A tudomány nem sziklaalapon nyugszik. Elméleteink merész épülete, mondhatni mocsárra épül. Olyan, mint egy cölöpökre felhúzott ház. A cölöpöket felülről verik be a mocsárba, de nem valamilyen „természetes” vagy adott alapotba, és ha feladjuk kísérleteinket, hogy mélyebb szintet találjunk, ahová cölöpjeinket beverhetnénk, az nem azért van, mert szilárd talajig jutottunk. Egyszerűen azért álltunk meg, mert elég szilárdnak találjuk a cölöpöket ahhoz, hogy megtartsák az épületet, legalábbis egyelőre (Ibid. 145. o.).

Amint az eddigiekből is világos, elmélete normatív, tehát a tudós által követendő normákat, szabályokat szeretné felállítani, nem leíró, tudománytörténet:

[...] azt javaslom, hogy a tapasztalati tudományt módszerével jellemezzük: azzal, hogy milyen módon foglalkozunk a tudományos rendszerekkel: mit teszünk velük és azt hogyan tesszük. Így próbálom felállítani azokat a szabályokat, vagy ha úgy tetszik normákat, amelyek a tudóst [...] a kutatásban irányítják. (Ibid. 62. o.).

A popperi tudományfilozófia ereje a gyakorlati egyszerűsége, a (közgazdaság)tudományi használhatósága azonban kérdéses. Az egyik probléma, hogy a közgazdászok által használt elméletek alapfeltevései között van olyan, amelyet nem, vagy

csak nagyon nehezen lehetne falszifikálni, ráadásul az alapfeltevésekben sincs mindig egyetértés. Egy másik probléma, hogy a közgazdasági elméletekből következő előrejelzések gyakran csak kvalitatívak, azaz nem numerikus előrejelzések, hanem mindössze a kérdéses mutató változásának irányára vonatkozik, a nagyságára nem, ez pedig „olcsó korroborációhoz” vezet (Hands, 2008). A falszifikáció továbbá nem olyan egyszerűen kivitelezhető a gyakorlatban. Egy elmélet ugyanis mindig egy sor egyéb segéd-elmélettel együtt kerül tesztelésre,⁷ nem önmagában, izolált módon, ezért a kedvezőtlen kísérleti eredményt vagy megfigyelést lehetséges ezen az egyéb elméletek számlájára írni. A falszifikáció, illetve a Popper által előírt rendszer társadalomtudományi használhatóságával szemben elhangzik érvként, hogy az elméletnek újdonságokat kell megjósolnia. Mivel ez a közgazdaságtanban (és egyéb társadalomtudományokban) viszonylag ritkán fordul elő, ezért ez talán túlzottan szigorú megkövetelés (lásd például Hands, 2008). Azonban Popper jóval szélesebben határozza meg az erőjelzés fogalmát, így nem ez a kívánalom emelné a lécezt túlzottan magasra az elméletek közötti versenyben.

[...] a predikció, vagy előrejelzés terminus kiterjed a múltból megfogalmazott állításokra (retrodikció), sőt még az „adott” állításokra is, amelyeket meg akarunk magyarázni („explicandum”). (Popper, 1997, 75. o.).⁸

Kuhn, Lakatos, Feyerabend

A 20. század egyik legnagyobb hatású tudományfilozófusa minden bizonnyal Thomas Kuhn. Legfontosabb munkája *A tudományos forradalmak szerkezete*, amely alapvetően formálta a gondolkodást és a tudományos metodológiákról szóló vita kereteit. A fizikus végzettségű Kuhn, tudománytörténeti elemzésen keresztül mutatja be, hogy a tudósok tevékenysége, nem egészen olyan, ahogyan azt a logikai pozitivizmus vagy a racionalizmus kívánja láttatni. Bevezette a paradigma fogalmát, amelyet többféleképpen is használ, de alapvetően azon elméletek és módszerek összességét jelentik, amely alapján, illetve amely szerint végzik a

⁷ Ez az úgynevezett alulhatározottsági probléma, amelyről lesz még a későbbiekben bővebben szó.

⁸ Ezen meghatározás összhangban van a mai tudományos realizmus predikció felfogásával (Psillos 1999). A tudományfilozófia egyik ága a tudományos magyarázatok tulajdonságaival foglalkozik: azon szükséges és elégséges feltételek keresése (vagy annak a bemutatása, hogy ez nem lehetséges), amelyek lehetővé teszik, hogy az explanansból (a magyarázatban szereplő mondatok összessége, ideértve az empirikus körülményeket leíróakat is) következik az explanandum (a magyarázni kívánt jelenség). Az elméletek között egyetértés van abban, hogy a tudományos magyarázatok alkalmazhatósági körét részét képezik a már bekövetkezett események is, kezdve a logikai pozitivisták magyarázat-elméletével (a Carl Hempel által kidolgozott deduktív-nomologikus modell – Hempel 1962), egészen a kortárs unifikációs és pragmatikus elméletekig (lásd például Rosenberg 2001, Woodward 2017).

mindennapi munkájukat az adott területen dolgozó kutatók. A paradigma szerepe, hogy strukturálja, szervezze és kereteket adjon a tudományos tevékenységnek, segítse a kutatók hatékony együttműködését. A hatékonyság fontos elem a kuhni megközelítésben, és ez tetten érhető abban is, ahogy az elméletében a kutatók folytatják a tevékenységüket a paradigmán belül. Ezt Kuhn normál tudománynak hívja, amely alatt a paradigma szolgáltatott keretek között végzett tudományos tevékenységet érti, vagyis a paradigma által szolgáltatott elméletek és módszerek alkalmazása, a paradigma által felvetett kérdések megválaszolására. (Godfrey-Smith 2006). Gyakran hasonlítja a normál tudomány művelését „rejtvényfejtéshez”, amely növeli a paradigma alkalmazási körét és pontosságát. Fontos megállapítása, hogy a kutatók, a paradigmából következő várakozásokkal összhangban nem levő eredmények (amit Kuhn anomáliának hív) esetén, nem hagyják el a paradigmát, nem tekintik azt a paradigma alapvető kereteinek a megcáfolásának. Egyrészt az anomália is csak a paradigma által válik anomáliává és ezáltal felismerhetővé:

Az anomália csak a paradigma adta háttér előtt válik láthatóvá. Minél pontosabb a paradigma, minél szélesebb az érvényességi köre, annál érzékenyebben jelzi az anomáliákat. (Kuhn 75. o.)

Másrészt a paradigma elhagyása a korábban elfogadott elméletek, szabályok és módszerek (részleges) elhagyását is jelentené, ez azonban azzal a kockázattal járna, hogy a tudományos munka elveszítené a strukturáló kereteit, a kutató ledobná a paradigma biztosította vértet, és védtelenül állna a külső világ bizonytalanságával szemben:

[...] paradigma vagy paradigmajelölt híján egyformán fontosnak látszik minden olyan tény, amely esetleg hozzájárulhat egy adott tudomány fejlődéséhez. [...] az adatgyűjtés sokkal közelebb áll a vaktában végzett keresgéléshez. (Ibid 29. o.)

A paradigma elhagyásához ezért két feltétel együttes teljesülése szükséges: az anomáliák száma meghaladjon egy kritikus tömeget és az anomáliák magyarázatára képesnek látszó rivális paradigma megjelenése. Ebből az is következik, hogy Kuhn feltételezi, hogy normális esetben, egy adott tudományterületen egy domináns paradigma van, rivális paradigmák csak az anomáliák szaporodásával jelennek meg. A dolgozat szempontjából lényeges elem, hogy a paradigma meghatározza a kutatás során használt eszközök körét is, amelyet a paradigmán belül dolgozó kutatók elfogadnak:

„Mindaddig, amíg a paradigma szolgáltatta eszközök képesek bizonyulnak a paradigmából következő feladatok megoldására, a tudomány akkor halad a leggyorsabban, és akkor hatol a legmélyebbre, ha magabiztosan használják ezeket az eszközöket. Az ok is nyilvánvaló. Ugyanúgy, mint az iparban, az eszközkészlet felújítása a tudományban is rendkívül költséges, ezért csak szükség esetén szabad ehhez folyamodni. A válságok azért fontosak, mert jelzik, hogy itt az ideje az eszközkészlet felújítására.” (Ibid 85. o.)

Kuhn elméletének egyik leginkább vitatott pontja, az amely a paradigma és a tudományos tapasztalat közötti összefüggésre vonatkozik. Az érzékeléssel kapcsolatos pszichológiai eredményeket használva alátámasztásul, úgy érvel, hogy a „paradigma meghatározza a tapasztalatot”, „az érzéki tapasztalat nem változatlan és nem semleges” (Ibid 211. o.). Ezen megállapításoknak van egy filozófiai aspektusa, amely a tudás mibenlétéhez kapcsolódik. A tudás a külső világ valamely időben viszonylag stabil szabályszerűségére vonatkozik, és feltételezi a tudás valamilyen reprezentációját: a propozicionális tudás alapvetően nyelvi reprezentációt használ, de a nyelvi reprezentáció is feltételez valamilyen kognitív apparátust, amelyen a nyelv működik. Megfelelő apparátus nélkül nem lehetséges reprezentáció kialakítása, de ami még lényegesebb, az adott apparátus kijelöli a lehetséges tapasztalatok körét. Ennek az az oka, hogy (Henri Plotkin filozófus, biológus gondolatait követve) a környezet változásait figyelő eszközök, érzékszervek mindössze a környezeti paraméterek egy részének, és azoknak is csak egy korlátozott sávban történő változását képesek figyelni. Egy általános-célú szenzornak a környezet minden típusú energia változását kellene korlátlan érzékenységgel követnie, ez pedig magában foglalná, hogy az adatok feldolgozását végző ágens minden ilyen változást képes értelmezni (Plotkin 1993), a változásokban mintázatokat felfedezni és ebből reprezentációkat létrehozni. Ez praktikusán omniszciens felhasználót feltételezne. Más szavakkal, a környezetben lévő potenciális szemantikai információ felismerése igényel valamilyen arra alkalmas apparátust, ennek hiányában a potenciálisból nem lesz realizált információ. Daniel Dennett filozófusnak szemléletes példáját veszem kölcsön ennek illusztrálására: a küllős kerekű kocsit nemcsak a gabonát hordozza, amivel meg van rakodva, hanem a küllős kerekű kocsit, mint a szállítást megkönnyítő eszköz információját is. Az út szélén álló kutya számára azonban ez nem jelent semmit, nem állnak rendelkezésére az ezen információ hasznosításának kompetenciái (Dennett 2017).

A tapasztalatra vonatkozó megállapítások másik következményére később, az adatmodelleket vizsgáló fejezetben még visszatérek. Itt röviden elég annyiban összefoglalni a problémát, hogy a tudományos kísérlet, megfigyelés stb. során összegyűjtött adatok nem tekinthetők nyers, semleges adathalmaznak, amely teljesen független lenne a kutató előzetes elméleti feltevéseitől, illetve az adatok feldolgozására használt eszközök módszerek is a paradigma által meghatározottak.

A közgazdaságtudomány módszertani irodalmának egy másik sokat hivatkozott személye Lakatos Imre. Annak ellenére, hogy Lakatos egyetért Kuhnmal abban, hogy tudománytörténetnek fontos szerepe van a tudományfilozófiában, kritizálja az elméletét: az a tudomány működését (szerinte) irracionálisnak láttatja:

Szerinte a tudományos felfedezésnek csak pszichológiája van, logikája nincs. Úgy véli például, hogy a tudomány mindig telis-tele van anomáliákkal és ellentmondásokkal, vagyis az örökös zűrzavar állapotában van. A „válságoknak” nincs racionális oka, amely a „paradigmák” bukásához vezetne. Nála a „válság” pszichológiai fogalom, s jelentése ragályos pánik. Így a tudományos forradalom irracionális, és a tömegpszichológiai területére tartozik. (Lakatos 1997, 60. o.)

Ezért Lakatos a tudomány történetének racionális rekonstrukcióját javasolja, azaz azon logikai lépések feltárását, amely mentén a tudósok a döntéseiket hozták. Erre később még visszatérek.

Az elemzés egysége Lakatosnál nem az egyes elmélet, hanem a kutatási program. A kutatási program, amely a kuhni paradigmához nagyon hasonló fogalom, metodológiai szabályokból áll – ezekre Lakatos pozitív heurisztika, illetve negatív heurisztika néven hivatkozik. Eszerint egy tudományos elmélet rendelkezik ún. „kemény maggal”, vagyis igaznak elfogadott állítások halmazával, a negatív heurisztika pedig ezt jelöli ki, ezt nem lehet megkérdőjelezni. Eköré épül a „védőöv”, amely a módosítható, falszifikációnak kitéhető állításokat tartalmazza, a tulajdonképpeni tudományos munka itt zajlik. A pozitív heurisztika a kutatási sorrendet vagy kutatási stratégiát tartalmazza:

[...] javaslatokból áll, amelyek arra vonatkoznak, hogy miként kell a program „cáfolható változatait” megalkotni, vagyis hogyan kell a védőövet módosítani és továbbfejleszteni. A kutatási program „magját” a résztvevők módszertani döntése „cáfolhatatlannak” nyilvánítja, de a segédhipotézisekből álló védőöv módosítható és „cáfolható”. (Lakatos 1997, 47. o.)

Más szavakkal, a negatív heurisztika azon ösvényeket tartalmazza, amelyekre nem szabad lépni a kutatás során, a pozitív heurisztika pedig a követendő utakat jelöli ki. Hangsúlyozza, hogy egy negatív eredmény nem falszifikál egy egész kutatási programot, csak a „védőövet”, segédhipotéziseket kell módosítani. Az igazán lényeges különbség a paradigma és a kutatási program között, hogy Kuhn-nál, normál időszakban egy paradigma létezik, és a tudósok azon belül dolgoznak. Kutatási programból azonban jellemzően több van, és azok egymással folyamatosan versengenek.

A tudományos haladás Lakatos szerint ún. probléma eltolódáson keresztül értelmezhető: progresszív probléma eltolódásról akkor beszélhetünk, amennyiben az egymást követő kutatási programok esetén teljesül, hogy az elméleti tartalom növekszik, és ez a növekmény sikeresen jelzett előre új tényeket. A növekvő empirikus tartalom azt jelenti, hogy az elmélet többet mond a világról, könnyebb falszifikálni. Degenerálódó probléma eltolódás alatt azt érti, hogy az elméleti tartalom elmarad az empirikus növekedés mögött, vagyis az elmélet csak utólagos magyarázatokkal képes szolgálni, ebben az esetben a kutatási program stagnál. Ami nagyon fontos, az az időbeliség: egy stagnáló kutatási program nem jelent feltétlenül zsákutcát, azaz később még lehet belőle progresszív, a kutatónak nem kell feltétlenül elhagynia azt:

Lehet racionálisan ragaszkodni egy degenerálódó programhoz, míg egy rivális program meg nem előzi, sőt még azután is. Amit nem lehet tenni, az a nyilvánosan feljegyzett gyenge teljesítmény letagadása. [...] Teljesen racionális kockázatos játékot játszani. Az irracionális, ha becsapjuk magunkat a kockázatot illetően. (Lakatos 1997, 90. o.).⁹

Felmerül a kérdés, hogy meddig tartson ki a kutató a stagnáló kutatási program mellett. Lakatos válasza erre az, hogy amíg a degenerálódó programhoz való ragaszkodás „racionális (őszinte)”, nem pedig „irracionális (becstelen)”. Ennél konkrétabb gyakorlati útmutatással nem tud, és nem akar szolgálni, emiatt többen kritizálták, elméletének ez talán a leggyengébb

⁹ Érdemes megjegyezni, hogy ez a megállapítás legalábbis kérdőjeles: Frank H. Knight (1921) például elválasztja egymástól a kockázatot és bizonytalanságot – előbbi azt jelenti, hogy ismerjük a véletlen esemény valószínűség-eloszlását, utóbbinál nem. A jövőre vonatkozóan azonban semmilyen valószínűség-eloszlást nem ismerhetünk (induktív szkepticizmus ismét), így jövőbeli eseményekkel kapcsolatban csak bizonytalanságról beszélhetünk, amely esetben nem világos, hogy miképpen lehet racionális döntést hozni. (Dahmi 2017)

pontja (lásd például Losee, 2001). Lakatos azonban, szemben Popperrel, nem próbált követendő szabályokat javasolni a kutatók számára:

Nem hübrisz-e megpróbálni valamiféle a priori tudományfilozófiát rákényszeríteni a legfejlettebb tudományokra? Nem hübrisz-e azt követelni, ha mondjuk a newtoni, vagy einsteini tudományokról kiderül, hogy megszegte Bacon, Carnap vagy Popper a priori szabályait, hogy kezdjük az egészet előlről?” (Lakatos, 1997, 98. o.).

Több okból is nehéz értékelni Lakatos Imre tudományfilozófiáját. Egyfelől elmélete nem hozott különösebb újdonságot, a gyakorlati kutatói munkához pedig nem nyújt segítséget. Másfelől a törekvése, hogy a tudományt valamilyen racionális tevékenységnek láttassa a tudománytörténet racionális rekonstrukcióján keresztül legalábbis problémás. A legfőbb gond, hogy nem definiálja mit ért racionális viselkedés alatt. Tanulmányai alapján olyan benyomásunk alakulhat ki, hogy bármely viselkedést tekinthetünk racionálisnak, amely nem véletlenszerű, tehát a viselkedésnek valamilyen struktúrája van, a struktúra szabályai pedig végső soron feltárhatók. Ez természetesen lehet téves interpretáció, azonban az biztosan kijelenthető, hogy mit nem tekintett racionálisnak, a Kuhnra vonatkozó kritikái ugyanis egyértelművé teszik: az „áttérést”, vagyis amikor a kutató látszólag racionális ok nélkül elhagyja a paradigmáját és csatlakozik a riválisához. Ezt nevezi Lakatos „tömegpszichológiának”.

A fenti kritikák fényében érdemes eltűnődni azon, hogy akkor mégis miért volt népszerű az elmélete a közgazdászok körében,¹⁰ a későbbiekben, a pragmatizmus tárgyalását követően a dolgozat kísérletet tesz, hogy megalkossa a racionális rekonstrukcióját a közgazdászok módszertani „áttérésének”.

Lakatos jó barátja és kollégája az LSE-n, Paul Feyerabend, *A módszer ellen* című munkájában alapvetően az előre rögzített módszertani szabályok megléte ellen intézett heves támadást. Kuhnhoz hasonlóan fizikus végzettségű, aki a tudománytörténetből vett esettanulmányok

¹⁰ Áttekintő tudományfilozófia művek rendszerint röviden tárgyalják Lakatost (lásd például Godfrey-Smith, 2003; Losee, 2001; Machamer – Silberstein, 2002, Ladyman 2001, Rosenberg 2002), amely éles kontrasztban van például a közgazdaságtudomány módszertani kérdéseit vizsgáló, meghatározó, Mark Blaug (1992) által jegyzett, *The Methodology of Economics* lakatosi nézőpontjával. Ami azt illeti, valószínűleg ezen dolgozat is aránytalanul sok helyet szentel neki.

elemzésén keresztül mutatja be, hogy a módszertani szabályok, amelyek valamifajta racionális tudományképből táplálkoznak, a gyakorlatban sosem kerültek követésre.

„Nincs egyetlen szabály sem, legyen bármennyire meggyőző és ismeretelméletileg szilárdan lehorgonyozott is, amelyet ne sértettek volna meg valamikor.” (Feyerabend 2002, 45. o.)

„Aki a történelem nyújtotta gazdag anyaghoz fordul, és nem tökélt el, hogy megtizedeli, csak hogy ezzel kielégítse alantas ösztöneit, mármint kétségbeesett vágyát a világosság, precízió, 'objektivitás', 'igazság' kínálta szellemi biztonságra, az belátja, hogy egyetlen alaptétel van, amely minden körülmények között és az emberi fejlődés minden stádiumában képviselhető. Az az alaptétel, amely úgy szól: bármi megteszi.” (Ibid 78. o.)

Mindezek alapján azt mondja, hogy a tudománytörténetet végig követő racionális kutatónak nem marad más választása, mint a *módszertani anarchizmus*. Feyerabend (Lakatossal egyetértve) szerint a kutatók szükségszerűen kell, hogy használjanak ad hoc feltevéseket, az új elméleteket mintegy megtámasztván, tekintettel arra, hogy egy új elmélet szükségszerűen nem lehet összhangban a korábbi megfigyelésekkel. Ez utóbbi jelenségnek az az oka, hogy a megfigyelések eredményei, illetve annak értelmezései során, amit Feyerabend természetes interpretácónak nevez, a tudóst szükségképpen a korábbi elméletei, illetve feltevései befolyásolják, ezért a megfigyelés és az új elmélet közötti diszkrepancia csökkentésére *szükségszerűen* használatosak az ad hoc jellegű hipotézisek.

Kuhnhoz hasonlóan úgy véli, hogy a kutató módszertani szabályok és keretrendszer nélkül a káosszal és bizonytalansággal néz szembe, azonban míg Kuhn úgy találja, hogy a paradigmán belül végzett normál kutatással, a kutató operatív munkájának strukturálásán keresztül a megoldandó problémákat hatékonyan tudja végezni, addig Feyerabend úgy véli, hogy a tudósnek meg kell „ragadnia” a bizonytalanságot, nem pedig visszaregresszálnia egy kevésbé bizonytalan világba, mert csak ezáltal képes igazán új ismereteket felfedezni.¹¹

¹¹ A káosz és a bizonytalanság nem azonos fogalmak. Kaotikusnak tekintünk egy rendszert, ha annak a viselkedése érzékeny a kiinduló feltételekre. Kaotikus rendszerek azonban determinisztikusak is lehetnek. A bizonytalanság ezzel szemben a véletlenszerűsége utal, vagyis, hogy a kiinduló feltételek ismerete nem eredményezi a rendszer viselkedésének ismeretét (Page 2011).

Az információ lokális növekedéséhez viszonylag stabil struktúrák kialakulására van szükség: az univerzumban az anyag kialakulásnak lehetőségét meg kellett előznie a sugárzás energiájának csökkenése. Ha össze is akadt

Feyerabend módszertani anarchizmusa kevés támponttal szolgál arra vonatkozóan, hogy mely módszer, eszköz, megközelítés vagy modell a célravezető adott esetben, ezért nehezen használható gyakorlati szempontból és nem járul hozzá a tudományos elméletek közötti szelekció hatékonnyá tételéhez. Azonban sikeres lehet, amint a paradigma vagy kutatási program megreked, segíthet berögzült, de már hatástalan eszközrendszer kibővítésében, lecserelésében, illetve a bizonyos ki nem mondott feltételezések felülvizsgálatában.¹² ”Az elméleti anarchista olyan, mint a titkos ügynök, aki azért vesz részt az ész játékában, hogy aláássa az ész (Igazság, a becsületesség, igazságosság) tekintélyét.” (Ibid. 64. o.)

2.3 Konstruktivizmus

A modellezés, reprezentáció szempontjából a következő fontos eszmei irányzat az ún. konstruktivizmus (hívják még társas konstrukciónak, illetve konstrukcionizmusnak is) megközelítése. Nagy vonalakban az elmélet magva azt mondja, hogy a világ jelenségeinek (amibe bele lehet érteni az egyes ember belső világát is) a strukturálása és megismerése nem kizárólag érzékszervi tapasztalatok alapján adott, hanem a társas interakciók, szokások, normák nagyban befolyásolják azt, bizonyos reprezentációkat a világról favorizálnak, sőt bizonyos jelenségek létrehozása is így történik meg. Peter Berger és Thomas Luckman 1966-ban megjelent, *A valóság társadalmi felépítése* c. munkájuk volt az első, amely a fentiek

egy proton egy elektronnal, létrehozva egy hidrogén atomot, a sugárzás miatt a kapcsolat nem lehetett tartós. Amint az univerzum tágulása és lehülése nyomán a sugárzás energiája csökkent és stabilizálódott, lehetővé váltak a tartós anyagi struktúrák. Hasonlóan, az élet kialakulásához is stabil anyagi struktúrák meglétére volt szükség, ahol a környezeti paraméterek fluktuációja nem haladott meg egy kritikus értéket. Amennyiben az a rendszer viszonylagos stabilitása fennmaradt kellően hosszú ideig, a biológiai evolúció stabil és diverz biológiai struktúrák megjelenését eredményezte. Majd néhány milliárd évvel később ezek a stabil biológiai struktúrák következőképpen lehetőséget teremtettek a kulturális tartalmak, kulturális struktúrák megjelenésére. Mind az anyagi, mind a biológiai mind a kulturális evolúció folyamatához feltétel volt valamilyen viszonylag stabil, nem teljesen véletlenszerű környezet előzetes megléte. Ez azt jelenti, hogy a struktúra, illetve annak környezetének paraméterei nem voltak állandóak, viszont a volatilitásuk bizonyos határértékek között maradtak (Chaisson 2001). Olvasatomban Kuhn egyik legfontosabb felismerése, hogy a tudományos tudás növekedéséhez is szükségesek a stabil struktúrák, amelyeket a paradigma biztosítja.

A lengyel drámaíró, Slawomir Mrozek Tangó című abszurd drámájának egyik konfliktusa is éppen ekörül mozog: az idősebb generáció teljesen lerombolta a társadalmi konvenciókat és szabályokat, a fiatal generáció pedig azt tapasztalja, hogy szabályok nélkül, teljes bizonytalanságra nem lehet életet alapozni, az „semmilyenességhez”, nihilizmushoz vezet.

¹² Leonard Mlodinow fizikus *Elastic: Flexible Thinking in a Time of Change* című könyvében a flexibilis gondolkodást kutatva, arra a megállapításra jut, hogy az igazán kreatív és rugalmas gondolkodás kulcsa éppen az, hogy a ki nem mondott, implicit vagy evidenciaként elfogadott feltételezéseket is időről időre explicitté kell tenni és felül kell vizsgálni, el kell hagyni (Mlodinow 2018).

értelmében használta a kifejezéseket. A munkájuk alapvetően a társas valóság kialakulására fókuszál, azaz a társadalmi környezetünk jelenségeinek, intézményeinek kialakulásával és fennmaradásával foglalkozik. Korábban láttuk, hogy Kuhnál a paradigma befolyásolja a megfigyelést, illetve annak értelmezését, emiatt gyakran sorolják őt is a konstruktivisták közé. Minden bizonnyal Kuhn nem fogalmazott kellően világos módon, amikor a paradigma és a világ közötti kapcsolatról írt, és ez joggal adott támadási felületet a kritikusaiknak. Berger és Luckman esetében ez nem áll fenn, egyértelműen megkülönböztették a társadalmi, intézményes valóságot (szubjektív valóság) a természeti világtól (objektív valóság): előbbi teljes mértékben emberi termék, utóbbi nem. Azonban „az intézményes világot is objektív valóságként éljük át”.¹³

A dologiasodás azt jelenti, hogy az emberi jelenségeket úgy fogunk fel, mintha dolgok, azaz az emberen kívül vagy az ember fölött állók lennének – az emberi tevékenység termékeinek olyan felfogása, mintha valami mások lennének, mint emberi termékek – természeti tények, kozmikus törvények következményei vagy isteni akarat megnyilvánulásai. Ez feltételezi, hogy az ember képes elfelejteni, hogy ő maga az emberi világ alkotója. (Berger – Luckman 1966, 147. o.)

Berger és Luckman rávilágítanak, hogy a szubjektív valóság megalkotása és fenntartása közös társadalmi tevékenység és bizonyos szereplőknek, intézményeknek, személyeknek nagyobb befolyásuk lehet annak formálására. Ez pedig érdekellentéteket okozhat, azaz „konfliktusokat szülhet, hogy ki legyen a valóságmeghatározó” (Ibid.). A filozófus David Hull úgy véli, hogy a tudóst alapvetően két dolog motiválja: a kíváncsiság, a világ megismerésének igénye, illetve az elismerésre való törekvés. Utóbbi lényegében a kutató státuszát jelenti a tudományos közösségen belül, illetve azon kívül. Akinek nagyobb befolyása van a tudomány alakulására, akinek a publikációi több hivatkozást kapnak, annak nagyobb az elismertsége is. Evolúciós pszichológiai kutatások alapján jó okunk van feltételezni, hogy a versengés a státuszért és az ezzel járó befolyásért, valószínűleg része az ember főemlős örökségének és a motiváció egyik

¹³ A szubjektív és objektív kifejezések használata félrevezető lehet. John Searle megkülönbözteti az episztemológiai és az ontológiai objektív-szubjektív relációt. Az előbbi ítéletekre, megállapításokra vonatkozik, azaz például az a kijelentés, hogy a Metallica jobb zenekar, mint a Pantera, episztemológiai szubjektív, ugyanis az állítás igazságtartalma nem (kizárólag) külső tényektől függ, ellenben az, hogy a Metallicának jelenleg négy tagja van, az episztemológiai objektív prédikátum. Ontológiai értelemben az objektív-szubjektív distinkció különböző dolgok, entitások létezésére vonatkozó megállapításokra vonatkozik. Ontológiai értelemben objektív például egy hegynek a létezése, míg szubjektív például valamilyen fájdalom érzékelése. Utóbbi létezése ugyanis attól függ, hogy azt érzékeli valaki, míg az előbbi létezése ettől független (Searle 1995).

legfontosabb forrását jelenti (Henrich, 2020). Beszélhetünk tehát a kutatók közötti komoly versengésről, ugyanakkor a tudományos eredmények tekintélyes és egyre növekvő része együttműködések, kutatócsoportok, közösségek gyümölcse, vagyis a versengés mellett az együttműködésnek is szükségszerűen meg kell jelennie a tudományos világban működők között (Godfrey-Smith 2008). Ezekre a kérdésekre ebben a fejezetben még később visszatérek.

A szubjektív világ fenntartása folyamatos munkát, tevékenységet igényel az érintett szereplőktől: az intézmények, rituálék, szokások és általában a kulturális termékek, jelenségek (mémek) igénylik a hordozót, aki magáévá teszi, megtanulja, elsajátítja őket. A társadalmak gyakran kialakítanak formális és informális módjait a társas valóság legfontosabb elemeinek a továbbítására, előbbire természetesen az iskolák szolgáltatják a legjobb példát, ahol standardizált formában, felügyelet mellett történik mindez. A társadalmi világ stabilizálása magában azt is jelenti, hogy a világ felépítményének bizonyos fundamentumait vagy aspektusait nem kérdőjelezi meg, ugyanis ez esetlegesen destabilizálná magát a szubjektív világot: „Fontos a kételyek felfüggesztése; kételyekkel szemben sajátos társadalmi szankciókat is internalizálunk (pl. nevetségesség).” (Berger - Luckman 1966).

Mallon (2019) nyomán a konstruktivizmussal kapcsolatos tárgyalást tovább strukturálva két kérdést tehetünk fel. Az első az alanyra vonatkozik, azaz ki, vagy mi konstruál. Alapvetően két megközelítés különböztethető meg. Az első valamelyiken személytelen struktúrát vagy csoportot jelöl meg alanyként, mint például a kultúra, a konvenciók, intézmények stb. Korábban láttuk, hogy Kuhn tudományfilozófiájában fontos szerepet játszik a paradigmán belüli feltevések, normák és elfogadott elméletek az adatok értelmezésénél, és emiatt Kuhnt is sokan a konstruktivizmushoz sorolják. A másik megközelítés alapján a konstruáló valamilyen személyes ágens, aki a tevékenysége során, a meghozott döntésein keresztül végzi a társas konstrukciót. Például amikor a kutató a munkája során választ az általa elfogadott elméletek között, vagy amikor kiértékeli a kísérletek eredményeit. A tudomány azonban alapvetően társas tevékenység. Abban az értelemben legalábbis mindenképpen, hogy azon tartalmak (cikkek, könyvek, elméletek, modellek, empirikus eredmények), amelyeket a tudós vagy tudós közösség előállít, akkor lesz a tudomány része, ha a tudományos közösség által felállított szabályrendszernek az megfelelő, valamilyen grémium áldását adja rá (jellemzően a lektorok).

A következő felmerülő kérdés a konstruktivizmus kapcsán a tárgy, azaz mi jön létre a társas konstrukció során. A mérsékelt konstruktivizmus alapján a létrehozott dolgok

reprezentációk, azaz fogalmak, kategorizációk, elméletek stb. Az alapvető dilemma a külső világ észlelőtől, társadalmi hatásoktól független, objektív létezéséről szól. A mérsékelt konstruktivizmus képviselői nem tagadják, hogy létezik objektív valóság, azonban a valóságról adott leírása a tudománynak a társadalmi hatásoktól egyáltalán nem tekinthető függetlennek, emiatt a valóság szerkezetének ilyen leírása sem tekinthető minden esetben problémamentesnek (Giere 2004). A radikálisabb megközelítés azonban idesorol bizonyos, a reprezentáción túli, a külső világgal kapcsolatos jelenségeket is. Giere (2004) szerint ez utóbbi azonban inkább tekinthető kisebbségnek a konstruktivizmuson belül, emiatt nem foglalkozunk vele részletesebben.

Tekintettel arra, hogy a társadalmi valóságot az emberek hozzák létre és tartják fenn,¹⁴ a saját tudományterületünkénél maradva, felmerül a kérdés, hogy a közgazdasági elméletek és modellek hatással vannak-e társadalmi valóságra, a megfigyelhető közgazdasági jelenségekre. Viszonylag jól dokumentált megfigyelés, hogy a közgazdasági, üzleti iskolák hallgatói, összehasonlítva más tudományterületek hallgatóival, hangsúlyosabban önérdékkövetők, az altruizmus, kooperáció kevésbé jellemző rájuk (Gerlach 2017; Wang et al. 2011). Sőt, egyetemi oktatók, professzorok körében elvégzett felmérések is arra engednek következtetni, hogy a gazdasági területen dolgozók kevésbé hajlandók a jótékony felajánlásokra, más tudományterületek oktatóival összevetve (Frank et al. 1993). Az empirikus adatok fényében elképzelhető, hogy a hallgatók, oktatók saját belső normáit befolyásolják a közgazdasági és pénzügyi modellek azon tulajdonsága, hogy azok jellemzően kizárólag önérdékkövető ágensekre épülnek. Ugyanakkor az is lehetséges, hogy a gazdasági, üzleti szakokra arányait tekintve nagyobb számban azok jelentkeznek, akik inkább önérdékkövetők, vagyis nem a képzés hatására lesznek a teljes populációtól eltérőek, hanem szelekció valósul meg. Az empirikus kutatások mindkét hatást alátámasztani látszanak: azaz gazdasági/üzleti szakokon nagyobb arányban képviseltetik magukat az önérdékkövetést jobban preferáló személyek,

¹⁴ Yuval Harari például a népszerű könyvében, a Sapiensben, a Peugeot autógyártót, mint jogi entitást vizsgálva megállapítja: ha hirtelen az összes Peugeot által gyártott autó eltűnne a földről, a Peugeot vállalat (amely egyébként része a Stellantis Csoportnak) továbbra is létezne. Ezzel szemben, ha a cégbíróság valamilyen okból megszüntetné a francia vállalatot, abban az esetben függetlenül attól, hogy a gyárépületek és legyártott járművek fizikailag továbbra is léteznek, a Peugeot jogi entitás megszűnne létezni (Harari 2014). Az utóbbi ezért a terminológiánk szerint az intézményes valóság részét képezi.

ugyanakkor a tanulmányaik is módosítják a hallgatók preferenciáit (Frank et al. 1993; Gandal 2005).¹⁵

A modellek hatása azonban nem csak a gazdasági szereplők viselkedésén érhető tetten. Alan Kirman szerint például a kormányzatok, jegybankok, fontos nemzetközi intézmények (pl. IMF, Világbank) a döntéseik, javaslataikhoz megalapozásához használt makrogazdasági modelljei jelentősen formálhatják a gazdaság alakulását (Kirman 2010). Donald Mackenzie gazdaságszociológus amellett érvel, hogy a pénzügyi modellek és elméletek jelentősen befolyásolták és formálták a pénzpiaci infrastruktúra alakulását, a piacok szerkezetét, és ezáltal vezettek a modellek és a megfigyelt jelenségek közötti diszkrepancia csökkenéséhez. Más szavakkal, a gazdasági-pénzügyi intézményi valóság közeledett a modellek világához (Mackenzie 2006). Érvelésének alátámasztására megvizsgálta a legjelentősebb pénzügyi modellek kialakulását és hatását a pénzpiaci környezet alakulására, így például a Black-Scholes opcióárazási formulát, a Tőkepiaci árfolyamok modelljét (CAPM) illetve Modigliani és Miller nevezetes tételeit. Mackenzie J. L. Austin filozófus performativitás koncepcióját felhasználva kategorizálja a közgazdaságtudomány esetleges hatásait a gazdasági folyamatokra. Általános (generic) performativitásnak hívja a legbővebb halmazt, ideértve minden olyan esetet és jelenséget, amikor a közgazdaságtudomány eredményeit, modelljeit, tételeit stb. az akadémiai szférán kívüli aktorok (piaci szereplők, szabályozók stb.) használják, alkalmazzák. Az általános performativitásból nem szükségszerűen következik, hogy a gazdasági folyamatok megváltoznak, vagy másképpen alakulnak, mint egyébként alakulnának. Ezért az általános performativitásnak részhalmaza az effektív performativitás, azaz amikor a közgazdaságtudomány ténylegesen hatással van a vizsgálatának tárgyára. Ezen belül két további eset különböztethető meg: az elsőben a közgazdaságtan hatása a gazdasági folyamatokra, aktorokra és környezetre olyan, hogy azok jobban közelítenek az elméletek és modellek következtetéseihez (ezt hívhatjuk önbeteljesítő jóslatnak is). Azonban ennek az ellenkezője is elképzelhető, azaz a megfigyelt gazdasági események távolodnak az elméleti előrejelzésektől.

Ahogy azt majd a következő alfejezetben részletesebben megvizsgálom, a realizmusnak, mint a valóságra vonatkozó filozófiai vizsgálódásnak két formája van. Az egyik

¹⁵ Más kérdés, hogy az elméleti közgazdaságtan egyik alapköve, a racionális választások elmélete, nem határoz meg az egyén preferenciáinak *tartalmára* vonatkozóan semmit, de kétségtelen, hogy J. S. Mill óta a 20. század végéig az uralkodó feltételezés, amivel a közgazdászok „feltöltötték” a modelljeiket, a Homo Economicus volt.

a létezésre, vagyis dolgokra, illetve dolgok tulajdonságaira vonatkozik. A másik formája a függetlenséggel kapcsolatos, azaz a különböző dolgok létezése független bárkinek vélelmétől és fogalmi kereteitől (Miller 2016). Világos a fentiekből, hogy a társadalmi valóság esetében a függetlenségi feltétel sérül, van okunk feltételezni, hogy a közgazdasági modellek, elméletek nem pusztán leírják a szocio-ökonómiai jelenségeket, hanem visszacsatolásokon keresztül hatással is vannak azokra.

2.4. Tudományos realizmus, empirizmus

A modern tudományfilozófiában az elméletek közötti alapvető törésvonal a tudományos realizmus és az empirizmus között húzódik. Általánosságban, az empirizmus (hívják anti-realizmusnak is) azt szándékozik megmutatni, hogy a tudományos diskurzus kialakítható oly módon, hogy az ne köteleződjön el nem megfigyelhető dolgok létezése mellett. Ezzel szemben a tudományos realizmus amellett érvel, hogy a tudományban az elméletek teljes magyarázata megköveteli a nem megfigyelhető dolgok létezése melletti állásfoglalást (Psillos 1999).¹⁶ A tudományos realizmus magában foglal egy metafizikai, egy ontológiai és egy episztemológiai állásfoglalást. A metafizikai szerint létezik az külső világ és az független a megfigyelőtől, leszámítva esetlegesen a valóság azon jelenségeit, amelyek gondolatokból, elméletekből és különböző szimbólumokból épülnek fel (Godfrey-Smith 2009). A ontológiai feltevés az elméletek és modellek interpretációjára vonatkozik – a tudományos realizmus lényegében szó szerint értelmezi azokat, vagyis a világra úgy tekint, amelyben az elméletek és modellek által leírt megfigyelhető és nem megfigyelhető entitások, dolgok és jelenségek alkotják. Az empirista, anti-realista megközelítések jellemzően a megfigyelhető jelenségek és folyamatok megragadására használt elméletek és modellek prediktív képességét hangsúlyozzák, és azok ontológiai aspektusait nem tartják sem eldönthetőnek, sem pedig fontosnak. Más szavakkal, az empirista számára az elmélet teljesítménye a releváns, viszont nem tartja az elméletben szereplő dolgok létezésére vonatkozó állításokat igazságértékkel rendelkezőnek így értelmesnek, ezért az arról való állásfoglalást felfüggeszti.¹⁷ A harmadik hipotézis, vagy feltevés alapján (episztemológiai elköteleződés) a sikeres modellek és

¹⁶ Nem megfigyelhető dolgokra a klasszikus példát az elektronok jelentik, de a közgazdságtanban is találunk példát erre. A legismertebb és talán legfontosabb az ún. természetes kamatláb, vagy más néven a kamat természetes rátája, de akár a potenciális kibocsátás vagy a munkanélküliség természetes rátája is megemlíthető.

¹⁷ Ezt szokás instrumentális empirizmusnak hívni és leginkább Bas Van Fraassen nevéhez kötődik, bár ő maga ezt konstruktív empirizmusnak nevezi (Van Frassen 2004).

elméletek a való világ közelítőleg igaz, korrekt leírását adják, vagyis lényegében azt posztulálja, hogy a tudomány aktuális állása a világról nagyjából helyes.

Az empirista a fenti alapvetések egy nemüres részhalmazát tagadja, és érvel amellett, hogy pusztán az elméletek és modellek tapasztalati sikeressége nem teszi lehetővé a további ontológiai és episztemológiai állítások igazságértékének vizsgálatát. Érdeemes ezt összevetni két gyakorló tudós, Stephen Hawking és Leonard Mlodinow (2011) nézeteivel:

„A modern fizika kialakulása előtt uralkodó általános felfogás értelmében a világra vonatkozó minden tudásunkra közvetlen megfigyelésként teszünk szert, a dolgok pedig olyanok, amilyeneknek látszanak, vagyis amilyenekkel érzékszerveinkkel felfogjuk őket. [...] A valóságról alkotott naív kép nem egyeztethető össze a modern fizikával. Ezen paradox helyzetek kezelhetősége érdekében elfogadunk egy olyan megközelítést, amelyet modellfüggő realizmusnak nevezünk. Ez azon az elképzelésen alapul, mely szerint az agyunk úgy értelmezi az érzékszerveinkből jövő jelzéseket, hogy azok felhasználásával modellt alkot a világról. Ha egy ilyen modell sikeresen magyarázza a történéseket, akkor hajlunk arra, hogy ezt a modellt, illetve annak elemeit és a modellt alkotó fogalmakat tekintsük a valóságról vagy abszolút igazságnak.” (Hawking – Mlodinow 2011 10. o.)

Herbert Marcuse, Az egydimenziós ember című, nagyhatású munkájában éppen az ilyen megközelítés miatt fogalmazott meg kritikát a természettudomány művelőivel szemben: „Nem állítom, hogy a mai fizika filozófiája tagadja vagy akár csak kétségbe vonja a külvilág realitását, azt azonban igen, hogy ilyen vagy olyan módon fölfüggeszti az arra vonatkozó ítéletet, hogy mi lehet maga a realitás, illetve magát a kérdést is értelmetlennek és megválaszolhatatlannak tartja.” (Marcuse 1990 p. 173). Más kérdés, hogy Marcuse megállapításai a gyakorló kutatók nagyobb hányadával szemben valószínűleg nem állnak meg. A többségük ugyanis, aki tudományfilozófiai kérdésekkel nem, vagy csak érintőlegesen foglalkozik, a tudomány és természet viszonyára az intuitív tudományos realizmus talapzatáról tekint. Steven Weinberg, Nobel díjas fizikus például így fogalmaz: „Eltekintve a lényegtelen részletektől, mint a matematikai jelölések, a fizikai törvények nem mások, mint a valóság leírásai” (Weinberg 2001 idézi Giere 2004 p. 4.).

A tudományos realizmus és empirizmus nézetei közötti eltérések valószínűleg csekély mértékben befolyásolják a kutatók mindennapi munkáját, azonban a modellekkel kapcsolatos

tudományfilozófiai megközelítéseket igen.¹⁸ Amint azt majd látni fogjuk az 2.6. fejezetben, a modellekkel, reprezentációval kapcsolatos egyik megközelítés szerint a modell és a cél-rendszer, vagyis a modellezni kívánt jelenség között lehetséges valamilyen, jellemzően matematikailag is kifejezhető kapcsolatot leírni (például a modell és a cél-rendszer közötti izomorfizmust feltárni). A fentiek alapján világos, hogy ez csak a tudományos realizmus talapzatáról kiindulva lehetséges, hiszen az empirista számára a modellből (legyen annak az empirikus teljesítménye akármilyen jó is) nem következik a modell cél-rendszerének létezése. Következésképpen az empirista egészen más irányból közelíti meg a modellek, reprezentáció jelentette filozófiai kihívásokat.

2.4 Pragmatikus tudományfilozófia, kulturális evolúció

Pragmatizmus néven a 19. században az episztemológia radikális megközelítése alakult ki az Egyesült Államokban. A pragmatizmust szokás az empirizmus egyik formájának tartani, de ők a tapasztalatnak szélesebb jelentést tulajdonítanak. Az irányzat kialakulását Charles Sanders Peirce és barátja, William James Egyesült államokbeli filozófusokhoz kötik.¹⁹ Az alapvető gondolata, hogy a világ megismerése nem választható el az abban való tevékenykedéstől. Mind Peirce mind James munkájában fontos szerepet játszik az 'igazság' filozófiai vizsgálata. James például egyértelműen azonosította az 'igaz' vélelmeket, azokkal, amelyek elfogadása hasznos, kielégítő. Az alapvető kérdés szerint az igazság kapcsán, hogy adott vélelem igaz volta esetén az milyen konkrét hatással van, milyen különbséget jelent valakinek az életében. „Az elképzelések, vélelmek annyiban válnak igazzá, amennyiben hozzásegítenek, hogy kielégítő kapcsolatba kerüljünk egyéb tapasztalatainkkal.” (James 1907, idézi Legg – Hookway 2019 saját fordítás). A verifikáció pedig egy folyamat, mégpedig a vélelem tapasztalatra gyakorolt hatása – például a vélelem, hogy esik az eső a verifikációja mindazon tapasztalatok összessége, amelyek a vélelem elfogadásából fakadnak. Ilyen tapasztalat lehet például a nyitott esernyő használata és hordozása. Ez eső hiányában nem bizonyul hasznos tevékenységnek, hasznos tapasztalatnak ezért a vélelemmel járó tapasztalatok nem tudják verifikálni az állítás igazságát. „Számunkra az igazság egyszerűen a közös neve a verifikációs folyamatoknak, csak úgy, mint az egészség, vagyon,

¹⁸ Hogy mennyire nem kizárólag filozófusokat nyugtalanítanak a fenti problémák, jól mutatják, hogy Einstein, aki maga is részese volt a kvantum fizika elméletének kidolgozásának, nem volt elégedett annak a valóságra vonatkozó interpretációval, nem tekintette azt a valóság végső leírásának (Hughes 1989 p. 155.).

¹⁹ Jamest a pszichológia egyik korai képviselőjének is tartják.

ellenállóképesség stb., egyéb, az élettel kapcsolatos folyamatok nevei, és amelyekre szintén érdemes törekedni. Az igazság, hasonlóan az egészséghez, vagyonhoz, ellenállóképességhez a tapasztalat folyamán jön létre.” (James 1907. p 84). A pragmatizmus szinte minden követője elveti az igazság megfeleltetés jellegét. Amellett, hogy ez sarkalatos pontja a pragmatikusok elméletének, ahogy azt rövidesen látjuk a modellezés szempontjából is rendkívül fontos következményekkel járhat, ezért érdemes itt jobban kibontani a problémát. Az igazság meghatározására lényegében tradicionálisan három irányzat különböztethető meg: az első és legrégebbi a megfeleltetés vagy realista igazság, ami röviden úgy fogalmazható meg, hogy az állítás akkor igaz, ha az megfelel a valóságnak. A következő a konzisztencia megközelítés, vagyis az állítás igaz, amennyiben összhangban a többi vélelmünkkel. A harmadik pedig a pragmatikus vagy hasznosság alapú igazság, ami jelen szakasznak a témája. Ahogy azt említettem, a megfeleltetés jellegű a legrégebbi, a leginkább elfogadott felfogás a filozófusok között, és valószínűleg a leginkább intuitív a legtöbb ember számára (Burgess – Burgess 2011). A megfeleltetés jellegű megközelítés azonban nem problémamentes és nem a pragmatikusok voltak az elsők, akik erre rávilágítottak. Például George Berkeley a 18. században, lényegében elvetette a megfeleltetés jellegű igazság felfogást: szerinte az elme ugyanis nem közvetlenül tapasztalja meg, éli át vagy érintkezik a külvilággal, hanem reprezentációkon keresztül (amit Berkeley és Locke, illetve követőik ideáknak hívnak) (Musgrave 1993). Márpedig egy állítás vagy vélelem szintén idea, tehát nem lehetséges az állítás és a valóság között megfeleltetést létrehozni, kizárólag ideák között. Az állítást ugyanis össze kellene vetni a valóság adott szeletével, azonban e kettő ontológiailag különböző nemű dolog, így összehasonlításuk sem lehetséges. Később hasonló ellenvetéseket fogalmazott meg többek között Quine, Jürgen Habermas, John Dewey, Hilary Putnam, Richard Rorty (McDermid 2006).

Emellett Peirce²⁰ kiemeli egy további attribútumát is az igazságnak, mégpedig, hogy az adott kérdést, vélelmet vizsgálók (hosszú távon) egyet fognak érteni abban, tehát megvalósul a vélemények konvergenciája. Peirce hangsúlyozza a vizsgálódás, mint tudás-kereső tevékenység fontosságát. A pragmatista fenntartja a lehetőségét a tévedésnek (fallibilizmus elfogadása), amely okot ad a további vizsgálódásra és a tévedések

²⁰ Peirce filozófiájának az alapja az általa megfogalmazott Pragmatic Maxim, amely szerint, ha egyértelműen beazonosítjuk egy állítás igazságának hatását a jövőbeli tapasztalatokra, akkor teljesen tisztáztuk az állítás tartalmát (Hookway 2003).

felülbírálatára (Hookway 2003). Ebből is következően Peirce számára nem az egyén az abszolút igazság mércéje, sokkal inkább közösségi jelleget ölt és társas tevékenység az igazság megállapítása. Mi több, a pragmatista elveti a lehetőségét az abszolút, tévedhetetlen igazság megtalálásának. Richard Rorty, a 20. század meghatározó pragmatikus filozófusa ezt a gondolatmenetet viszi tovább és jelenti ki, hogy az igazság keresése nem is lehet a célja a vizsgálódásnak, ugyanis csak olyasmit lehet célként kitűzni, amelyet képesek vagyunk felismerni, ha elértük (Legg – Hookway 2019).²¹

Látva azokat az episztemológiai nehézségeket, amelyekkel tudományfilozófia néz szembe, a pragmatizmus fényében adja magát a feltételezés, hogy a tudomány elfogadottsága és tekintélye elsősorban a technikai haladás, és az abból következő drámai életszínvonal javulásnak köszönhető. Fontos hangsúlyozni, hogy a tudomány és technológiai nem ugyanazt jelentik: technológia, illetve technológiai fejlődés nemcsak lehetséges, de történelmi időtávon figyelve az eseményeket jellemzőbb is, mint a tudomány megjelenése. Vagyis létezik technológia tudomány nélkül is. A különböző kultúrák kivétel nélkül rendelkeztek eszközökkel, amelyek általában magukban foglalták azt a tudást, amely segíti az egyént és a közösséget a lokális környezethez való alkalmazkodáshoz. Az idő múlásával a különféle használati tárgyakon fokozatos javítások és fejlesztések is megfigyelhetők, ebből azonban nem szükségszerűen jelenti, hogy az eszköz használói vagy akár csak készítői tisztában lennének a mögöttes fizikai, kémiai stb. folyamatokkal. Ami azt illeti, ezen eszközök szofisztikáltsága nagyon gyakran meghaladja az egyéni találékonyságot: egyfelől a szükséges fizikai, mérnöki ismeretek nem álltak rendelkezésre az elmúlt kb. 200 évet megelőző időszakban, másrészt az összetettebb eszközök megalkotása (gondoljunk például a különböző kajakokra, hajókra, íjakra) jellemzően sokdimenziós optimalizálási feladatként értelmezhető, aminek a megoldása gyakran még a ma sem triviális (Boyd et al 2016). Daniel Dennett ezt nevezi megértés nélküli kompetenciának,²² amivel arra utal, hogy az eszköz használójának nem feltétlenül kell birtokában lennie az eszköz működését kimerítően leíró tudásnak. Sőt, kisebb módosításokat is végre tud hajtani rajta, amivel annak hatékonyságát javítani tudja. A

²¹ Érdemes megjegyezni, hogy Feyerabend a Galilei-per tárgyalása során lényegében instrumentális és pragmatikus alapon ért egyet az egyház döntésével: „Összefoglalva: az egyházi szakemberek ítélete, amely az első perben a Galileire kirótt ítéletet megalapozta, tárgyilag kifogástalan volt – a kopernikuszi tan akkoriban valóban tudománytalan és megalapozatlannak számíthatott -, és helyes társadalmi szándék is vezérelte az ítéletet, tudniillik, hogy a közt megóvja a tudósok mesterkedéseitől. Az egyház meg akarta óvni az embereket attól, hogy romlásba döntse őket egy sekélyes ideológia, amely, meglehet, bizonyos területeken működőképes, ám képtelen harmonikus életet megalapozni.” (Feyerabend 2004 p. 288).

²² Competence without comprehension (Dennett 2017).

kajakot használó közösségek, például, nem ismerték (vagy legalábbis nem olyan mélységben és pontossággal, ahogy azt majd a 19-20. század során) a folyadékok dinamikai tulajdonságait, ennek ellenére, mai szemmel nézve is jó konstrukciókat voltak képesek megalkotni.²³ A tudomány a pusztá eszközkészítéstől alapvetően különböző tevékenység. Ahogy a korábbiakban is láttuk, nem egyszerű dolog meghatározni, hogy mi is a tudományos módszertan. Sőt mi több, abban sincs teljes egyetértés kutatók között, hogy történelmileg hol és mikor beszélhetünk (technológiai mellett) tudományos tevékenységről: a potenciális jelöltek az ókori Görögország, az Iszlám Világ egy része, illetve Kína a középkor során és Európa a 17. (esetleg a 15.) századtól kezdve. A legszűkebb értelemben azonban a tudomány megjelenése Európához köthető, a 16-17. század idejére.

Anélkül, hogy a tudományos módszertan meghatározására kísérletet tennénk, a tudomány néhány megkülönböztető sajátosságát számba tudjuk venni. Az egyik legfontosabb az írásbeliség - a tudomány írott műfaj. Ennek több oka is van: ahogy a bevezetőben is említésre került, az írás lehetővé teszi, hogy az egyén tehermentesítse az emlékezetét és külső tárukba helyezze a fontosnak ítélt ismereteket (Donald 2001). Ezzel a megőrizhető és a közösség által potenciálisan rendelkezésre álló tudás mennyisége exponenciálisan megnövekszik. Vagyis a tudomány megköveteli egy hatékony jelrendszer meglétét. Az emlékezet nem szükségszerűen megbízható adattároló instrumentum (lásd például Schacter 2008), amennyiben a közösség nem kizárólag az emberi emlékezetre támaszkodik az ismeretek tárolása és átadása során, hanem írásos rögzítésre is, akkor ezáltal a transzmisszió pontossága is drámaian javul. Az írásbeliségnek van még egy fontos következménye: az írott mű elválhat a szerző személyétől, és önálló életre kelhet, másolhatóvá válik, a szöveget kritikai elemzésnek lehet kitenni, térben és időben távoli helyeken lehet reflektálni rá, vitatkozni, egyetérteni azzal (McCauley 2013, Donald 2001). Ebben kidomborodik a tudomány közösségi jellege, ami a nyilvános, írott szövegek kritikáján érhető tetten elsősorban. Robert K. Merton szociológus tudományról alkotott normarendszerének egyik eleme a közösségiség, amely azt jelenti, hogy a tudományos eredmények közösség tulajdonát képezik. Az azt publikáló egyén neve megőrződik, és a kutató megbecsültsége is alapvetően ebből fakad, tulajdonjogi követelése azonban ezek felett nincs. Ebből következően a

²³ A folyadékok áramlásának leírására szolgáló Navier-Stokes egyenleteket a 19. század közepén alkották meg, amely a hajók, repülőgépek, autók tudományos tervezését tette lehetővé. Először talán a legendás angol tervezőmérnök Isambard Kingdom Brunel és az általa szakértőként felkért William Froude alkalmazták explicit módon az egyenleteket a Great Eastern óriási tengerjáró hajó tervezése során (West 2017).

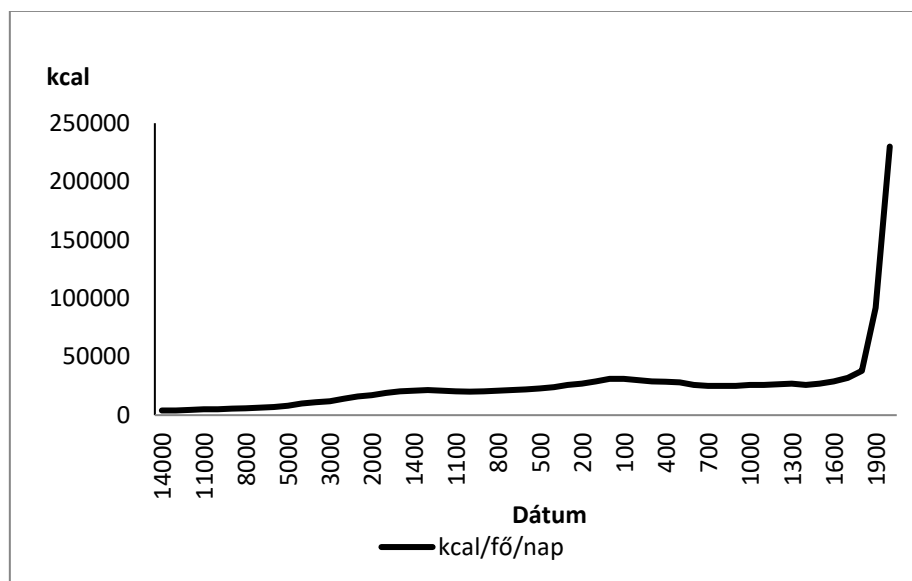
kutatóknak az eredményeiket nyilvánosan kommunikálniuk kell a közösség felé - a titokban tartott, elfeledett eredmények nem képezik részét a „közös tulajdonnak” (Merton 1942). Az adott tudományterületen dolgozó többi tudós a leginkább érdekelt abban, hogy tudományos eredmények, érvelések valóban megállják a helyüket, így a kutatók egymás eredményeinek a legfőbb kritikussai.²⁴ Egy másik, jellemző tulajdonsága a tudománynak az okok és mechanizmusok megértésének, föltárásának igénye, melyek nem kizárólag valamilyen gyakorlati probléma megoldásához segítenek hozzá (McCauley 2011). Láttuk fentebb, hogy a megértés nélküli kompetencia lehetővé teszi technológia létrehozását, használatát, fenntartását és fokozatos fejlesztését is, a működési alapelvek megértése azonban nem követelmény.

Feltehetjük a kérdést, hogy mi adja a tudomány elképesztő elfogadottságát? A válasz egyértelműen pragmatikus, vagyis a tudomány által lehetővé tett ugrásszerű technológiai fejlődés és a nyomában járó életszínvonal emelkedés. A történészek, gazdaságtörténészek próbálják megbecsülni a historikus GDP adatokat, és az olvasó számára bizonyára ismertek az Angus Maddison féle „hokiütő” ábrák, ahol a GDP alakulását időszámításunktól kezdve ábrázolják: nagyjából az ipari forradalom kezdetéig stagnálás vagy nagyon lassú növekedés látható, majd onnantól kezdve exponenciálissá válik a növekedés, a görbe alakja pedig hasonlatossá válik a jégkorongban használatos ütők alakjához. Illusztrációképpen itt egy másik, Ian Morris, a stanfordi egyetem történészprofesszora által kidolgozott idősor kerül használatra. Morris nem az egy főre eső GDP-t becsülte meg, hanem az egy főre jutó energiafelhasználást, az idősor pedig lényegében a mezőgazdaság megjelenését megelőző évezredektől kezdődően, vagyis körülbelül i.e. 14000-tól i.sz. 2000-ig tartalmaz adatokat. Az energiafelhasználásba Morris beleszámítja az élelmiszereket (ideértve az állatok élelmezésére fordított mennyiséget is), minden fűtő és tüzelőanyagot, illetve a nyersanyagok formájában felhasznált energiát (mindez az első 1. ábrán látható). Látható az ábrán, hogy az idősor kezdetétől lényegében az ipari forradalomig az energiafelhasználás lassú növekedése a jellemző. Természetesen a görbe nem monoton, jól látható például a Római Birodalom bukásának hatása is az ábrán. Az is szembetűnő, hogy az agrártársadalmak nagyjából a 25 ezer kcal/fő/nap energiafelhasználásnál lényegesen nagyobb értéket nem tudtak elérni, ezt

²⁴ Isaac Newton eredményei a matematika és fizika terén alapvetően formálták a tudományt. Azonban emellett többek között alkímiai vizsgálódásokat is végzett, amelyek nem állták ki az idő próbáját. Sperber – Mercier (2017) szerint ezen szövegekben az érvelés minősége is jelentősen elmarad a fizikai műveitől. Ennek a legfontosabb oka, hogy fizikai, csillagászati munkáit a tudományos közösségnek szánta: tudta, hogy logikailag konzisztensnek és a lehető legpontosabban megfogalmazottnak kell lennie, míg az alkímiai, kémiai tevékenységek titokban készültek, nem voltak kitéve ellenérveknek és szigorú vizsgálatoknak.

tekinthető az adott termelési mód elméleti maximumának is. A fenti adatsorok a Morris által meghatározott nyugat egészére vonatkoznak, ebből az is következik, hogy lokálisan megfigyelhetők eltérések az átlagtól, vagyis voltak nagyobb energiafelhasználást elérő régiók is: például i. e. 400 körüli athéni felnőtt férfi energiafelhasználása akár a 40 ezer kcal-t is elérhette, és ehhez hasonló adatokat találhatunk a 2. századi Róma tekintetében is (Morris 2013).²⁵

1. ábra Historikus energiafelhasználás, i.e. 14000 – i.sz. 2000.



Forrás: Morris (2013) alapján saját szerkesztés.

A tudományos tevékenység költséges: ha a tudománynak csak a fentebb vizsgált két jellemzőjét is tekintjük, világos, hogy a tudományt művelő egyének intenzív képzésen kell átessenek, majd a munkájuk során biztosítani kell a működéshez szükséges energiaszükségletet. A történész Rodney Stark, a 16. és 17. század 52 legmeghatározóbb természettudósát és matematikusát vizsgálva (a lista olyan neveket tartalmaz, mint például Newton, Leibniz, Mersenne, Descartes, Tycho Brache, Pascal), arra jut, hogy közülük 48 az akkor szokásosnak tekinthető két-három éves képzéssel szemben gyakran akár tíz éven keresztül is *egyetemi* oktatásban részesült (Stark 2014). Mindezek miatt a tudomány csak

²⁵ A jelen dolgozat szempontjából az energiafelhasználás eloszlása nem releváns, csak az átlag. Az egyenlőtlenség historikus alakulását, illetve az egyenlőtlenséget érdemben csökkenteni képes jelenségeket tárgyalja Scheidel (2017).

olyan fejlettségű társadalmakban alakulhatott ki, amelyek kellő többlettel rendelkeztek, megengedhették maguknak, hogy a közösség tagjainak egy részhalmaza ne a termelésben, bürokráciában vagy a hadseregben vegyen részt, vagy legalábbis nem teljes időben. Ezt tekinthetjük szükséges feltételnek a tudomány kialakulásához. Önmagában azonban ez nem elégséges feltétel, ugyanis több, a 16-17. századi Nyugat-Európa energiafelhasználási képességét más helyeken és időben is sikerült megközelíteni, elérni, ott mégsem tudott a tudomány, tudományos gondolkodás gyökeret verni.²⁶ A tudományos haladás lévén előállt új technológiák olyan, korábban elképzelhetetlen dolgok megalkotását teszik lehetővé, amely az életszínvonalat, az egy főre jutó energiafelhasználást drámai mértékben növelik, növelték meg, ez pedig önmagában igen komoly legitimációt és elfogadottságot kölcsönöz a tudományos kutatásnak, a tudományos módszereknek, a tudós közösségnek.

Ahogy azt láttuk fentebb, az (instrumentális) empirizmus pragmatikus jegyeket visel magán tekintetben, hogy a modelleket és elméleteket empirikus teljesítményük, illetve prediktív képességük alapján ítéli meg. Az empirizmus követői emellett egyéb pragmatikus szempontokat is tárgyalnak, amelyek befolyásolhatják a modellek és általában a tudományos tartalmak (cikkek, könyvek stb.) elfogadottságát. Ilyen például az elmélet eleganciája, érthetősége, vagyis, az emberi kognitív apparátusának való megfelelés is fejthet ki szelekciót a tudományos elméletekre, modellekre. De adott esetben akár az is növelheti az elmélet vonzerejét, hogy szemben a rivális elméletekkel, olyan jelenségeket is megmagyaráz, amely a kutatót jobban foglalkoztatja, és emiatt preferálttá válik (Van Fraassen 1980).

Például, Higgins és Fawcett (2016) vizsgálta a nagy presztizsű *Physical Review Letters* 94. és 104. számában található cikkeket, és azt találták, hogy az oldalankénti matematikai egyenletek és hivatkozások száma között *negatív* az összefüggés: nagyjából 6%-kal jelentett kevesebb hivatkozást mindegy egyes egyenlet oldalanként. A vizsgált publikációk fizikai és elméleti biológiai témájúak, azaz a potenciális olvasók napi eszközként használnak matematikai formulákat és egyenleteket, ennek ellenére, a publikáció alapján, arra lehet következtetni, hogy a preferencia a kevésbé matematizált cikkek irányába még ezeken a

²⁶ Az energiafelhasználás mennyisége és módja sok mindent meghatároz a társadalmakban. Ian Morris történész egyenesen úgy érvel, hogy mindezek együttesen nemcsak a gazdaság szervezési módot, hanem a társadalmak morális karakterét is kijelölik. Ezzel szemben például Vaclav Smil, az energia elismert kutatója visszafogottabb álláspontot képvisel, az energiafelhasználás egy főre eső mennyisége inkább szükséges feltételnek tekinthető a különböző társadalomfejlődési mérföldkövek elérésében (Smil 2018).

tudományterületeken is kidomborodik. Korábban említésre került, hogy az ember természetes gondolati sémája narratív, történet alapú, az absztrakt, matematikai, egyenlet-alapú tartalmak fogyasztása, értelmezése ezért extra erőfeszítést igényel a befogadótól, még abban az esetben is, ha azt sokévnnyi képzés, gyakorlat, tapasztalat előzi meg. Ehhez kapcsolódóan, Griffiths et al. (2008) kísérletében a résztvevőknek ötven darab pontpárt mutatnak, amelyek a legtöbb esetben valamilyen geometriai alakzat írnak le, de lehetnek akár teljesen véletlenszerűek. Az kísérlet első résztvevője látja a kiindulási, eredeti pontpárokat, majd ezt követően azt a feladatot kapja, hogy becsülje meg ötven pontpár második tagját az első ismeretében. A következő alany ezt a becsült pontpár halmazt fogja megismerni, és ez alapján kell neki is becsülést adnia a pontpárookra. A kísérleteket kilenc hosszúságú láncokban hajtották végre, és az eredmény azt mutatja, hogy függetlenül a kezdeti pontpárok geometriai alakjától, a végén minden esetben pozitív meredekségű lineáris kapcsolat lett a becsült pontpárok között. Mindez azt sugallja, hogy az emberi elme számára a legkönnyebb az adatokból pozitív meredekségű egyenes vonalat felismerni, kikövetkeztetni. Ha pedig mindez igaz, akkor könnyen juthatunk arra a következtetésre, hogy az emberi sajátosságai, pszichológiája hatással lehet a tudományos tartalmak elterjedésére. Ezért talán nem haszontalan dolog megvizsgálni, hogy a kultúra, kulturális tartalmak terjedésével, evolúciójával foglalkozó kutatók milyen eredményekkel rendelkeznek.

A kutatók Edwin Tylor óta a kultúrának neveznek minden olyan információt, amely potenciálisan hatással van az egyén viselkedésére, amely információhoz a más személyektől tanulás, imitáció, emuláció vagy egyéb társas transzmisszió útján juthat (Richerson - Boyd 2005).²⁷ Ezen információ alatt értjük a tudást, vélelmeket, értékeket, attitűdöket. A kulturális evolúcióval foglalkozó tudósok célja azon okok és mechanizmusok feltárása, amelyek magyarázni tudják a fenti értelemben meghatározott kultúra egyes egységeinek (amit *kulturális variánsnak* is hívnak) a diffúzióját, vagyis az előfordulás gyakoriságának térbeni és/vagy időbeni változásait. Általánosságban, az egyén két módon juthat új információhoz: egyénileg valamilyen innováció útján (asocial learning), vagy társas módon, más emberek segítségével (social learning) (Hoppitt – Laland 2014). Az egyén számára természetesen az

²⁷ Richerson és Boyd kulturális variánsnak nevezik ezen információs egységeket, amely hasonlatos a mémhez, a Richard Dawkins által bevezetett fogalomhoz. Daniel Dennett amellel érvel, hogy a két meghatározás lényegében ugyanazt fedi, és nincs hozzáadott értéke Richerson és Boyd terminológiai újításának (Dennett 2017). Míután az elméleti és empirikus eredményeket leíró publikációk inkább Richerson és Boyd terminológiáját követik, jelen dolgozat is ezt használja.

első módszer a költségesebb (idő és akár anyagi erőforrásokat is tekintve), a második esetben viszont nem lehet biztos benne, hogy a „lemásolt” kulturális variáns, illetve annak a viselkedésre gyakorolt hatása összhangban van az elérni kívánt explicit vagy implicit célokkal. A különböző modellek és az intuíció is azt sugallják, hogy mind a populáción belül, mind az egyéni tanulási repertoáron belül érzékeny, dinamikus egyensúly van az egyéni és társas tanulás alkalmazása között. Ha mindenki kizárólag egyénileg hoz létre új információt, de egymástól nem tanulnak, akkor a hasznos kulturális variánsokat is minden egyes személynek fel kell fedeznie. Ha viszont kizárólag társas tanulásra hagyatkozik a közösség összes tagja, akkor nem jelennek meg új elemek a kultúrában. Azonban ahhoz, hogy a társas tanulás valóban előnyös, adaptív legyen az egyén számára, az nem lehet véletlenszerű, valamilyen stratégiai megfontolás kell legyen mögötte (természetesen ezen megfontolások jellemzően nem tudatosak). Melyek ezek a stratégiák (vagy más néven transzmissziós torzítások)?

A társas tanulási stratégiákat Hopitt és Laland (2014) szerint három csoportba lehet osztani: „Mikor?”, „Kit?” és „Mit?”. Az első a körülményekre vonatkozik, vagyis milyen szituációban érdemes támaszkodni a társas tanulásra az egyéni információ előállítás helyett. A második, a „Kit?”, azt vizsgálja, hogy a potenciálisan szóba jöhető egyének közül kire érdemes figyelni, kitől lehet tanulni, kinek a viselkedését tanácsos követni, lemásolni. Két fontos megjelenési formája van ennek a stratégiának – az egyik a konformizmus, másik a presztízs torzítás. Konformizmus esetén az egyén a leggyakoribb kulturális variánst másolja („Ha Rómában vagy, tégy úgy, ahogy a rómaiak!”), vagyis sok esetben észszerű feltételezni, hogy a tipikus, jellemző, gyakori viselkedés egyúttal a lokális optimum is. Presztízs torzítás ezzel szemben az egyén figyelmét a közösség sikeres, tekintélyes tagjai felé irányítja, az ő viselkedés komplexüket veszi alapul, azokból próbál tanulni, azaz a kulturális tartalmak átvételét befolyásolja a közlő személye.

A harmadik csoportja a stratégiáknak, a „Mit?” szerint valamilyen viselkedés, ismeret, vélelem vagy attitűd lemásolásának, eltanulásának a valószínűsége függ az adott kulturális variáns tartalmától (is). Például, ez emberi elme preferálja a könnyebben megjegyezhető a bonyolulttal, a befogadóra nézve kedvezőt a kedvezőtlennek, az érzelmi töltettel rendelkezőt az absztrakttal, a társas környezetre vonatkozóat az egyéb információval szemben (Mesoudi et al. 2006). Ezt szokás még induktív vagy tartalmi torzításnak is nevezni, és a korábban bemutatott Higgins Fawcett (2016) illetve a Griffiths et al (2008) kísérlet eredménye is egyértelműen ide sorolható. Vagyis bizonyos tartalmak vonzóbbak az emberi elme számára,

amelyek ezáltal tudattalanul irányíthatják a befogadó figyelmét, könnyebben rögzülnek a memóriában. Ezek mellé tehetjük még az ún. kognitív torzítások hosszú listáját, vagyis ez emberi gondolkodás azon torzító tendenciáit, amelyek felléphetnek a jelenlegi ismereteink, érzéseink, vélelmeink következtében, és amelyek a racionálistól eltérő viselkedési mintázatokat eredményezhetnek (Schacter et al. 2011). Ezen torzítások alól természetesen a kutatók sem mentesülnek (Dunbar 1995; Mahoney - Monbreun 1977), ahogy a korábban is említésre került Francis Bacon is rámutatott, hogy a tudományos munkát, pontosabban az eredmények interpretációját befolyásolhatják a tudós előzetes feltevései (Lord et al. 1979).²⁸ Az egyik legismertebb és leggyakoribb kognitív torzítás a megerősítéses torzítás (confirmation bias), vagyis amikor az egyén az információ keresés és befogadás folyamata során preferálja, előnyben részesíti azokat a tartalmakat, amelyek az előzetes feltevéseivel, várakozásaival összhangban vannak. Több dolgot is érdemes itt hangsúlyozni: a megerősítéses torzítás kivétel nélkül minden emberre jellemző kisebb-nagyobb mértékben, a folyamat maga pedig gyakran nem is tudatos, illetve az egyénnek extra kognitív erőfeszítéseket kell tennie, hogy elkerülje a torzítást. Emellett azt is fontos látni, hogy az egyén szempontjából nem feltétlenül szuboptimális a megerősítéses torzítás. Mindezekkel együtt is teljesen világos, hogy a megerősítéses (illetve egyéb) torzítás nincs összhangban a tudománytól elvárt objektivitással, az igazság keresésének absztrakt eszméjével. A pszichológusok aktívan kutatják, hogy milyen technikák, módszerek segítségével lehet csökkenteni a különböző torzításokat, illetve azok hatását, amelyek közül néhány a tudományos gyakorlat részét is képezi (MacCoun 1998). Ide sorolható többek között a kutatók intenzív képzése, amely során az objektivitásra törekvés, világos hipotézisek megfogalmazásának igénye, szofisztikált statisztikai, döntéshozatali ismeretek elsajátítása történik. Ezeket tekinthetjük egyéni biztosítékoknak, azonban talán ennél is fontosabb a közösségi, intézményes biztosítékok szerepe: ilyenek például a (kettős vak) lektorálási folyamat, a kísérletek, statisztikai tesztek eredményeinek replikációja, meta-elemzések, szakértői panelek.

²⁸ Az emberi elme, azon belül is a gondolkodás, következtetés képességének evolúciós gyökereinek a vizsgálata során bizonyos kutatók arra jutottak, hogy a következtetés képessége egyáltalán nem azért alakult ki, hogy az „igazságot” segítsen megtalálni, hanem képessé tegye a használóját arra, hogy másokat meggyőzzön, manipuláljon, a saját viselkedését igazolja, alátámassza, és mások érveléseit tudja értékelni (Mercier – Sperber 2019).

A fenti pragmatikus megfontolások birtokában, a korábban jelzettek alapján, a lakatosi tudományfilozófia sikerének racionális rekonstrukcióját végrehajthatjuk. Először is, fontos volt az időzítés: a Lakatos elméletét leíró tanulmányok a 60-as évek végén, 70 évek elején jelentek meg, éppen abban az időszakban, amikor a neoklasszikus szintézis kezdett tarthatatlanná válni, új iskolák jelentek meg a színen (monetarizmus, új-klasszikus makroökonómia, poszt-keynesi iskola), korábbiak pedig új erőre kaptak (osztrák iskola) (Snowdon – Vane, 2005). Továbbá fontos a személy és az intézmény: kommunista diktatúra elől Angliába emigráló, kiváló vitakészséggel rendelkező filozófus, aki a kor tudományfilozófiai fellegetvárának tanszékvezetője. Az elmélet megismertetésében és a közgazdászok közötti elterjesztésében jelentős szerepe van egy 1974-ben megrendezésre kerülő konferenciának, amit Lakatos szervezett a kutatási programok közgazdaságtudományi alkalmazhatóságának értékelése céljából. Az imént számba vett tényezőknek köszönhetően²⁹ az elkészült konferencia-kiadványhoz rendkívül meghatározó közgazdászok és közgazdasági elmélettörténettel foglalkozó kutatók járultak hozzá, úgy, mint John Hicks, Mark Blaug, Axel Leijonhufvud, Herbert Simon, Neil De Marchi, Terence Hutchinson. Ezt követte Mark Blaug (1992) korábban már említésre került munkája, amelyet 1980-ban adtak ki először.³⁰ Mindezeket összegezve a kor közgazdászai, akik egymással versengő kutatási programokban tevékenykedvén, amikor a módszertani kérdésekben elfogadják egy rendkívül tekintélyes intézmény befolyásos filozófusának elméletét, amelynek egyik legfontosabb eleme, hogy a stagnáló kutatási program mellett is érdemes kitartani, akkor a döntésük akár teljesen racionálisnak is tekinthető. előnyösek, adaptívak is lehetnek, ezért használatukat címkézhetjük racionális viselkedésnek. Ez különösen igaz, ha a környezet instabil, bizonytalan és nem nyújt fogódzót a döntések meghozatalához. Egy tudományos forradalmi szituáció minden bizonnyal nevezhető bizonytalan környezetnek. A gondolatkísérletünkben a presztízs-torzítás természetesen Lakatos maga és az LSE, a tartalmi torzítás pedig azt jelenti itt, hogy a lakatosi tudományfilozófia internalizálásával a kutató olyan módszertani gondolati kerethez juthat, amely megkíméli őt attól, hogy az esetlegesen stagnáló, vagy nem-mainstream közgazdasági kutatási programját fel kellene adnia. Végezetül mindehhez még hozzátehetjük Neil De Marchi gondolatait is, mely szerint a lakatosi versengő kutatási programok koncepciója

²⁹ És minden bizonnyal még egy sor egyéb, itt nem tárgyalt tényezőnek.

³⁰ Lakatos és Popper nézeteinek közgazdasági módszertanra gyakorolt hatásainak kronológiájáért lásd például Backhouse (2012).

megfelelt a közgazdászok én-képének is, vagyis ők ezt megelőzően is úgy tekintettek magukra, mint akik egymástól különböző, egymással részben versengő iskolákban tevékenykednek (De Marchi, 1991, idézi Backhouse, 2012).

Filozófiai szempontból a tudományos modellezés egyik fontos kérdése, hogy miképpen nyújt segítséget a modell a valóság megismerésében, vagy miképpen nyújt támpontot az empirikus vizsgálatok során. Tudományos realizmus felől vizsgálva a modellnek valamiképpen tartalmaznia kell a vizsgált jelenség esszenciáját.

Az előzőekben áttekintésre kerültek a tudományfilozófia, témánk szempontjából legfontosabb kérdései. Modellekről még nem esett szó, azonban az értekezésben a modell, elmélet, reprezentáció szavakat szinonimaként használom (ennek az indoklása a 2.5.3 fejezetben történik meg), így a fentebb tárgyalt problémák, megközelítések a modellezés, ennél fogva a kutatási kérdések szempontjából egyaránt relevánsak.

2.5 Reprezentáció, modell, megközelítések

A dolgozat témájához kapcsolódó főbb tudományfilozófiai problémák és megközelítések áttekintését követően rátérek a modellezés, illetve a tudományos modellezés vizsgálatára. A modell általában valamilyen vizsgált jelenséget próbál reprezentálni, ezért ebben a szakaszban először a jelekkel foglalkozó tudományág, a szemiotika főbb fogalmait vezetem be, majd a reprezentációkkal kapcsolatos főbb kérdések megfogalmazása történik meg. Ezt követően a modellezéssel kapcsolatos legfontosabb filozófiai megközelítéseket vizsgálom meg, a fejezetet pedig a közgazdaságtudomány modellezéssel kapcsolatos legfontosabb módszertani nézeteinek ismertetésével zárom.

2.5.1. Szemiotika, Peirce, Saussure

A tudományos megismerés (illetve általában a megismerés) folyamatához elengedhetetlen a vizsgálandó jelenségek megjelenítése, reprezentálása³¹. Alapvetően azért van erre szükség, mert az emberi elme is modelleket alkot a külvilágról és a saját testünkről is³² az érzékszervi tapasztalatok segítségével (Churchland, 1995).³³ A tudományos ismeretek döntő része

³¹ A latin *repraesentare* szóból származik, eredetei jelentése kb. megmutat, megjelenít.

³² „A testünkről alkotott kép minden látszólagos tartóssága és állandósága ellenére, valójában tisztán átmeneti belső konstrukció, nem több mint egy látszat, amit az agyunk hoz létre (Ramachandran, 2000, p. 320., saját fordítás).

³³ Ezek a modellek általában lehetővé teszik, hogy az ember *viszonylag* hosszú életet éljen - ha összehasonlítjuk az emberi méretét az univerzum hozzávetőleges méretével, majd az ember átlagos élettartamát az univerzum hozzávetőleges korával, akkor azt a meglepő eredményt kapjuk, hogy az élettartam tekintetében az ember sokkal

propozicionális jellegű, amelyek folyóiratokban, könyvekben kerülnek rögzítésre, ezért per definitionem szükség van nyelvi reprezentációra a kifejezéshez. Paul Churchland kanadai elmefilozófus szerint a nyelvinél azonban vannak hatékonyabb reprezentációs eljárások is, ilyen például a vektor formában történő adatrepresentáció, amelyet az agy is használ bizonyos információk tárolására. A nyelv azonban nem ilyen, és ez talán tükrözi azt az evolúciós igényt, amelynek nyomán a nyelv kialakulhatott.³⁴

Mindazonáltal a nyelv is csupán a lehetséges jelrendszerek egy megjelenési formájának tekinthető és szemiotika a jelek, jelrendszerek és jelentéssel foglalkozó tudományág neve.³⁵ A meghatározás alapján könnyedén lehetne érvelni amellest, hogy a tudományos modellezés a szemiotika egy részterülete, érdekes módon azonban a tudományos modellezés szakirodalma meglepően kevés explicit utalást tesz a szemiotikai háttérre, örökségre. Amint látni fogjuk, ennek van egy sajnálatos következménye a különböző, modellezésre vonatkozó elméletekre. De mielőtt erre rátérnék, úgy érzem a megalapozottság érdekében a szemiotika legalapvetőbb megállapításainak tárgyalása megkerülhetetlen (az alábbiak alapvetően Chandler (2007), illetve Johanson – Larsen (2005) szemiotikai munkáin alapulnak).

A szemiotika alapjait svájci Ferdinand de Saussure és (a pragmatizmus kapcsán már megismert) Charles Peirce egymástól függetlenül rakták le a 19. század végén, a munkáikkal lényegében megteremtve a kontinentális és az észak-amerikai szemiotikai iskolákat. A Saussure-i elméletben a jel egy *jelölő*ből és egy *jelzett*ből áll össze. A jelző és jelzett elválaszthatatlanok egymástól, ugyanazon érme két oldalát jelentik. A jelölő valamilyen fonetikai komplex, aminek lehet materiális formája (például, ha írás segítségével rögzítik), a jelzett pedig valamilyen mentális konstrukció, fogalom, idea. A kettő közötti kapcsolat létesítésével jön létre a jel. Ez a kapcsolat nem jelent bijektív relációt (egy-egy), lévén egy jelölőhöz több jelzett is tartozhat és ugyanez igaz fordítva is. Tekintsük például az alma szót, amely jelölőként kapcsolatban állhat a gyümölcs fogalmával, de akár a keresztnévvel is. Ugyanakkor a gyümölcs, mint jelzett is állhat egyéb jelölőkkel kapcsolatban például a latin (malus), vagy akár más idegen nyelvű megfelelőikkel. Fontos, hogy a jel nem önmagában

közelebb van az univerzumhoz. Más szóval, az univerzum legstabilabb struktúrái közé tartozunk (Penrose et al., 1997).

³⁴ Lásd például Jackendoff (2002).

³⁵ A filozófiában Leibniz nevéhez köthető a szimbólumok és gondolkodás elválaszthatatlanságára vonatkozó első elmélet (Ferrari 2002).

jelenít meg vagy hivatkozik egy valós objektumra, hanem a többi jellel együttes kapcsolata révén. Ebből következően nincs valamilyen belső, immanens kapcsolat a jelző és jelzett között, ezért a Saussure-i szemiotikában fontos szerepet játszik a jelek tetszőleges jellege. Ez a tetszőlegesség azonban nem jelent véletlenszerűséget. Jóllehet a jelek jelölőit nem külső (jelrendszeren kívüli) tényezők határozzák meg, azonban belső tényezők érdemben befolyásolják azt: például a kiejthetőség, megjegyezhetőség (rövid és hosszú távú memória korlátok stb.). Továbbá, a tetszőlegesség nem az egyén szintjén jelenik meg: ahhoz, hogy egy jel interperszonális szinten funkcionáljon, az egyéni kísérlet a jel megváltoztatására, bevezetésre nem elégséges, a közösség elfogadása is szükséges (Chandler 2007).³⁶

Amint látható, Saussure jel elméletében diádikus kapcsolat van a jelző és jelzett között, a Charles Peircenél ez triádikus (három kapcsolati) formát ölt. A jel a következő három dolog együttesét jelenti: az objektum (objectum), ami reprezentálásra kerül, a reprezentációs mód vagy helyettes (representamen) és az értelmezési mód, interpretáns (interpretant). A helyettes hasonlatos a Saussure-i jelölőhöz, az értelmezési mód pedig a jelzethez, Peircenél az interpretáns maga is egy jel az értelmező elméjében.

A peirci modellben az objektum megjelenésével lehetőség nyílik a jelrendszerek osztályozásra a jel és az objektum közötti kapcsolat tetszőlegessége szerint. Peirce ez alapján három módját különbözteti meg a kapcsolatnak, melyek a konvencionalitásuk foka alapján, csökkenő sorrendben a következők: szimbolikus, ikonikus, indexikus mód. A szimbolikus mód esetében a jelölő és az objektum közötti kapcsolat teljes mértékben tetszőleges, konvención alapuló, semmilyen hasonlóság nincs közöttük. A legjellemzőbb példát a szimbolikus módra a különféle nyelvek szolgáltatják. Amennyiben a jelölő és az objektum között valamilyen értelemben hasonlóságot lehet felfedezni, akkor a közöttük lévő kapcsolati mód ikonikus. Ahhoz, hogy egy jel ikonikus legyen, a hasonlóság felfedezhetőnek, érzékelhetőnek kell legyen, nem szükségszerűen tényleges belső, strukturális egyezés. A hasonlóság azonban problematikus fogalom. A nehézségek abból adódnak, hogy egyrészt nem definiálható egyértelműen, másrészt lényegében bármely dolgok állíthatók hasonlósági relációba (pl. azon dolgok, amelyek magassága kisebb, mint tíz méter; vagy az életkoruk napokban számítva páros szám stb.). Továbbá, a hasonlósági reláció szimmetrikus és reflexív, azaz az objektum is hasonló az ikonikus jelhez, illetve jel is saját magához. Ez különösen a

³⁶ Ahogy Júlia fogalmaz Shakespeare klasszikusában: „Mi is a név? Mit rózsának hívunk mi, Bárhogy nevezzük, éppoly illatos.” (Ford. Kosztolányi Dezső).

modellek esetén problémás, ahol a hasonlósági kritérium használata a modell és a valóság között azt is maga után vonja, hogy a valóság is reprezentálja az adott modellt (Frigg – Nguyen 2016).³⁷ Erre a következő szakaszban bővebben kitérek. A fenti megfontolások miatt a hasonlóság egy (vagy több) előre meghatározott kritérium szerint értelmezhető, a kritérium, illetve az azt kiválasztó mechanizmus lehet akár implicit, vagy az ágens számára tudattalan szelekció eredménye, de természetesen explicit, tudatos és világos (Johanson – Larsen 2005). A harmadik, az indexikus mód során a kapcsolat közvetlen vagy oksági az objektum és a jel (helyettes) között, sőt a leggyakoribb esetekben tér-idő egybeesés van a kettejük között. Indexikus jelnek tekinthető például egy lábnyom, a betegségek tünetei, de ide tartoznak a mérőberendezések, a tőzsdei árfolyamok (illetve általánosságban az árfolyamok) (Chandler 2007).

John Carey, oxfordi irodalom professzor a *What good are the arts?* című munkájában egyrészt amellet érvel, hogy nincsenek abszolút értékek a művészetben; az egyik ember esztétikai érzéke, ízlése nem jobb másokénál, ugyanis nincsenek olyan objektív mércéink, amelyek segítségével ezek összevethetők lennének. Emellett elutasítja a magas és tömegművészet megkülönböztetését, és a művészet élvezete nincs szükségszerűen morálisan nemesítő hatással az alkotóra, fogyasztóra (Carey 2004). Hangsúlyozza a művészet önkifejezést, önmeghatározást és önmegismerést segítő funkcióját. Mivel a művészetnek nincs objektív módon meghatározható belső értéke, ezért az alkotó az alkotás értékét belső kritériumai alapján állapítja meg, nem valamilyen külső, merev szempontrendszer szerint. Ezért, szemben például az akadémiai vagy verseny szféra jutalmazási környezetével, személyes sikerélményt, transzcendentális, a semmiből a valami létrehozásának élményét tudja nyújtani.³⁸ És ez az, ami a művészet igazi értékét, értelmét adja. Az értekezés szempontjából fontosabbak Carey konkrétan irodalomra vonatkozó nézetei. Véleménye szerint a művészeti ágak között az irodalomnak kitüntetett szerepe van, mégpedig a nyelvhasználat miatt. Kizárólag az irodalom képes világos, koherens fogalmak és ideák kifejtésére, közlésére, kritikájára. Más művészeti ágak is képesek implicit módon az előzőekre, de nyelvi reprezentáció nélkül, az sosem lehet koherens és olyan mélységben kibontott, mint irodalmi művek esetében. Nyelv nélkül „be vannak zárva a

³⁷ Példának okáért a marrákesi piac reprezentálja a Marshall-keresztet, vagy bármilyen fizikai anyag reprezentálja a Bohr-féle atommodell.

³⁸ Úgy is fogalmazhatnánk, hogy az önmagáért végzett művészeti tevékenység fogyasztása során nem jelentkezik pozícionális hatás. A pozícionális jószággal bővebben a negyedik fejezetben foglalkozom.

kifejezőképtelenségbe. Az operák és filmek képesek a kritikára, de csak azért, mert az irodalomból veszik a szavakat hozzá, amely lehetővé teszi, hogy belépjenek a racionális világba.” (Carey 2005 p. 177. saját fordítás). A szemiotikán belül a strukturalizmus próbálja a nyelvi szemiotikai alapelveket alkalmazni a nem nyelvi szimbolikus dolgokra, így például, képzőművészeti alkotásokra, filmekre stb. A nyelvnek azonban a struktúrája olyan, amely az emberi elme számára megfelelőbbé, könnyebbé teszi a szimbolikus kommunikációt, azáltal, hogy a szerkezete lineáris, illetve véges számú digitális jelből épül fel. Ezzel szemben áll például egy szobor többdimenziós felépítése és analóg, folytonos jelei,³⁹ amelyek a szemantikai precizitás csökkenését és szintaktikai komplexitás növekedését vonják maguk után.

A fentiekből legalább két dolog is következik: az egyik, hogy a reprezentációnak és szimbólumoknak a nyelv csupán egyik, ámber meghatározó megjelenési formáját jelenti, és jelentősége még a tudományos munka során is felmérhetetlen. A másik észrevétel, hogy a különböző reprezentációs módokat lehetséges különböző szempontok alapján összevetni egymással. A tudományos reprezentáció szempontjából fontos ilyen tényezők a következő szakaszban kerülnek részletesebben kibontásra.

2.5.2 Alapvető kérdések a reprezentáció tudományfilozófiai elméletében

A tudományos elméletek szerkezetének vizsgálata alapvetően három nézőpontból történik: szintaktikus, szemantikus és pragmatikus megközelítés (Winther 2016). A szintaktikus (vagy más néven axiomatikus) nézet szerint a tudományos elmélet axiomatizált mondatok halmaza, legfontosabb eszközei a matematikai logika, halmazelmélet és modell elmélet (amely itt a matematikai struktúrák logikai eszközökkel történő vizsgálatát jelenti). A tudományos elméletből levezethetők a hipotézisek, amelyeket aztán empirikus teszteknek lehet kitenni.

A szemantikus megközelítés szerint az elméletek szerkezete valamely nem nyelvi, elsősorban matematikai struktúrát jelent, ezért azok elemzése pusztán a prédikátum logika segítségével roppant nehézkes (Suppe 2000).⁴⁰ A tudomány történetében gyakorlatilag nincs példa arra, hogy a kutató axiomatikus módon építette volna fel az elméletét, hanem sokkal

³⁹ Az analóg jelek közötti kapcsolat folytonos skálán ragadható meg, ebből következően nem lehetséges a jelek kimerítő kategorizációja, ugyanis a potenciális jelek száma végtelen. Ezzel szemben a digitális jelek egymástól jól megkülönböztethetők, és a számuk véges (vagy legalábbis megszámlálhatóan végtelen).

⁴⁰ A prédikátum vagy elsőrendű logika a propozicionális logikát kvantorokkal bővíti ki, ezáltal teszi lehetővé a relációk kifejezését logikai úton (lásd például Ben-Ari 2012).

inkább formális modellek alkotása jelenti az elméleti tudományos munka gerincét. A szemantikus megközelítés pedig a tudományos elméletek ennek a tulajdonságra képes fókuszálni. Felmerül még egy szempont: az axiomatikus felépítés akkor lehetséges, amennyiben ismertek olyan tudományos törvények, amelyekből levezethetők a magasabb szintű empirikus szabályszerűségek. Ezek hiányában az axiomatizáció nem lehetséges, vagy csak az elmélet jövőbeni fejlődésének kárára történhet. Az axiomatizáció továbbá implicit módon metafizikai elköteleződést is hordozhat a redukcionizmus mellett: azaz elköteleződést amellet, hogy a valóság jelenségei magyarázhatók bizonyos, egymásra épülő törvények alkalmazásával, ahol a magasabb szinten levő törvények maguk is levezethetők néhány alacsonyabb szintű törvényből. A törvények ilyen rétegeinek az alján pedig végső soron néhány egyszerű, alapvető törvény van, amelyből a valóság teljessége (elméletben) levezethető (Rosenberg 2005).

A redukcionizmus nem minden kutató számára elfogadható, különösen a társadalomtudományok területén, ahol kisebb szerepük van a tudományos törvényeknek az elméletalkotás során. Például Geoffrey Hodgson éles kritikát fogalmaz meg az általános közgazdasági törvények keresésének igényével szemben: szerinte egy általános törvénynek a magyarázó ereje csekély, és nem tudja kezelni a különböző történelmi pályákból fakadó különbségeket, az egyedi történelmi konstellációkat (Hodgson 2001). Más kérdés, hogy Hodgson érvelése ilyen formában nem elfogadható. Egy fizikai példát szolgáltatva ugyanis a gondolatmenete azt jelentené, hogy a repülőgépek tervezése során kizárólag a Schrödinger egyenletre támaszkodnának a mérnökök, nem használva az áramlástani ismereteket, amelyek végső soron levezethetők alapvetőbb fizikai elméletekből. Hasonlóan, a közgazdaságtanban az általános törvények keresése sem jelenti azt, hogy az egyedi jelenségek kizárólag a preferencia rendezés axiómái segítségével kerülnek magyarázatra, figyelmen kívül hagyva az azokból levezethető, magasabb szintű összefüggéseket.⁴¹

Pragmatikus nézet szerint nem lehetséges a tudományos elméletek valamilyen idelizált struktúráját megalkotni. A megközelítés hangsúlyozza az elméletek sokszínűségét, azaz

⁴¹ A redukció legismertebb és sokat vitatott modellje Ernest Nagel nevéhez fűződik. Röviden összefoglalva eszerint egy T_B elmélet redukálható T_A elméletre, ha T_B levezethető T_A -ból *segéd feltételek alkalmazása mellett* (Nagel 1961, a kritikák és alternatív elméletek tárgyalásáért lásd pl. Dizadji-Bahmani et al 2010; van Riel, R.-Van Gulick, R. 2019). A klasszikus példa a redukcióra a termodinamika (T_B) és a statisztikus mechanika (T_A) viszonya.

számos különböző, formális és informális eszköz használatát (például matematikai modellek, analógiák, metaforák).

A tudományfilozófia érdeklődése a reprezentáció és modellezés felé viszonylag későn, a 20. század második felében fokozódott meg. A szakirodalom nem teljesen egységes a terminológiát illetően, és ahogy korábban is jeleztem a jelen dolgozatban a reprezentációt, a modellt és az elméletet szinonimaként használom. Ez némi magyarázatra szorul. A modell szó a latin modellusból származik, amely valamilyen mérőeszközt jelölt (például, víz mérésére). A mérőeszköz gyakran a méréssel formát is ad a kimért dolognak, mint például a különböző öntőformák (például sajt) - az angol 'mould' (jelentése: forma, öntőforma) szó éppen ezt a fogalmi leszármazást tükrözi. Ezért valamikor a 17. századtól kezdve a modell valamilyen olyan fizikai objektumot jelölt, amely egy szintén fizikai objektum formatervét, kialakítását határozta meg. A jelentés azonban elsősorban a geometrián keresztül hamarosan kiterjedt nem fizikai objektumokra is (azaz absztrakt matematikai felszíneket modellező fizikai tárgyak, illetve valós fizikai objektumok alakját, felszínét leíró matematikai egyenletek formájában) (Hodges 2018). Matematikai logikában egy logikai formula (vagy praktikusán egy mondat) modellje alatt egy olyan interpretációt (azaz a formulában szereplő változók specifikálását, meghatározását, a mondatot alkotó szavak jelentésének rögzítését) értünk, amely mellett a formula vagy mondat igaz (Ben-Ari 2012; Hodges 2019). Ezen utóbbi értelmezés a szintaktikus tudományfelfogás számára a nem nyelvi modelleket egyrészt alternatív interpretációnak tekinti, illetve szigorúbban véve fölöslegesnek is (Frigg - Hartmann 2018). Pierre Duhem például, aki maga is az axiomatikus tudományfelfogás híve volt, a modelleket legfeljebb függeléknek tekintette az elméletek mellett. Hasonlóan, Rudolf Carnap így fogalmaz: „Fontos észrevenni, hogy a modelleknek esztétikai, didaktikai vagy legfeljebb heurisztikus értéke lehet, de nem játszanak meghatározó szerepet az elmélet sikeres alkalmazásában.” (Carnap 1939, idézi Bailor-Jones 2009, 92. o. saját fordítás). A logikai pozitivizmus nem kívánt foglalkozni azzal, hogy miképpen jut el a kutató az elmélethez, azaz a pszichológiai és episztemológiai kérdések egymástól való éles elválasztását követték.

Számos tudományfilozófus (például Nancy Cartwright⁴², Bailor-Jones, Margaret Morrison, Mary Morgan⁴³) tárgyalásában a modellek az elmélet és a jelenségek között

⁴² Cartwright további megkülönböztetést tesz az interpretatív és reprezentatív modellek között. Előbbi az absztrakt elméleteket hozza konkrét formába, utóbbi az elmélet és az adatok között közvetít (Cartwright 1999).

⁴³ Bailor-Jones 2008, Morrison - Margaret (1999a), Morrison - Margaret (1999b), Cartwright 1999.

közvetítő szerepet töltenek be. Az elméletek absztrakt entitások, abban az értelemben, hogy nem közvetlenül az empirikus jelenségekre vonatkoznak. A modellek azok, amelyek az elméleteket kiegészítik, olyan módon, hogy az egy adott jelenséghez vagy jelenség csoporthoz kapcsolódjon. Úgy is fogalmazhatnánk, hogy a modellek konkretizálják az általános elméleteket. A probléma az iménti érveléssel azonban, hogy nem lehetséges a modellek és elméletek ilyen éles szétválasztása. Egy tudományos modell vagy elmélet konkrétságának foka a teljesen absztrakt és a teljeskörűen meghatározott között kontinuum átmenetű. Példának tekintsük Gossen I. Törvényét, ami lényegében a csökkenő határhaszon elvét fogalmazza meg. Van-e igazságértéke egy általános törvénynek? Azaz létezik-e olyan eljárás, aminek a végén meg tudjuk válaszolni, hogy Gossen I. törvénye igaz vagy hamis? Nehéz erre válaszolni, ugyanis nem köthető a törvény ebben a formájában egyetlen megfigyelhető jelenséghez sem, ezért a tapasztalattal nem tudjuk összevetni. Ahhoz, hogy a törvény tesztelhető legyen, ki kell egészíteni számtalan peremfeltétellel: a fogyasztó, a jószág, a körülmények meghatározása után esetleg van mód megfigyeléseket elvégezni. Ha most el is tekintünk az alulhatározottság problémájától (vagyis attól a kérdéstől, hogy lehetséges-e egy elméletet izoláltan tesztelni), és feltesszük, hogy sikerült egy teljeskörűen meghatározott modellt alkotnunk, egy súlyos nehézség továbbra is marad. Hol van az a pont a modellalkotó eljárásunkban, ahol már nem a törvény, hanem annak egy modelljével dolgozunk. Van-e minőségi különbség a kiinduló törvény és a specifikált modell között? Lehetne úgy érvelni, hogy a törvény általános, a modell pedig konkrét. Azonban egy modell sosem lesz teljeskörűen specifikált, nem fog teljes mértékben az adott szituációra vonatkozni, az általánosság ezáltal nem tűnik el belőle. Emiatt úgy vélem, hogy az elmélet tekinthető modellnek is, nem lehetséges a kettő egyértelmű megkülönböztetése.⁴⁴

A reprezentációt gyakran a modellek és a valóság viszonyának kapcsolatára használják.⁴⁵ Amikor a szakirodalom egy része megkülönbözteti a reprezentációt a modelltől, az valójában mindössze azért történik, mert a modellek egy fontos tulajdonságára, a valósággal való kapcsolatra próbál fókuszálni. Eklatáns példa erre Morrison és Margaret (1999b) tanulmánya, melyben a modelleket először a szerszámokhoz hasonlítják, amelyek valamilyen célt szolgálnak, és rendszerint kapcsolatot teremtenek két vagy több dolog között

⁴⁴ E. T. Jaynes a meghatározó *Probability Theory: The Logic of Science* című munkájában szintén egyenlőségjelet tesz az elméletek és modellek közé (Jaynes, 2001 15 o.), illetve Gibbard - Varian (2018) is.

⁴⁵ Valóság alatt itt a tágan értelmezett modellezni vagy vizsgálni kívánt jelenséget értem, a fogalommal kapcsolatos ontológiai határozatlanságot a fejezet során később igyekszem csökkenteni.

(például a kalapács így „köti össze” a szöveget és a deszkát). Ezt követően azonban bemutatják, hogy a modellek nemcsak ilyen tulajdonsággal rendelkeznek, hanem általuk új ismeretekre is szert tehetünk (a példánál maradva, a kalapáccsal ez nem igazán lehetséges). Ez pedig, szerintük, azáltal lehetséges, hogy a modell valamilyen módon reprezentálja a cél-rendszert. Azonban ez a megkülönböztetés a modellnek és a reprezentációnak nem szükséges, ahogy azt lentebb igyekszem bemutatni, a valósághoz fűződő viszony tárgyalása nélkül is lehetséges.

Minden modell reprezentáció, még azok is, amelyek nem valamely empirikus jelenség megragadására szolgálnak. Például egy heurisztikus modell reprezentálja a kutató gondolatmenetét, amelynek összetettsége igényli egy külső eszköz használatát, mert ezáltal az azon végzett manipulációk követhetővé válnak a kutató számára is.

A következőkben áttekintésre és bemutatásra kerülnek a legfőbb kérdések, amelyek a tudományos reprezentációval kapcsolatban felmerülnek, illetve a vonatkozó legfőbb tudományfilozófiai elméletek. A tárgyalás során Frigg – Nguyen (2016) kategorizációját követtem.

Frigg – Nguyen (2016) szerint a modellezés kielégítő tudományfilozófiai elméletének néhány alapvető kérdést és problémát tárgyalnia kell. Ezen problémák kerülnek ebben a szakaszban röviden áttekintésre.

Demarkáció problémája alatt azon szükséges és elégséges feltételek meghatározását értik, amelyek lehetővé teszi, hogy egy objektum reprezentáljon egy másik objektumot (ez utóbbit cél objektumnak nevezik). A demarkáció kérdését tovább lehet kategorizálni episztemikus és tudományos demarkációra. Előbbi általánosságban vonatkozik a reprezentációs feltételek feltárására, utóbbi pedig annak a meghatározására, hogy milyen tulajdonságokkal kell rendelkeznie egy reprezentációnak, ahhoz, hogy tudományosnak lehessen nevezni. *Reprezentáció típusa, formája (reprezentációs stílus)*: a tudományos reprezentációk nem ugyanolyanok, és nem ugyanúgy reprezentálják a kérdéses cél objektumot. A megfelelő elméletnek ezért a különböző reprezentációs típusok számbavételét és/vagy azok meghatározó tulajdonságainak leírását is tartalmaznia kellene.

A reprezentációs stílus problémához kapcsolódik a *Reprezentáció Ontológiája*, azaz annak a vizsgálata, hogy milyen dolgok szolgálhatnak reprezentációként. Például fizikai modellek, diagramok, egyenletek stb.

Pontosság kritériuma: adott cél objektumnak a reprezentációi nem szükségszerűen ugyanolyan pontosak. Bizonyos reprezentációk (valamilyen szempontból) jobban ragadják

meg a cél objektumot, vagy annak bizonyos tulajdonságait. A pontosság kritériumai ezért annak a meghatározását jelenti, hogy mikor beszélhetünk pontos, vagy több reprezentáció vonatkozásában, pontosabb reprezentációkról.

A fentiek mellett a tudományos reprezentáció lehetővé teszi az ún. *helyettesítő okfejtést*, gondolkodást, azaz, hogy a reprezentációt használva lehetőségessé válik következtetéseket levonni, hipotéziseket és állításokat megfogalmazni a cél objektumról. A megfelelő tudományfilozófiai elméletnek továbbá kezelnie kell a *cél objektum nélküli reprezentáció* kérdését is, vagyis azt a szituációt, amikor az adott modellnek nincs a valós, fizikai világban meghatározott párja, amit reprezentálni lenne hivatott.

2.5.3 A modellezés főbb tudományfilozófiai megközelítései

Az alábbiakban a reprezentációval kapcsolatos legfontosabb és legnépszerűbb megközelítéseket tekintem át, röviden. Az irányzatok egyik csoportja a modell és cél rendszer közötti kapcsolatra összpontosít.

A *strukturális* koncepció a halmazelmélet és matematikai logika eszközeit alkalmazva szándékozik a modellt és a célrendszert valamilyen formálisan meghatározható struktúráként leírni. A reprezentáció pedig azáltal jön létre, hogy a két struktúra között izomorfizmust lehet létesíteni. Struktúra alatt jellemzően egy matematikai objektumot értünk, amely áll egy nemüres halmazból U , amely az alkotóelemeit jelenti az objektumnak, és U -n értelmezett n számú relációból $R=\{r_1, \dots, r_n\}$, amelyek az objektum belső szerkezetét írják le. Ezt szokták $S = (U, R)$ – ként is jelölni, így a modell és a célobjektum struktúra pedig rendre S_M és S_T . Izomorfizmus esetén U_M és U_T között kölcsönösen egyértelmű hozzárendelés létesíthető, továbbá megtartja a relációkat is, vagyis minden U_M értelmezett r_{iM} relációhoz hozzárendelhető egy U_T -n értelmezett r_{iT} reláció oly módon, hogy éppen azok az elemek állnak egymással relációban, amelyek meg vannak feleltetve egymással. Egyéb, kevésbé szigorú morfizmusok is tárgyalásra kerülnek a szakirodalomban, így próbálva kezelni többek között például a korábban említett szimmetrikus reprezentáció problémáját. A struktúrák halmazán értelmezett izomorfizmus reláció ugyanis szimmetrikus (emellett tranzitív és reflexív - tehát ekvivalencia reláció), ami azt is jelenti, hogy a reprezentálni kívánt objektum, célrendszer is reprezentálja az adott modellt (Frigg 2006, Winther 2016, Suarez 2010).

A következő irányzat elsősorban Ronald Giere nevéhez kapcsolódik, és a strukturális megközelítés szigorú morfizmusa helyett a modell és a valóság (vagy pontosabban a vizsgált cél-rendszer) *hasonlóságát* hangsúlyozza. A strukturális megközelítés esetén modell és a

célrendszer pontosan meghatározott relációban állnak egymással, a hasonlóság esetén azonban ennek a kapcsolatnak a definiálása nem cél vagy éppenséggel nem is elérhető. Emiatt a strukturális kapcsolatot lehet tekinteni a hasonlósági megközelítés egy speciális esetének is (Suarez 2010). Fontos különbség azonban, hogy Giere hangsúlyozza a kutató szerepét és intencionalitását, vagyis a modell és a célrendszer közötti reprezentáció nem pusztán a hasonlóság által jön létre, hanem azáltal, hogy a kutató ezt a hasonlóságot, vagy annak bizonyos elemeit felhasználja a modellezés során bizonyos előre meghatározott célból (Giere 2004, 2009).⁴⁶

A strukturális és hasonlósági megközelítéssel szemben Suarez (2003) több, egymástól független ellenvetést szolgáltat és érvel ezen megközelítések elégtelen volta mellett. Az egyik ellenvetés arra vonatkozik, hogy a tudományos gyakorlatban a modellek tekintélyes része nem izomorf és nem is hasonló a vizsgált jelenséghez. Továbbá, a fenti elméletekből következő logikai kapcsolat a modell és a célrendszer között nem megfelelő: ahogy fentebb volt róla szó, az izomorfizmus reflexív, szimmetrikus és tranzitív reláció, a hasonlóság pedig reflexív és szimmetrikus: valójában azonban a gyakorlatban egyik tulajdonság sem teljesül. További probléma Suarez szerint, hogy nehezen értelmezhető a téves reprezentáció, illetve a pontatlanság az izomorf és hasonló reprezentációk esetében. Előbbi megértéséhez gondoljunk arra az esetre, amikor egy fényképen látható személyt mással azonosítunk, mint akit valójában ábrázol a fotó. Vagyis, érvel Suarez, az ágens tevékenysége a reprezentáció élménye során, nem következménye a reprezentációs relációnak. Mindez azt is jelenti, hogy pusztán valamilyen szerkezet béli hasonlóság vagy izomorfizmus nem jelent reprezentációt, ha így lenne, akkor az Einstein által a tér-idő leírására megalkotott általános relativitáselmélet matematikai leírását valójában Bernhard Riemann nevéhez kellene kötni, hiszen ő volt az, aki a szükséges matematikai egyenleteket kidolgozta (Suarez 2003. 234. o.). További kihívás a pontatlanság kérdése: rendszerint a használt modelljeink nem pontosan adják vissza célrendszer tulajdonságait: ez azonban izomorfizmust feltételezve egészen egyszerűen nem lehetséges (a pontatlanság ellenvetés a hasonlósági megközelítést kevésbé érinti).

Reprezentáció létrejöhet akkor is, ha izomorfizmus és hasonlóság nem teljesül, amiből az következik, hogy azok nem szükséges kritériumok.

⁴⁶ Megjegyzendő, hogy a strukturális megközelítés is módosult, és beemelte az elméletébe a kutató (ágens) szándékait a modellezés folyamatába (lásd például Frigg 2006).

Callender - Cohen (2006) szerint a demarkáció problémája, amit ők a (representáció problémájának hívnak) vagyis, hogy hogyan jön létre, miből is áll valójában a modell és a valóság közötti reprezentáció, más szempontból közelítve megszűnik problémának lenni. Paul Grice nyelvfilozófus alapján megkülönböztetik az elsődleges (primer) reprezentációkat a származtatottaktól. Előbbiek lényegében a mentális reprezentációkat jelentik, míg utóbbiak közé tartoznak a művészeti, nyelvi és egyéb reprezentációk, amelyek valamilyen módon az első, alapvetőbb mentális reprezentációkon alapulnak, abból származnak. A kulcs, hogy milyen módon jönnek létre a származtatott reprezentációk. Callender és Cohen szerint a tudományos reprezentációk is a származtatott reprezentációk közé tartoznak, és az ágens intenciói alapján, stipulatív módon jönnek létre, azaz egy tudományos modell M , által reprezentálja a célrendszert, T -t, hogy a modell használója stipulálja, hogy M reprezentálja T -t (Frigg - Nguyen 2016, Callender - Cohen 2006). Egyrészt a reprezentáció nehéz kérdése a fundamentális reprezentációk világába tolódik vissza, vagyis a mentális reprezentációk és állapotok területére, ami ez elme filozófiájának a kutatási területe. Ugyanakkor a demarkáció problémája ezáltal megoldódott: a reprezentáció a kutató szándékai szerint jön létre. A különböző így létrejövő modellek között a szelekció pedig pragmatikus szempontok alapján (is) történik, ahol mind a különböző morfizmusoknak mind a hasonlóságnak M és T között komoly szerepe lehet, azonban ezek nem szükséges feltételei a reprezentáció létrejöttének.

R. I. G. Hughes által kidolgozott és röviden DDI-ként (Denotation, Demonstration, Interpretation) hivatkozott leírása a reprezentációkról, a modellezés folyamatát három fázisra osztja. Először is a vizsgált jelenséget valamilyen módon *jelölni*, szimbolizálni kell (denotation). Hughes elveti a hasonlóság/strukturális feltételeket a jelöléssel, reprezentációval kapcsolatban, azaz, a kialakított szimbólumnak, modellnek, nem szükségszerűen kell hasonlítania a vizsgált jelenségre. A második fázisban a modell belső dinamikáját vizsgálva következtetéseket vonunk le (demonstration). Jellemzően ez matematikai objektumokon végzett műveletek végrehajtását, illetve egyéb nem nyelvi reprezentációs eszközök elemzését foglalja magában. Fontos látni, hogy a megállapításainkat itt a modellre vonatkozóan vonjuk le (tehát az egyenletre, diagramra, ábrára stb.), nem közvetlenül a vizsgált jelenségre. Ez utóbbi a DDI harmadik szakaszában, az eredmények interpretálása során történik, amikor a modell eredményeit a vizsgált jelenségre nézve értelmezzük (Hughes 1997).

Hughes bevallása szerint sem próbált meg szükséges és elégséges feltételeket feltárni a reprezentáció problémájára, mindössze a reprezentáció gyakorlati tudományos használatát próbálta érthetővé tenni a DDI fogalmi keretben (Frigg – Nguyen 2016).

Hughes DDI leírását használja Suarez az úgynevezett *inferential conception* kiindulásaként. Suarez szerint a reprezentáció elméletében fel kell adni a szükséges és elégséges feltételek meghatározásának igényét, és megállapodni a szerényebb, szükséges feltételek megállapításánál. Az elméletében a tudományos reprezentáció szükséges feltételeként két tényezőt határoz meg: *reprezentációs erő* (representational force) és a *következtetési kapacitás* (inferential capacities). A reprezentációs erő lényegében arra vonatkozik, hogy a reprezentációként használt dolgok stipuláció útján keletkeznek, vagyis szükség van egy ágens szándékaira is a reprezentációs irány kialakítására (vagyis arra, hogy M reprezentálja T -t)⁴⁷. Ezzel a feltétellel a szimmetrikus reprezentáció problémáját megoldja, azonban önmagában egy önkényes reprezentáció tudományos szempontból nem érdekes: valamilyen többlet kognitív tartalommal kell, hogy rendelkezzen. Erre vonatkozik a második feltétel, azaz a helyettesítő okfejtés feltételének explicit megfogalmazása: a modell (M) tegye lehetővé egy megfelelően informált egyénnek, hogy következtetéseket vonjon le a vizsgált jelenségről (T) (Suarez 2004).

Gabriele Contessa Suarez elméletét továbbfejlesztve amellet érvel, hogy a helyettesítő okfejtés és a reprezentációs erő, kiegészítve az *interpretáció* fogalmával együtt szükséges és elégséges kondíciókat adnak meg a reprezentációra vonatkozóan (Contessa 2007). Suarez leírásával szemben kritikaként fogalmazza meg, hogy abból nem derül ki, hogy a helyettesítő okfejtés ténylegesen miképpen megy végbe. Az interpretáció Contessánál ezt hivatott orvosolni: lényegében a strukturális koncepcióhoz hasonlóan matematikai kapcsolatot határoz meg a reprezentációs eszköz (M) és a célrendszer között (T). Ez röviden a következőképpen történik: először a felhasználó azonosítja a releváns objektumokat, a közöttük levő relációkat, illetve az azokon értelmezett releváns függvényeket (ez utóbbi kettő adja lényegében a struktúráját a rendszernek) mind a reprezentációs eszköz, mind a célrendszer esetében. Ezt követően közöttük (tehát a reprezentáció és a célrendszer releváns objektumai, relációi és függvényei között) bijektív leképezés előírásával és stipulációval (vagyis az aktussal, hogy a felhasználó M -et teszi meg T reprezentációjának⁴⁸) jön létre az adott reprezentációs eszköz (M) célrendszerre (T) vonatkozó interpretációja.

Contessa szándékai szerint az interpretáció ilyen formális meghatározása lehetővé teszi, hogy a helyettesítő okfejtésre vonatkozóan is hasonló formális szabályhalmazt alkosson

⁴⁷ Az intencionalitás elvárása tekintetében Suarez nem egészen egyértelmű, vö. Suarez 2010.

⁴⁸ Ezt az aktust Contessa is denotációnak nevezi.

meg. Hogy megértsük, ez hogyan is megy végbe, tegyük fel, hogy a kutató vagy felhasználó a fentiek szerint M -t használja T -re vonatkozó interpretációja során. Ekkor a felhasználó következtetése, miszerint egy objektum ($O_{T,i}$) benne van a cél-rendszerben (T -ben), helyes, akkor és csak akkor, ha $O_{T,i}$ -nek meg van feleltetve egy objektum, $O_{M,i}$ a modellben, M -ben. Formailag ezzel teljesen megegyező megkötéseket tesz mind a relációk mind a függvényekre vonatkozó következtetéseket illetően (Contessa 2007 61-62. o.). Frigg – Nguyen (2016) szerint Contessa elmélete magyarázatot szolgáltat az episztemikus reprezentációs problémára, de nem tud mit kezdeni a téves reprezentációval (lásd fentebb). Ehhez hozzátehetjük még a cél-rendszer nélküli reprezentáció sem elképzelhető Contessa modelljében.

De ezek nem a legnagyobb problémák ezzel a megközelítéssel. Az interpretáció meghatározásában kikötésre kerülnek a célrendszer és a modell releváns objektumai, relációi és függvényei között bijektív megfeleltetések. Vagyis az interpretáció aktusa során (a denotáció során) a felhasználó már tudatában kell, hogy legyen a célrendszerben milyen objektumok vannak, és közöttük milyen strukturális kapcsolatokat lehet relevánsnak tartani. A Contessa féle következtetési szabályok tehát csak annyit mondanak, hogy mivel egy objektum a modellben van, ezért logikailag helyes azt állítani, hogy a célrendszerben is benne van. Csakhogy ezt már a modellalkotásnál kikötöttük, azaz lényegében a következtetési szabályok semmi új információt nem hozhatnak. A tudományos modellezés során azonban a priori gyakran a kutató nincs tisztában a vizsgált jelenséget alkotó objektumokkal, sem pedig annak belső struktúrájával. Contessa visszatérő példája a londoni metrórendszer térképe: a térképen levő 'Holborn' feliratú kör például arra enged következtetni, hogy van Holbornban megállója az adott metróvonalnak (Contessa 2007 61. o.). Valóban, a Contessa által kidolgozott elmélet inkább a térképalkotásra hasonlít, vagyis arra a helyzetre, amikor a célrendszer teljesen ismert, tehát minden objektuma és struktúrája, és arról készül a reprezentáció, amelybe csak a releváns objektumok, relációk kerülnek. Azonban a tudományos modellezés nem térképalkotás, a kutató nincs tisztában a célrendszer releváns szerkezetével, a modellezés célja ekkor éppen annak a feltárása. Ebből következően a priori azt nem tudja a modellbe építeni a modellező.

További kihívást jelent Contessa elméletében, hogy a modellezés által új információkhoz jutni nem kizárólag egy elkészült modell segítségével lehet: maga a modell felépítésének folyamata, az annak kapcsán felmerült problémák, nehézségek, esetleges belső inkonzisztenciák megoldása mind részét képezik a reprezentáció és modell hasznosságának. Kuhn mutatott rá, hogy a normál tudomány tankönyvei a tudomány letisztult képét adják

vissza, a belső ellentmondásokat, feszültségeket elfedik, a tudományos haladásnak kumulatív képet kölcsönöznek. Ehhez hasonlóan, pusztán az elkészült és tudományosan elfogadott modellek kizárólagos fókuszba helyezése éppen a helyettesítő okfejtés fontos tulajdonságait, a modellekhez vezető utat fedik el.

Mindemellett Contessa megkülönbözteti az episztemikus reprezentációt az egyszerű reprezentációtól. Előbbi olyan reprezentáció, amely lehetővé teszi a cél-objektumra vonatkozó következtetések levonását, utóbbi azonban csak denotáció útján létrejött (tetszőleges) szimbólum, amely a cél-objektum helyett áll, és nem tartalmaz extra információt. Példaként a londoni metró térképét és a metró logóját szolgáltatja: Contessa szerint a térkép (ahogy fentebb láttuk) lehetővé teszi a helyettesítő okfejtést, ezzel szemben a logó nem. Azonban a gyakorlatban ilyen logika mentén nehéz distinkciót tenni a reprezentációk között – a példánál maradva, a londoni metró logója egy piros körbe írt „UNDERGROUND” felirat. Ez alapján pedig akár több következtetést is le tudunk vonni: nevezetesen, hogy a reprezentáció létrehozója latin betűket használ, angol nyelven, birtokában van a szabályos és színes körvonal rajzoló és nyomtatási technikájának stb. Természetesen egy londoni lakosnak, aki a metróvonalon akar eligazodni, ez nem nagy segítség, de a logónak nem is ez a célja. Hasonlóan, annak az embernek, aki sikeresen memorizálta a teljes londoni metró szerkezetét, a térkép használata redundáns lenne. Ez rávilágít arra, hogy az episztemikus és hagyományos reprezentáció ilyen megkülönböztetése nem választható el a reprezentáció potenciális felhasználójának *rendelkezésre álló ismereteitől* sem.

Azzal együtt, hogy egyetértünk a helyettesítő okfejtés fontosságával a modellezés vizsgálata során, Contessa elmélete nem elégséges a tudományos reprezentációk megértéséhez.

A tárgyalt elméletek legfontosabb megállapításai összefoglalóan az 1. Táblázatban láthatók.

1. Táblázat. A modellezéssel kapcsolatos főbb tudományfilozófiai álláspontok

| Kulcsfogalmak | Fontos megállapítások | Kulcs publikáció (Szerző/évszám) |
|--|---|----------------------------------|
| Strukturális megközelítés, izomorfizmus | A strukturális koncepció a halmazelmélet és matematikai logika eszközeit alkalmazva szándékozik a modellt és a célrendszert valamilyen formálisan meghatározható struktúraként leírni. A reprezentáció pedig azáltal jön létre, hogy a két struktúra között izomorfizmust lehet létesíteni. | Da Costa - French 2003 |
| Hasonlóság | A strukturális megközelítés szigorú morfizmusa helyett a modell és a valóság (vagy pontosabban a vizsgált cél-rendszer) <i>hasonlóságát</i> hangsúlyozza. | Griere 2004 |
| Stipuláció, elsődleges és származtatott reprezentáció | A tudományos reprezentációk is a származtatott reprezentációk közé tartoznak, és az ágens intenciói alapján, stipulatív módon jönnek létre, azaz egy tudományos modell M, azáltal reprezentálja, a célrendszert, T-t, hogy a modell használója stipulálja, hogy M reprezentálja T-t | Callender - Cohen 2006 |
| DDI | A modellezés folyamatát három fázisra osztja: a vizsgált jelenséget valamilyen módon jelölni, szimbolizálni kell (denotation); a második fázisban a modell belső dinamikáját vizsgálva következtetéseket vonunk le (demonstration); a harmadik szakaszban az eredmények interpretálása történik - a modell eredményeit a vizsgált jelenségre nézve értelmezzük (interpretation) | Hughes 1997 |
| Reprezentációs erő, következtetési kapacitás | A tudományos reprezentáció szükséges feltételeként két tényezőt határoz meg: <i>reprezentációs erő</i> (a reprezentációként használt dolgok stipuláció útján keletkeznek) és a <i>következtetési kapacitás</i> (a modell tegye lehetővé egy megfelelően informált egyénnek, hogy következtetéseket vonjon le a vizsgált jelenségről) | Suarez 2004 |
| Helyettesítő okfejtés, reprezentációs erő, interpretáció | A helyettesítő okfejtés és a reprezentációs erő, kiegészítve az <i>interpretáció</i> fogalmával együtt szükséges és elégséges kondíciókat adnak meg a reprezentációra vonatkozóan. Az interpretáció lényegében a strukturális koncepcióhoz hasonlóan matematikai kapcsolatot határoz meg a reprezentációs eszköz és a célrendszer között. | Contessa 2007 |

Forrás: saját szerkesztés.

Mindezek után minden adott ahhoz, hogy az általam preferált értelmezése a tudományos reprezentációknak megfogalmazásra kerüljön, amely nem mellesleg a dolgozat első hipotéziseként szolgál. A nézet erősen inspirált Callender és Cohen, Suarez és Contessa által is.

A reprezentáció egy jel, amely stipuláció útján jön létre a felhasználó szándékai szerint. Nincs szükség további felhasználók feltételezésre a reprezentáció ontológiájának vizsgálata során. A reprezentáció társadalmi diffúziójának és elfogadottságának

magyarázatára azonban nem elégséges a stipuláció, egyéb pragmatikus szempontok is szerepet játszanak. A hasonlóság, a különböző lehetséges morfizmusok és a helyettesítő okfejtés is ezen pragmatikus szempontok között vannak, azonban ezek nem szükséges és nem is elégséges feltételek. Ebből következően a tudományos reprezentáció annyiban különbözik az egyszerű reprezentációtól (demarkációs probléma), hogy azt a tudományos közösség elfogadja, elismeri vagy használja tudományos céllal reprezentációnak, alkalmazva a tudományos logikából és a tudományos közösség belső struktúrájából következő szelekciós elveket. A tudományos közösség hozzájárulásának hangsúlyozásával a cél kettős: egyrészt beemeli a reprezentáció elméletébe a tudomány közösségi jellegét. A newtoni fizikai modellek nem voltak tudományos reprezentációk, amíg azok csak Newton által voltak ismertek, amíg azt nem osztotta meg a tudományos közösséggel, a közösség pedig nem értelmezte és fogadta el azokat. A tudomány története számos példát szolgáltat arra, hogy bizonyos felfedezések, modellek nem kerülnek nyilvánosságra, feledésbe merülnek és csak jóval később kerül sor az újrafelfedezésükre, rehabilitációjukra. Például, Louis Bachelier 1900-ban a doktori disszertációjában, Einsteint öt évvel megelőzve, pénzügyi adatsorokon vizsgálta a véletlen bolyongás matematikai tulajdonságait. Eredményeinek jó része azonban nem került be a tudományos (közgazdasági) gondolkodásba egészen a 20. század közepéig: Leonard Savage 1964-ben fordította le Bachelier munkáját angolra, amely a kiindulási alapját képezte az Eugene Fama által jegyzett *Hatékony Piacok* elméletének (MacKenzie 2004, Mandelbrot - Hudson 2007).

A tudományos közösség hangsúlyozásának másik következménye, hogy a modell elfogadásának kritériumait a tudományos kutatás általános problémái közé utalja, azaz nem tekinti a tudomány, a tudományos tevékenység megértését célul kitűző, korábban tárgyalt (illetve a modellezéssel kapcsolatos viszonylag lazább kapcsolat miatt kihagyott) tudományfilozófiai elméletektől elválaszthatónak.⁴⁹ A szelekciós mechanizmusok ugyanis, amelyeket a tudomány az elméletekre alkalmaz ugyanazok, amelyeket a reprezentációkra alkalmaz. Ez annál is inkább így van, mivel bármely tetszőleges nyelven megfogalmazott elmélet, állítás is egy reprezentáció, amely maga is alapvetően mentális reprezentációkon nyugszik. A szelekció során fontos szempont lehet mind a hasonlóság, mind a morfizmusok

⁴⁹ Akár az is elképzelhető, hogy a tudományos reprezentáció kérdése és a szélesebb értelemben vett tudományfilozófiai problémák izomorfak egymással, vagyis az egyikre adott kielégítő válasz, a másokra is alkalmazható. Ez azonban megkövetelné a tudományos elméletek szemantikus nézőpontjának kizárólagos elfogadását.

jelenléte, de természetesen a helyettesítő okfejtés lehetősége is. Ha feltesszük, hogy a tudomány tágran értelmezett célja a rendelkezésre álló tudás halmazának bővítése (ahogy például Merton is tette, lásd Merton, 1942), akkor a helyettesítő okfejtés a legfontosabb kritériumnak tűnik. Ugyanakkor a helyettesítő okfejtés felhasználótól függő volta és a tudományos világ társas attribúciójának központi szerepe miatt a helyettesítő okfejtés sem lehet kizárólagos kritériuma a tudományos reprezentációnak.

Az első hipotézis lényegében összefoglalja az értekezés álláspontját a tudományos modellekkel kapcsolatosan, és amelyet ebben a fejezetben leírtak részben igyekeztek alátámasztani.

2.5.4 Modellezés és a közgazdaságtudományi módszertan

A közgazdaságtudomány módszertan kérdésével foglalkozó szakirodalom könyvtárnyi, David Colander például azt javasolja a kutató közgazdászoknak, hogy ne fókuszáljanak a módszertani kérdésekre, mert már nem nagyon lehetséges újat mondani (Colander 2009). Jelen dolgozat természetesen nem vállalkozhat a teljeskörű áttekintésre egyrészt a téma csupán érintőleges relevanciája, másrészt a téma szélessége és mélysége miatt. A módszertani kérdések közül elsősorban az explicit vagy implicit módon a modellezéshez kapcsolódó néhány meghatározó, ismert publikáció, megközelítés kerül bemutatásra. A modell fogalom az 1930-as években jelent meg a közgazdaságtanban, az ökonometria kialakulása kapcsán, de természetesen modellek korábban is használatosak voltak (Morgan – Knuuttila 2008)

A 19. század meghatározó klasszikus közgazdásza, John Stuart Mill *On the Definition and Method of Political Economy* című 1836-ban megjelent esszéje mai napig meghatározó és nem lehet megkerülni a közgazdasági modellezés témájában, mindazonáltal a jelen tárgyalás során kizárólag a releváns megállapításaival foglalkozom. Mill a közgazdaságtant absztrakt tudománynak tekinti, hasonlatosan a geometriához. Továbbá, mivel a legtöbb társadalomtudományhoz hasonlóan a kísérletek elvégzése nem lehetséges, ezért érvelése szerint az egyetlen járható út az ismeretek gyarapítására az a priori modellalkotás, azaz axiomatikus felépítés indukció útján, Az axiómák az ember természetére vonatkozó alapfeltevések, melyekhez nem megfigyelések útján jutunk. Mill által megfogalmazott ilyen feltevés, hogy az ember mindig preferálja azt a lehetséges kimenetelét egy döntési helyzetnek, amikor nagyobb vagyonhoz jut. Nem állítja, hogy minden szituáció modellezésére ebből a feltevésből kell kiindulni, de azokban az esetekben igen, amikor a döntések eredménye a

vagyont érdemben befolyásolja. Az ettől eltérő helyzetek vizsgálata nem a közgazdaságtan feladata (Mill 2008 [1936]).

Milton Friedman az 1953-ban megjelent nagyhatású esszéjében (Friedman 1953), sok tekintetben Karl Popperhez hasonló tudományfelfogásról ír. Friedman szerint egy elméletet nem lehet bebizonyítani, csupán elvetni azt, az empirikus tartalom, vagyis az előrejelzőképessége az, ami megméri az elméleteket. Témánk szempontjából ennél is fontosabb, hogy Friedman szerint az elméletek alapfeltevései, vagy ha úgy tetszik a modell belső működése sem releváns. Ami számít az, hogy a vizsgált jelenségekkel kapcsolatos előrejelzések és az adatok mennyire vannak összhangban egymással.⁵⁰ Friedman a cikkét elsősorban közgazdászok számára írta, így nem meglepő, hogy a fentebb tárgyalt, tudományos modelleket vizsgáló elméletekkel szemben támasztott elvárásoknak nem tud eleget tenni. A tanulmányt megelőző években a közgazdaságtudományt éles módszertani viták jellemezték, amelyek amiatt törtek ki, hogy megkérdésezésen alapuló felmérések alapján úgy tűnt a vállalatok nem a határkölség és határbevétel egyenlővé tétele mellett állapították meg a termelési mennyiséget, vagyis nem a neoklasszikus modellek mentén/szerint hoztak döntéseket. Friedman a cikkében implicit módon elfogadja a külső világ ontológiai státuszát, viszont nem világos, hogy elméletében a modellek ehhez (ti. a külső világhoz) miképpen viszonyulnak. Ilyenformán a modellek akár fekete dobozként is felfoghatók, mert annak alapján nem tudunk a jelenség szerkezetére, oksági viszonyaira releváns állítást tenni, csak annyit, hogy az előrejelzések az adatokkal összhangban vannak-e vagy sem.⁵¹

Daniel Hausman szerint Friedman azt is mondja a tanulmányában, hogy a közgazdasági elmélettel kapcsolatos releváns adatok a piaci árakra és mennyiére korlátozódnak, ellenben a modell feltevésével kapcsolatos adatok nem. Viszont így Friedman érvelése nem helyes, ugyanis, ha a modellből következnek a döntéshozó gazdasági szereplők viselkedésének bizonyos aspektusaira is előrejelzések, semmi nem indokolja, hogy azokat figyelmen kívül kellene/lehetne hagyni a modell értékelése során (Hausman 2008). MacKanzie (2006) szerint a Friedman tanulmánya a következő generáció kutatóinak

⁵⁰ Friedman álláspontját instrumentalistának is lehet tekinteni,

⁵¹ A probléma hasonlós a jelenleg egyre sikeresebb és népszerűbb gépi tanulási eljárás, a mélytanulási neurális hálók helyzetéhez. Az ilyen módszerek egészen különböző területeken hoztak drámai javulást a modellek teljesítményében, viszont nem szolgálnak információval a miért?-ekre vonatkozóan. A pusztán adatalapú modellek kritikáiért lásd például Pearl – Mackenzie (2018), Marcus - Davis (2019), Mitchell (2019).

(különösen a pénzügyek területén) egy jelentős részére hatással volt, lényegében a modellfeltevések plauzibilitásának ellenőrzése alól adva felmentést.

Természetesen nem minden közgazdász ért(ett) egyett Friedman álláspontjával. Paul Samuelson rövid esszéjében úgy érvel, hogy egy elmélet tartalmazza az axiómákat, posztulátumokat és a megfigyelhető világra vonatkozó összes állítást, hipotézist is, amelyek a feltevésekből következnek. Ezért az elméletben az alapfeltevések és következtetések nem választhatók szét, ha a feltevések (vagy azoknak egy nemüres részhalmaza) empirikusan megcáfolhatók, akkor az elmélet maga sem lehet igaz (Samuelson 1963). Úgy is fogalmazhatnánk, hogy a modellfeltevések csupán a modell összes előrejelzését írják le kompakt módon.⁵²

Gibbard – Varian (1978) munkájukban megkülönböztetik a leíró és idealizált modelleket. Előbbiek a valóság valamely aspektusának megragadását szándékoznak, utóbbiak ellenben az idealizált helyzeteket, szituációkat adják meg. A leíró modelleket tovább kategorizálják alapvetően a valósághoz való hasonlóság alapján, ezek rendre a karikatúra, a közelítő és az ökonometriai modellek. Alapvetően a közelítő és karikatúra modellekkel foglalkoznak. „A modell egy történet, meghatározott szerkezettel” (Gibbard – Varian 1978 666. o., saját fordítás). A modell náluk nem egy konkrét, valóságos szituáció leírására szolgál, ugyanis arra az ún. alkalmazott modellek használatosak, amelyek az (általános) modellt interpretálják, vagyis a konkrét szituációhoz illesztik, paraméterezik. Itt meg lehet ismételni a modell és elmélet szétválaszthatatlansága kapcsán tett kijelentéseket (lásd 2.5.2 szakasz), vagyis problémás a modellek és alkalmazott modellek megkülönböztetése, ugyanis nincs olyan modell, amely teljesen specifikált lenne, a határvonal meghúzása így pedig önkényes. A közgazdasági modellek feltételei kapcsán Friedmannal szemben azt mondják, hogy azoknak közelíteniük kell a valósághoz, nem kizárólag a modell előrejelző képessége a fontos. A közgazdasági modelleket ugyanis gyakran új helyzetben kerülnek alkalmazásra, ilyenformán viszont a megfelelő modellfeltevések alapozzák meg a reményt, hogy az előrejelzések, modell következtetések továbbra is kongruálni fognak a valósággal.

Robert Sugden elméleti közgazdász tanulmányában azt vizsgálja, hogy a közgazdasági modellek milyen módon nyújtanak segítséget valós jelenségek megértésében (Sugden 2000). A gondolatmenet illusztrálására két, jelentős közgazdasági modellt használ: George Akerlof

⁵² Talán nem véletlen, hogy a Samuelson esszéjét közlő American Economic Review ugyanazon lapszámában a redukcionizmus kapcsán említésre került Ernest Nagel is jegyez egy tanulmányt a közgazdasági feltevésekről.

Tragacspiacát, illetve Thomas Schelling szegregációt leíró ágens-alapú modelljét. Sugden megállapítja, hogy sem Akerlof, sem pedig Schelling modellje nem tekinthető popperi értelemben vett tudománynak, ugyanis nem szolgáltatnak falszifikálható hipotézisekkel. Mi több, a modellek feltevései a valóságtól nagyon távol állnak, így felmerül a kérdés, hogy milyen viszony van a modellek és a valóság között, illetve a közgazdászok hogyan tudják az ilyen modelleket az ismeretek bővítésére használni. Sugden érvelése szerint a modellezés során dedukció mellett induktív érvelést is használnak a közgazdászok. Dedukció révén, a modell feltevésekből ceteris paribus oksági összefüggéseket keresnek bizonyos változó(k) és valamilyen vizsgált jelenség között. Habár a modellek elméleti konstrukciók, „hihető világokat” (credible worlds) írnak le, tehát olyan szituációkat, amelyek nem valóságosak, de adott esetben akár azok is lehetnének. Ezekben a modellekben leírt, feltárt oksági hatásokat pedig általánosítják a való világ jelenségeire (itt jelenik meg az indukció). Sugden, aki tisztában van az indukció körüli episztemológiai nehézségekkel, úgy érvel, hogy az indukciót ebben az esetben az teszi lehetővé, hogy a modellek valamilyen értelemben „hasonlóak” a való világhoz. Ezzel azonban eljutunk a modellezés, reprezentáció elmélete kapcsán tárgyalt hasonlósági kritériumhoz, és az összes azzal összefüggésben tárgyalt probléma itt is megismételhető.

A közgazdaságtudomány által használt modelleket alapvetően sokféleképpen lehet kategorizálni, de alapvetően három típust lehet megkülönböztetni:

Adatmodellek: az adatmodell a megfigyelések során rögzített adatok leírására szolgál, ugyanis a kísérletek, illetve a megfigyelések eredménye elsősorban valamilyen adathalmaz képében manifesztálódik, amelyet ezt követően kell a tudósnak értelmeznie. Lényegében az adatmodell az empirikus munka során alkalmazott statisztikai-ökonometriai eszközöket fedile.

Egyenlet-alapú modell (EBM): az elméleti munka legfontosabb módszertani eszköze. Általánosságban elmondható, hogy egy vizsgált rendszerben két, egymástól megkülönböztethető entitás van: egyedek és állapotok. Az egyedek alkotják a rendszert, és ezek jól megkülönböztethetőek mind egymástól, mind a környezettől (például háztartások, vállalatok stb.). Az állapotok vagy állapotváltozók rendszer mérhető tulajdonságai, amely érdeklődésre tart igényt (pl. árak, mennyiség, GDP stb.). Az egyenlet-alapú modellezés a

megfigyelhető állapotokra fókuszál, az modell alapegysége az egyenlet-alapú esetben maga az egyenlet, amely az állapotok, állapotváltozók közötti kapcsolatot igyekszik megragadni,

Ágens-alapú modellezés (ABM): szemben az EBM-mel, az ABM az egyedekre, és a köztük levő kapcsolatokra koncentrál. Az elemzés egysége az egyed, amely ágenssel kerül reprezentálásra. Komplex rendszerek vizsgálatára használatos, amikor a nagyszámú, heterogén egyed viselkedése, és a közöttük megfigyelhető interakciók alakítják a rendszer makró viselkedését. Általában egyenlet-alapú modellekkel nehézkesen vizsgálható, mert túlzott egyszerűsítésekkel kell élni a megoldhatóság érdekében. Bizonyos szempontból az ABM az elméleti és empirikus kutatás között áll, mert az ágens-alapú modell által szimulált rendszer empirikus viselkedését vizsgáljuk.

Az értekezés mindhárom modell típusra szolgáltat egy-egy példát, amelyek különböző típusú jelenségek vizsgálatát teszik lehetővé.

2.6 Hipotézisek

Ebben a fejezetben összefoglalóan bemutatom a dolgozat fontosabb megállapításait. Az értekezés további részében a fenti három modell típus bemutatása történik, egy-egy példán keresztül. Az első hipotézis általában véve a modellezéshez kapcsolódik, a másik három pedig a különböző modellek segítségével vizsgált konkrét jelenséghez. Az első hipotézist leszámítva, a megállapítások részletes indokolása, alátámasztása és kibontása a dolgozat következő fejezeteiben történik meg.

1. hipotézis: A reprezentáció egy jel⁵³, amely stipulációval jön létre a létrehozó szándékai szerint, a tudományos reprezentáció pedig egy reprezentáció, amely tudományos modellnek tekinthető, azáltal, ha a tudományos közösség azt használja, elfogadja, elismeri.

A modell általában valamilyen vizsgált jelenséget próbál reprezentálni, viszont nem egyértelmű, hogy milyen tulajdonságokkal kell rendelkeznie egy modellnek, hogy segítse a tudományos kutatást, lehetővé tegye a vizsgált jelenségre vonatkozó helyes megállapítások megfogalmazását. Ez a hipotézis összefoglalja a disszertáció álláspontját a tudományos modellekkel kapcsolatosan. A hipotézis vizsgálata egyrészt szakirodalmi feldolgozás

⁵³ Ebben az esetben a jel meghatározására mind a sausseri, mind a peirce-i definíció megfelelő.

segítségével történik, másrészt az értekezés következő három hipotézisének vizsgálatára alkalmazott módszertan és eredmények tekinthetők az első hipotézis alátámasztásának is.

2. hipotézis. A pénzügyi idősorok esetében a mintavételezés módja befolyásolja a kapott adatsorok sztochasztikus tulajdonságait.

A közgazdasági publikációk jelentős része empirikus jellegű, azaz valamilyen megfigyelés, adatgyűjtés, esetleg kísérlet bemutatása, a megfelelő és elfogadott statisztikai-ökonometriai eszközök alkalmazása mellett. A megfigyeléshez használt eszköz belső konstrukciója, belső struktúrája is tartalmazza az kutató, vagy tágabban a tudományos közösség előzetes ismereteit, feltételezéseit. A mintavételezés mikéntje ezért kulcsfontosságú: a nem megfelelő eljárás használata következtében a kapott minta statisztikai tulajdonságai a következtetések levonását és az információ mintából történő kinyerését megnehezít, vagy akár meg is akadályozhatja. Mindez az empirikus munka során tett következtetések bizonytalanságát növeli. A hipotézis tesztelése és részletes kifejtése a 3. fejezetben, pénzügyi idősorokon történik, megvizsgálva az alternatív mintavételezési eljárások hatásait a kapott adatsorok sztochasztikus tulajdonságaira.

3. hipotézis: A gyermek részben pozícionális jószág, és emiatt a társadalmi környezettől függően a jövedelemnek negatív hatása lehet a fertilitásra.

Pozícionális jószágok közgazdasági értelemben azon javak közé tartoznak, amelyek fogyasztó által történő értékelése valamilyen módon a környezettől függ. Az alapgondolat szerint bizonyos javak társadalmi értelemben szűkösek, a fogyasztásuk negatívan függ a fogyasztók számától, továbbá extern hatásokat okoznak (Frank 2005). A társadalmi szűkösség arra vonatkozik, hogy bizonyos javak szűkössége nem fizikai, erőforráskorlát miatt lép fel, hanem társadalmi tényezők miatt. Például egy futball csapatban pályára lépő játékosok száma és személye a szabályok és az edzői döntések által meghatározott. A gyermekvállalásnak van környezettől függő aspektusa, azaz a gyermek tekinthető részben pozícionális jószágnak, vagyis a hasznosság, amelyet a szülő realizál, részben attól függ, hogy hogyan teljesít a kortársaihoz képest, illetve milyen társadalmi státuszt ér el később a gyermek. A hipotézis tesztelése 4. fejezetben történik meg, ahol egy mikroökonómiai, egyenlet-alapú modell kerül bevezetésre (korlátos optimalizációs probléma), amely lehetővé teszi a pozícionális megfontolások formális megragadását, és az érvelés elméleti alátámasztását.

4. hipotézis. Az egyének azon képessége, hogy egynél több társadalmi csoporthoz csatlakozzanak, kulcsfontosságú a nagyléptékű együttműködés fenntartásához.

A csoportok alapvető szerepet játszanak az emberi társadalmak struktúrájának felépítésében: az ember társas lény; alapvető igénye van, hogy csoporthoz tartozzon, a személyiségének és önértékelésének egy részét a csoporttagságból származtatja (Tajfel and Turner 2004; Baumeister and Leary 1995). Ahogy a közösség egyre nagyobb és összetettebb lett, az ember, hogy megbirkózzon a társas világ számítási és kognitív kihívásaival, egyre több társas kategóriát, csoportot észlel, különböztet meg (Macrea - Bodenhausen 2000). Ezáltal az egyén egyszerre több társas csoportnak is tagja lehet. A társas csoportok következképpen versenyeznek a tagok erőforrásaiért (elsősorban az idejükért), hogy fenntartsák a kulturális szokásait, normáit, a szimbolikus megkülönböztető jegyeit, amelyek megkülönböztetik a többi társas csoporttól. A hipotézis tesztelése a dolgozat 5. fejezetben bemutatott ágens-alapú modell segítségével történik és rámutat arra, hogy a társadalmi csoportok közötti versengés az egyének erőforrásaiért káros hatással lehet a teljes populáció szintű, nagyléptékű kooperációra, és erre a problémára az egyik orvosság lehet az átkategorizálás vagy új, a teljes populációt átfogó csoportok létrehozása.

3. Adatmodellek - A mintavételezés hatása pénzügyi adatok statisztikai tulajdonságaira

Ebben a fejezetben a 2. hipotézis kibontása és alátámasztása történik meg, vagyis amellet érvelek, hogy a gazdasági-pénzügyi idősorok esetében a mintavételezés módja hatással van a kapott adatsorok sztochasztikus tulajdonságaira. A hipotézis tesztelése pénzügyi adatokon történik, alternatív mintavételezés módszerek vizsgálatán keresztül. A hipotézis jelentőségét az adja, hogy az empirikus kutatások során tett megállapítások bizonytalansága növekszik, amennyiben olyan adatokra épül, amely valamilyen elmélet által vezérelt módon került összegyűjtésre.

3.1 Adatmodellek

A közgazdasági publikációk jelentős része empirikus jellegű, azaz valamilyen megfigyelés, adatgyűjtés, esetleg kísérlet bemutatása, a megfelelő és elfogadott statisztikai-ökonometria eszközök alkalmazása mellett.⁵⁴⁵⁵ Önmagában az adat fogalma sem teljesen tisztázott: az információ filozófiájában leginkább az egyezőség hiányát értik alatta, amely valamilyen fizikai állapotok vagy szimbólumok között jelentkezik. A szemantikus információról pedig a megfelelő formában rendelkezésre álló és jelentéssel bíró adat esetében beszélhetünk. A megfelelő forma azt jelenti, hogy a szintaxis helyes, vagyis az adat szerkezete megfelel valamilyen kódrendszernek (Floridi 2019).

Patrick Suppes (1962) vezette be az adatmodell fogalmát. Az értelmezésében az adatmodell a megfigyelések során rögzített adatok leírására szolgál, ugyanis a kísérletek, illetve a megfigyelések eredménye elsősorban valamilyen adathalmaz képében manifesztálódik, amelyet ezt követően kell a tudósnak értelmeznie. A folyamat mindkét lépése, tehát az adatgyűjtés és az interpretáció is, kérdéseket vet. Az első lépésben lényegében valamilyen mintavételezési eljárás útján kerülnek az adatok összegyűjtésre. Bogen és Woodward (1988) egyenesen azt mondják, hogy a jelenségek közvetlenül nem

⁵⁴ „Manapság sok közgazdász inkább tekinthető alkalmazott statisztikusnak, aki adatokat elemel, rendszerez és statisztikai eszközökkel információt nyer ki belőlük. A szükséges közgazdasági elmélet gyakran minimális, amire inkább szükség van, az a lehető legjobb statisztikai elemző képesség.” (Colander – Kupers 2014 132. o. saját fordítás).

⁵⁵ Hasonló gondolatokat fogalmaz meg a tudományfilozófus Frederick Suppe a tudományok egészére vonatkozóan, amely arra sarkallta, hogy revidálja a korábbi álláspontját az elmélet és modellek fontossági relációját illetően, az utóbbi javára: ”Napjainkban a modellek a tudományos tudás legfőbb hordozói” (Suppe 2000 p. 109 saját fordítás).

megismerhetők, kizárólag az adatokban lévő mintázatokból azonosíthatjuk őket. Továbbá azt is állítják, hogy az adatokból felismerhető egy megkülönböztetett mintázat megfeleltethető a vizsgált jelenségnek. James McAllister azonban úgy véli, hogy egy tetszőleges megfigyelés során kinyert adathalmazban végtelen számú mintázatot lehet azonosítani, amelyekből pusztán az adatok ismeretében nem tudjuk kiválasztani azt, amely ontológiailag kapcsolódna a valós jelenséghez. A kutató az, aki választ a mintázatokból, azaz az előzetes ismereti és elméletalkotási folyamatának eredményeként teremti meg a megfeleltetést a kiválasztott mintázat és a megmagyarázandó jelenség között (McAllister 1997). A modellek hasonlósági kritériumának tárgyalása kapcsán megismert Giere tudományfilozófiai elméletében is központi szerepet játszik az adatokat detektáló eszköz (legyen az akár a kutató érzékszerve) perspektivikus jellege, emiatt érvel úgy, hogy a tudományos eredmények is szükségszerűen perspektivikusak, amely azonban nem jelent konstruktivizmust. A megfigyeléshez használt eszköz belső konstrukciója, belső struktúrája is tartalmazza az kutató, vagy tágabban a tudományos közösség előzetes ismereteit, feltételezéseit. Példának tekintsük a pénzpiaci idősorokat. Az ár, kamat, árfolyam jellegű adatokat jellemzően az idő függvényében rögzítik, azaz rendszeres időközönként (például naponta) mintát vesznek az adott instrumentum piaci tranzakcióiból, majd ezt követően a minta alapján hozzárendelnek valamilyen árat a kérdéses időponthoz. Az ár meghatározása történhet többféleképpen, például lehet az adott időszak tranzakcióinak súlyozott átlagára, vagy záróára stb. Ez utóbbi hozzárendelésnek lehet az alapja például az időszak súlyozott átlaga, a kezdőár, záróár stb. Az így gyűjtött idősorok statisztikai tulajdonságai azonban nem minden esetben ideálisak: a hozamok eloszlása a normálistól jelentősen eltérő, heteroszkedaszticitás és autókorreláció figyelhető meg (Kiss 2017). Azonban a pénzpiaci adatokat nem kizárólag az idő függvényében lehet rögzíteni, hanem többek között a tranzakciók számában is (tehát például 100 üzletkötést tekintünk egy egységnek, és ahhoz rendelünk hozzá árinformációt), vagy az üzletkötések összértékében is. Ezen utóbbi adatsorok sokkal kedvezőbb statisztikai tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek közelebb állnak az elméleti pénzügyi modellek feltételeihez (López de Prado 2018).

A mintavételezés mikéntje ezért kulcsfontosságú: a nem megfelelő eljárás használata következtében a kapott minta statisztikai tulajdonságai a következtetések levonását és az információ mintából történő kinyerését megnehezíti, vagy akár meg is akadályozhatja. Plotkin (1993) úgy fogalmaz, hogy a környezet változásait figyelő eszközök mindössze a környezeti paraméterek egy részének, és azoknak is csak egy korlátozott sávban történő változását képesek kezelni. Egy általános-célú szenzornak a környezet minden típusú energia változását

kellene korlátlan érzékenységgel követnie. Még amennyiben létezne is eszköz, a kapott eredményekkel kezdeni is kellene valamit, vagyis ez megkövetelné, hogy az adatok feldolgozását végző ágens a szenzor minden lehetséges kimenetét képes legyen értelmezni. Ez praktikusán omnisciens felhasználót feltételezne, ezt a lehetőséget kizárva a mintavételezési módszereket és a kapott adatokat befolyásolják a kutatók előzetes ismereteik, várakozásaik és szakértelmük. A fentiekből következően az adatgyűjtés során nem tisztán nyers adatok keletkeznek.⁵⁶

Miután az megfigyelés vagy kísérlet eredményeképpen az adatok rendelkezésre állnak, a következő feladat azok értelmezése, azaz a mintázatok detektálása. A tudományfilozófia kevésbé tárgyalja ezt a folyamatot - a már említett Bogen és Woodward (1998) illetve McAllister (1997) mellett például Forster és Sober (1997) foglalkozott a témával. Utóbbi tanulmány, szemben McAllisterrel, úgy érvel, hogy az adatok alapján lehetséges egy adott mintázatot, egészen pontosan egy görbét kiválasztani, állításuk alátámasztására Akaike információs kritériumát használják. Mivel a mintafelismerés leggyakrabban valamilyen statisztikai eszköz alkalmazásával történik, ezért érdemes röviden megvizsgálni, hogy a statisztika miképpen definiálja a modelleket. Statisztikai modell alatt egy párt értünk (S, P), ahol S jelöli a megfigyeléseket, P pedig a lehetséges valószínűségi eloszlásokat. Szavakkal megfogalmazva, a statisztikai modell a mintát generáló sztochasztikus mechanizmus megragadására irányul.

Gyakran javasolt hüvelykujjszabály, hogy törekedjünk a modellezés során a lehető legegyszerűbb modellt kiválasztani, amely a legkevesebb paramétert tartalmazza (lásd például Gabaix – Laibson 2010, de akár Friedman 1954). Az emögött megbúvó ok kettős: az egyik ez emberi elmével van összefüggésben, illetve annak kognitív kapacitásaival: az egyszerűbb modellt könnyebb kidolgozni, értelmezni, nyomon követni, az esetleges változásokat beépíteni, továbbfejleszteni, kísérletezni vele, ezért ceteris paribus egy korlátos kapacitásokkal rendelkező értelmező (agy) preferálni fogja azt a bonyolultabbal szemben. A második indok a modell statisztikai tulajdonságaival van összefüggésben: minél több

⁵⁶ A látással foglalkozó kutatók számára jól ismert az úgynevezett *inverz optikai probléma*. Az objektumok felszínéről visszaverődő fény egy vetülete jelenik meg a retinán, azonban a retinán ez a vetület végtelen számú alakú és felszínű objektum vetületeként is létrejöhett volna. Más szavakkal, a retinára érkező fény alapján (alulról felfelé) végtelen számú képet elő tudna állítani a vizuális érzékszervünk. Hogy ez mégsem következik be, az valószínűleg annak köszönhető, hogy az agy felülről lefelé, a saját előrejelzései alapján legvalószínűbb képet választ ki, vagy következtet ki (lásd például Shapiro 2011). Ez pedig elvezet az utóbbi évek egyik izgalmas elméletéhez, ami az emberi gondolkodást, az elmét bayesi következtetéseket generáló rendszerként írja le (lásd például Clark 2019; Seth 2021).

változónk van az adatmodellben, annál könnyebb a paraméterek egy kombinációját meghatározni, amely az adatokra jól illeszkedő görbét helyez, viszont ez könnyen a túlillesztés problémájához vezet. Túlillesztésről beszélünk, amikor az adatmodell jól illeszkedik a megfigyeléshez, azonban, rosszul teljesít, ha új adatsoron kerül alkalmazásra, a modell „tútanulja” magát, és az újdonságot kevésbé kezeli jól. Vegyük észre azonban, hogy egyik indok sem episztemológiai jellegű, mindkettő valójában pragmatikus érvekkel operál. Ha két adatmodell a jelenségeket ugyanolyan jól írja le, akkor logikailag semmi sem szól az egyszerűbb mellett – a természeti és intézményes valóság jelenségei nincsenek tekintettel az emberi elme korlátaira.⁵⁷

3.2 A tudományos elméletek alulhatározottsága, Duhem-Quine tézis

Pierre Duhem francia fizikus a 20. század elején újabb problémára mutatott rá az empirikus eredmények (adatmodellek) és az elméletek vagy modellek viszonyában. A tudományos módszertan naiv elképzelése alapján a tudósok felállítanak valamilyen elméleti modellt, amelynek vannak empirikus megfigyelésekkel összevethető előrejelzései. Az adatok és megfigyelések fényében kerül verdikt az elméletre (jelen szempontból lényegtelen, hogy az adatokra adott válasz a konfirmáció, verifikáció, falszifikáció stb. talajáról indul ki). Duhem azonban rávilágított, hogy a tudományos elméletek sohasem önmagukban kerülnek tesztelésre, hanem egy sor másik, a teszt során expliciten akár ki sem mondott hipotézissel együtt. Ezért a megfigyelésekből levont következtetés ezen hipotézisek konjunkciójára vonatkozik, nem lehetséges egyetlen elmélet elszigetelt tesztelése (Ladyman 2001). Ezt a problémát hívják még holisztikus alulhatározottságnak is, megkülönböztetve a kontrasztív alulhatározottság problémájától.

Quine a 20. század közepén, a holisztikus alulhatározottság problémáját vitte tovább és segítségével utasította el az állítások analitikus és szintetikus, Kant által bevezetett megkülönböztetését (Stanford 2017).⁵⁸ Quine érvelése szerint az elméleteink összevetése az empirikus megfigyelésekkel csakis együtt, „csomagban” lehetséges: az előrejelzés és a tényleges adatok közötti ellentmondás esetén nem tudjuk megmondani, hogy mely hipotézisünk (esetleg nem is csak egy) az, amelyik téves. Quine ezért azt mondja, hogy

⁵⁷ Lásd például Negarestani (2018).

⁵⁸ Analitikus mondat a jelentésétől függetlenül igaz vagy hamis, a tapasztalat nem befolyásolja azt (klasszikus példa: nőtlen férfinak nincs felesége), a szintetikus mondatok igazságértéke azonban a jelentés és a tapasztalat által együttesen determinált.

valójában a vélelmeinknek teljes hálója (web of beilef) kerül tesztelésre az empirikus tapasztalat által és logikailag lehetséges ezt a hálót számos módon megváltoztatni annak érdekében, hogy az ismét összhangba kerüljön a megfigyelésekkel. Azt is hozzáteszi, hogy a háló módosítása is az előzetes ismereteinktől, illetve az emberi pszichológia által meghatározott (Quine 1951). Például, Quine úgy véli, hogy a logikailag elképzelhető korrekciók halmazából vannak inkább preferáltak, úgymint az egyszerűsége törekvés, konzervativizmus (a háló felülvizsgálata a lehető legkevesebb helyen), az elmélet érvényességi köre stb. Vagyis bizonyos szempontból az egyén pragmatikus válaszokat ad, amikor ellentmondásos tapasztalattal találja magát szemben (Stanford 2017).⁵⁹ Ebből kifolyólag az analitikus és szintetikus igazság megkülönböztetése nem lehetséges, ugyanis nincs olyan eleme az vélelmeink hálójának, amelyet nem lehetne felülvizsgálni a megfigyelés vagy a tapasztalat fényében.

Ha fel is tesszük, hogy a holisztikus alulhatározottság nem súlyos probléma, vagy hogy lehetséges izolált módon tesztelni a hipotéziseket, annak az esélye továbbra is fennáll, hogy létezik a jelenlegi elméletünkkel párhuzamosan egy vagy több másik, amelyek empirikus tartalma ekvivalens, azaz ugyanazokat a predikciókat szolgáltatják, ugyanazon jelenségeket magyaráznak meg. Sőt mi több, azt sem lehet kizárni, hogy további, eddig fel nem tárt, ki nem dolgozott elméletek is lehetségesek ugyanúgy összhangban a tapasztalatainkkal. Ez azt jelenti, hogy pusztán a tapasztalat alapján nem tudunk dönteni az elméleteink között, illetve a fennálló, a tapasztalattal összhangban álló elméletbe vetett hit nem szükségszerűen racionális. Ez hívják kontrasztív alulhatározottság, a görbeillesztés probléma pedig ennek az egyik válfaja (Ladyman 2001, Stanford 2017).

3.3 A mintavételezés hatása a pénzügyi adatok statisztikai tulajdonságaira

Ahogy fentebb is megjegyeztem a közgazdasági publikációk jelentős része empirikus jellegű. Emiatt a megfigyelés, mintavételezés során szerzett adatok jelentik a kutatás kiindulási alapját, azáltal azok minősége és tulajdonságai nagyban determinálják a kutatási következtetéseket is. Jelen fejezetben elsősorban a pénzügyi adatsorok különböző mintavételezési⁶⁰ eljárásaiból fakadó statisztikai tulajdonságait próbálja megvizsgálni. A

⁵⁹ Quine nem kizárólag a tudományos tudásra szorította a tárgyalását, hanem az egész ismeretelméletre.

⁶⁰ Pénzügyi adatok esetén a teljes sokaság, azaz az összes tranzakció ismert. A mintavételezés célja a sokaság reprezentálása egy kezelhető méretű mintával. Egy adott időszakhoz tartozó összes tranzakció lényegében

pénzpiaci adatok (ár, kamat, árfolyam) alapvetően az idő függvényében kerülnek rögzítésre, mintavételezésre: rendszeres időközönként (például naponta) mintavétel történik az adott instrumentum piaci tranzakcióiból, majd ezt követően a minta alapján kerül az ár hozzárendelése a kérdéses időszakhoz. Az így összeállított idősorok statisztikai tulajdonságai azonban nem minden esetben ideálisak: a hozamok eloszlása a normálistól jelentősen eltérő, vastagfarkú, illetve gyakran heteroszkedaszticitás és autokorreláció figyelhető meg. Azonban a pénzpiaci adatokat nem kizárólag az idő függvényében lehet rögzíteni, hanem többek között a tranzakciók számának, vagy az üzletkötések összértékének a függvényében is. Felmerül a kérdés, hogy alternatív mintavételezési eljárással kapott adatsorok vajon jobban reprezentálják-e a mögöttes adatgeneráló folyamatot, képesek-e jobb statisztikai következtetések levonásához hozzájárulni. A fejezetben bemutatom a különböző pénzpiaci mintavételezési technikákat, illetve azok egy konkrét pénzpiaci termék leereskedési adatainak felhasználásával végrehajtásra is kerülnek, majd az így kapott adatsorok sztochasztikus tulajdonságainak összehasonlítását végzem el.⁶¹

3.3.1 Pénzügyi adatok szolgáltatásának és a kereskedés technológiai fejlődése

A modern tőzsdék megalakulását követően a kereskedés a tőzsdei parketten, a piaci résztvevők között személyesen történt, az adatokat pedig papíralapon rögzítették. Az első fontos technológiai innováció a távíró megjelenése: ez lehetővé tette, hogy a kereskedőkhöz bekötött eszközök segítségével jussanak értékpapíripiaci adatokhoz. 1866-ban került üzembehelyezésre a transzatlanti távíró kábel, amely az európai és észak-amerikai tőzsdék összeköttetését is megvalósította, nagyban hozzájárulva az időszakot jellemző intenzív pénzügyi globalizációhoz. A távírók sokáig Morse-kódot használtak, majd 1933-ban Németországban a posta (Reichspost) kiépítette az első telex hálózatot. Itt már a Morse-billentyűket írógép billentyűzet váltotta fel, és hamarosan a főbb tőzsdék is telexen keresztül, képernyőre kivetített adatokat szolgáltatottak, akár közvetlenül az üzletkötők irodájába is. A Quotron 1960-as bevezetésével a felhasználók tetszőleges értékpapír adatait is gyorsan és

tekinthető egy mintának, így az abból különböző módokon előállított adatsorok már nem. Ezért a mintavétel kifejezés félrevezető lehet, mindazonáltal a szakirodalom is így hivatkozik a különböző módokon előállított adatsorokra, így az értekezés is ezt a terminológiát használja (lásd pl. Lopez de Prado 2018; Jansen 2020).

⁶¹ Ezen túlmenően a módszerek egy lehetséges alkalmazása is kidolgozásra került: egy standard, Value-at Risk (VaR)⁶¹ modell segítségével az adatsorok kockázat mérésében nyújtott teljesítménye kerül összevetésre. Ennek a bemutatása az A1 függelékben kapott helyet, mivel a hipotézis teszteléséhez nincs erre szükség.

könnyen megismerhették, nem csak azokat, amelyek a képernyőkön voltak aktuálisan megjelenítve (a Quotronok kezdetben papírra nyomtatták a kért adatokat, de hamarosan, számítógép alapú, kis képernyővel ellátott eszközökké váltak). (Saunders et al 2021)

Jelentős mérföldkő a NASDAQ megalapítása 1971-ben, amely az első teljesen elektronikus módon működő tőzsde volt. Kezdetben csak részvényárakra vonatkozó jegyzéseket szolgáltatott elektronikusan, később lehetővé vált a tranzakciók elektronikus módon történő végrehajtása is. A 90-es években, az internet terjedésével, megjelent az online kereskedés. A technológiai változásoknak köszönhetően a számítógépek egyre fontosabb szerepet játszanak nemcsak, az infrastruktúra fenntartásában és működtetésében, hanem az üzletkötésekben is. Az ún. programozott kereskedés (program trading), amely legalább 15 értékpapír és minimum 1 millió dollár értékű tartalmazó tranzakció együttes végrehajtását jelenti, már az 1980-as években is a teljes kereskedési volumen látható és jelentős hányadát tette ki (Saunders – Cornett 2014).⁶² A következő lépcsőfok az algoritmikus és a nagyfrekvenciás kereskedés elterjedése (high-frequency trading). Előbbi arra vonatkozik, hogy kereskedési stratégiát, részben vagy teljes egészben, számítógépes program segítségével, algoritmus valósítja meg. Utóbbi pedig olyan üzletkötéseket jelent, ahol az értékpapír tartási ideje rendkívül rövid, a másodperc törtrésze. Az automatikus vagy algoritmikus kereskedés kezdetben azt jelentette, hogy az adott tranzakciót feldarabolták kisebb részekre, és úgy hajtották végre. Ha például az ügylet piachoz viszonyított mérete miatt alkalmas lehet az árak jelentős befolyásolására, ami túlzott költséghez/veszteséghez vezethet. Az elmúlt 20 évben ez kifinomult információ feldolgozó és előrejelző modellek, illetve ezeken alapuló stratégiák alkalmazásába fejlődött tovább. Mindezek együtt azt jelentik, hogy a nagy tőzsdéken az infrastruktúra változásának köszönhetően, a kereskedés jellege alapvetően változott meg: a tranzakciók elektronikus úton mennek végbe, a volumen jelentős része esetében pedig a kereskedési, befektetési döntések meghozatala előre beállított algoritmusok által történik (Jansen 2020).⁶³

3.3.2 Pénzügyi adatsorok tulajdonságai

⁶² <https://www.nyse.com/publicdocs/nyse/markets/nyse/PT122812.pdf>

⁶³ HFT teszi ki az Egyesült Államok részvénykereskedési volumenének több, mint felét, a tőzsdei határidős ügyletek esetében ez akár a 80%-ot is elérheti (Miller – Shorter 2016).

A tőzsdén kereskedett pénzügyi- vagy reáleszközök ára rendszertelenül és akár egy másodpercen belül is többször változhat, így a gyakorlatban az elemzés során a végrehajtott tranzakciókból valamilyen mintavételes eljárással nyerünk ki egy standardizált, kezelhető adatsort.

A mintavételezéshez az adatok összegyűjtése leggyakrabban az időnek a függvényében történik (az így kapott adatokat a szakirodalom *time bars*nak hívja). A feladat, hogy valamilyen módon minden vizsgált időintervallumhoz hozzá kell rendelni egy árat, amely az adott időszakot reprezentálja. Ez számos módon megtörténhet: ún. timestamp alkalmazásával, azaz adott időponthoz tartozó árat tekintjük az intervallumot reprezentáló árnak. Gyakran használatos az időszak volumennel súlyozott átlagos ára, az időszak nyitó vagy záróára, esetleg az időszak legalacsonyabb vagy legmagasabb ára (Lopez de Prado 2018).

Természetesnek tűnik az adatok idő függvényében történő mintavételezése, az eljárás azonban nem problémamentes. Gyakori feltevés, hogy a pénzügyi árak véletlen bolyongás folyamattal modellezhetők, azaz jelölje $Z(t)$ a t . időponthoz tartozó árat, ekkor a $Z(t + 1) - Z(t)$ különbség független, normális eloszlású valószínűségi változónak tekinthető 0 várható értékkel. Azaz

$$Z(t + 1) - Z(t) \sim N(0,1).$$

Samuelson (1965) és Mandelbrot (1966) használták először a véletlen bolyongás helyett martingál a folyamat leírására. A martingál folyamat kevesebb megszorítást tartalmaz, mint a véletlen bolyongás, a közgazdasági megfontolások alapján felépített modellek eredményeként inkább juthatunk ilyen folyamathoz. (Leroy 1989)

A pénzügyi adatok eloszlására vonatkozóan a legegyszerűbb feltételezés, hogy az árak normális eloszlást követnek. Azonban ennek közgazdasági tartalma megkérdőjelezhető (a normális eloszlás szimmetrikus és alulról nem korlátozott, azonban például a részvények ára a korlátolt felelősség miatt nem lehet 0-nál kisebb. Samuelson éppen ilyen megfontolások miatt vezette be az árak logaritmusainak használatát (Mackenzie 2006). Árak helyett azonban inkább hozam adatok használatosak: hozamok használata az árak helyett azzal az előnnyel jár, hogy a különböző árszínvonalú pénzügyi termékek lényegében normalizálhatóak és így összehasonlíthatóvá válnak.

A következő kézenfekvő feltevés tehát, hogy a hozamok eloszlása normális. Azonban normális eloszlás szimmetrikus és alulról korlátlan volta itt is problémát jelent, egy hozam

ugyanis nem lehet -1-nél kisebb. Továbbá, amennyiben az egyperiódus hozam eloszlása normális, akkor a több periódushoz tartozó hozam eloszlása nem lehet normális, tekintettel arra, hogy az az egyperiódusos hozamok szorzata.⁶⁴ Ilyen megfontolások miatt a lognormális eloszlás használata tűnt kézenfekvőnek, vagyis egy olyan modell, ahol a hozamok logaritmusának eloszlása normális. A pénzüpiaci idősorok azonban nem jellemezhetőek teljeskörűen a lognormális eloszlás használatával. A historikus adatok ugyanis ferdeséget mutatnak, és a normálishoz képest nagyobb csúcsossággal jellemezhetőek, azaz a harmadik és negyedik momentum rendszerint nagyobb értékeket mutat (a normálishoz képest).

Formálisan, legyen x valószínűségi változó, μ várható értékkel és σ^2 szórással. Harmadik momentum ekkor (a ferdeségi mutató)

$$m_3 = E\left[\frac{(x - \mu)^3}{\sigma^3}\right] \quad (1)$$

A negyedik momentum (csúcsosság) pedig a következő

$$m_4 = E\left[\frac{(x - \mu)^4}{\sigma^4}\right] \quad (2)$$

A normális eloszlás (és általában a szimmetrikus eloszlások) ferdesége nulla, a normális eloszlás csúcsossága 3. A historikus hozam adatok rendszerint pozitív harmadik momentummal, és 3-nál nagyobb negyedik momentummal rendelkeznek (Campbell et al. 1997; Kiss 2017).

Mandelbrot javasolta először a fenti tulajdonságok modellezésére az úgynevezett stabilis eloszlások használatát (Mandelbrot 1963). Stabilis eloszlások azok, amelyek lineáris kombinációja is ugyanazt a stabilis eloszlást eredményezi. A stabilis eloszlások egy speciális esetének tekinthető a normális eloszlás, ezért Mandelbrot érvelése, szerint a stabilis eloszlásokon alapuló pénzügyi modellek tekinthetők a korábbi modellek egyfajta természetes általánosításának is. A stabilis eloszlások képesek megragadni a pénzüpiaci adatokon megfigyelhető vastagfarkú jelenséget, vagyis azt, hogy az extrém események a normális eloszláshoz képest jelentősen nagyobb valószínűséggel bírnak. Ami azt illeti, éppenséggel ez

⁶⁴ A Tőkepiaci Árfolyamok Modellje (CAPM) expliciten nem tartalmaz előírást a hozamok eloszlására vonatkozóan (tekintettel arra, hogy egy időszakos modellről van szó). Azonban a korai elméleti levezetésekben a normális eloszlás feltételként megjelent, amely biztosította a pozitív meredekségű, konvex befektetői közömbösségi görbéket, amely szükséges volt a CAPM megoldásához. Később alternatív megoldásokat is találtak a szükséges közömbösségi görbék előállítására (lásd például Berk 1997).

a probléma a stabilis eloszlások alkalmazásával: olyannyira vastagfarkúak, hogy a varianciájuk nem véges (Campbell et al. 1997). Ez azért probléma, mert a statisztikai-ökonometriai tesztek, módszerek közül sok a centrális határeloszlás tételén nyugszik. A centrális határeloszlás kimondja, hogy véletlen valószínűségi változók összege normális eloszlást követ függetlenül az összegben szereplő változók eloszlásától. A tétel azonban támaszt bizonyos követelményeket a valószínűségi változókkal szemben, melyek egyike, hogy azok véges varianciával rendelkezzenek. Mivel a stabilis eloszlások ezt nem biztosítják (a normális eloszlás kivételével), ezért alkalmazásuk a statisztikai eszköztár tekintélyes részének használatát tenné lehetetlenné. Emiatt a stabilis eloszlások alkalmazása gyakorlatilag az előző évszázad hetvenes évei óta megszűnt (Mackenzie 2006).

A pénzüpiaci idősorok a normálistól eltérő eloszlás tulajdonságai mellett gyakran autokorreláció és heteroszkedaszticitás jeleit mutatják. Idősoros adatok esetén a k -ad rendű autokorreláció definíciója:

$$\rho(k) = \frac{\text{Cov}(r_t, r_{t+k})}{\sqrt{\text{Var}(r_t)} \sqrt{\text{Var}(r_k)}} \quad (3)$$

ahol a k arra utal, hogy az idősor k periódussal korábbi tagjával számítható a korreláció. Vagyis autokorreláció léte esetén az idősor értékei korrelálnak a korábbi értékekkel. A heteroszkedaszticitás pedig arra utal, hogy az adatok volatilitása nem állandó, nem független az időtől. Heteroszkedaszticitás a különböző pénzüpiaci eszközök közötti korrelációra épülő kockázatkezelési stratégiát alkalmazását teszi problémássá (Kiss 2017).

3.3.3 Alternatív módok a pénzüpiaci adatok előállítására

Ahogy fentebb említésre került, leggyakrabban az adatokból rendszeres időközönként történő mintavétellel kerülnek előállításra a pénzügi idősorok. A tranzakciók azonban a kereskedési nap során nem egyenletesen köttetnek meg: közvetlenül a nyitást követően valamelyest átlag alatti a volumen alakulása, záráshoz közeledve azonban gyakran inkább élénkebb az aktivitás. Ez azt jelenti, hogy a fix időközönként vett minta alulmintavételezi a forgalmasabb periódusokat és túlmintavételezi a lassabbakat. Emellett az automatizált kereskedés elterjedésével, a kereskedési algoritmusok használatával és a nagyfrekvenciás kereskedés használatával a tranzakciók természetes ritmusa még inkább elszakad az időtől, jobban kapcsolódik a számítógépek processzorának (CPU) ciklusidejéhez, az egyes események,

illetve azok meghatározott sorozata jelentik a kronológia alapját, nem pedig az eltelt idő (Easley et al. 2012).

Mandelbrot mutatott rá talán először, hogy az árak esetén a véletlen bolyongás feltevése nem feltétlenül igaz, azaz az időben egymást követő árváltozások nem véletlen bolyongást követnek. Azonban az egymást követő tranzakciók esetében ez inkább teljesülhet, tehát javaslatuk szerint a kereskedés természetesebb időmérési eszköze az egymást követők tranzakciók sorozata. Másként fogalmazva, egyszerre lehet igaz, hogy az adott, fix periódusonként tekintett árváltozás Pareto eloszlást követ és az árak változása adott számú tranzakcióként normális eloszlást (Mandelbrot – Taylor 1967, Brada et al. 1966). Ezt követően Clark (1973) kereskedési adatok elemzése alapján amellet érvelt, hogy a tranzakciók helyett a volumen alapú mintavétel még kedvezőbb tulajdonságokkal bírhat. Mandelbrot maga elismerően nyilatkozott Clark munkájáról, a gyakorlati alkalmazást illetően azonban mind a tranzakció mind a volumen alapú kereskedési óra esetén szkeptikus volt. Mandelbrot szerint ugyanis a kereskedési döntések továbbra is kronologikus óra alapján történtek, emiatt az egyéb órák alapján történő előrejelzések nem voltak hasznosíthatók (Easley et al. 2012). Ahogy fentebb utaltunk rá, azóta ez a helyzet azonban megváltozott, köszönhetően az algoritmikus kereskedésnek, a gépi tanulási módszerek alkalmazásának, a kereskedés jelentős része zajlik olyan módon, hogy a kronologikus időnek kisebb súlya van. Emiatt az ilyen technikát alkalmazó kereskedők alternatív mintavételezési eljárásokat használnak a hozam adatok számítására.

Lopez De Prado (2018) részletezi a különböző, nem az idő függvényében végrehajtott mintavételezési eljárásokat, az alábbiakban ezek kerülnek röviden bemutatásra.

Egy kézenfekvő lehetőség, Mandelbrot és Taylor (1967) eredeti javaslata szerint, ha meghatározott számú tranzakcióból történik a mintavétel valamilyen módon (például volumennel súlyozott átlag számítással), és az fogja reprezentálni az adatsorunk egy tagját. A szakirodalom ezt *tick barsnak* hívja, az értekezésben a továbbiakban *tranzakció alapú* módszerként fogok hivatkozni erre. Hátránya, hogy nem tesz különbséget a tranzakciók nagysága között, azaz ugyanúgy egynek tekinti az egy terméket magában foglaló üzletkötést és a 10.000-et is. Jelölje P_k a k . tranzakcióhoz tartozó árat, Vol_k a k . tranzakció volumenét ($k=1,2,\dots$), $\{TB_i\}$ a tick bar adatsort, n a tranzakciók számát jelöli, amelyből a mintavétel történik és legyen az ár záróár. Ekkor

$$TB_i = P_{ixn} \quad (4)$$

A tranzakció alapú eljárás mellett Clark (1973) munkája alapján konstruálhatunk úgynevezett *volume barst* (továbbiakban *volumen alapú*): ebben az esetben a mintavétel akkor történik, amikor meghatározott számú termék cserél gazdát az adott piacon. Például, az adatsor egy tagját képezheti 1000 részvény értékesítése, illetve az ahhoz hozzárendelt ár, függetlenül attól, hogy az mennyi tranzakciót igényelt. Jones – Kaul - Lipson (1994) a pénzpiaci volatilitás és a tranzakciós/volumen adatok hatását vizsgálva azt találták, hogy a tranzakciók önmagukban járulnak hozzá a hozamok volatilitásához, a tranzakció méretének nincs információ tartalma. Ezen a nyomon haladva tovább Ane – German (2000) vetették össze a két módszert empirikusan és azt találták, hogy a tranzakciós adatokból megalkotott hozam adatsor eloszlása jobban közelíti a normális eloszlást, mint a volumen alapján képzett. Aldrichy et al. (2016) tőzsdei határidős ügyleteket vizsgálva arra következtetésre jut, hogy a tranzakció alapú adatok normális eloszlást követnek.

Jelölje $\{VB_i\}$ a volumen alapú adatsort, v pedig a volumen nagyságát, amelyből a mintavétel történik. Ekkor:

$$VB_i = P_{p+m-1}, \text{ ahol } m = \min \left\{ T \mid \sum_{j=p}^T Vol_j \geq v \right\} \quad (5)$$

Végül a harmadik módszer a *dollar bars* (továbbiakban *összérték alapú* módszer). Mintavétel itt akkor történik, amikor egy előre meghatározott értéket elér az adott eszköz tranzakcióinak összértéke, függetlenül attól, hogy az mennyi tranzakción keresztül valósult meg, illetve attól is, hogy mennyi termék cseréje jelent meg ezekben a tranzakciókban. Ebben az esetben például a mintavétel akkor történik, amikor a kereskedett összérték eléri a 10 millió dollárt. A hozzárendelt ár pedig záróár, vagyis az utolsó megkötött ügylethez tartozó ár, amivel a kívánt érték (10 millió) elérésre került. Lopez de Prado (2018) érvelése szerint az ilyen összérték alapú mintavételezéssel sokkal stabilabb átlagos napi bar szám érhető el, a többi eljárás keretében létrehozott adatsorok napi bar értékei jobban ingadoznak. Jelölje $\{DB_i\}$ az összérték alapú adatsort, d az összértéket, amelyből a mintavétel történik

$$DB_i = P_{q+r-1}, \text{ ahol } r = \min \left\{ S \mid \sum_{j=q}^S Vol_j P_j \geq d \right\} \quad (6)$$

A 2. táblázat tartalmazza a fentieket összefoglaló módon.

2. Táblázat. A pénzüpiaci mintavételezési eljárások összefoglalója

| Mintavételezés eljárás | Az adatsorok előállításának módja (mintavételezés) | Példa |
|------------------------|--|----------------------------|
| Idő alapú | Rendszeresen időközönként | Óránként, naponta, havonta |
| Tranzakció alapú | Meghatározott számú üzletkötésenként | 100 tranzakció |
| Volumen alapú | A gazdát cserélt instrumentumok kumulatív száma elér egy adott értéket | 1000 részvény adásvétele |
| Összérték alapú | Az ügyletek kumulatív összértéke elér egy adott összeget | 100000 dollár |

Forrás: saját szerkesztés.

3.3.4 Adatok, módszertan

Az alternatív pénzüpiaci mintavételezési lehetőségek bemutatását követően az alábbiakban azok megvalósítása és egymással történő összevetése következik. Először napon belüli tranzakciós adatokon végzem el a transzformációkat, hogy tranzakció (*tick bars*), volumen (*volume bars*) és összérték (*dollar bars*) szerinti adatsorokat kapjak, majd ezek után az eljárást végrehajtom egy év kereskedési napjain is. Emellett Value-at-Risk (továbbiakban VaR) módszerrel megvizsgálom, hogy a kockázat számszerűsítésében miképpen teljesítenek a különböző módokon származtatott adatsorok (lásd A1 függelék).

A napi adatsort a Microsoft részvény 2019.05.02. kereskedési napjainak tranzakciós adataiból készítettem, a nap során összesen 33100 tranzakció történt, a záróár 126.21 dollár volt részvényenként. 2018. 10.14 és 2019. 10. 14. közötti időszak során a napi átlagos kereskedési érték 28.991.824 volt, a vizsgált napon ez 27.350.200, a napi hozam pedig -1,03%. Jellemzően a napon belüli adatok nyilvános adtabázisokban nem elérhetőek, a értekezéshez azokat a *Refinitiv Eikonon* keresztül értem el.

Az éves adatsorok alapját a Microsoft 2019. május 11. és 2020. május 10. közötti adatai szolgáltatták. Az időszak végére esik a SARS COV2 vírus elterjedése, amelynek negatív hatása megjelenik a részvény árfolyamában is. Ez azért is előnyös, mert a piaci kockázat mérésére szolgáló VaR modellek volatilis, hektikus piaci környezetben rendszerint rosszabbul teljesítenek, ezáltal pontosabb képet kaphatunk az alternatív mintavételezési eljárások esetleges előnyeiről.

Tranzakció alapú adatsor létrehozása során az első kérdés, hogy mennyi tranzakció legyen a mintavételezés alapja. Erre vonatkozóan nincsenek egyértelmű szabályok, az

összehasonlítás érdekében 50 tranzakciót tekintettem egy egységnek, mert ezáltal lényegében ugyanannyi elemből álló adatsort generáltam, mint az 1 perces, hagyományos adatok. Az ár meghatározására az utolsó tranzakció árát használtam (az egy perces adatok záróárasok, azaz szintén az adott időszak utolsó árát használják). Hasonló elvet követtem a *volumen* és összérték esetében is, azaz rendre a kereskedett mennyiség és a dollárban számolt tranzakciók egységét úgy választottam meg, hogy közelítőleg annyi megfigyelésből álljon az adatsor, mint a perc alapú kronologikus. Ez azt jelenti, hogy a *volumen alapú adatok* esetén 7000 részvény adásvételéből történik a mintavételezés záró ár használatával, az összérték esetén pedig a kumulatív módon 100.000 dollárt elérő adásvételekből, szintén záró ár alkalmazásával. Tehát, például a volumen alapú módszernél, amikor a kereskedett mennyiség eléri a 7000 darabot, az a megfigyelés egy elemét fogja képezni, a hozzárendelt ár pedig az utolsó tranzakció során alkalmazott ár lesz.

Fontos itt megjegyezni, hogy hosszabb idősoroknál ez egyáltalán nem szempont, nem szükséges törekedni, hogy a megfigyelések száma valamilyen kronologikus módon mintavételezett eljárással azonos elemszámot állítson elő, az értekezésben pusztán a jobb összehasonlíthatóság érdekében alkottam meg az adatokat ily módon.

Az egy évet lefedő kereskedési adatok esetében a hagyományos idősort a napi záróárak szolgáltatják. A volumen és összérték alapú mintavételezést során a szükséges volumen, illetve összérték egységét rendre 2,09 millióban, illetve 315,9 millió dollárban határoztam meg, amelyet óránkénti volumen adatokból számítottam. Ezzel azt értem el, hogy (hasonlóan a napon belüli adatokhoz) a megfigyelések száma nagyjából megegyezik a kereskedési napok számával (248 volumen és összérték megfigyelés, szemben a 249 kereskedési nappal). Ebben az esetben tranzakció alapú adatsor nem került számításra, tekintettel arra, hogy egy kereskedési napon átlagosan kb. 40 ezer tranzakció valósul meg az adott részvény esetében, ezért számítási szempontból nem célszerű tranzakció alapon mintát venni egy éves időtávon.

Az adatok statisztikai tulajdonságainak vizsgálata minden esetben a szakirodalomban leginkább használatos tesztek alkalmazását jelenti, mely a következő módokon történt. Az eloszlás normalitásának vizsgálatára a Jarque-Bera tesztet hajtottam végre. A nullhipotézis normális eloszlásra, az alternatív hipotézis ennek hiányára utal. ARCH LM tesztet alkalmaztam a homoszkedaszticitás ellenőrzésére, a nullhipotézis ebben az esetben homoszkedaszticitás, a H1 pedig heteroszkedaszticitás. Végül, autokorrelációt is vizsgáltam Ljung-Box Q statisztika segítségével, itt a nullhipotézis az autokorreláció hiányát jelenti.

A számítások, illetve statisztikai tesztek elvégzésére Matlab és EViews szoftvereket használtam.

3.3.5 Eredmények

A 2. ábrán látható az 1 perces hagyományos adatokból számított hozamok hisztogramja, és a megegyező szórással, illetve átlaggal rendelkező normális eloszlás görbéje, illetve ugyanez a tranzakció, volumen és összérték adatok esetére is. Látható, hogy az eloszlás mindegyik esetben normálisnak tekinthető, a JB tesztstatisztikák az alternatív módszerek esetén kisebbek, vagyis jobban közelítenek a normálishoz. Homoszkedaszticitás alapvetően a tranzakció és volumen alapú eljárás alkalmazásával jelenik meg az adatsorban, utóbbi p -értéke jóval meggyőzőbb (ARCH-LM teszt), míg autokorreláció egyik módszerrel vett mintára sem jellemző (Ljung-Bokszt teszt). Ezen adatok összefoglalóan az 3. táblázatban találhatóak. Az az eredmények alapján elmondható, hogy a napon belüli adatok esetében a volumen alapon konstruált minta statisztikai tulajdonságai a legegyszerűbbek, de a másik három sem tér el nagyon ettől.

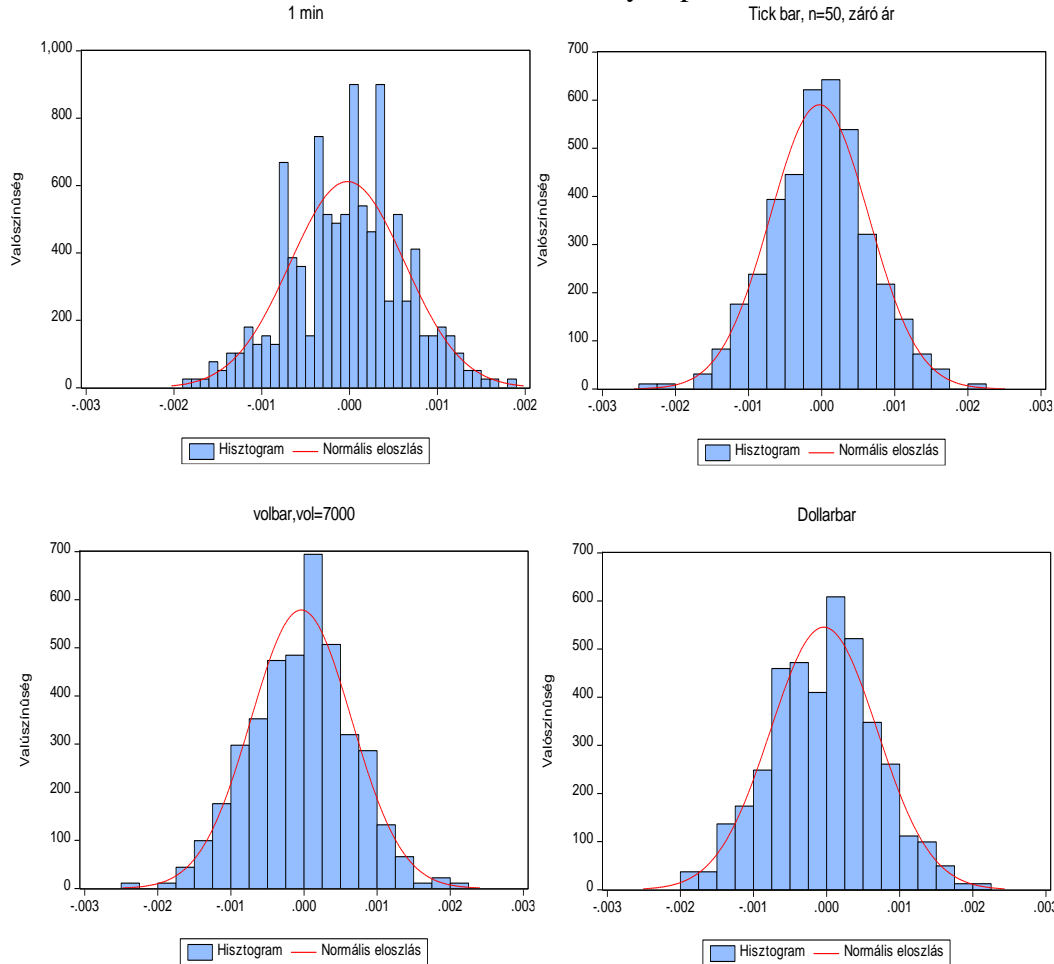
3. Táblázat. A napon belüli adatokból, különböző módokon mintavételezett részvényhozamok alapvető statisztikái.

| | 1 perces hozam | | Tranzakció alapú hozam | | Volumen alapú hozam | | Összérték alapú hozam | |
|--|----------------|----------|------------------------|--------|---------------------|-------|-----------------------|----------|
| Átlag | -0.0000227 | | -0.000029 | | -3.72E-05 | | -0.0000369 | |
| Medián | 0 | | -0.0000396 | | 0 | | 0 | |
| Maximum | 0.001809 | | 0.002045 | | 2.14E-03 | | 0.002221 | |
| Minimum | -0.001806 | | -0.002348 | | -0.002272 | | -0.001882 | |
| Szórás | 0.000652 | | 0.000676 | | 0.000689 | | 0.000731 | |
| Ferdeség | -0.081094 | | -0.051097 | | -0.02386 | | 0.077483 | |
| Csúcsosság | 2.853577 | | 3.176807 | | 3.043865 | | 2.826557 | |
| Jarque-Bera stat., p érték | 0.774 | 0.679 | 0.671 | 0.715 | 0.0636 | 0.969 | 0.726 | 0.696 |
| ARCH-LM stat., p érték | 8.216 | 0.0164** | 5.707 | 0.058* | 2.844594 | 0.241 | 17.15 | <0.01*** |
| Ljung-Box Q stat., p érték | 1.722 | 0.423 | 3.2174 | 0.2 | 3.4594 | 0.177 | 2.2247 | 0.329 |
| Megfigyelések száma | 389 | | 386 | | 363 | | 322 | |

Megjegyzés: Nullhipotézisek a JB teszt, ARCH-LM teszt és Ljung-Box teszt esetén rendre normális eloszlás, homoszkedaszticitás, és autokorreláció hiánya.

Forrás: saját szerkesztés.

2. ábra. Microsoft részvény napon belüli eloszlásai



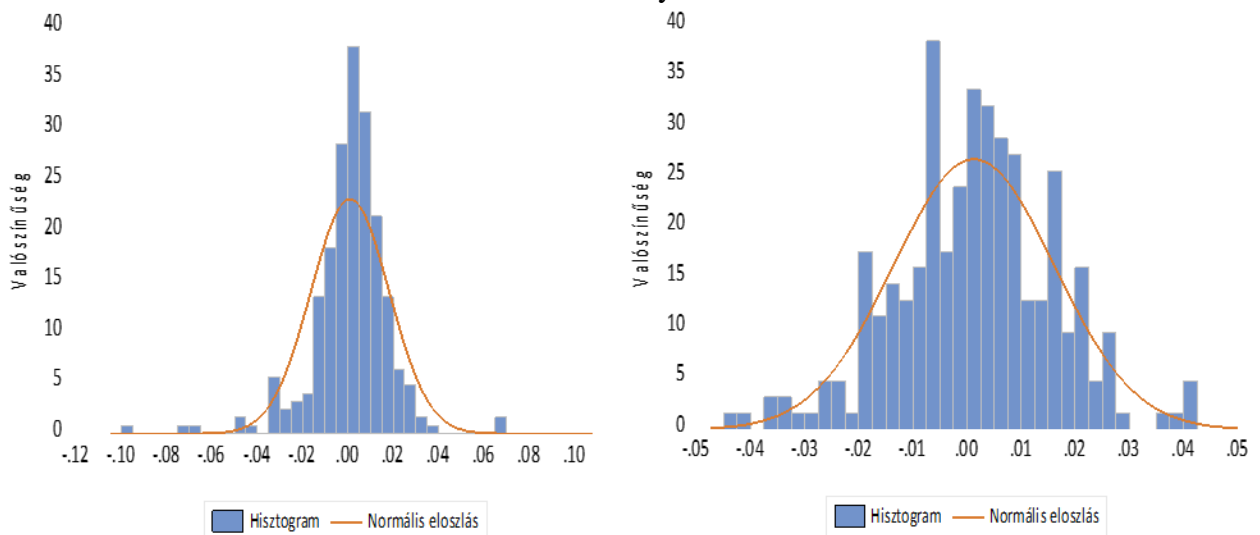
Microsoft 1 perces (balra fent), tranzakció alapú (jobbra fent; 50 tranzakció = 1 egység), volumen alapú (balra lent; 7000 részvény értékesítése = 1 egység), összérték alapú (jobbra lent; 100.000 dolláros volumen = 1 egység) hozamok eloszlása. A megegyező átlaggal és szórással leírható normális eloszlás görbéje piros színnel van feltüntetve. Forrás: saját szerkesztés.

Éppen ezért érdekesebb a kérdés, hogy vajon mi a történik, ha a bemutatott adatelőállítási eljárásokat hosszabb időszakon, napi adatokkal vetjük össze. Az árfolyamok alakulása a 3. ábrán látható. A kereskedési volumen nem állandó az adott időszak során, COVID 19 terjedésének hatásra jelentősen megnövekszik, így mind az árfolyam visszaesése és a korrekció is elnyújtva jelenik meg a volumen és összérték alapú árfolyamban. A hozamok eloszlásának hisztogramjai és a megfelelő normális eloszlás görbéi a 4. ábrán láthatók. Ez azt mutatja, hogy az adott időszak adatai alapján a volumen alapú mintavételezés segítségével a hozamok eloszlása a normálistól statisztikailag megkülönböztethetetlen.

Az árfolyamokból számított hozamok statisztikái a 4. táblázatban kerültek összefoglalásra. Látható, hogy a napi adatokból számított hozam adatsor JB tesztje alapján

nem normális eloszlású, emellett autokorreláció és heteroszkedaszticitás jellemzik azt. A volumen alapú árfolyam hozam statisztikái ezzel szemben statisztikai modellezés szempontból igen eltérő képet mutatnak: normális eloszlás, autokorreláció mentes és homoszkedasztikus. Vagyis a volumen alapú mintavételezéssel ismét egy egyszerűbb, könnyebben kezelhető tulajdonságokkal rendelkező adatsor került előállításra. Az összérték alapú adatok esetén vegyes az eredmény: a napi hozamokhoz képest kisebb csúcsosság tapasztalható, a JB-tesztstatisztika értéke egy nagyságrenddel kisebb, azonban még így sem tekinthető normális eloszlásúnak. Ez az eljárás a heteroszkedaszticitást nem küszöbölte ki, azonban az autokorrelációt igen. Érdeemes még megjegyezni, hogy az alternatív adatsorok a napi hozamokhoz képest kisebb szórással rendelkeznek.

3. ábra Microsoft részvény hozameloszlásai



Microsoft napi hozamok (bal) és Volume Bars (jobb; 2.090.000 = 1 egység) eloszlása. Forrás: saját szerkesztés.

4. Táblázat. 1 év kereskedési adataiból, különböző módokon mintavételezett részvényhozamok alapvető statisztikái.

| | Napi hozam | | Volumen alapú hozam | | Összérték alapú hozam | |
|----------------------------|------------|-------|---------------------|---------|-----------------------|-------|
| Átlag | 0.001999 | | 0.001753 | | 0.001851 | |
| Medián | 0.001565 | | 0.001935 | | 0.002023 | |
| Maximum | 0.143094 | | 0.049882 | | 0.095846 | |
| Minimum | -0.148353 | | -0.062841 | | -0.083622 | |
| Szórás | 0.025463 | | 0.018165 | | 0.021075 | |
| Ferdeség | -0.040455 | | -0.139978 | | 0.126396 | |
| Csúcsosság | 12.92568 | | 3.255202 | | 5.878468 | |
| Jarque-Bera stat., p érték | 1018.1 | <0.01 | 1.476885 | 0.47786 | 85.93011 | <0.01 |
| ARCH-LM stat., p érték | 47.80707 | <0.01 | 0.581686 | 0.7476 | 18.46171 | <0.01 |
| Ljung-Box Q stat., p érték | 55.402 | <0.01 | 0.9561 | 0.62 | 3.8342 | 0.147 |
| Megfigyelések száma | 248 | | 247 | | 247 | |

Megjegyzés: Nullhipotézisek a JB teszt, ARCH-LM teszt és Ljung-Box teszt esetén rendre normális eloszlás, homoszkedaszticitás, és autokorreláció hiánya. Forrás: saját szerkesztés.

3.3.6 Összefoglalás és következtetések

A megfigyelés és kísérlet meghatározó szerepet tölt be a tudományos megismerésben, a megfigyelés, mintavételezés mikéntje azonban egyáltalán nem magától értetődő. A jelen fejezetben ezért röviden áttekintésre kerültek a pénzügyi idősorok előállítási módjaival kapcsolatos ismeretek. A kronologikus módon történő mintavétel, azaz fix időintervallumhoz történő ár hozzárendelése statisztikai modellezési szempontból kérdéseket vet fel. Már 1960-as években Mandelbrot rámutatott arra, hogy tranzakció alapú adatsorok (tick bars) sokkal inkább közelítenek a normális eloszláshoz. Nem sokkal később bevezetésre kerültek a volumen (volume bars) és összérték alapján (dollar bars) generált minták is, hasonló statisztikai tulajdonságokkal. Az értekezés során a Microsoft részvény napon belüli tranzakciós adataiból, illetve egy teljes év kereskedési adataiból is konstruáltam volumen, illetve összérték alapú adatsorokat. Az eredmények azt mutatják, hogy egyszerűbb tulajdonságokkal leírható adatsorokat lehet megfigyelni az újabb, alternatív módszerek alkalmazásával, ez különösen a volumen alapúra volt igaz.

A fenti eredmények fényében nem tudom elvetni a 2. hipotézisem, vagyis a mintavételezés (adatsorok generálásának) módja befolyással van a kapott adatsor sztochasztikus tulajdonságaira.

4. Egyenlet- alapú modellek – közgazdasági alkalmazás

A matematikai modellezés leggyakrabban alkalmazott módja az úgynevezett egyenlet-alapú (Equation-Based Modelling - EBM) modellezés, amely a formális közgazdaságtannak is a legfontosabb eszköze. Ez nem véletlen: az egyenlet-alapú modellezés rendkívül hatékony és széleskörűen alkalmazható technika. A módszer lényege, hogy egyenletet, egyenletrendszereket írunk fel és oldunk meg, amely a vizsgálni kívánt jelenséget képes megközelítően megragadni. A jelen fejezet célja, hogy egy példán keresztül bemutassa egy jellemző közgazdasági alkalmazását. Az 5. fejezetben bemutatásra kerül az úgynevezett *agens-alapú modellezési* technika, amely az EBM-nek kiegészítője, adott esetben alternatívája, és ennek kapcsán ott összevetésre is kerülnek egymással. Így ebben a fejezetben mindössze a konkrét modell bemutatására szorítkozom.

Ezen fejezetben a 3. hipotézisem bemutatása és tesztelése történik meg, azaz amellet érvelek, hogy a gyermek részben pozicionális jószágnak tekinthető, és emiatt a társadalmi környezettől függően a jövedelemnek negatív hatása lehet a fertilitásra. A gyermek, mint részben pozicionális jószág azt jelenti, hogy a hasznosság, amelyet a szülő realizál, részben attól függ, hogy miképpen teljesít a kortársaihoz képest, illetve milyen társadalmi státuszt ér el később a gyermek. Tehát a hasznosság függ a szocio-ökonómiai kontextustól is. Ennek tesztelésére egy általam alkotott egyenlet-alapú modell kerül bemutatásra.

A következőkben bemutatásra kerül az egyenlet-alapú modellezés alkalmazása, a vizsgálandó jelenség pedig a termékenység és a jövedelem közötti negatív összefüggés.

4.1 Bevezetés

A termékenység csökkenése a modernitás egyik szembetűnő és általános jellemzője: ahogy az emberi közösségek egyre nagyobb jövedelemmel és vagyonnal rendelkeznek, egyre kevesebb gyermeket vállalnak. A jelenség azonban nemcsak az idősoros adatokban figyelhető meg, hanem a keresztmetszetekben is, azaz a jövedelem és termékenység közötti negatív összefüggés egyes társadalmakon belül is jelentkezik. Ezért nem meglepő, hogy a termékenység csökkenését kiváltó okok feltárása régóta foglalkoztatja a társadalomtudományok képviselőit, hatalmas méretű a téma a szakirodalma, de egyelőre nem sikerült a jelenség minden aspektusát megnyugtató módon megmagyarázni. Az akadémiai érdeklődésen túlmenően a probléma azért is fontos, mert a fertilitás, illetve általában a demográfiai helyzet alakulása alapvetően befolyásolja a társadalmak szerkezetét, az

intézményi környezetet (különösen a nyugdíjrendszert, lásd Simonovits 2008), a termelés módjait, a javak elosztását és az innovációt (Turner 2010). Ebből kifolyólag a gazdaság egészét megragadni szándékozó makro modelleknek is fontos eleme a népesség számának, minőségének (humán tőke állapota) alakulása, amely alapvetően határozza meg ezen modellek működését, kimenetét (lásd például Acemoglu 2009). Ezért a háztartások gyermekvállalási döntésre vonatkozó motivációik minél pontosabb feltárása és formalizálása a makró modelljeink minőségét is javítja.

A jelen fejezet célja a jelenlegi termékenység és jövedelemre fókuszáló elméletek kiegészítése egy újabb tényezővel és mindezt egy egyenlet-alapú modell segítségével formálisan is elemezni. A modell alapján a legfontosabb megállapítás, hogy a gyermek a szülő szempontjából részben tekinthető úgynevezett pozícionális jószágnak, azaz a gyermekvállalásból származó hasznok (legyenek azok materiális vagy immateriális) részben a társas környezettől is függenek, azaz például attól, hogy a gyermek(ek) milyen társadalmi státuszt ér(nek) el. Továbbá, ennek a modellezésére egy úgynevezett pozícionális függvény kerül bevezetésre, amely lehetővé teszi a pozícionális megfontolások megragadását egy korlátos optimalizálási feladat keretében.

4.2 A termékenység és jövedelem kapcsolatára vonatkozó főbb elméletek

Alapvetően a termékenység és jövedelem közötti negatív összefüggés magyarázatára három irányból érkeztek elméletek: közgazdászok, evolúciós, illetve viselkedéskutatók és kulturális evolúcióval foglalkozó szakemberek felől. Ebben a fejezetben a főbb csapásirányok bemutatása történik meg, és tekintettel a vonatkozó szakirodalom méretére, csak a legfontosabb modellekre és megközelítésekre koncentrálna.

4.2.1 Közgazdasági modellek⁶⁵

A klasszikus közgazdaságtan gondolati kereteinek fontos eleme a népesség alakulása, és ennek kidolgozása elsősorban Thomas Robert Malthus nevéhez fűződik. Megpróbált kapcsolatot találni a mezőgazdasági művelésre alkalmas föld mennyisége, eltartóképessége és a népesség alakulása és a reálbérek között. Az érvelésének kiinduló eleme, hogy a megtermelhető élelmiszer mennyisége jelenti a felső korlátot a népesség nagyságára

⁶⁵ A termékenységet vizsgáló közgazdasági elméletek áttekintéséért lásd például Werding (2014), De Bruijn (2006).

vonatkozóan, a terményhozamok növekedése teszi lehetővé a nagyobb népesség eltartását. Azonban míg a hozamok, vagyis az élelmiszer kínálat legfeljebb lineárisan növekszik, addig a népesség alakulása mértani haladvánnyal írható le (Malthus szerint élelmiszer korlátok nélkül nagyjából 25 évente megduplázódna a népesség), vagyis a kettő között jelentős diszkrepancia van. Hosszútávon emiatt a népesség fogyasztása mindig a megélhetési szint körül alakul, ugyanis a mezőgazdasági termelékenység növekedés következtében létrejövő többlet élelmiszert a gyorsabb populáció növekmény abszorbeálja. Az ipari forradalmat követő gyors népességnövekedést, majd az azt követő termékenység csökkenést következésképpen nem tudta előre jelezni vagy megmagyarázni az elmélete. (Ekelund – Hébert 2014, Farkas - 2021)

A 19. században végbement jelentős gazdasági-társadalmi átalakulás, alapvetően új kérdéseket vetett fel a népességgel kapcsolatban: a túlnépesedés veszélye helyett a csökkenő termékenység, elnéptelenedés került előtérbe. A század végén, Arsène Dumont, francia közgazda elmélete ezekre reflektál: a feudalizmussal összevetve, a változások sokkal gyorsabb társadalmi mobilitást tettek lehetővé⁶⁶, ez pedig arra ösztönzi a háztartásokat, hogy visszafogják a vállalt gyermekek számát és a saját előmenetelükre koncentrálnak, illetve az erőforrásokat kevesebb gyermekre koncentrálnak, ezáltal javítva az ő jövőbeni pozíciókat (Leridon 2015).

Harvey Leibenstein munkája a termékenység elemzését mikroökonómiai alapokra helyezte: a modell szerint a gyermekek iránti keresletet, illetve az azt befolyásoló tényezők vizsgálatát a tartós fogyasztási cikkek keresletéhez hasonlóan lehet elvégezni. A kínálat ebben az esetben az az elméleti maximális gyermekszám, amelyet a háztartások képesek lennének vállalni. Leibenstein szerint keresleti piac érvényesül, vagyis a kínálat mindig jelentősen meghaladja a keresletet, ezért előbbit nem is kell külön vizsgálni. (Leridon 2014, De Bruijn 2006).

Ezt követően a mikroökonómiai megközelítés és a racionális aktor modellje egyre nagyobb teret nyert a termékenység közgazdasági vizsgálata során. Gary Becker úttörő munkájával (Becker, 1960) kezdődően, ezen elméletek alapvetően a gyermekvállalással kapcsolatos hasznokat és a felmerülő költségeket próbálják azonosítani és formálisan megragadni. A kettő alapján pedig valamilyen optimális gyermekszámot lehet elvben

⁶⁶ A középkori Európában egy paraszti családnak a megfelelő körülmények mellett legalább négy-öt generációra volt szüksége ahhoz, hogy nemesi rangra emelkedhessen (Turchin 2006).

kalkulálni - azaz a közgazdasági megközelítés klasszikus korlátos haszonmaximalizálási problémaként írja le a jelenséget.

Többféleképpen lehet kategorizálni ezen elméleteket: lehetséges a modellek gyermekvállalás motivációja alapján történő csoportosítása – eszerint a gyermek tekinthető valamilyen önmagában hasznos tevékenység melléktermékének, illetve fogyasztási vagy beruházási jószágnak (Cochrane 1975). Az első esetben a gyermekvállalás a szülő szempontjából zéró-hasznossággal jár, kizárólag a szexuális tevékenység mellékterméke. Amennyiben a fogamzásgátló technikák ára megfelelően alacsony, akkor ez a megközelítés lényegében nem tud kapcsolatot kimutatni a jövedelem és termékenység között, ezért, illetve a kiinduló feltételezések tarthatatlan volta miatt, nem tekinthető gyakorlati szempontból alkalmas modellnek.

A gyermek, mint fogyasztási jószág koncepció esetében a legfontosabb kérdés, hogy hogyan lehet a jövedelem és termékenység közötti negatív kapcsolatot megmagyarázni anélkül, hogy a gyermeket inferior jószágnak tekintenénk. Egyik elképzelés szerint a jövedelem növekedésével a szabadidő, amely mindenki számára korlátos mennyiségben áll rendelkezésre, egyre értékesebbé, drágábbá válik, és azáltal, hogy a szülők időt szentelnek a gyermek nevelésére, a gyermekvállalás a tehetősebb háztartások számára valójában egyre drágábbá válik. Önmagában azonban ez nem hozza a kívánt eredményt, ugyanis a modell szerint, amíg a gyermekvállalással járó anyagi költség pozitív, a nagyobb jövedelmű háztartások több gyermeket vállalnának (lásd például Jones et al. 2011).

Másik lehetőség, ha feltételezzük, hogy a jövedelemben megjelenő eltérések valójában a családra, gyermekvállalásra vonatkozó preferenciák különbözőségének a következményei: azaz, azon potenciális szülők, akik nagyobb családot, több gyermeket szeretnének, más, a munkapiacra kevésbé értékesnek ítélt képességeket fejlesztenek életük során. Tehát ebben az esetben megfordul az okság iránya: a családra vonatkozó preferenciák különbözősége okoz eltéréseket a jövedelemben. (Francesconi 2002, Del Boca – Sauer 2009)

Egy további elmélet szerint a jövedelem és lehetőségek növekedésével a szülők többet kívánnak investálni a gyermeknevelésbe, ezáltal a hangsúly eltolódik a 'minőség' felé a 'mennyiség' felől (Becker 1960, Lawson - Borgherhoff Mulder 2016). Amennyiben feltesszük, hogy a minőség rugalmas a jövedelemre nézve, a mennyiség viszont nem, akkor elképzelhető, hogy a vállalt gyermekek száma jövedelemnek negatív függvénye, ugyanis az átlagos költsége a gyermeknek gyorsabban nő, mint a jövedelem. Fontos megjegyezni, hogy hasonlóan mennyiség-minőség közötti átváltás elméletéhez, a fenti modellek mindegyikére

igaz, hogy nem automatikusan generálják a kívánt negatív összefüggést a jövedelem és termékenység között, hanem csupán a megfelelő megszorító feltételezések mellett (Jones et al. 2011).

De La Croix és Doepke (2009) modelljében a háztartások magán- illetve közoktatásra vonatkozó döntéseit vizsgálva azt találja, hogy amennyiben a magánoktatási szolgáltatás minősége jelentősen jobb, akkor a tehetősebb szülők nagyobb valószínűséggel fogják ilyen iskolába adni a gyermekeiket. Ebben az esetben pedig a gazdagabb családok fertilitása kisebb lesz.

A fentiek mellett a gyermekvállalás motivációja lehet a szülők öregkori jövedelmének kiegészítése, ezáltal a termékenység alakulását egy befektetési-allokációs döntésként megragadni (Cigno 1993). A modernizációval a különböző generációk közötti interakciók jellege alapvetően változott meg: bizonyos jövedelem kiegészítési formákat (a jövedelem életcikluson át történő kisimítása végett) illetve egyéb természetbeni juttatásokat a piac vagy az állam is képes nyújtani, így csökkentve a gyermekvállalási hajlandóságot (Boldrin – De Nardi – Jones, 2015) Azonban ezeken túlmenően a gyermekek nyújthatnak olyan szolgáltatásokat, amelyeket a piac vagy az állam továbbra sem, vagy csak részben tud helyettesíteni, ezért a gyermek, mint befektetési jószág megközelítésnek lehet létjogosultsága modern társadalmakban is (Werding 1994).

4.2.2 Evolúciós és kulturális modellek

Az evolúciós és viselkedéskutatók elméletei bizonyos értelemben nagyon hasonlóak a közgazdaságiakhoz, ugyanis itt is valamilyen korlátos optimalizálási problémaként jelenik a gyermekvállalás modellezése, a célfüggvény azonban jellemzően nem a hasznosság, hanem a fitness, rátermettség, ami azt hivatott mérni, hogy az adott egyed, mennyire sikeresen képes növelni a genetikai jelenlétét a következő generációban (Stulp – Barrett 2016). Ezek alapján elméletben elképzelhető, hogy a háztartások visszafogják a saját termékenységüket, amiatt, hogy több erőforrást jusson egy utódra (minőség-mennyiség átváltás jelenik meg itt is), ezáltal kedvezőbb relatív helyzetbe hozva az utódokat az erőforrásokért folyó versenyben. Az utódok, vagy az azok utódai kedvezőbb relatív pozíciója végül nagyobb termékenység képében manifesztálódik, ezáltal, hosszú távon (több generáción átívelő módon) történik meg a fitness maximalizálása (Colleran 2016, Lawson – Borgerhoff Mulder 2016). Például, Hill - Reeve (2005) játékelméleti modelljének az eredménye szerint, amennyiben az erőforrások előállításába történő befektetés jelentősen növeli a leszármazottak (lényegében az egész

vérvonala) túlélését, akkor az a termékenységre csökkentőleg hat. Ezen stratégiák az állatvilágban megfigyeltek (Davies et al. 2012), ugyanakkor a modern emberi társadalmakban az empirikus kutatások nem támasztják alá, vagyis az utódszám visszafogása, és az erőforrások koncentrálása, nem eredményez a következő generációkban relatíve több leszármazottat. Például, Goodman – Koupli – Lawson (2012) 14.000 fős svéd mintán azt találták, hogy az alacsony termékenység javítja az utódok relatív szocio-ökonómiai helyzetét (akár a következő három generáción keresztül), de nem növeli a teljes utódszámot. Lawson és Borgerhoff Mulder (2016) áttekintő tanulmányukban bemutatják, hogy a demográfiai átmenet előtti emberi közösségekben evolúciós értelemben sikeres lehet az a stratégia, amely korlátos erőforrások esetén visszafogja az utódszámot, és az erőforrásokat rájuk fókuszálja, azonban a modern társadalmakban ez nem áll fenn.

A kulturális megközelítés szerint a termékenység részben vagy egészben kulturális jelenség, nem feltétlenül jelent közgazdasági vagy evolúciós értelemben adaptív, előnyös vagy bármilyen értelemben optimális viselkedést. A kapcsolódó modellek azt próbálják vizsgálni, hogy a termékenységre, gyermekvállalásra vonatkozó normák, kulturális variánsok miképpen terjedhetnek el a populációban, fenntartva akár anyagi vagy evolúciós szempontból maladaptív, hátrányos viselkedésformákat is (Colleran 2016). Evolúciós szempontból nézve maladaptív viselkedésforma alatt minden olyan jelenséget értünk, amely csökkenti a relatív gyermekvállalási hajlandóságot, ezáltal csökkentve a relatív genetikai jelenlétet a következő generációkban. Ilyen mechanizmus lehet az, hogy a társadalom tagjai bizonyos viselkedésmintázatokat lemásolnak a környezetükből. A viselkedés átvétele, másolása történhet többségi alapon, azaz az egyén igazodik a fennálló normához (konformizmus), vagy akár a társadalom sikeres egyénei, családjai szolgálnak alapul arra (presztízs torzítás) (Richerson – Boyd 2006, Laland – Hoppitt 2013). Tehát, ha például a közösség megbecsült, sikeres tagjai kevesebb utóddal rendelkeznek, ez információval szolgálhat a közösség többi tagja számára, miszerint a siker egyik útja a termékenység visszafogása, akár attól függetlenül is, hogy a termékenységnek volt-e szerepe a magasabb rang elérésében vagy sem. A legfontosabb alkalmazott módszertan a populáció biológiából kölcsönzött és módosított diffúzió modellek.

A kulturális hatásokat dokumentálja Spolaore és Warcziarg (2022), melyben a szerzők megállapítják, hogy Európában a fertilitás csökkenése Franciaországból indult ki a XIX. század elején, és azokban a régiókban gyorsabban terjedt el, amelyek kulturálisan közelebbi kapcsolatban voltak a francia területekkel. Mindez megelőzte az ipari forradalom nyomán

növekedésnek induló egy főre jutó jövedelmet. Hasonlóan, Blanc (2023) online elérhető családfák kutatása alapján arra a következtetésre jut, hogy a fertilitás csökkenését Franciaországban a szekularizáció indította el, már a francia forradalom előtt, mintegy száz évvel megelőzve a többi európai országot.

Minden olyan társadalmi hatás, amelynek következtében a párválasztás, elköteleződés időpontja kitolódik, illetve csökkenti a szülők számára rendelkezésre álló humán erőforrást (praktikusan a rokonok nyújtotta természetbeni támogatást) az csökkentőleg hat a termékenységre. Joseph Henrich munkájában bemutatja (Henrich 2020), hogy a középkori Európában a Katolikus Egyház szigorú, a világ más részeivel összevetve szokatlan és ismeretlen korlátozásokat vezetett be a házasságokra vonatkozóan. A poligámia tiltása mellett az unokatestvérek közötti házasságokat (a megkötések némileg változtak az évszázadok folyamán, de lényegében a harmadunokatestvéreket is beleértve) sem hagyta jóvá az egyház. Ennek következményeként a korábbi törzsi, vérségi alapú társadalomszerveződések felbomlottak, önkéntes szerveződések vették át a helyüket, a nőknek nagyobb beleszólása lett a párválasztási kérdésekbe, kitolódott a házasság időpontja, az új házások gyakran külön költöznek, mind a férj mind a feleség családjától (neolitikus lakóhely). Emiatt a termékenységi ráta már a középkorban alacsonyabb volt Európában, mint például az Iszlám világban vagy Kínában.

Ehhez kapcsolódóan Newson et al. (2007) azt találja, hogy a tradicionális társadalmak normái összhangban vannak az egyének reprodukciós sikerével, azonban ahogy csökken az interakciók száma rokonok, vérségi kötelékben állók között, ez a hatás gyengül, és a termékenységre vonatkozó más normák terjednek el, csökkentve ezáltal a termékenységet.

Az empirikus vizsgálatok inkább a közgazdasági modelleket látszanak korroborálni, de az eredmények nem egyértelműek (lásd például Shenk et al. 2013, Spolaore – Warcziarog 2022). A fent bemutatott modellek esetében a feltételezett és dokumentált tényezők minden bizonnyal nem egymást kizáróak, hanem kisebb-nagyobb mértékben mindig jelen lévőek. A hatásuk erőssége pedig valószínűleg térben és időben változó, tehát például a gyermek, mint befektetési jószág funkció a középkori feudális társadalmakban minden bizonnyal fontosabb volt, mint a posztindusztriális fejlett országokban.

5. Táblázat. A közgazdasági, evolúciós és kulturális modellek a gyermekvállalás motivációra vonatkozóan.

| | Fontos megállapítások | Kulcs publikációk |
|---------------------------------------|---|---|
| Közgazdasági modellek | az élelmiszer kínálat legfeljebb lineárisan növekszik, addig a népesség alakulása mértani haladvánnyal írható le => Hosszútávon emiatt a népesség fogyasztása mindig a megélhetési szint körül alakul | Malthus |
| | a gyermekek iránti keresletet, illetve az azt befolyásoló tényezők vizsgálatát a tartós fogyasztási cikkek keresletéhez hasonlatosan lehet elvégezni. A kínálat ebben az esetben az az elméleti maximális gyermekszám, amelyet a háztartások képesek lennének vállalni. | Lebenstein (1954) |
| | gyermek, mint fogyasztási jószág koncepció a jövedelem növekedésével a szabadidő, amely mindenki számára korlátos mennyiségben áll rendelkezésre, egyre értékesebbé, drágábbá válik, azáltal, hogy a szülők időt szentelnek a gyermekeknek | Becker (1960) |
| | a jövedelemben megjelenő eltérések valójában a családra, gyermekvállalásra vonatkozó preferenciák különbözőségének a következményei | Francesconi (2002) |
| | a jövedelem és lehetőségek növekedésével a szülők többet kívánnak инвестálni a gyermeknevelésbe, ezáltal a hangsúly eltolódik a 'minőség' felé a 'mennyiség' felől | Becker et al. (1973). |
| | befektetési jószág koncepció: a szülők öregkori jövedelmének kiegészítése, ezáltal a gyermekvállalás részben egy befektetési-allokációs döntés | Cigno (1993) |
| Evolúciós, kulturális modellek | Fitness, rátermettség maximalizálása (vagyis a relatív genetikai jelenlét maximalizálása a következő generációkban) hosszú távon | Stulp – Barrett (2016) |
| | a termékenység részben vagy egészben kulturális jelenség, nem feltétlenül jelent közgazdasági vagy evolúciós értelemben adaptív, előnyös vagy bármilyen értelemben optimális viselkedést. Kérdés: a termékenységre, gyermekvállalásra vonatkozó normák, kulturális variánsok miképpen terjedhetnek el a populációban, fenntartva akár anyagi vagy evolúciós szempontból maladaptív, hátrányos fertilitási értékeket | Newson et al. (2007), Kaplan (1996), Colleran (2016), Henrich (2020), Boyd-Richerson (2005) |

Forrás: saját szerkesztés.

4.3 Pozicionális javak és gyermekvállalás

Pozicionális jóságok közgazdasági értelemben azon javak közé tartoznak, amelyek fogyasztó által történő értékelése valamilyen módon a környezettől függ. A fogalom Fred Hirschtól származik (Hirsch 1976), az előzményei megtalálhatók korábban már Veblennél, Galbraithnél (Vatiero 2008).

Az alap gondolat szerint bizonyos javak társadalmi értelemben szűkösek, a fogyasztásuk negatívan függ a fogyasztók számától, továbbá extern hatásokat okoznak (Frank 2005). A társadalmi szűkösség arra vonatkozik, hogy bizonyos javak szűkössége nem fizikai,

erőforráskorlát miatt lép fel, hanem társadalmi tényezők miatt. Például egy futball csapatban pályára lépő játékosok száma és személye a szabályok és az edzői döntések által meghatározott, míg a vezető pozíciók száma egy vállalaton vagy egyéb szervezeten belül a szervezeti struktúra következménye (Vatiero 2008).

Klasszikus példa a tisztán pozícionális jószágra a társadalmi státusz: magasabb társadalmi státusz csak azáltal értelmezhető, ha vannak egyének, akik alacsonyabb státusszal rendelkeznek. A tisztán pozícionális javak mellett szinte minden jószágra igaz, hogy az értékelését a környezet részben befolyásolja, a különbség a pozícionális javak esetén, hogy a környezet relatíve nagyobb részben alakítja fogyasztó által percipiált hasznosságot.⁶⁷ A kulcs itt, hogy nem a fogyasztás abszolút értéke a meghatározó, hanem a közösség többi, releváns tagjához viszonyított relatív mértéke (Frank 2010).

Kicsit konkrétan, a pozícionális javak 2 tulajdonsággal jellemezhetők: egy egyén fogyasztása egy másik egyén negatív fogyasztását vonja maga után (zéróösszegű játszma a fogyasztásban) (Pagano 1999). Árazási szempontból pedig az adott pozícionális jószág magas ára jelezheti a társadalmi helyét, értékét, társadalmi szűkösségét a fogyasztó számára, így részben a magasabb árból származik a hasznosság.

Tekintsük a következő példát: a jó környéken elhelyezkedő ingatlanok részben pozícionális jószágnak tekinthetők, ugyanis a jó környék jelentheti jó minőségű közszolgáltatások igénybevételének lehetőségét, alacsony bűnözést, kedvező fekvést, jó infrastruktúrát stb. Ezek a tényezők azonban csak úgy értelmezhetők, ha léteznek kevésbé jó környékek, gyengébb minőségű közszolgáltatásokkal, nagyobb bűnözéssel stb. Tehát a jó környéken található ingatlanok fogyasztásából származó hasznosságnak van egy immanens relatív oldala is. Az ilyen ingatlanok társadalmi értelemben is szűkösek: aki kiszorul a fogyasztásból, annak be kell érnie rosszabb helyen levő ingatlannal, ezáltal elszenvedti a negatív fogyasztásból származó negatív hasznosságot.

A társadalmi státusz esetében az egyén által elfoglalt ranghoz, státuszhoz képest lesznek magasabban és alacsonyabban lévő pozíciók. Az előbbiek miatt negatív hasznosságot szenved el (a negatív fogyasztás miatt), az utóbbiak miatt pozitívat. A kettő egyenlege adja meg az egyén számára az adott pozícióból származó (teljes) hasznosságot. Ha változik a státusz, például nagyobb lesz, akkor kevesebb pozíció miatt fog negatív hasznosságot

⁶⁷ Solnick – Hemmenway (2005) vizsgálja, hogy a pozícionális jelleg mely javak esetében meghatározó.

realizálni, és több pozícióval szemben pozitív. Vagyis a státusz növekedésével nő a teljes hasznosság, vagyis a határhaszon pozitív, és ez nem is szükségszerűen lesz csökkenő.⁶⁸

A fenti gondolatmenet alapján észszerűnek tűnik a feltételezés, hogy a gyermekvállalást részben motiválhatják pozicionális megfontolások, azaz a szülő által remélt, illetve megélt hasznosság egy része, kezdetben, abból származik, hogy kortársaihoz képest hogyan teljesít a gyermek (tanulmányi, sport, művészeti, illetve egyéb területen), majd később, hogy milyen társadalmi státuszt ér el. Ami a fertilitást befolyásoló többi tényezőre is igaz, úgy a pozicionális hatások esetén sem árt hangsúlyozni, hogy a hatása nem független az adott társadalmi kontextustól. Az archaikus társadalmakban a munkamegosztás és specializáció kevésbé jellemző, illetve azon társadalmak egalitáriánus jellege kevés teret ad a gyermekek, illetve felnőttek között státusz küzdelmeknek (Boehm 2001), míg egy modern környezetben, ahol a szülők jellemzően egy-két gyermeket vállalnak, továbbá az egyenlőtlenségeket is jobban tolerálják (Morris 2017), ott mind a tér (kínálat), mind az igény (kereslet) nagyobb a pozicionális javakra. Ez elméletben elvezethet egy szülők közötti „fegyverkezési versenyhez”, vagyis a gyermekek egyre intenzívebb képzése, trenírozása avégett, hogy jó reputációjú középiskolákba, egyetemekre kerüljenek, és/vagy a sport, művészeti területeken érjenek el kimagasló eredményeket (Deresiewicz 2015). Az Egyesült Államokban például egyre gyakoribb az óvodákban a házi feladat, ezáltal készítve fel óvodáskorú gyerekeket az iskolai környezetre és elvárásokra. A tehetősebb szülők egyre több iskolán kívüli elfoglaltságot (sport, művészeti, önkéntes tevékenység stb.) finanszíroznak a gyermekeiknek, tudván, hogy az egyetemi felvételik során azok extra pontokat érhetnek majd. Lukianoff - Haidt (2018) szerint az egyre intenzívebb gyermekek közötti versenynek egyik következménye a legjobb egyetemeken hallgatói körében megfigyelhető átlagot jócskán meghaladó öngyilkossági ráta és depresszió. Továbbá, a szülők időallokációját vizsgálva azt találjuk, hogy az Egyesült Államokban 1965 és 2011 között mind az anyák mind az apák több időt fordítanak a gyermekeikre, annak ellenére, hogy a vállalt gyermekek száma jelentősen csökkent a vizsgált időszakban.⁶⁹ Dél-Korea oktatási rendszere például a mérhető tényezők alapján az egyik legjobb a világon, és ez részben annak is köszönhető, hogy a lakosság a GDP

⁶⁸ Intra-elit versengésnek nevezik az elit aspiránsok rivalizálását a társadalmon belüli korlátozott számú elit pozíciókért (például a legmagasabb politikai vezetői helyek, nagyvállalatok igazgatósági helyei stb.). Goldstone (1991) nyomán Turchin (2016) úgy véli, hogy ennek a versenynek az erősödése nagymértékben hozzájárulhat minden társadalom politikai instabilitásához. Ez arra utal, hogy a társadalmi rang határhaszna növekvő is lehet.

⁶⁹ <http://www.pewsocialtrends.org/2013/03/14/modern-parenthood-roles-of-moms-and-dads-converge-as-they-balance-work-and-family/>

közel 3%-át költi oktatási kiadásokra - ez az OECD átlag mintegy háromszorosa, és a kormányzat által oktatásra költött összeg felül értendő. A koreai gyermekek lényegében az óvodától kezdve az egyetemi felvételi tesztre készülnek, mindeközben az ország a termékenységi rátája egy alá esett.

Mindez tehát azt is jelenti, hogy nem önmagában a minőség a fontos a szülőknek, hanem hogy az miképpen képződik le társadalmi státuszra. A fentiek miatt érdemes lehet a hagyományos termékenységi közgazdasági modellek kiegészítése pozicionális megfontolásokkal, amelyek formális kifejtése a következő alfejezetben kerül részletezésre. Fontos hangsúlyozni, hogy amennyiben a szülőt gyermekvállalási döntését közvetlenül nem befolyásolják pozicionális kérdések, de a saját jól-létének részét képezi a gyermek jól-léte, azaz törekszik a gyermek hasznossági függvényének maximalizálására, továbbá a gyermek jól-létének egy része a szocio-ökonómiai státuszából származik, akkor indirekt módon a szülő hasznossága ismét csak függ a gyermek társadalmi státuszától. Azaz modellezési szempontból ez a forgatókönyv ekvivalens a pozicionális megközelítéssel, mindössze az interpretációban vannak különbségek

4.4 A pozicionális hatás modellezése

4.4.1 Kiindulási modell

Általánosságban a gyermekvállalásra vonatkozó döntés modellezése a hasznosságot befolyásoló fő tényezők meghatározása, illetve az erőforrás korlátok azonosításával kezdődik. A hasznosságot befolyásolja a fogyasztás mértéke, a szabadidő, a gyermek száma. Az erőforráskorlátok esetében idő és anyagi korlátokkal néz szembe a döntéshozó. A jövedelem megszerzésének a feltétele a munka, a gyermeknevelés időráfordítást igényel, így a rendelkezésre álló időt munka, gyermeknevelés és szabadidő között kell allokálni. Az anyagi korlát tekintetében a kiadások fogyasztásra és gyermekneveléssel kapcsolatosak, ezek fedezetéül pedig a munkajövedelem szolgál.

A helyzet így egy korlátos maximalizálási problémaként fogható fel, amelyet a következőképpen lehet formálisan megfogadni:

$$\max U(c, n, l) \quad (1)$$

$$\text{f.h. } t_w + t_c n + l = 1$$

$$c + e_c n = w t_w$$

ahol c , a fogyasztás, n a gyermekek száma, l a szabadidő, t_w a munkával töltött idő, t_c gyermekre szánt idő, e_c a gyermekre fordított anyagi kiadás, w pedig a munkabér. Az első korlátozó feltétel tehát az idő korlát, a második pedig az anyagi.

A szakirodalomban megszokott módon \log hasznossági függvényt alkalmazva a hasznossági függvény konkáv lesz, a korlátozó feltételek által meghatározott tartomány pedig konvex, ezáltal megoldható a probléma:

$$\max_{n,l,c} a_n \log n + a_c \log c + a_l \log l \quad (2)$$

$$\text{f.h. } t_w + t_c \cdot n + l = 1$$

$$c + e_c \cdot n - w \cdot t_w = 0$$

Ahol $a_n, a_c, a_l \geq 0$ paraméterek, a $t_w = 1 - t_c \cdot n - l$ kifejezést a második korlátozó feltételbe helyettesítve és n -re megoldva a következő kifejezést kapjuk:

$$n^* = \frac{a_n \cdot w}{(a_c + a_l + a_n)(t_c \cdot w + e_c)} \quad (3)$$

Ezt w szerint parciálisan deriválva:

$$\frac{\partial n}{\partial w} = \frac{a_n \cdot e_c}{(t_c \cdot w + e_c)^2 (a_c + a_l + a_n)} \quad (4)$$

Mivel $e_c, t_c, w, a_n, a_c, a_l \geq 0$, a jövedelem növekedésével a gyermekszám is növekszik.

4.4.2 A pozicionális függvénnyel kiegészített modell

Ha elfogadjuk, hogy lehetnek a gyermekvállalásnak környezettől függő elemei, akkor a felmerülő kérdés, hogy miképpen tudnánk ezt formálisan megragadni. Az értekezés egy úgynevezett pozicionális függvény bevezetését javasolja: ez fejezi ki, hogy a gyermek „minősége” miképpen helyezi el őt a társadalmi hierarchiában. Maga a minőség pedig jellemzően a szülői ráfordítások (anyagi és idő) függvényeként határozódik meg.

Milyen megkötéseink lehetnek a pozicionális függvénnyel szemben? Ésszerű lehet elvárni, hogy az értelmezési tartományon legyen szigorúan monoton növvő és csökkenő meredekségű. Azaz a nagyobb minőség magasabb státuszt eredményez, de a minőség növekedésével (ami iskolai végzettségek, tapasztalat egyéb készségek és képzettségek megszerzését is jelentheti) egyre kisebb a státusznövekmény, a magasabb pozíciók száma egyre korlátozottabb. Tehát például az első diploma megszerzése és finanszírozása nagyobb

változást idéz elő a relatív pozícióban, mint a második, harmadik stb. felsőoktatásban szerzett képesítés. Formálisan legyen $f(x)$ a pozícionális függvény, úgy, hogy

$$f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+, \frac{df(x)}{dx} > 0, \frac{d^2f(x)}{dx^2} < 0 \text{ minden } x \text{ esetén.}$$

A minőség a modellben a szülők idő és anyagi ráfordításától függ, amelyek pozitív, de csökkenő határtermékkel jellemezhetőek. Formálisan

$$q: \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+, \frac{\partial q}{\partial x}, \frac{\partial q}{\partial y} > 0, \frac{\partial^2 q}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} < 0$$

$$\max a_c \log c + a_l \log l + \gamma(a_n \log n + a_p p) \quad (5)$$

$$F.h. t_w + n t_c + l = 1$$

$$c + n e_c + k n = y + w t_w$$

$$p = f(q(t_c, e_c))$$

Ahol k a gyermekvállaláshoz kapcsolódó fix ráfordítás ($k \geq 0$), γ a teljes gyermekvállalásnak tulajdonított fontosságot reprezentáló paraméter ($\gamma \geq 0$), p a gyermek által elért státusz (itt feltesszük, hogy a szülő nem tesz különbséget a gyermekei között, ugyanannyi erőforrást áldoz mindegyikre, így hasonló lesz az elért státuszuk is). Az előző szakaszban kifejtettek alapján feltesszük, hogy a státusz határhaszna konstans ($MU_p = a_p$). Fontos hangsúlyozni, hogy a fenti maximalizálási probléma a háztartások döntéseit próbálja modellezni, ezért az $f(x)$ pozícionális függvénynek nem elsősorban empirikusan megfigyelhető, a társadalmi mobilitásra és hierarchiára vonatkozó szabályszerűségeket kell kifejeznie, hanem a háztartások társadalmi mobilitással és hierarchiával kapcsolatos *várakozásait*.

Legyen $f = \log(x)$, így tehát a pozícionális függvény eleget tesz az elvárásainknak, továbbá legyen a gyermekek minőségét meghatározó q függvény Cobb - Douglas típusú termelési függvény, azaz

$$q = A e_c^\alpha t_c^\beta \quad (6)$$

Az idő korlátból t_w kifejezhető a következő módon, $t_w = 1 - t_c \cdot n - l$, ezt pedig vissza tudjuk helyettesíteni az anyagi korlátba. Ekkor a végső modell a következő:

$$\max_{c,l,n,TC,EC} a_c \log(c) + a_l \log(l) + \gamma a_n \log(n) + \gamma a_p \log(A) + \gamma a_p \alpha \log(ec) + \gamma a_p \beta \log(tc) \quad (7)$$

$$\text{F.h. } w \cdot tc \cdot n + k \cdot n + l \cdot w + ec \cdot n + c - w - y = 0$$

Az optimális megoldás:⁷⁰

$$n^* = \frac{-\gamma(a_p \alpha + a_p \beta - a_n)w}{(\gamma a_c + a_l + a_p)k} \quad (8)$$

(8)-at w szerint parciálisan deriválva a következő kifejezéshez jutunk:

$$\frac{\partial n}{\partial w} = \frac{-\gamma(a_p \alpha + a_p \beta - a_n)}{(\gamma a_n + a_l + a_c)k}. \quad (9)$$

Mivel $a_c, a_l, a_p, a_n, k, \gamma \geq 0$, látható, hogy az a_p és a_n paraméter egymáshoz viszonyított nagysága határozza meg a kapcsolat irányát w és n között. Három esetet tudunk megkülönböztetni:

$a_p > \frac{a_n}{\alpha + \beta}$ esetében a jövedelem növekedése csökkentőleg hat a termékenységre,

$a_p < \frac{a_n}{\alpha + \beta}$ a jövedelemmel nő a gyermekek száma is,

$a_p = \frac{a_n}{\alpha + \beta}$ nincs összefüggés a jövedelem és termékenység között.

A jobb oldalakon szereplő kifejezés nevezője az utód minőségét meghatározó termelési függvény kitevőinek az összege: $\alpha + \beta = 1$ a gyermek minőségfüggvényére nézve állandó mérethozadékokat jelent, tehát arányosan növelve az idő és anyagi ráfordítást, a minőségben is ennek megfelelő arányú javulást eredményez.

A modell alapján azt mondhatjuk tehát, hogy amennyiben a háztartások kellőképpen fontosnak tartják a pozicionális aspektusait a gyermekvállalásnak (tehát a gyermek státuszát, relatív pozícióját, előmenetelét a kortársak, majdan a teljes társadalomban), és úgy ítélik meg, hogy a szülői ráfordítás növelésével a gyermek szocio-ökonómiai státusza is javítható, akkor a magasabb jövedelem mellett kevesebb gyermeket szándékoznak vállalni.

Abban az esetben viszont, ha az intézményi, kulturális környezet nem teszi lehetővé a társadalmi mobilitást, vagyis a minőség nem szükségszerűen jelent érdemben magasabb státuszt (például feudális viszonyok között), és/vagy a szülői befektetés nem eredményez jelentős minőség-növekményt, akkor a nagyobb jövedelem nagyobb termékenységet von maga után.

⁷⁰ A levezetés az A2 függelékben található.

4.5 Összegzés

Ebben a fejezetben a 3. hipotézisem részletes bemutatása és tesztelése történt meg: az elméleti közgazdaságtan talán leggyakrabban alkalmazott eszközének (korlátos optimalizálás) segítségével vizsgáltam a gyermekvállalás egy lehetséges tényezőjét, és annak hatását a fertilitásra.

A demográfiai helyzet alakulása alapvetően befolyásolja a társadalmak szerkezetét, az intézményi környezet, a termelés módjait és az innovációt. Emiatt természetesen kiemelt figyelem övezi a termékenységgel kapcsolatos adatokat, változásokat, elméleteket. A családok, háztartások anyagi lehetőségei kétségkívül hatást gyakorolnak a termékenységükre is, a kapcsolat iránya és erőssége azonban nem független a tértől, időtől, a társadalmi és intézményi kontextustól. Jelen fejezetben bemutatott egyenlet-alapú modell alapján amellet érvelek, hogy a gyermekvállalásnak van környezettől függő aspektusa, azaz a gyermek tekinthető részben pozicionális jószágnak, vagyis a hasznosság, amelyet a szülő realizál, részben attól függ, hogy hogyan teljesít a kortársaihoz képest, illetve milyen társadalmi státuszt ér el később a gyermek. Az áéltalam bevezetett modell lehetővé tette a pozicionális megfontolások formális megragadását, és az érvelés elméleti alátámasztását. **A fenti eredmények fényében nem tudom elvetni a 3. hipotézisem.**

5. Ágens-alapú modell – Komplex rendszerek, hálózatos hatások modellezése szimulációs eszközökkel

Az 5. fejezetben a 4. hipotézis bemutatása és tesztelése történik meg, azaz amellet érvelek, hogy az egyének azon képessége, hogy egynél több társadalmi csoporthoz csatlakozzanak, kulcsfontosságú a nagyléptékű együttműködés fenntartásához. Egy *ágens-alapú modell* segítségével rámutatok arra, hogy a társadalmi csoportok közötti versengés az egyének erőforrásaiért káros hatással lehet a teljes populáció szintű, nagyléptékű kooperációra, és erre a problémára az egyik orvosság lehet az átkategorizálás vagy új, a teljes populációt átfogó csoportok létrehozása.

Az előző fejezetben bemutatott egyenlet-alapú modellezés sikeressége megkérdőjelezhetetlen: a természet- és társadalomtudományokban is hatékonyan kerül alkalmazásra, érdemben képes bővíteni az adott paradigma által magyarázni képes jelenségek halmazát. Azonban nem minden esetben használható: amikor a vizsgált probléma komplex, vagy komplex rendszerként írható le, a felírandó egyenletek száma meredeken emelkedni kezd, az analitikus megoldás elérésének reménye egyre csekélyebb, még komoly korlátozó feltételek mellett is. Ilyen esetben egy másik eszközhöz nyúlnak a kutatók, amelyet elsősorban a számítási kapacitások exponenciális növekedése tett lehetővé az elmúlt néhány évtizedben. A jelen fejezetben előbb áttekintem a komplex rendszereket és a kapcsolódó alapvető hálózatelméleti ismereteket, majd ezt követően egy modellen keresztül bemutatom a komplex rendszerek és a hálózatos hatások modellezésének a módját, az ágens-alapú eljárást.

5.1. Komplexitás

Ahogy ezt majd látni fogjuk, a komplex rendszerek tárgyalását érdemes először valamilyen informális definícióval kezdeni:

„Komplex rendszer: olyan rendszer, amelyben központi vezérlés és egyszerű működési szabályok nélküli komponensek nagy hálózatai komplex kollektív viselkedést, kifinomult információfeldolgozást és tanuláson vagy evolúción keresztül történő adaptációt eredményeznek.” (Mitchell 2009, 13. o.)

„Egy rendszert általában komplexnek hívunk, ha rendelkezik a következő két tulajdonsággal:

- A rendszer egymással interakcióban levő egységekből épül fel
 - A rendszer emergens tulajdonságokkal rendelkezik, azaz rendszer makro tulajdonságai, amelyek az komponensek interakcióinak a következménye, nem az egyedek tulajdonságai, azokból közvetlenül nem levezethetők.” (Tesfatsion, 2005, 5. o.)
- “A komplex megnevezés általában egy olyan jelenség leírására használatos, amely sok, egymással interakcióban álló komponensből épül fel, és aminek a viselkedését és/vagy a szerkezetét egész egyszerűen nehéz megérteni.” (Casti, 2002, 1. o.)
- „Egy összetett rendszer különféle entitásokból áll, amelyek egy hálózatban kölcsönhatásba lépnek. Ezen entítások tevékenységei kölcsönösen függenek egymástól. Az összetett rendszeren belüli navigáció során az entítások szabályokat követnek, ami alatt a bizonyos viselkedésekre vonatkozó előírásokat értem.” (Page 2011, 25. o.)

A komplexitás szigorú elméleti megalapozottsága még várat magára, nincs általánosan elfogadott szigorú definíció.⁷¹ Számos különböző fogalom és mérőszám található a témában, és mindegyik hozzásegít ahhoz, hogy intuitív módon legyen elképzelésünk a komplexitásról, amelyek megfelelő kiindulási alapot jelentenek a további vizsgálódásokhoz: a komplex rendszerek rendelkeznek bizonyos makró struktúrákkal, amelyek nem egyszerűen a rendszert felépítő részek tulajdonságainak az összege, azok ismerete nem teszi lehetővé a makró viselkedés leírását. Más szavakkal, az „egész több, mint a részek összege” (North - Macal 2007, 22. o.).

Ahelyett, hogy matematikailag pontos és kellően szigorú definíciót adnánk, érdemes az összevetni az egyszerű és komplex rendszerek viselkedés jegyeit, hogy a különbségek kidomborodjanak.

5.2. Az egyszerű rendszerek tulajdonságai

Az egyszerű rendszerek legfontosabb tulajdonságai az előrejelezhetőség, stabilitás és reducibilitás. Az egyszerű rendszerekben valamely hatás vagy akció következménye azzal arányos, emiatt a rendszer kiszámíthatóvá és stabillá válik, vagyis kis változások a rendszer kezdőfeltételeiben vagy egyéb paraméterekben nem változtatják meg a rendszer struktúráját

⁷¹ A különböző definíciók és a szakirodalom által a komplex rendszereknek tulajdonított jelenségek és tulajdonságok áttekintéséért lásd például Ladyman et al. (2013).

(Érdi 2008). Itt azonban érdemes pontosítani az előrejelezhetőség különböző típusait, használva különböző fizikai rendszerek kiszámíthatóság koncepcióját. A klasszikus fizikában a kiszámíthatóság teljes determináltságot jelent – ha ismerjük a rendszer kezdőfeltételeit, akkor pontosan meg tudjuk határozni jövőbeli állapotokat. A statisztikus fizika, amely nagyszámú, a newtoni törvényeket követő atomot, egymással kölcsönhatásba, interakcióba nem lépő molekulát tartalmazó rendszereket makroszkopikus viselkedést vizsgálja, azok statisztikai tulajdonságait írja. A statisztikus fizika szigorú determináltságot nem tesz lehetővé, a makró jellemzők alakulása mégis nagyon pontosan előrejelezhető. Később, a kvantum mechanika kialakulásával, a kvantum rendszerek vizsgálata során a determinizmus lehetőségét teljesen fel kellett adni, ugyanis kizárólag valószínűségi eloszlásokkal lehet jellemezni azokat. Ettől függetlenül azonban a kvantum mechanika rendkívül pontos előrejelzéseket tesz lehetővé, nem az egyedi események nagyszámú kollekcijára vonatkozóan. A nemlineáris rendszerekben, amelyekben a kezdeti feltételben bekövetkező egészen kicsiny változásokra a rendszer óriási változásokkal reagál, az előrejelezhetőség nem lehetséges, annak ellenére, hogy a rendszer teljesen determinisztikus, azaz a rendszert leíró egyenletek, interakciók nem sztochasztikusak. Ahogy korábban is említettem az ilyen rendszereket hívják kaotikusnak (Thurner et al. 2018; Page 2011).

A reducibilitás azt jelenti, hogy a rendszert alkotó elemek vizsgálatával, azok tulajdonságainak feltárásával lehetővé válik a rendszer egészének a megértése, megismerése. A komponensek aggregációja elfogadható szintű ismereteket hordoz a makró viselkedésre vonatkozóan. A redukcionista megközelítés alapvetően meghatározta a 20. századi tudomány sikereit, például a fizika, molekuláris biológia stb. területén.⁷² Azonban bizonyos rendszerek, különösen a társadalomtudományok által vizsgáltak, gyakorta mutatnak olyan jegyeket, amelyeket nem lehetett a részek karakterisztikájának feltárása alapján megérteni (Érdi 2008, Gell-Mann 1994, North - Macal 2007).

5.3 Komplex rendszerek tulajdonságai

5.3.1 Instabilitás és kiszámíthatatlanság

Az egyszerű rendszerekkel szemben a komplex konfigurációk gyakran instabilak, azaz kis kezdeti hatások rendkívül nagy változást okoznak a makrostruktúrában, ezáltal

⁷² A redukcionizmussal kapcsolatos tudományfilozófiai ellenvetéseket a 2. fejezetben tárgyaltam, röviden.

kiszámíthatatlanságot okozva a rendszerben. A kiszámíthatatlanság, nemlinearitás és instabilitás legfontosabb oka a visszacsatolások megléte a rendszerben.

Visszacsatolás

A komplex rendszer nem statikus, azaz sem az azt alkotó komponensek száma, tulajdonságai, sem az általuk követett szabályok, illetve a közöttük végbemenő kapcsolatok jellege nem állandó az idő során, hanem dinamikus. Emiatt a dinamikus tulajdonságra hatással levő tényezők vizsgálata rendkívül fontos

“A visszacsatolás egy olyan folyamat, amelynek során az outputként megjelenő jel valamely hányada egyúttal inputként is szolgál.” (Érdi, 2005, 8. o.)

A visszacsatolásnak ezáltal jelentős hatása van a rendszer dinamikus jellegére. Amennyiben a visszacsatolás felerősíti az eredeti, kiindulási hatást, pozitív visszacsatolásról beszélünk. Például, tekintsünk egy vállalatot, amely beruházást hajt végre valamilyen technológiába (például gépet vásárol), amely lehetővé teszi, hogy több outputot állítson elő. Ez (ceteris paribus) több profitot eredményez a vállalatnak, amely a keletkező profit egy részét ismét a gép vásárlásba fekteti a termelés további bővítése érdekében. vagyis a profit exponenciális növekszik (legalábbis egy adott ideig). A példában a kezdeti befektetés jelenti kezdeti, kiindulási hatást, amely felerősítést kap, az output és profit növekményen, illetve az azt követő megnövekedett befektetésen keresztül (ez lényegében a visszacsatolás a folyamatban, a nemlineáris tényező – konstans befektetési rátát feltételezve).

A pozitív visszacsatolás inverze a negatív visszacsatolás, amikor is a kezdeti hatásnak nincs, vagy csak nagyon csekély mértékű hatása van a rendszerre, ugyanis a visszacsatolási mechanizmus tompítja azt, a változásnak ellenáll a rendszer és végeredményben az visszatér a kezdeti (vagy ahhoz közeli) állapotba (Gershenson - Heylighen 2004). Például, valamilyen szervezet élére kerülő új vezető megpróbál változásokat eszközölni a szervezeti kultúrában, azonban ez a szervezet többi tagjának az ellenállásába ütközik, és végső soron ellehetetleníti azt. A rendszer, a szervezet így fenntartotta az eredeti struktúráját.

A pozitív visszacsatolás destabilizálja a rendszert, azáltal, hogy aránytalanul felerősíti a kezdeti hatásokat. Ezzel szemben a rendszert a negatív visszacsatolás stabilabbá, robusztusabbá teszi, ugyanis csak rendkívül nagy kezdeti hatás tudja kibillenteni a rendszert a kezdeti állapotából (Heylighen 2008). A komplex rendszerek rendszerint rendelkeznek mind

pozitív mind negatív visszacsatolásokkal is, ami a rendszert még inkább kiszámíthatatlanná teszi, a modellezésünket pedig megnehezíti (Casti 1994; Page 2011).

5.3.2 Irreducibilitás, önszerveződés és emergens tulajdonságok

Az egyszerű rendszerek esetén beszélhettünk reducibilitásról, azaz amikor a makroszkopikus viselkedés visszavezethető kizárólag a rendszert alkotó egyedek viselkedésének megértésére (ezt a társadalomtudományokban módszertani individualizmusnak nevezzük). A vizsgált rendszer gyakran heterogén elemekből áll össze, a makrostruktúra pedig a közöttük végbemenő bonyolult, időben is változó interakcióinak az eredménye, amely emellett még környezetfüggő is. Utóbbi azt jelenti, hogy ugyanaz a rendszer különböző környezetekbe ágyazva, más trajektóriát fog bejárni, eltérő jellegeket fog mutatni. Ezáltal a kizárólag az egyedek viselkedésének feltárása nem fogja eredményezni a rendszer megértését, nem lesz lehetséges megbízható modell felépítése az alkotóelemek egyszerű aggregálásával (Casti 2002; Thurner et al 2018).

Az önszerveződés az a folyamat, amelynek során valamilyen globális mintázat jelenik a rendszert felépítő részek lokális interakcióinak eredményeképpen, mindenfajta külső hatás vagy befolyás nélkül. Amennyiben ezeknek a részeknek (hívjuk ezeket ágensnek) van valamilyen belső „preferenciája”, vagyis bizonyos állapotok preferáltak más állapotokkal szemben, akkor a lokális interakciók célja a lehető legkedvezőbb állapot elérése. Mivel az interakciók helyileg mennek végbe, a részek nem lehetnek tisztában azok makro hatásaival, azok mindössze a hasznosságot szeretnék maximalizálni. Ahogy a folyamat folytatódik, a részek kölcsönösen adaptálódnak egymáshoz, „koevolválódnak”, de természetesen nem mindegyik érheti el a lehető legjobb állapotot. Fontos hangsúlyozni, hogy nem kizárólag élő organizmusok rendelkezhetnek valamilyen belső „hasznossággal”:

“Még élettelen, fizikai objektumok, mint molekulák és kövek is rendelkeznek belső „preferenciával”, nevezetesen azon állapotok, amelyek minimalizálják a potenciális energiát. Vagyis a kő „preferálja” a hegy lábánál levő stabil állapotot, a hegy tetején felvett instabillal szemben. A preferál itt tehát mindössze azt jelenti, hogy az instabil állapotokból előbb vagy utóbb egy stabilabba jut az objektum.” (Heylighen, 2008, p. 7)

Az önszerveződés lehetővé teszi, hogy a rendszer globálisan kedvezőbb állapotokba jusson, központi irányítás és külső beavatkozás nélkül. Ez a tulajdonsága teszi képessé a rendszert az

alkalmazkodásra, adaptációra, vagyis a belső struktúra módosítására a kiinduló állapotok vagy külső kondíciók megváltozásának eredményeképp.

A rendszer valamilyen kiinduló állapotból indul, majd önszerveződésen keresztül transzformálódik egy másik állapotba, vagyis egy az eredetitől különböző makro mintázathoz jut el. Ezeket a strukturális változásokat fázis-átmenetnek hívják a természettudományokban. Közgazdaság területén valószínűleg a fázisátalakulás legtisztább formájában a pénzügyi idősoroknál figyelhető meg: bizonyos információk, vagy események hatására a görbe alakja és szintje képes rendkívül gyorsan változni. Talán emiatt sem meglepő, hogy a technikai elemzés olyan népszerű a pénzügyi elemzők körében, amely éppen a pénzügyi rendszer makró mintázatainak szentel figyelmet és próbál szabályszerűségeket találni a görbéken és idősorokon, fundamentális, vagyis a közgazdasági, elméleti megfontolások alkalmazása helyett (Batten 2000).

Az olyan rendszereket tehát, amelyek globális viselkedését és struktúráját nem lehet az alkotó elemek tulajdonságaiból levezetni, emergensnek nevezzük. A komplexitást vizsgáló diszciplínákban ez központi fogalom, ugyanis ez azt jelenti, hogy a rendszer megértése érdekében nem elég a figyelmünket a komponensek vizsgálatára korlátozni, vagyis, ahogy fentebb is, arra a következtetésre jutunk, hogy a redukcionizmus nem képes kielégítő vagy megbízható ismereteket nyújtani a komplex rendszerek esetében.

5.3.3 A komplex rendszerek hálózatos tulajdonságai

A (komplex) rendszerek reprezentálására a hálózatok egy természetes módszert nyújtanak, ugyanis a hálózat pontjai megfeleltethetőek a rendszer részeinek, az élek pedig a közöttük lévő kapcsolatoknak. Ezáltal a gráfelmélet és az ebből kiinduló hálózatelmélet képes lehet matematikailag megragadni a komplex rendszerek bizonyos tulajdonságait. Az egyszerű rendszerek esetében nincs érdemi különbség a rendszert alkotó részek között, illetve az interakciók homogének. Azonban, ahogy azt láttuk korábban, a komplex rendszerek egyik sajátossága, hogy a heterogén elemek közötti interakciók valamilyen hálózaton mennek végbe, amelyek jellege függhet a hálózaton belüli pozíciótól és/vagy a hálózati topológiától. Az elmúlt néhány évtizedben jelentős felfedezések történtek a területen, számos meghatározó empirikus megfigyelést sikerült megmagyarázni a nagyléptékű hálózatok viselkedésével kapcsolatosan. Ezen eredmények némelyikének jelentős hatása van a hálózat, és a mögöttes

rendszer dinamikus tulajdonságaira, ezért röviden a legfontosabb terminológiát és az eredményeket érdemes áttekinteni.⁷³

Csúcs, pont: a hálózat építőkövei. Jelenthet egyént a szocietális struktúrában, de akár egy laptopot vagy tabletet is egy számítógépes hálózatban.

Él: két csúcs közötti kapcsolat. A hálózat jellegétől függően lehet akár több él is két adott csúcs között, illetve címkével is el lehet látni őket.

Gráf: formálisan a gráf egy hármass, $G=(N, L, f)$, ahol N csúcsok halmaza, L az élek halmaza, f pedig a hozzárendelést leíró függvény, amely összepárosítja az éleket a megfelelő csúcsokkal.

Lényegében egy gráf tehát a csúcsok halmaza és a közöttük lévő kapcsolatokból áll össze.

Út: csúcsok egy sorozata, amelyben az egymást követő csúcsok között van él.

Út hossz: az adott út csúcsainak a száma.

Átlagos távolság: az átlagos legrövidebb út a csúcsok között, azaz

$$l = \frac{1}{\frac{1}{2}n(n+1)} \sum_{i \geq j} d_{ij}$$

ahol d_{ij} az i és a j csomópont közötti legrövidebb távolság, n pedig a csomópontok száma.

Átmérő (diaméter): a hálózatban található leghosszabb út két csúcs

Fokszám: Egy csúcsból kiinduló élek száma.

Legnagyobb összefüggő komponens: a legnagyobb összefüggő részgráf a teljes hálózaton belül, vagyis olyan részgráf, ahol minden csúcs között van út.

Kis világ tulajdonság: az átlagos távolság és az átmérő is viszonylag kicsi a csúcsok számához viszonyítva. Más szavakkal, a legtöbb csúcs között nincs él (vagyis nincs közvetlen kapcsolat), de viszonylag rövid úton elérhetőek. Például, Newman (2003) számos hálózat áttekintése során (többek között tudományos publikációk idézési hálózata, az internet topológiája, vasúti közlekedési hálózatok, az agy ideghálózatai) azt találta, hogy az átlagos távolság valahol 1.5 és 19 között volt, amellet, hogy a csúcsok száma rendszerint a több tízezret is meghaladta.

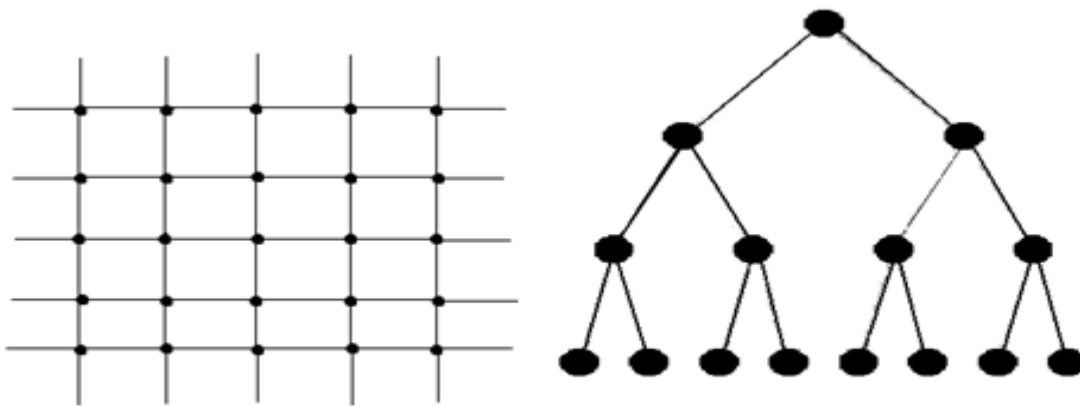
A kis-világ tulajdonságnak jelentős hatása van a hálózat dinamikus tulajdonságaira: példának tekintsük az információáramlás esetét egy hálózaton belül. Mindössze néhány lépés

⁷³ Betekintést nyújt a hálózatelmélet világába például Barabási (2002); Watts (2003), illetve magasabb szinten például Newman (2018), Barabási (2016).

megtétele szükséges ahhoz, hogy az adott információ az egyik csúcsból egy tetszőleges másikba eljusson, vagyis a diffúzió sebessége nagy (Newman 2011). Mindezt egy valós példával is szemléltetve, tekintsük a vállalati elitek közötti hálózatot. Vállalati elit alatt itt az igazgatósági tagokat értjük, ők lesznek a gráf csúcsai, és él van közöttük, ha ugyanannak a vállalatnak az igazgatósági tanácsában tagok. Az így megalkotott hálózat átlagos távolsága az Egyesült Államokban 1999-ben körülbelül 4.3 volt (Davis et al. 2003), vagyis a formális, illetve informális találkozók által a vállalatirányítási gyakorlatok, hírek, pletykák a nagyvállalatok között gyorsan el tudnak terjedni.

Ezzel szemben egy szabályos hálózat teljesen rendezett, vagyis a kapcsolatok száma minden csúcsra megegyezik. Ilyen például egy rács vagy egy szabályos fa (6. ábra). A szabályos hálózatokban az átmérő és az átlagos távolság is viszonylag nagy a csúcsok számához képest ezért nem lehet kis-világ hálózatnak tekinteni. Egy szabályos (reguláris) hálózat (k -reguláris gráf) szerkezete tökéletesen rendezett, azaz a kapcsolatok száma minden csomópontnál azonos. A struktúra determinisztikus.

6. ábra 4-Reguláris gráf és bináris fa.



Forrás: saját szerkesztés.

Példaként tekintsünk egy kétdimenziós rácsot, ahol mindegyik csúcs kapcsolódik négy szomszédos csúcshoz, és legyen a csúcsok száma $1000 \times 1000 = 1000.000$. Az első és az utolsó csúcs (a bal felső és a jobb alsó, ha fentről tekintünk a gráfra) közötti legrövidebb út hossza 2000, amely 2-3 nagyságrenddel nagyobb, mint a korábban említésre került hálózatokban talált adatok (megismételve, ez a szám valahol 1.5 és 19 között volt egészen

különböző hálózatokban) (Heylighen 2008). Az információ lassan áramlik, a szabályos hálózatok merev és stabil struktúrák.

Skálafüggetlen hálózat: a fokszám eloszlás hatványfüggvényt követ, azaz

$$N(K) = K^{-\alpha},$$

ahol N mutatja meg azon csúcsok számát, amely K éllel rendelkezik, $\alpha > 0$. Szabatosan fogalmazva, legtöbb csúcsnak mindössze néhány kapcsolata van, azonban néhány csúcs nagyszámú éllel rendelkezik (ezeket hívják hubnak, vagy csomópontnak). Ha vesszük a logaritmusát az élnek, illetve a csúcsoknak is, akkor egy lineáris összefüggést kapunk, vagyis log-log ábrán a kapott görbe (nagyjából) egy egyenes lesz.

$$\log N(K) = -\alpha \log K .$$

A Barabási-Albert algoritmus használatos skálafüggetlen topológia kialakítására (Barabási - Albert 1999).

Az elmúlt bő két évtizedben számos hálózatban azonosításra került a skálafüggetlen szerkezet; hatványeloszlásra példa a szógyakoriság, tudományos közlemények idézése, könyvek eladási adatai, az AT&T felhasználói által egy napon fogadott telefonhívások száma, ugyanabban a filmben szereplő hollywoodi színészek, szexuális kapcsolatok, társas kapcsolatok (barátok száma) (Newman, 2005; Barabási és Bonabeau, 2003), együttműködési megállapodások a gyógyszereszektorban (Riccaboni és Pammoli, 2001), sporthálózatok (Onody és de Castro, 2004). Természetesen számos gazdasági jelenség esetében is megfigyelhetők skálafüggetlen eloszlások az egyéni vagyon elosztásától a vállalatok méretének eloszlásáig (lásd pl. Gabaix 2009)

Az eddigiekből látható, hogy a komplex hálózatok topológiája gyakran skálafüggetlen, kis-világ tulajdonsággal rendelkezik és heterogén szerkezetű. Fontos hangsúlyozni, hogy az komplex rendszerek nem véletlenszerűek, de nem is szabályosak; a rend és a véletlenszerűség között vannak (Huberman - Hogg 1986; Page 2011).

5.4 Ágens-alapú modellezés

Az ágens-alapú modellezés (agent-based modelling - ABM) egy viszonylag új eljárás, amely segítségével lehetővé válik a heterogén, adaptív és egymással interakcióba lépni képes ágensek leképezése. A komplex rendszerek lényegének a megértésére kínál eszközt, azáltal, hogy a modellezés a rendszert alkotó elemek szintjén megy végbe, ami lehetővé teszi

interakciók figyelembevételét is. Az egyre növekvő számítási kapacitás jóvoltából a rendszer szimulációja, egyébként rendkívül költséges kísérletek elvégzése, illetve forgatókönyv elemzések is kivitelezhetővé válnak, mely révén bepillantást nyerhetünk és értékes észrevételeket tehetünk a rendszer vélt működésével kapcsolatban, amelyet elfednének a pontos, analitikus megoldás lehetősége által kikényszerített szigorú peremfeltételek és megszorítások.

Az egyik legfontosabb tulajdonság az ABM megközelítésnek a képessége, amely által emergens viselkedéseket képes létrehozni – a rendszer olyan állapotainak a felfedezése válik lehetővé, amelyre nem számíthattak az ágensek létrehozása során. Azáltal, hogy a rendszert közvetlenül az alkotóelemek szintjén kerül modellezésre, az egész rendszer viselkedésének megfigyelése, manipulálása és megértése könnyebbé válik, mint bármikor előtte. (Farmer – Foley 2009, 686. o.)

Alapvetően, az ágens-alapú modell sok ágensből áll (a pontos számot a kutató határozza meg a szimulációs cél és a számítási kapacitás függvényében), amelyek mindegyike egyéni tulajdonságokkal, viselkedési szabályokkal és virtuális térrel, ahol az aktorok létezhetnek. A tulajdonságok és viselkedési szabályok a kutató által meghatározottak, jellemzően valamilyen ismert jelenséget próbál leképezni, vagy vizsgálatra érdemes hipotetikus szituációt megalkotni.

Ezen túlmenően, az ágensek képesek lehetnek egymással interakcióba lépni – ezen interakciók az egyszerű adatátviteltől sokkal szofisztikáltabb, a többi ágens viselkedését, tulajdonságait befolyásolni képes digitális jelekig széles skálán mozoghatnak. A tipikus ágens-alapú modellnek van egy fundamentális dinamikus jellege, azaz a rendszerrel összefüggően az idő dimenzióinak fontos szerepe van, amely diszkrét, ha úgy tetszik körökre osztott. Általában az ágensek kiértékelik az információt, amivel rendelkeznek és hozzájutnak minden körben, majd döntenek a megfelelő cselekvésről.

Az ágensek és környezet megalkotása úgy kell, hogy történjen, hogy az mentes legyen minden inkonzisztenciától: a szimulációnak elméletben tetszőleges hosszúságúnak kell lennie, anélkül, hogy a kutató, modellező közbeavatkozna. Ezen feltétel teljesülése esetén a kutató hagyja a rendszer működni, evolválódni, vagyis meghatározott kiindulási feltételekkel indítja, majd kizárólag az ágensek információ feldolgozása, döntései és interakciói formálják a

rendszer állapotait, semmi egyéb. A modell rendszerint adatokat generál a rendszer belső viselkedéséről, a fontos állapotváltozókról, amelyet ezt követően alá lehet vetni szigorú statisztikai elemzésnek. Ezt követően az eredmények fényében lehet a modellt értékelni: amennyiben az egy meghatározott cél-rendszert hivatott leképezni (vagyis valamilyen “valós” jelenséget), akkor a modell eredményei, a kapott makró-struktúra és a cél-rendszer összevetése is ekkor történik meg. Mindezek után kerül sor a modell finomhangolására, módosításokra és a szimuláció (esetleges) újrafuttatására.

A fenitek alapján világos, hogy az ágens-alapú modellezés egy iteratív folyamat, és a háttérben mindig jelen van egy átváltás a modell mélysége, részletezettsége, illetve az áttekinthetősége között.

5.4.1 Ágensek és a környezet

Az ágensek jelentik az építőköveit a modellnek: minden egyes komponens a rendszerben, amely döntéseket hoz (legyen az akármilyen egyszerű vagy szofisztikált), tekinthető ágensnek. Ezáltal a lehetséges példák rendkívül színes képet mutatnak az egyes egyedektől (például személyek, munkások, szavazók, gáz részecskék stb.), csoportokon át (például, családok, fogyasztói közösségek), intézményekig (például vállalatok, kormányzatok stb.) bezárólag. Ezért az ágensek kognitív képességei is természetesen jelentős különbségeket mutathatnak, az egészen korlátozott mentális funkcióktól és nagyon egyszerű feltételes, (*ha...akkor* típusú) szabályoktól a fejlett viselkedési szabályokig, amely jelentős memóriát illetve matematikai eszköztár alkalmazását feltételezi. Továbbá az egyes ágensek alkothatnak akár csoportokat is, ezáltal lehetséges például szervezetek viselkedésének, belső dinamikájának vizsgálata is. Programozási szempontból az ágensek egy programkódot jelentenek, saját lefoglalt memóriaterülettel és metódusokkal.

Az ágens-alapú modellek további fontos sajátossága, hogy a segítségével viszonylag egyszerűen lehet korlátozott racionalitású ágenseket létrehozni. Ebben az esetben az ágensek nem rendelkeznek minden információval *per se* – az információt össze kell gyűjteni és feldolgozni. Ez végbe mehet megfigyelésen keresztül (azaz az ágens passzívan rögzíti a környezeti változókat valamilyen módon), vagy a többi ágenssel végrehajtott közvetlen kommunikáció útján. Az ágensek ezután a memóriájukban tárolják a fontos információkat, hogy felhasználják azokat a döntéseket előkészítő értékelési folyamat során.

Amennyiben bármilyen szempontból is racionális döntéshozó aktorokat próbálunk meg reprezentálni, elengedhetetlen, hogy az ágens képes legyen különbséget tenni a

különböző állapotai között és értékelni azokat. Bizonyos konfigurációk és szituációk megfelelőbbek, kedvezőbbek, mint mások. Ezért valamilyen belső értékelő módszer megvalósítása szükséges (legyen az fitness vagy akár hasznossági függvény) a döntések megalapozásához. A fejlettebb ágensek felruházhatóak előrejelzési képességgel is, azaz a saját és más ágensek döntései következményeit, környezetükkel való kölcsönhatását képes lehet (jól vagy rosszul) felmérni.

John Casti, matematikus és a komplex rendszerek kutatója szerint az ágensek műveletei két típusba sorolhatók: alap tevékenységek és tevékenységek, amelyek a szabályokat képesek megváltoztatni. Az alap tevékenységek bizonyos feltételek fennállása esetén végrehajtott egyszerű rutin cselekvések. A másik típusú cselekvések vagy műveletek jelentik lényegében a forrásait az adaptációknak: képesek a feltételeket és ezáltal magukat a viselkedési szabályokat is megváltoztatni (Casti, 1998).

Ez utóbbi típus lényegében a *tanulás*, vagyis az ágens képessége arra, hogy módosítsa a viselkedési szabályait és tulajdonságait, hogy adaptálódjon a környezetéhez és a többi ágenshez. A tanulás célja természetesen az, hogy maximalizálja a belső kiértékelő függvényét, akár változó környezetben is. Az alkalmazott tanulási módszerek a mesterséges intelligencia területéről érkeznek.

Környezetnek nevezzük az ágensek viselkedésének helyt adó virtuális színteret. Maga a környezet is változhat a szimuláció során, egyfelől az ágensek döntései következtében, de akár a szimuláció során exogén módon is. A környezet lehet teljesen fiktív helyszín is (például egy egyszerű rács), de akár egészen realisztikus, részletesen kidolgozott valós helyszínt reprezentáló is (például Axtell, et al. 2002 a Kayenta Anasazi birodalom eltűnésének a vizsgálatához az Arizóna északnyugati részén elhelyezkedő Fekete-fennsíkot modellezte⁷⁴). A környezet korlátozásokat és szabályokat tartalmazhat, amelyek az ágensekre nézve kényszerítőek lehetnek. Ilyenek lehetnek például a kereskedési szabályok az tőzsdei viselkedést szimuláló modellben, vagy a közlekedési szabályok egy önvezetést vagy intelligens parkolást vizsgáló modellben, de a földrajzi megkötések is ide sorolhatók stb. Ezek a szabályok és megkötések természetesen mind hatással vannak (lehetnek) az ágensek viselkedésére, és a szimuláció evolúciójára.

⁷⁴ Az Anasazi egy történelmi birodalom volt összetett és szofisztikált civilizációval, a mai Egyesült Államok nyugati részén. Mintegy ezeréves virágzást követően lényegében egy emberöltőn belül teljesen eltűnt (valamikor i.sz. 1275 és 1300 között) (Axtell et al. 2002).

5.4.2 ABM alkalmazási területek

Teszfatsion (2005) szerint az ABM alkalmazások négy csoportra oszthatók cél szerint:

Empirikus megértés: bizonyos, empirikusan megfigyelt jelenségeket ágens-alapú modelleken keresztül próbálunk megmagyarázni. A cél az, hogy megtaláljuk azt a mikrostruktúrát (viselkedési szabályokat, kezdeti feltételeket stb.), amely képes létrehozni ugyanazt, vagy hasonló megfigyelhető makrostruktúrát.

Normatív megértés: ebben az esetben szakpolitikai tesztek és összehasonlításokat végeznek azok értékelésére és egy előre meghatározott módszerrel történő rangsorolására. Az ágens-alapú modellek könnyen módosíthatók, lehetővé téve a különböző kezdeti beállítások, kalibrálások, forgatókönyvek kipróbálását, és mindez segíthet megtalálni a „legjobb” konfigurációt vagy politikát.

Heurisztika elméletgenerálás: az ágens alapú modellek alkalmasak különböző elméletek tesztelésére, az ellentmondások kizárására, betekintést nyújtanak és támogatják az adott fogalommal kapcsolatos új kérdések, ötletek megjelenését. Ahogy egyes szerzők hangsúlyozzák, az ABM egyik fő előnye, hogy ez a keretrendszer rákényszeríti a felhasználót az elmélet formalizálására, a logikai hibák kiküszöbölésére, annak érdekében, hogy a megvalósított programot számítógépen lehessen futtatni (Epstein 1999).

Módszertani előrelépés: mivel az ABM egy viszonylag új modellezési keretrendszer, a kutatók a hatékonyan használható eszközökön, módszereken dolgoznak, és validált számítógépes kísérleteket tudnak biztosítani. Az ABM szabványok alapja ez idáig nem volt lefektetve, az alkalmazott technikák széles spektrumon térnek el.

Az ágens-alapú modelleket a közgazdaságtantól a biológián át a hadtudományokig széles körben alkalmazták. Heath és munkatársai 1998 januárja és 2008 júliusa között áttekintették az ABM-et érintő tudományos közleményeket, és azt találták, hogy a heterogén, autonóm ágensekből álló rendszereket vizsgáló kutatási területek az ágens-alapú módszerek fő alkalmazói (lásd Heath et al .2009).

Az ABM-et számos tudományterületen alkalmazták, alkalmazzák. A teljesség igénye nélkül így például a biokémiában (Cabaniss et al. 2005), járványok kutatásában (Bagni et al. 2002; Epstein - Axtell, 1996), társadalmi normák kialakulásában és terjedésében (Beal et al. 2021; Polani - Uthmann, 2001), tudományos szakmai bírálati rendszer elemzésére (Righi – Takács 2017), pénzügyi közgazdaságtan területén (Berg et al. 2003; Wohlmuth - Andersen, 2006),

evakuálási technikák vizsgálatában (Chen et al. 2006), a villamosenergia-piacok elemzésére (Ehlen et al. 2007), genetikai kutatások során (Pertoldi - Topping, 2004), innováció (Albino et al. 2006; Ma - Nakamori 2005) és katonai taktika és stratégia (Bullock et al. 2020; Sanders 2005), altruizmus, kooperáció vizsgálatára (Choi - Bowles 2007).

5.4.3 ABM és EBM – módszertani megjegyzések

Általánosságban azt mondhatjuk, hogy a tudományos munka során gyakran a cél valamilyen rendszer, folyamat megértésére. Egy vizsgált rendszerben két, egymástól megkülönböztethető entitás van: egyedek és állapotok. Az egyedek alkotják a rendszert, és ezek jól megkülönböztethetőek mind egymástól, mind a környezettől (például emberek egy társadalomtudományi, részecskék, molekulák, gépjárművek stb. természettudományos, mérnöki modellben). Az állapotok vagy állapotváltozók rendszer mérhető tulajdonságai, amely érdeklődésre tart igényt. Az állapotváltozók értékei lehetnek egyedek, vagy egyedek egy csoportjának a tulajdonságai (például háztartások jövedelme, munkanélküliség, bankok profitabilitása, kamatláb alakulása, gépjárművek átlagos sebessége, várakozási idő stb.), vagy egyéb jellemzői a vizsgálni kívánt rendszernek (például tranzakciók száma). Ebből kifolyólag egy modell változói az állapotokkal vannak összefüggésben.

Az egyenlet-alapú modellezés a megfigyelhető állapotokra fókuszál, míg az ABM az egyedekre, és a közöttük levő kapcsolatokra. Ebből kifolyólag az modell alapegysége az egyenlet-alapú esetben maga az egyenlet, amely az állapotok, állapotváltozók közötti kapcsolatot igyekszik megragadni, az ágens-alapú modell esetében azonban az elemzés egysége az egyed, amely ágenssel kerül reprezentálásra (Parunak et al 1998).

Matematikailag az ágens-alapú modell⁷⁵ egy Markov folyamatnak tekinthető, azaz a rendszer véges számú állapottal és az állapotok közötti átlépést meghatározó áttérés mátrixszal írható le. Elvben lehetséges olyan egyenletrendszert felállítani, amely ekvivalens egy adott ágens-alapú modellel (sztochasztikus differenciálegyenlet rendszer), a gyakorlatban azonban egy több száz vagy ezer, egymással interakcióban levő, heterogén egyedekből álló modellhez kapcsolódó egyenletrendszer megalkotása nem hatékony (Epstein 1999), az analitikus megoldása pedig leggyakrabban nem lehetséges. Emiatt az ilyen rendszerek egyenletekkel történő vizsgálata esetén szigorú feltételek és korlátozások kerülnek alkalmazásra, hogy az egyenletek száma még követhető legyen, és analitikus vagy valamilyen

⁷⁵ Illetve általában egy számítógép szimuláció.

véges időben előállítható numerikus megoldás elérése lehetséges maradjon. Azonba ezek az egyszerűsítések nem problémamentesek: az így kapott eredmények gyakran félrevezetőek, és nem képesek megragadni a rendszer komplex jellegét. Például, Bonabeau (2002) mutatta meg, hogy inhomogén populációt és interakciót tartalmazó rendszer differenciálegyenletekkel történő reprezentálása kisimítja a fluktuációit a rendszernek, vagyis értékes információ veszít a kutató.

Thurner et al. (2018) szavaival élve, a komplex rendszerek leírása egyenletekkel lehetséges, azonban nem célszerű, nehezen kivitelezhető, azok sokkal inkább leírhatóak algoritmusokkal. A belső égésű motor vizsgálata például lehetséges úgy is, hogy az összes mozgó alkatrészre és részecskére felírjuk a mozgásegyenleteket, de működés leírása algoritmusokkal (a rendszer állapotainak a változásait meghatározó utasítások egy sorozata) hatékonyabb.

Összefoglalva azt mondhatjuk, hogy az ágens-alapú modellezés alkalmazása előnyösebb, mint az egyenlet-alapú, amennyiben a vizsgált rendszer korlátozottan racionális, heterogén egyedekből áll, amikor a közöttük végbemenő interakció nemlineárisak, illetve, amikor az interakciók topológiája sem homogén (hálózatos hatások, lokalizáció jellemző). (Bonabeau 2002; Epstein 1999; Gilbert 2008; Heylighen 2008)

Fontos megemlíteni még az ágens-alapú modellek számítástudományi tulajdonságait: North (2014) mutatta meg, hogy az ágens-alapú modell számítási szempontból teljes, megfelel a Church-Turing tézisnek, ami azt jelenti, hogy bármilyen algoritmikusan megoldható probléma kifejezhető egy ágens-alapú modellel is. Ez a megállapítás elméleti és gyakorlati szempontból is nagyon fontos, eszerint ugyanis az ágens-alapú modell univerzális.

Tudományfilozófiai szempontból a szimulációs modellek, a korábban tárgyaltak (lásd 2. fejezet) mellett egy további problémát is felvetnek. A szimuláció alkalmazása magában foglalja egy algoritmus kidolgozását és kódolását, amelynek eredményeképpen a számítógép által értelmezhető utasítások sorozatát kapjuk meg. Minél bonyolultabb a modell, annál nehezebben követhető, hogy a szimuláció a modellező által vizsgálni kívánt viselkedési szabályokat, egyenleteket megfelelően ragadja meg, a modell viselkedése ténylegesen az elméletnek, a specifikációnak megfelelő (program helyesség). Ez a verifikáció problémája. A szimuláció eredményeképpen létrejön egy adatsor, amelyet összevetünk valamely vizsgált jelenség empirikus adataival. Ekkor a kérdés, hogy mennyiben volt képes a szimuláció az empirikus adatokhoz hasonló mintákat előállítani, azaz mennyiben sikeres a szimuláció a vizsgált valós jelenség (a cél-rendszer) leírására, reprodukálásra. Ez utóbbi folyamat a

validáció. Eric Winsberg szerint a verifikáció és validáció gyakran nem választható el egymástól, a kutató gyakran nem lehet teljes mértékig biztos a szimulációként kapott output és a modell elméleti alapja (viselkedési szabályok, egyenletek stb.) közötti kapcsolat minőségével, szorosságával kapcsolatban (Winsberg 2010, 2. fejezet). A szimuláció és a vizsgált rendszer összevetése során az esetleges eltéréseknek tehát két oka is lehet: vagy a szimuláció nem jól működik, vagy pedig maga a modell nem megfelelő a kívánt cél-rendszer reprezentálására. A verifikáció/validáció szétválasztásának nehézsége miatt azonban a kutató nem lehet biztos az eltérés okában. Ez lényegében a Duhem-Quine tézis (lásd 3. fejezet) megjelenési formája a szimulációk során. (Frigg – Reiss 2009)

5.5 Hálózatos hatások ágens-alapú modellezése – Társas csoportok közötti verseny hatása az együttműködésre

A csoportok alapvető szerepet játszanak az emberi társadalmak struktúrájának felépítésében: az ember társas lény; alapvető igénye van, hogy csoporthoz tartozzon, a személyiségének és önértékelésének egy részét a csoporttagságból származtatja (Tajfel - Turner 2004; Baumeister - Leary 1995; Fiske 1992; Leary - Baumeister 2000; Hogg et al. 2008; Leary 2010). A társadalmi kirekesztés, a csoporttagság hiánya pszichés és testi tünetekhez vezethet (DeWall - Richman 2011; Eisenberger et al. 2003; Cikara - Van Bavel 2014; Gardner et al. 2000; Pickett, Gardner 2005; Kerr - Levine 2008), amely azt mutatja, hogy az emberi pszichológiai apparátus tükrözi egy fontos aspektusát az ember evolúciós történetének, nevezetesen, az élet évmilliókon keresztül csoportokban zajlott (Bowles - Gintis 2011; Richerson - Boyd 2005; Dunbar - Shultz 2007; Neuberg et al. 2010; Boehm 2012; Sober - Wilson 1998). Ahogy a közösség egyre nagyobb és összetettebb lett, az ember, hogy megbirkózzon a társas világ számítási és kognitív kihívásaival, egyre több társas kategóriát, csoportot észlel, különböztet meg (Macrea - Bodenhausen 2000). Ezáltal az egyén egyszerre több társas csoportnak is tagja lehet, például család, etnikai, vallási közösség, nemzet, munkahelyi közösség, képzelt és virtuális közösségek (Brewer 2010; Anderson 2016).

A társas csoportoknak van egy fontos, meghatározó tulajdonsága: normák. A normák informális szabályok, amelyek a csoporttagok közötti interakciók által alakulnak ki, és irányítják, korlátozzák a tagok viselkedését, emellett megkülönböztetik egymástól a társas csoportokat (Cialdini - Trost 1998; Hogg 2010; Richerson - Heinrich 2012; Kameda et al. 2005; Sanfey et al. 2014). Az ember belső predispozícióval rendelkezik, hogy internalizálja azon csoportok normáit, amelyhez formálisan vagy informálisan tartozik (Spitzer et al. 2007;

Chudek - Heinrich 2011), erőforrásokat (leginkább időt és kognitív kapacitást, de gyakran konkrét anyagi javakat is) áldoz azért, hogy a csoport kulturális gyakorlatait, hagyományait, szokásait fenntartsa. Az a társas csoport, amely nem rendelkezik tagokkal nem létezik – továbbra is megismerhetőek maradnak azon normák és szokások, amelyek valamikor befolyásolták a tagok viselkedését a történeti csoportoknak, de azáltal, hogy senki sem tagja ezen csoportoknak, semmifajta szerepet nem játszanak a jelenlegi szocietális struktúrákban. Például, viszonylag kiterjedt ismeretekkel rendelkezünk Kübelé (Cybele), eredetileg anatóliai, később az ókori görögök és rómaiak által átvett istennő papsága által követett normákról, de a szektának immár nincsenek követői, ezáltal nincs, aki internalizálná ezeket (lásd például Ferguson, 1985).

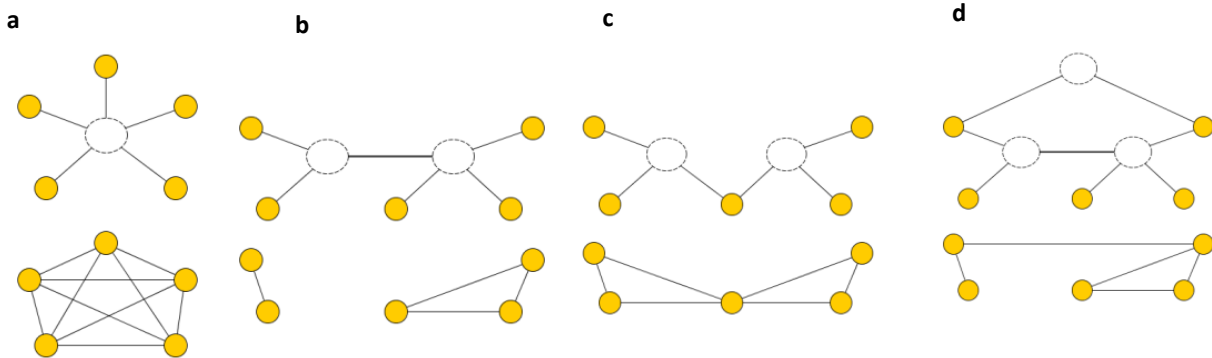
Továbbá, a társas csoporthoz tartozó egyéneknél kialakul az úgynevezett saját-csoport torzítás (in-group bias, in-group favoritism), azaz preferálni fogják a csoporttársakat a külső csoporthoz tartozó egyénnel szemben, nagyobb valószínűséggel fognak velük kooperálni (Darley 2008; Greenwald - Pettigrew 2014; Efferson et al. 2008; Voci 2006; Fu et al. 2012; Everett et al. 2015).

A társas csoportok következképpen versenyeznek a tagok erőforrásaiért (elsősorban az idejükért), hogy fenntartsák a kulturális szokásait, normáit, a szimbolikus megkülönböztető jegyeit, amelyek megkülönböztetik a többi társas csoporttól. Ebben a fejezetben azt vizsgálom meg, hogy ennek a csoporttagok és az ő erőforrásaikért folytatott versenynek, a sajátcsoport torzításnak és a multi csoporttagságnak milyen hatása van a populáció szintjén a kooperációra. Ennek végrehajtására egy hálózatelméletet és játékelméletet alkalmazó modellt fejlesztettem, amelynek a bemutatása a következő alfejezetben történik.

5.5.1 A modell

A modellben feltesszük, hogy az emberek csak sajátcsoport partnerekkel kooperálnak. Amennyiben mindössze egy társas csoport található az adott közösségben, akkor az együttműködés teljes abban az értelemben, hogy sajátcsoport torzítás mindenkire alkalmazott, senki sem marad ki belőle csoporttagság okán (lásd a 7. a ábrát).

7. ábra. Társadalmi struktúra és együttműködés



Megjegyzés: Az első sorban lévő ábrák a csoporttagságot mutatják. A színes és fehér csomópontok egyéneket, illetve csoportokat jelölnek. A csoport és az egyén közötti él a csoporttagságot jelenti. A csoportok közötti él lehetséges stratégiai interakciót jelent, a kapcsolt csoportok között a kettős tagság nem megengedett. Az alsó gráfok a felső gráfok egyéni projekciós gráfjai, egy él két egyed együttműködését jelzi. (a) Egy csoport, minden egyed ugyanannak a csoportnak a tagja, a projekciós gráf teljes, azaz mindenki mindenkivel együttműködik. (b) Két csoport, kettős tagság nem megengedett, a projekciós gráf nem összefüggő. (c) Két csoport, kettős tagság megengedett, a projekciós gráf össze van kötve. (d) Három csoport, a kettős tagság részben megengedett, a projekciós gráf összefüggő. Forrás: saját szerkesztés.

Azonban, ha kettő vagy akár több csoport is van, előfordulhat, hogy az adott egyén mindössze az egyiknek a tagja. Ebben az esetben nem fog együttműködni a másik csoport tagjaival, a közösség pedig emiatt fragmentált lesz (lásd a 7.b ábrát). A probléma megoldható, ha lehetőségessé válik az egyének számára, hogy mindkét csoporthoz csatlakozzanak, ezáltal kooperáció mindkét csoport tagjaival megvalósulhat (7. c ábra). Ezt a társadalmi struktúrát bipartit gráffal lehet megragadni, ahol is két típusú csúcs található: az egyik reprezentálja az egyéneket (a színezett csúcsok az ábrán), a másik pedig a csoportokat (fehér csúcsok), a közöttük levő él az egyén csoporttagságát fejezi ki. Az így konstruált gráfnak az egyénekre vett projekciója mutatja meg az együttműködési, kooperációs hálózatot. Azaz, a gráf projekciója az eredeti gráfból származtatott, mégpedig oly módon, hogy a projekcióban a csúcsok az egyéneket mutatják, a közöttük levő él pedig azt jelenti, hogy van olyan csoport, amelynek mindkettő a tagjai (ezt mutatják az 7. ábrán a második sorban látható gráfok), ezáltal közöttük az együttműködésnek nincs akadálya. A projekciót vizsgálva a széttöredezett társadalom könnyedén megjeleníthető válik, nevezetesen az a gráf, amelyik nem összefüggő (7. b ábra); vannak olyan részközösségek, amelyeknek egyáltalán nincsenek kapcsolatai a gráf és ezáltal a társadalom többi részéhez.

Amit vizsgálni szeretnénk, az, hogy ilyen modellfeltevések mellett a projektív gráf, illetve annak a legnagyobb összefüggő komponense miképpen alakul az időben és annak mérete (a csúcsok száma) hogyan viszonyul a teljes népességhez. A modellünkben tehát legyen n egyén

és m csoport, melyek száma a szimuláció során nem változik. Az egyének rendelkeznek valamekkora kezdeti erőforrással, r . Az erőforrás egy része véletlenszerűen az egyik csoporthoz allokálódik (r/k , $k > 0$), kifejezve a csoporttagságot, amely az egyén részéről idő és egyéb ráfordítást igényel). Ugyanez a folyamat megismétlődik, amíg az egyén összes erőforrása szétosztásra kerül a csoportok között, melyeknek a tagja. A ciklus során előfordulhat, hogy az egyén már tagja egy csoportnak (az erőforrásai egy részét már „odaadta” a csoportnak), csatlakozna egy másikhoz is. Ezt stratégiai helyzetnek tekintjük a két csoport szempontjából: együttműködés a két csoport között azt jelenti, hogy a csoport engedi a tagjainak, hogy csatlakozzanak másik csoporthoz is, az együttműködés megtagadása (defection) ennek a megtiltását fejezi ki. Egészen pontosan az együttműködés megtagadása csoportok esetében úgy mutatkozik meg, hogy a csoporton belül vannak olyan normák, írott és íratlan szabályok, amelyek implicit vagy explicit módon korlátozzák az egyént, a csoport tagját, hogy a másik csoporthoz csatlakozzon. Például, a Borussia Dortmund és a Bayern München futball csapatok szurkolói nem támogatják a rivális csapatot, a közösség normáiban, íratlan szabályaiban ez implicit módon kódolva van. Egy másik példa lehet kettős állampolgárság intézménye: az első állampolgárság megszerzése rendszerint egyszerű, szinte automatikus, ellenben a második (illetve az esetlegesen azt követőek) rendszerint feltételhez kötöttek: igényelni kell, az igénylőnek pedig bizonyos kritériumokat teljesítenie kell, sőt, bizonyos országok egyáltalán nem ismerik el a kettősállampolgárság intézményét. Felmerül a kérdés, hogy miért léteznek ilyen normák, szabályok és megkötések? Amikor az egyén kettő vagy több csoport tagjává válik, a rendelkezésre álló erőforrásait meg kell osztania a csoportok között. Ha a csoport korlátozza a tagjai multi csoporttagságát, fennáll az esélye, hogy az egyén a többi erőforrását is az adott csoporthoz allokálja. In concreto, a modellben amikor az egyén csatlakozik két olyan csoporthoz, amelyek között együttműködés van vis-à-vis, az egyén mindkét csoportnak a tagja marad. Ha az egyik csoport megtagadja az együttműködést, az egyén visszavonja az erőforrásait a másik csoportból (r/k) és azt véletlenszerűen reallokálja egy újabb csoporthoz, m csoport esetén tehát $1/m$ valószínűséggel a kérdéses erőforrás az együttműködést megtagadóhoz kerül vissza. Amennyiben mindkét csoport megtagadja az együttműködést, akkor az egyén véletlenszerűen az egyik csoporttól vonja vissza a dedikált erőforrást és kerül ismét csak véletlenszerűen egy másik csoporthoz. A stratégiai helyzet pontos kifizetési mátrixa a 7. táblázatban látható.

7. Táblázat. Kifizetési mátrix két csoport között (sorjátékos perspektíva).

| | | |
|----------|------------------|---|
| | C | D |
| C | 0 | $-r/k$ |
| D | $1/m \times r/k$ | $-1/2 \times r/k + 1/2 \times 1/m \times r/k$ |

Kifizetési mátrix két csoport között (sorjátékos perspektíva). Az r , m és k karakterek jelölik rendre az egyén teljes erőforrását, a modellben szereplő csoportok számát, illetve egy konstans ($k > 0$). Ha mindkét csoport együttműködik, az egyén mindkét csoport tagja marad (CC). Amikor egy egy együttműködő és nem-együttműködő került stratégiai interakcióba, az egyén elhagyja az előbbi csoportot, és erőforrása véletlenszerűen egy új csoporthoz kerül (CD és DC). A kooperáció mindkét csoport általi tiltása esetén az egyén véletlenszerűen elhagyja az egyik csoportot, és erőforrása véletlenszerűen egy új csoportba kerül át (DD). Forrás: saját szerkesztés.

Hogy biztosítva legyen valamifajta dinamika modellben, minden egyén erőforrásainak egy része átlagosan 10 periódusonként újraallokálásra kerül. Az evolúciósan stabil stratégia a DD, vagyis a stratégiai helyzetben levő mindkét csoport megtiltja a csoporttagjai számára a duális csoporttagságot. A kiinduló bipartit gráfban ezt úgy tudjuk szemléltetni, hogy éleket engedélyezünk a csoportokat reprezentáló csúcsok között is, amely a lehetséges stratégiai interakciót reprezentálja a két csoport között, vagyis ekkor a csoportok kialakíthatnak olyan normákat és szabályokat, amelyek duális csoporttagságra vonatkoznak. Két csoport közötti él hiánya azt mutatja, hogy az adott csoportok nem „látják” egymást, nem kerülnek stratégiai szituációba egymással. Más szavakkal, ez azt jelenti, hogy az egyén két ilyen csoporthoz csatlakozva (amelyek között nincs él a gráfban), mindkét csoporttagságát megtartja. A lehetséges ok erre lehet az, hogy a kérdéses csoportok újak vagy nem elég népesek, és nem volt még ideje ilyen normák kialakítására és elterjesztésére. A csoportokat jelentő csúcsok között értelmezett teljes gráf topológia (az a szituáció, amikor van él minden csúcs között) azt jelenti, hogy az adott társadalomban minden egyes csoport kialakíthat és fenntarthat normákat vis-à-vis minden egyes másik csoporttal szemben. Ebben az esetben az evolúciósan stabil stratégia könnyedén elterjed, vagyis minden egyes csoport a társadalmon belül korlátozni fogja tagjait a multicsoporttagságot illetően. Következésképpen a társadalmi struktúra fragmentált lesz, a gráf projekciója, vagyis a kooperációs hálózat nem lesz összefüggő, minden egyén pontosan egy csoportnak lesz a tagja, a különböző csoportok tagjai nem fognak együttműködni egymással (7.b ábra). A csoportok közötti teljes gráf struktúra egy igen merev kasztrendszerként értelmezhető.

Összehasonlítóképpen, a teljes gráf topológia mellett a csillag és skálafüggetlen topológia hatása is megvizsgálásra került. Ahogy arról korábban szó volt, a skálafüggetlen hálózatok számos valós, komplex hálózatban megtalálhatók, lényegében azt jelenti, hogy a legtöbb csúcsnak relatíve kevés kapcsolata van, azonban van néhány rendkívül sok kapcsolattal rendelkező is. A csillag topológia esetén a gráfban van egy központi csúcs, minden másik csúcs pedig kizárólag ehhez kapcsolódik. Ez olyan helyzetet reprezentálna, amikor minden egyes csoport ugyanazzal az egy adott csoporttal kerülhetne stratégia helyzetbe (ez a központi csúcs), de ezt leszámítva az egyének multicsoporttagsága nem kerül korlátozásra. A csillag topológia olyan társadalmi struktúraként gondolhatunk, ahol minden kisebb nagyobb közösség ugyanazzal az egy csoporttal szemben határozza meg saját magát.

5.5.2 Módszertan

Formálisan a modell egy rendezett négyes, azaz, $M = (I, G, J, T)$, ahol

I az egyének halmaza,

G a csoportok halmaza,

J egy halmaza az (i, j) pároknak, ahol $i \in I$ and $j \in G$,

T egy halmaza az (x, y) pároknak, ahol $x, y \in G$.

G és T rendre a csoporttagságot és a csoportközi topológiát fejezi. Ha $(a, b) \in T$ akkor a és b között stratégiai interakció alakul ki, vagyis az 7. Táblázatban szereplő kifizetési mátrixszal jellemezhető játékot írja le az interakciót. A j . csoport által követett stratégia egy valószínűségi változó alapján kerül meghatározásra, p_j , ahol kezdetben $p_j \sim U(0,1)$. Ez azt fejezi ki, hogy az adott csoport milyen valószínűséggel fog együttműködni, vagyis engedni azt, hogy a tagjai csatlakozzanak a másik csoporthoz is. A szelekciós mechanizmus csonkolásos szelekció, vagyis a legrosszabbul teljesítő tíz százalék (teljes erőforrásban kifejezve) lemásolja a legjobban teljesítő tíz százalék p értékét (De Jong 2006).

Az egyének projekciója a gráf $P = (I, E)$, ahol

I az egyének halmaza,

E az (m, n) párok halmaza, ahol $m, n \in I$. $(m, n) \in E \Leftrightarrow \exists g \in G$ úgy, hogy (m, g) és $(n, g) \in J$.

Szavakkal kifejezve, a P gráfban él van két egyén között, ha mindketten tagjai ugyanannak a csoportnak, csoportoknak.

Csillag topológia: $\exists x_0 \in G$, úgy, hogy $\forall y \in G (x_0, y) \in T$ és $\forall (x, y)$, ahol $x \neq x_0$ and $y \neq x_0$ ($x, y) \notin T$.

Skálafüggetlen topológia: ekkor a gráf fokszámeloszlása a következő módon adott

$$P(k) \sim k^{-3},$$

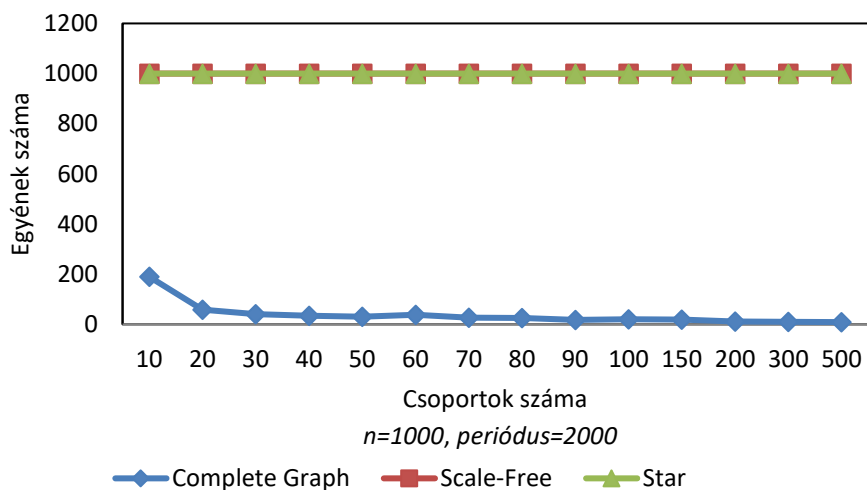
ahol k a kapcsolatok száma. Az egyenlet azt fejezi ki, hogy annak a valószínűsége, hogy egy véletlenszerűen kiválasztott csomópontnak k kapcsolata van, aszimptotikusan k^{-3} .

A skálafüggetlen topológia a Barabási-Albert algoritmus segítségével került kialakításra (Barabási and Albert 1999), a legnagyobb összefüggő komponens számítása mélységi keresés gráfalgoritmussal történt. Az ágens-alapú modell implementálása Java programozási nyelven történt.

5.5.3 Eredmények

Számítógépes szimuláció került alkalmazásra, hogy betekintést nyerjünk a modell empirikus viselkedésébe, az eredmények az 8. ábrán láthatóak. A vizsgálódásunk szempontjából a legfontosabb attribútum a legnagyobb komponens mérete az egyének projekció gráfján belül. A legnagyobb komponens nem más, mint a legnagyobb összefüggő részgráf a teljes hálózaton belül, vagyis a legnépesebb azon csoport, amelyek között van együttműködés, közvetlenül vagy közvetett módon (vagy is a részgráf bármely két csúcsa között van út). A legnagyobb komponens méretét különböző csoportszám, m mellett is vizsgáltam. A teljes gráf topológia esetén a legnagyobb összefüggő komponens mérete egyre kisebb lett, ahogy az m növekedett, vagyis a teljes társadalom kicsi, zárt, nagyjából ugyanolyan népes közösségekből épül fel, amelyek tagja nem működnek együtt egymással. A másik két konfiguráció esetén azonban a legnagyobb komponens az egész társadalmat lefedi. Fontos hangsúlyozni, hogy az evolúciósan stabil stratégia ezekben az esetekben is elterjed a csoportok között, azaz ahol lesz stratégiai interakcióba csoportok között, úgy itt is tiltólag lépnek fel a csoporttagság megosztásával szemben, azonban azáltal, hogy nem minden csoport lép ilyen interakcióba, a csoportok nem korlátozzák teljeskörűen az egyének csoportválasztási lehetőségeit. Ezért könnyedén kialakulhatnak olyan helyzetek, amelyben két egyén két olyan különböző csoportnak a tagjai, amelyek tiltják a másik csoporthoz való csatlakozást, de ugyanakkor mindkét egyén tagja egy harmadik csoportnak, amellyel szemben nincsenek ilyen korlátozások egyik csoport részéről sem, ami pedig lehetővé teszi az együttműködést kettejük között. Egy ilyen szituáció van illusztrálva a 7. d. ábrán.

8. ábra. A legnagyobb összefüggő komponens mérete az egyéni projekciós gráfban.



A legnagyobb összefüggő komponens mérete az egyéni projekciós gráfban. A grafikon a szimulációs eredményeket mutatja különböző csoportközi topológiával (teljes gráf, skálamentes és csillag topológia) különböző m (csoportszám) értékek mellett. Az n és $periódus$ paraméterek az egyének számát, illetve a szimuláció hosszát adják meg. Forrás: saját szerkesztés.

5.5.4 Következtetés

A sajátcsoport torzítás egyaránt elősegítheti és akadályozhatja az együttműködést. Konfliktus kutatók, szociál pszichológusok eredményei szerint antagonista csoportok között problémák egyik megoldási módja lehet az új, közös identitás létrehozása (Dovidio - Gaertner 2010; Fry 2006; Fry 2012) amely mintegy ernyőként szolgálhat, és a sajátcsoport torzítás ezáltal kiterjeszhető a korábbi külső csoport tagjaira is. Történészek dokumentáltak számtalan példát, amikor különböző csoportok, törzsek szövetséget hoztak létre egy új név alatt valamely közös cél elérése érdekében (például földterület szerzése, közös ellenséggel szembeni védekezés), és amelyet követően az eredeti csoportidentitás elhalványult (Gat - Yakobson 2013; Turchin 2007). Például tekintsük a legnagyobb germán törzset, a frankokat. A név Franci először körülbelül i.sz. 250-ben jelenik, amely egy laza harcos konföderációt jelentett számos kisebb törzs részvételével. Kezdetben a frankok védekező és támadó hadműveleteket hajtottak közösen végre Gallia területén, majd később Európa egyik legmeghatározóbb birodalmát hozták létre. A frankokat alkotó törzsek eredeti identitása még évszázadokon keresztül megőrződött, azonban idővel a frank identitás háttérbe szorította azokat és végül szinte teljesen eltűntek (Geary 1988; Todd 2004). Lényegében az történt, hogy a törzsek egy új csoportot hoztak létre (frank), amely lehetővé tette, hogy megtartsák az eredeti törzsi csoporttagságot, és mégis együttműködjenek egy magasabb szinten. Az eredmények alátámasztják, illetve magyarázzal is szolgálnak az ilyen megfigyelésekre,

illetve kiemelik, hogy az egyén azon képessége, amely következtében képes csatlakozni és internalizálni a normáit több társas csoportnak, kulcsfontosságú a nagyléptékű kooperáció fenntartása érdekében.

5.6 Összegzés

Jelen fejezetben az ágens-alapú modellezési eljárást mutattam be, összevettem azt az egyenlet-alapú megközelítéssel, kitértem a tudományfilozófiai és módszertani kérdésekre és egy konkrét modellen keresztül a komplex hálózatok reprezentálására példát is szolgáltattam. A fejezet egyik legfőbb megállapítása, hogy bizonyos esetekben az ágens-alapú modellek használata természetesebb, a vizsgált jelenséget jobban meg tudják ragadni, mint az alternatív megközelítések, például az egyenlet-alapú modellek. A bemutatott ABM segítségével megállapítottam, hogy az egyének azon képessége, hogy egynél több társadalmi csoporthoz csatlakozzanak, kulcsfontosságú a nagy populációk közötti együttműködés fenntartásához. A társadalmi csoportok közötti versengés az egyének erőforrásaiért káros hatással lehet a teljes populáció szintű, nagyléptékű együttműködésre, és erre a problémára az egyik orvosság lehet az átkategorizálás vagyis új, a teljes populációt átfogó csoportok létrehozása. **Az eredmények fényében nem tudom elvetni a 4. hipotézisem.**

6. Záró gondolatok

A dolgozatban négy hipotézist fogalmaztam meg.

1. hipotézis: A reprezentáció egy jel, amely stipulációval jön létre a létrehozó szándékai szerint, a tudományos reprezentáció pedig egy reprezentáció, amely tudományos modellnek tekinthető, azáltal, ha a tudományos közösség azt használja, elfogadja, elismeri.

A dolgozat 2. fejezetének szakirodalmi áttekintése, illetve a dolgozat további 3 fejezetének eredményei alapján **nem tudom elvetni az 1. hipotézisem.**

2. hipotézis. A pénzügyi idősorok esetében a mintavételezés módja befolyásolja a kapott adatsorok sztochasztikus tulajdonságait.

A dolgozat 3. fejezetében, pénzügyi idősorokon használatával, alternatív módokon előállított adatsorokat használva, a létrehozott adatok statisztikai tulajdonságainak vizsgálatával levont következtetések alapján **nem tudom elvetni a 2. hipotézisem.** Ez azt is jelenti, hogy nincs „tiszta adat”, és ezt az empirikus kutatások eredményeinek interpretálása során mindenképpen érdemes figyelembe venni, észben tartani.

3. hipotézis: A gyermek részben pozicionális jószág, és emiatt a társadalmi környezettől függően a jövedelemnek negatív hatása lehet a fertilitásra.

A 4. fejezetben bemutott mikroökonómiai, nemlinearáris programozást alkalmazó egyenlet-alapú modell került bevezetésre, amely lehetővé teszi a pozicionális megfontolások formális megragadását. Ez alapján **nem tudom elvetni a 3. hipotézisem.**

4. hipotézis. Az egyének azon képessége, hogy egynél több társadalmi csoporthoz csatlakozzanak, kulcsfontosságú a nagyléptékű együttműködés fenntartásához.

A hipotézis tesztelése a dolgozat 5. fejezetben bemutatott ágens-alapú modell segítségével történt és rámutat arra, hogy a társadalmi csoportok közötti versengés az egyének erőforrásaiért káros hatással lehet a teljes populáció szintű, nagyléptékű kooperációra, és erre a problémára az egyik orvosság lehet az átkategorizálás vagy új, a teljes populációt átfogó csoportok létrehozása. **A modell eredményei alapján nem tudom elvetni a 4. hipotézisem.**

A dolgozatban igyekeztem a legfontosabb közgazdasági modellezési eljárásokat, illetve a kapcsolódó módszertani, filozófiai problémákat bemutatni, és négy kapcsolódó hipotézist fogalmaztam meg, melyeket igyekeztem alátámasztani. A második fejezetben, a modellezés episztemológiai bizonytalanságai miatt is amellett érveltem, hogy a priori nehéz különböző modellek, modellezési módszertanok megfelelőségét eldönteni. A tudományos közösségnek emiatt nyitottnak kell lennie az alternatív, vagy egymást kiegészítő modellekre. Mindezt itt egy újabb szemponttal egészítem ki.

Az alternatív, egymás mellett „élő” modellezési megközelítések révén lehetséges reprezentációs diverzitást elérni. Utóbbi fogalom esetünkben arra vonatkozik, hogy egy adott jelenségeknek több nyelvi, matematikai leképezése is lehetséges, sőt adott esetben kívánatos, ugyanis bizonyos kérdések könnyen megválaszolhatók és nyilvánvalóak az egyik reprezentációt használva, míg nagyon bonyolultak és nem intuitívak a másikat használva. Page (2011) példáját használva tekintsük a következő számsorozatot: 11, 22, 33, 110. Valószínűleg az ötödik tag megállapítása nem magától értetődik, azonban, ha az alábbi számsorozatot vizsgáljuk, 5, 10, 15, 20, akkor könnyen adódik a megoldás, azaz 25. Az első és a második számsorozat ugyanazokat a számokat jelöli, csak az első esetben négyes alapú számrendszerben reprezentáltuk a számokat, a második esetben pedig a hagyományos tízes alapúban, ennek megfelelően az eredeti megoldás 121. Pragmatikus szempontok alapján tehát azt mondhatjuk, hogy bizonyos reprezentációkkal könnyebb dolgozni.

A diverz modellezési „ökoszisztéma” a paradigmát is ellenállóbbá, robusztusabbá teszi a nemvárt jelenségekkel, megfigyelésekkel szemben, a tudomány által magyarázott jelenségek köre kisebb tranzakciós költségek mellett (vagyis a paradigmán belül) bővíthető.⁷⁶

Ahogy korábban is említésre került, az antropológusok és kulturális evolúcióval foglalkozó kutatók Edward Tylor óta kultúra alatt lényegében minden olyan információt értenek, ami emberek között adódhat át tanulás, imitáció, emuláció vagy egyéb módon (lásd például Richerson - Boyd 2005, Hopitt - Laland, 2013). Elfogadván ezt a definíciót, kijelenthetjük, hogy a tudomány művelői hivatásszerűen állítanak elő kulturális tartalmakat, a módszertani viták, javaslatok pedig a megfelelő szelekciós mechanizmus megtalálására

⁷⁶ A klasszikus mechanikában egy makroszkopikus rendszert három különböző formalizmus segítségével is leírhatunk: ezek a Newton, Lagrange és Hamilton-féle mechanika. Mind a három reprezentáció rendelkezik előnyökkel és hátrányokkal, ezért különböző szituációkban más-más formalizmus használata az előnyösebb. (Schwichtenberg 2017).

irányulnak. Amennyiben a végső, abszolút tudás elérhetlenségére vonatkozó szkeptikus érveket figyelmen kívül lehetne hagyni, akkor reménykedhetnénk, hogy a tapasztalati tudományok biztos, megfellebbezhetetlen ismeretekhez segítenek hozzá és végső soron lehetséges lenne az episztemológiai értelemben vett *igaz* és *hamis* állítások megkülönböztetése. A helyzet azonban nem ez, ezért a módszertani szabályok, intézmények óhatatlanul konszenzuális jellegűek, közösség által alkotottak. És mint ilyenek, igazak rájuk, hogy nincsenek kőbe vésve, változtathatók, adott esetben korlátjai lehetnek a közösség együttműködésének, vagy, ahogy Peter Berger és Thomas Luckmann fogalmazzák úttörő tudásszociológiai munkájukban: „a társadalmi világ semminemű olyan ontológiai státuszt nem nyer, amely az őt létrehozó emberi tevékenységtől független lenne” (Berger - Luckmann, 1998, 90. o.).

Felhasznált Irodalom

- Acemoglu, D. (2009). *Introduction to Modern Economic Growth*. Princeton University Press, Princeton.
- Aldrichy, E. M. – Heckenbachz, I. – Laughlin, G. (2016). A Compound Duration Model for High-Frequency Asset Returns. *Journal of Empirical Finance Volume 39* 105-128. old.
- Anderson, B. 2016. *Imagined Communities: Reflections on the Origin and Spread of Nationalism*. London: Verso.
- Ané, T. – German, H. (2000): Order Flow, Transaction Clock, and Normality of Asset Returns. *The Journal of Finance* 55. évf. 5. szám 2259-2284. old.
- Bailor-Jones, D. (2009). *Scientific Models in Philosophy of Science*. University of Pittsburgh Press
- Backhouse, R. (2012): The Rise and Fall of Popper and Lakatos in Economics. In: Mäki, U. (ed.) *The Philosophy of Economics*. Elsevier, Amsterdam. pp. 25-48.
- Barabási, A.-L. (2003). Behálózva: A Hálózatok Új Tudománya. Helikon Kiadó, Budapest.
- Barabási, Albert-László (2016). *Network Science*. Cambridge University Press
- Barabási, A.-L., R. Albert. (1999). Emergence of scale free networks. *Science* 286:509-512.
- Barabási, A.-L., Bonabeau, E. (2003). Scale-Free Networks. *Scientific American* (288), 50-59.
- Baumeister, R. F., M. R. Leary (1995). The need to belong: Desire for interpersonal attachment as a fundamental human motivation. *Psychol. Bull.* 117:497–529.
- Beal Cohen, A.A., Muneeppeerakul, R., Kiker, G. (2021). Intra-group decision-making in agent-based models. *Sci Rep* 11, 17709 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96661-5>
- Becker, G. S. (1960). An economic analysis of fertility. In: *Demographic and economic change in developed countries*, no. 11 in Universities—National Bureau Conference Series, ed. Universities National Bureau Committee for Economic Research, 225– 56. Princeton, NJ: Princeton University Press
- Ben-Ari, M. (2012). *Mathematical Logic for Computer Science*. Springer-Verlag, London.
- Berger, P. L. – Luckmann, T. (1998): A valóság társadalmi felépítése: tudásszociológiai értekezés. Jószöveg Műhely, Budapest. Fordította: Tomka Miklós.

- Berk, J. B. (1997): Necessary Conditions for the CAPM. *Journal of Economic Theory* 73 évf., 245-257. old.
- Blanc, G. (2023). The Cultural Origins of the Demographic Transition in France. SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3702670> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3702670>
- Blaug, M. (1992): *The Methodology Of Economics: Or How Economists Explain*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Boehm, C. (2001). *Hierarchy in the Forest: The Evolution of Egalitarian Behavior*. Harvard University Press, New York.
- Boldrin, M., De Nardi, M., Jones, L. E. (2015). Michele Boldrin, Mariacristina De Nardi and Larry E. Jones. *Journal of Demographic Economics* 81 (3) p. 261-299.
- Bogen, J., Woodward, J. (1988). Saving the Phenomena. *The Philosophical Review*, 97(3), 303–352. <https://doi.org/10.2307/2185445>
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceeding of the National Academy of Sciences* , 99 p. 7280-7287.
- Bowles, S., H. Gintis. 2011. *A Cooperative Species: Human Reciprocity and Its Evolution*. Princeton University Press, Princeton.
- Boyd, R., Richerson P. J., Henrich, J. (2013). The Cultural Evolution of Technology. In *Cultural Evolution – Society, Technology, Language and Religion*. Richerson, P. J. Christiansen, M. H. (eds.). Strüngmann Forum Reports, MIT Press Cambridge, MA.
- Brada, J. C. – Ernst, H. – Tassel, J. V. (1966). The distribution of stock price differences: Gaussian after all? *Operations Research* 14. évf. 2. sz. 334-340. old.
- Brewer, M. B. “Reducing prejudice through cross-categorization: Effects of multiple social identities” in *Reducing prejudice and discrimination*, S. Oskamp. Eds. (Lawrence Erlbaum Assoc. Publ., 2000) chap. pp. 165-183.
- Bruner, J. (2005): *Valóságos elmék, lehetséges világok*. Új Mandátum Kiadó, Budapest.
- Burgess, A. G. - Burgess, J. P. (2014) *Truth (Princeton Foundations of Contemporary Philosophy)*. Princeton University Press, Princeton.
- Caballero, Ricardo J. Macroeconomics after the Crisis: Time to Deal with the Pretense of Knowledge Syndrome. NBER Working Paper, No. 16429.

- Callender, C., Cohen, J. (2006). There Is No Special Problem About Scientific Representation. *Theoria*, 21 (1), 67–85.
- Campbell, J. Y., Lo, A., W., MacKinlay, C. A. (1997): *The Econometrics of Financial Markets*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Carnap, R. (1932): A metafizika kiküszöbölése a nyelv logikai elemzésén keresztül. Fordította: *Altrichter Ferenc*.
- Carey, John (2005). *What good are the arts?* Faber and Faber, London.
- Cartwright, N. (1999). Models and the limits of theory: quantum Hamiltonians and the BCS models of superconductivity. In: *Models As Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Morgan, M., Morrison, M. (eds). Cambridge University Press, New York.
- Casti, J. L. (1994). *Complexification*. Harper Collins, New York.
- Casti, J. L. (2002). The Simply Complex. *Complexity*, 4 (4).
- Casti, J. L. (1998). *Would-Be Worlds: How Simulation Is Changing the World of Science*. Wiley, New York.
- Chaisson, E. J. (2001). *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*. Harvard University Press.
- Chandler, D. (2007). *Semiotics: The Basics*. Routledge, New York.
- Choi, J.-K., & Bowles, S. (2007). The coevolution of parochial altruism and war. *Science*, 318(5850), 636–640. <https://doi.org/10.1126/science.1144237>
- Christoffersen, P. F. (2012). *Elements of Financial Risk Management*. Elsevier, New York.
- Chudek, M., J. Henrich. 2011. Culture–gene coevolution, norm-psychology and the emergence of human prosociality. *Trends in Cognitive Sciences*. 15:218–226.
- Churchland, P. (1995). *The engine of reason, the Seat of the Soul: A Philosophical Journey into the Brain*. MIT Press
- Cialdini, R. B. & Trost, M. R. “Social influence: Social norms, conformity and compliance” in *The handbook of social psychology*. D. T. Gilbert, S. T. Fiske G. Lindzey. Eds. (McGraw-Hill, 1998) vol. 1. pp. 151-192.
- Cikara, M., J. J. Van Bavel, J. J. 2014. The Neuroscience of Intergroup Relations: An Integrative Review. *Perspectives on Psychological Sciences* 9:245-274.

- Cigno, A. (1993). Intergenerational transfers without altruism: Family, market and state. *European Journal of Political Economy* (4) p. 505-518.
- Clark, A. (2019). *Surfing Uncertainty: Prediction, Action, and the Embodied Mind*. Oxford University Press, London.
- Clark, P. C. (1973): A Subordinated Stochastic Process Model with Finite Variance for Speculative Prices. *Econometrica* 41. évf. 1. sz. 135-155. old.
- Cochrane, S. H. (1975). Children as By-Products, Investment Goods and Consumer Goods: A Review of Some Micro-Economics Models of Fertility. *Population Studies*, 29 (3).
- Colander, D. (2009). Moving Beyond the Rhetoric of Pluralism: Suggestions for an „Inside-the-Mainstream” Heterodoxy. *Middlebury College Economics Discussion Paper* no 09-15.
- Colander, D. – Kupers, R. (2014). *Complexity And The Art Of Public Policy - Solving Society's Problems From The Bottom Up*. Princeton University Press, Oxford.
- Colleran, H. (2016). The cultural evolution of fertility decline. *Philosophical Transactions Royal Society B* 371 p. 1-12.
- Contessa, G. (2007). Scientific Representation, Interpretation, and Surrogate reasoning. *Philosophy of Science* 74 p. 48-68.
- Da Costa, N. C. A., French, S. (2003). *Science and Partial Truth: A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning*. Oxford University Press, New York.
- Damasio, A. (2014): *Self Comes To Mind – Constructing The Conscious Brain*. Pantheon Book, New York.
- Darley, J. M. (2008). Social comparison motives in ongoing groups. In *Blackwell Handbook of Social Psychology: Group Processes*. M. A. Hogg, R. S. Tindale. Eds. (Blackwell, 2008) chap. 14. pp. 281–297.
- Davies, N., Krebs, J. R., West, S. A. (2012). *An Introduction to Behavioural Ecology*. Wiley-Blackwell.
- Davis, G. F., Yoo, M., Baker, W. E. (2003). The small world of the American corporate elite, 1982-2001. *Strategic Organization*, I (3), 301-326.
- De Bruijn (2006). Fertility: Theories, Frameworks, Models, Concepts. In: *Demography: Analysis and Synthesis* (szerk: Caselli, G., Jacques Vallin, J., Wunsch, G.). Academic Press
- De La Croix, D., Doepke, M. (2009). To Segregate or to Integrate: Education Politics and Democracy *The Review of Economic Studies*, Vol 76 (2), p. 597–628, <https://doi.org/10.1111/j.1467-937X.2008.00529.x>

- Del Boca, D. – Sauer, R. (2009). Life cycle employment and fertility across institutional environments. *European Economic Review*, 53 (3) 274-292.
- Dekking, F. M., Kraaikamp, C., Lopuhaa, H. P., Meester, L.E. (2005). *A Modern Introduction to Probability and Statistics*. Springer, London.
- Dennett, D. (2017). *From Bacteria to Bach and back: The Evolution of Minds*. W. W. Norton & Company
- Deresiewicz, W. (2015). *Excellent Sheep: The Miseducation of the American Elite and the Way to a Meaningful Life*. Free Press
- DeWall, C. N., B. S. Richman. 2011. Social Exclusion and the desire to reconnect. *Social and Personal Psychology Compass* 5:919-932.
- De Jong, K. A. 2006. *Evolutionary computations - A Unified Approach*. Massachusetts: MIT Press.
- Dizadji-Bahmani, F., Frigg, R., Hartmann, S. (2010). Who's Afraid of Nagelian Reduction? *Erkenntnis* 73 (3), pp. 393–412 <https://doi.org/10.1007/s10670-010-9239-x>
- Dhami, S. (2017). *Foundations of Behavioral Economic Analysis*. Oxford University Press, New York.
- Donald, M. (2001): Az emberi gondolkodás eredete. Osiris Kiadó, Budapest. Fordította: Kárpáti Eszter.
- Dovidio, J. F., S. L. Gaertner. 2010. "Intergroup Bias" in *Handbook of Social Psychology*, S. Fiske, D. T. Gilbert, G. Lindzey. Eds. (Wiley, 2010), vol. 2. chap. 29. pp. 1084-1121.
- Dunbar, R. I., S. Shultz. 2007. Evolution in the Social Brain. *Science*. 317: 1344–1347.
- Dunbar, K. (1995). How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories. In: R. J. Sternberg and J. E. Davidson (szerk.). *The nature of insight*. Cambridge, MIT Press, p. 365–395.
- Easley - Lopez De Prado, M. – O'Hara, M. (2012): The Volume Clock: Insights into the High Frequency Paradigm. *The Journal of Portfolio Management*, (Fall, 2012 Johnson School Research Paper Series No. 9.
- Efferson, C., R. Lalive, E. Fehr. 2008. The coevolution of cultural groups and ingroup favoritism. *Science* 321:1844-1849.
- Eisenberger, N. I., M. D. Lieberman, K. D. Williams. (2003). Does rejection hurt? An fMRI study of social exclusion. *Science* 302:290-292.

- Epstein, J. M. (1999). Agent-Based Computational Models And generative Social Science. *Complexity*, 1, 41-60.
- Érdi, P. (2008). *Complexity explained*. Springer, Berlin.
- Everett, J. A. C., N. S. Faber, M. Crockett. 2015. Preferences and beliefs in ingroup favoritism. *Frontiers in Behavioral Neuroscience* 9:
- Farkas Beáta (2021). *A közgazdasági gondolkodás rövid története*. Akadémiai kiadó, Budapest.
- Farmer, D. J., Foley, D. (2009). The economy needs agent-based modelling. *Nature*, 460, 685-686.
- Ferguson, J. (1985). *The Religions of the Roman Empire (Aspects of Greek and Roman Life)*. Cornell University Press, Ithaca.
- Ferrari, M. (2002). Sources for the History of the Concept of Symbol from Leibniz to Cassirer.
- Feltovich, N. (2000). Reinforcement-Based vs. Belief-Based Learning Models in Experimental Asymmetric-Information Games . *Econometrica* , 68 (3), 605-641.
- Feyerabend, P. (2002). *A módszer ellen*. Atlantisz Könyvkiadó, Budapest.
- Fiske, A. P. (1992). The four elementary forms of sociality: Framework for a unified theory of social relations. *Psychological Review* 99: p. 689 – 723.
- Floridi, L. (2019). Semantic Conceptions of Information. The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2019/entries/information-semantic/>>.
- Foster, J. (2004). *Why is Economics Not a Complex Science*. University of Queensland.
- Francesconi, M. (2002). A Joint Dynamic Model of Fertility and Work of Married Women. *Journal of Labor Economics* 20 (2) p. 336-380.
- Frank, R. H. (2011). *The Darwin Economy: Liberty, Competition, and the Common Good*. Princeton University Press, Princeton.
- Frank, R. H. (2005). Positional Externalities Cause Large and Preventable Welfare Losses, *American Economic Review*, 95(2), p. 137-141.
- Frank, R. H. Thomas Gilovich and Dennis T. Regan (1993). Does Studying Economics Inhibit Cooperation? *The Journal of Economic Perspectives*, 7 (2) pp. 159-171.
- Friedman, M. (1953). *Essays in Positive Economics*. University of Chicago Press, Chicago.
- Frigg, R. (2006). Scientific Representation and The Semantic View of Theories. *Theoria* 55 p. 49-65.

- Frigg, R., Nguyen, J. (2016). „Scientific Representation" in The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/scientific-representation/>>.
- Frigg, R., Hartmann, S. (2018) Models in Science, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2018 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2018/entries/models-science/>>.
- Frigg, R., Reiss, J. (2009). The philosophy of simulation: hot new issues or same old stew? *Synthese* 169 (3) p. 593-613.
- Fry, D. P. (2006). *Beyond War: The human potential for peace*. New York: Oxford University Press.
- Fry, D. P. (2012). Life without war. *Science* 336:879-884.
- Fu, F., C. E. Tarnita, N. A. Christakis, L. Wang, D. G. Rand, M. A. Nowak. 2012. Evolution of in-group favoritism. *Scientific Reports* 2, 460.
- Gabaix, X. (2009). Power Laws in Economics and Finance. *Annual Review of Economics*, 255-293.
- Gabaix, X., Laibson, D. (2010). The Seven Properties of Good Models. In: Caplin, A., Schotter (eds.) *The Foundations of Positive and Normative Economics – A Handbook*. Oxford University Press, New York.
- Gandal, N. Roccas, S., Sagiv, L., Wrzesniewsk, A. (2005). Personal value priorities of economists. *Human Relations*. 58 (10)
- Gardner, W. L., C. L. Pickett, M. B. Brewer. (2000). Social exclusion and selective memory: How the need to belong influences memory for social events. *Personal and Social Psychological Bulletin* 26:486–496.
- Gat, A., A. Yakobson. (2013). *Nations - The Long History and Deep Roots of Political Ethnicity and Nationalism*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Geary, P. J. (1988). *Before France and Germany: The Creation and Transformation of the Merovingian World*. New York: Oxford University Press.
- Gell-Mann, M. (1994). *The Quark and the Jaguar*. W.H. Freeman and Company, New York.
- Gerlach, P. (2017) The games economists play: Why economics students behave more selfishly than other students. *PLoS One*. 2017; 12(9) doi: 10.1371/journal.pone.0183814.

- Giere, R. N. (2004). *How Models Are Used to Represent Reality*. *Philosophy of Science* 71 (5) 742-752.
- Giere, R. N. (2006). *Scientific Perspectivism*. University Of Chicago Press, Chicago.
- Gilbert, N. (2008). Agent-Based Models. *Quantitative Applications in the Social Sciences* (2008).
- Godfrey-Smith, P. (2003). *Theory And Reality – An Introduction To The Philosophy Of Science*. Chicago University Press, London.
- Goldstone, J. A. (1991). *Revolution and Rebellion in the Early Modern World*. University of California Press, Berkeley, CA. <https://doi.org/10.4324/9781315408620>
- Greenwald, A. G., T. F. Pettigrew. 2014. With malice toward none and charity for some – ingroup favoritism enables discrimination. *American Psychology* 7:669-684.
- Griffiths, T. L., Kalish, M. L., Lewandowsky, S. (2008). Theoretical and empirical evidence for the impact of inductive biases on cultural evolution. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363 <http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0146>
- Gulyás – Kampis (2015). Models, Representations and Comparisons in Computer Simulations. *Procedia Computer Science*
- Hausman, D. (2008). Mindless or Mindful Economics: a Methodological Evaluation. In: *The Foundations of Positive and Normative Economics: A Handbook* (Caplin, A., Schotter, A. szerk). Oxford University Press, New York.
- Hogg, M. A., Z. P. Hohman, J. E. Rivera. (2008). Why do people join groups? Three motivational accounts from Social Psychology. *Social and Personal Psychology Compass* 2:1269-1280.
- Hogg, M. A.. “Influence and leadership” in *Handbook of Social Psychology*, S. Fiske, D. T. Gilbert, G. Lindzey. Eds. (Wiley, 2010), vol. 2. chap. 31. pp. 1166-1207.
- Holton, G. (2003). *Value at Risk: Theory and Practice*. Academic Press
- Kameda, T., M. Takezawa, R. Hastie. (2005). Where do social norms come from? The example of communal sharing. *Current Directions in Psychological Science* 14:331-334.
- Higgins, A. D., Fawcett, T. W. (2016). Equation-dense papers receive fewer citations—in physics as well as biology. *New Journal of Physics* 18, article 118003)
- Hookway, C. (2003). *Truth, Rationality, and Pragmatism: Themes from Peirce*. Oxford University Press, New York

- Hoppit, W. – Laland, K. N. (2013). *Social Learning: An Introduction to Mechanisms, Methods, and Models*. Princeton University Press, Princeton.
- Hause, S. – Maltby, W. (2004). *Western Civilization – A History Of European Society*. Wadsworth Publishing
- Hands, W (2008): Popper And Lakatos. In: Hausman, D. M. (ed.) *The Philosophy Of Economics – An Anthology*. Cambridge University Press. pp. 188-203.
- Harari, Y. N. (2014). *Sapiens - A Brief History Of Humankind*. HarperCollins Publishers, New York.
- Hempel, C. (1962). *Explanation in Science and in History* in *Frontiers of Science and Philosophy*, Robert Garland Colodney (ed.), Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press, pp. 9–33.
- Henrich, J. (2020). *The Weirdest People in the World : How the West Became Psychologically Peculiar and Particularly Prosperous*. Farrar, Straus and Giroux, New York.
- Heylighen, F. (2008). Complexity and Self-organization. In: M. J. Bates, M. N. Maack (szerk.), *Encyclopedia of Library and Information Sciences*.
- Hicks, S. (2011). Explaining Postmodernism: Skepticism and Socialism from Rousseau to Foucault
- Hill, S., Reeve, H. K. (2005). Low fertility in humans as the evolutionary outcome of snowballing resource games. *Behavioral Ecology*, 16 (2) p. 398–402,
- Hirsch, F. (1978). *Social Limits to Growth*. Routledge.
- Hodges, W. (2018). Model Theory, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2018/entries/model-theory/>>.
- Hodgson, G. (2001). *How Economics Forgot History. The Problem Of Historical Specificity In Social Science*. Routledge, London.
- Hughes, R. I.G. (1997). Models and Representation. *Philosophy of Science* 64 p 325-336.
- Hughes, R. I. G. (1989). *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Husserl, E. (2000). *Kartezianus elmélkedések – Bevezetés a fenomenológiába*. Atlantisz Könyvkiadó, Budapest. Fordította: Mezei Balázs.
- Jackendoff, R. (2002). *Foundations of Language: Brain, Meaning, Grammar, Evolution*. Oxford University Press, New York.

- James, W. (1907). Pragmatism's conception of truth. Lecture 6 in *Pragmatism: A new name for some old ways of thinking*. Longman Green and Co, New York. p.76-91.
- Jansen, S. (2020). *Machine Learning for Algorithmic Trading: Predictive models to extract signals from market and alternative data for systematic trading strategies with Python*. Packt Publishing, Birmingham, UK.
- Jaynes, E. T. (2001). *Probability Theory: The Logic of Science*. Cambridge University Press
- Johanson, D. J., Larsen, E. S. (2005). *Signs in Use – An Introduction to Semiotics*. Routledge, London.
- Jones, L. E. - Schoonbroodt, A. Tertilt, M. (2011). Fertility Theories: Can They Explain the Negative Fertility-Income Relationship? in NBER book *Demography and the Economy* ed. Shoven, J. D. p. 43 – 100. University of Chicago Press
- Jones, C. M. - Kaul, G. - Lipson, M. L. (1994). Transactions, Volume and Volatility. *Review Of Financial Studies*, 7. évf. 4. sz. <https://ssrn.com/abstract=5474>
- Jorion, P. (2006). *Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk*. McGraw-Hill, New York.
- Kenny, A. (2004): *Ancient Philosophy. A New History Of Western Philosophy Vol. 1.*, Oxford University Press, New York.
- Kenny, A. (2006): *The Rise Of Modern Philosophy. A New History Of Western Philosophy Vol. 3.*, Oxford University Press, New York.
- Kenny, A. (2007): *Philosophy In The Modern World. A New History Of Western Philosophy Vol. 4.*, Oxford University Press, New York.
- Kerr, N., J. Levine. 2008. The detection of social exclusion: Evolution and beyond. *Group Dyn-Theor Res.*, 12:39–52.
- Kirman, A. (2010). *Complex Economics: Individual and Collective Rationality (The Graz Schumpeter Lectures)*. Routledge, London.
- Kiss Gábor Dávid (2017). *Volatilitás, extrém elmozdulások és tőkepiaci fertőzések*. Jatepress, Szeged.
- Knight, F. H. (1921): *Risk, Uncertainty, and Profit*. Houghton Mifflin Co., The Riverside Press, Boston.

- Kovács, L. – Marsi, E. (szerk.) (2018). *Bankmenedzsment - banküzemtan*. Magyar Bankszövetség, Budapest.
- Kuhn, T. (2002). *A tudományos forradalmak szerkezete*. Osiris Kiadó, Budapest.
- Ladyman, J. (2001). *Understanding Philosophy of Science*. Routledge, London.
- Ladyman, J. – Lambert, J. – Wiesner, K. (2013). What is a Complex System? *European Journal for Philosophy of Science* 3 (1) p 33–67.
- Lakatos Imre (1997): *Lakatos Imre tudományfilozófiai írásai*. Atlantisz Kiadó, Budapest.
- Lawson, D. W. – Borgerhoff Mulder M (2016). The offspring quantity-quality trade off and human fertility variation. *Philosophical Transactions Royal Society B* 371.
- Leary, M. R., R. F. Baumeister. 2000. The nature and function of self - esteem: Sociometer theory. *Advances in Experimental Social Psychology* 32:1 – 62.
- Leary, M. R. “Affiliation, Acceptance, and Belonging The Pursuit of Interpersonal Connection” in *Handbook of Social Psychology*, Fiske, S., Gilbert, D. T. & Lindzey, G. Eds. (Wiley, 2010), vol.2. chap. 24. pp. 864-897.
- Legg, C., Hookway, C. (2019) "Pragmatism", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/pragmatism/>>.
- Leridon, H. (2015). the Development of fertility Theories: a Multidisciplinary Endeavour. *Population* 70 (2) p. 309-348.
- Leroy, S. F. (1989). Efficient capital Markets and Martingales. *Journal of Economic Literature* 26. évf. 12. sz. 1583-1621. old.
- Long Wang, Deepak Malhotra, and J. Keith Murnighan (2011). Economics Education and Greed. *Academy of Management Learning & Education* 10(4), p. 643-660.
- Lopez de Prado, M. (2018). *Advances in Financial Machine Learning*. Wiley, New York
- Lord, C. G., Ross, L., Lepper M. R. (1979). Biased Assimilation and Attitude Polarization: the effects of prior theories on subsequently considered evidence. *Journal of Personal and Social Psychology* 37 p. 2098-2109.
- Losee, J. (2001): *A Historical Introduction To The Philosophy Of Science*. Oxford University Press, New York.
- MacCaun, R. J. (1998). Biases in the Interpretation and Use of Research Results. *Annual Review of Psychology* (4) p. 259-287.

- Mackenzie, D. (2006). *An Engine, Not a Camera - How Financial Models Shape Markets*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Machamer, P. – Silberstein, M. (eds.) (2002): *The Blackwell Guide to the Philosophy of Science*. Blackwell Publisher, Oxford.
- Macrea, C. N., G. V. Bodenhausen. (2000). Social cognition: thinking categorically about others. *Annual Review of Psychology*. 51:93-120.
- Mahoney, M. J., - De Monbreun, B. G. (1977). Psychology of the scientist: An analysis of problem-solving bias. *Cognitive Therapy and Research*, 1 (3) p. 229–238.
- Mallon, Ron, "Naturalistic Approaches to Social Construction", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (2019), Edward N. Zalta (ed.), forthcoming URL = <https://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/social-construction-naturalistic/>.
- Mandelbrot, B. (1963). The Variation of Certain Speculative Prices. *The Journal of Business* 36 évf. 394-419. old.
- Mandelbrot, B. (1966). Forecasts of Future Prices, Unbiased Markets, and "Martingale" Models. *The Journal of Business*, 39.évf. 1. sz. 242-255. old.
- Mandelbrot, B., Taylor, H. M. (1967). On the Distribution of Stock Price Differences. *Operations Research* 15. évf. 6. sz. 1057-1062. old.
- Mandelbrot, B., Hudson, R. L. (2007). *The Misbehavior of Markets: A Fractal View of Financial Turbulence*. Basic Books, New York.
- Marcus, G., Davis, E. (2019). *Rebooting AI – Building Artificial Intelligence We Can Trust*. Pantheon Books, New York.
- Marcuse, H. (1990) *Az egydimenziós ember*. Kossuth Könyvkiadó, Budapest.
- Mcallister, J. (1997). Phenomena and patterns in data sets. *Erkenntnis* 47 217-228.
- McCauley, R. N. (2011): *Why Religion Is Natural and Science Is Not*. Oxford University Press, New York.
- McCloskey, D. N. (1983). The Rhetoric of Economics. *Journal of Economic Literature*, Vol. 21, No. 2, pp. 481-517
- McCauley, R. N. (2011). *Why Religion is Natural and Science is not*. Oxford University Press, New York.

- McCauley, R. N. (2013). Scientific Method as Cultural Innovation. . In *Cultural Evolution – Society, Technology, Language and RELigion*. Richerson, P. J. , Christiansen, M. H. (eds.). p. 175-190. Strüngmann Forum Reports, MIT Press Cambridge, MA.
- McDermid, D. (2006). *The Varieties of Pragmatism: Truth, Realism, and Knowledge from James to Rorty*. Continuum, London.
- Meeusen, W. (2011). Whither the Microeconomic Foundations of Macroeconomic Theory. *Brussels Economic Review*, 54, 1.
- Mercier, H. – Sperber, D. (2019). *The Enigma of Reason*. Harvard University Press, New York.
- Merton, Robert K. (1942). The Normative Structure of Science in Merton, Robert K. (ed.), *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*, University of Chicago Press, Chicago.
- Mesoudi, A. - Whiten, A. – Laland, K. L. (2006): Towards a unified science of cultural evolution. *Behavioral and Brain Sciences*, 29, pp 329-347. doi:10.1017/S0140525X06009083
- Miller, R. S. – Shorter, G. (2016). *High Frequency Trading: Overview of Recent Developments*. CRS Report.
- Miller, Alexander (2016). "Realism", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = [<https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/realism/>](https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/realism/).
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A Guided Tour*. Oxford University Press, New York.
- Mitchell, M. (2019). *Artificial Intelligence: A Guide for Thinking Humans*. Farrar, Straus and Giroux.
- Mlodinow, L. (2018). *Elastic: Flexible Thinking in a Time of Change*. Pantheon, New York.
- Morgan, M. S., Knuuttila, T. T. (2012). Models and Modelling in Economics. In: *Handbook Of The Philosophy Of Sciences Vol 13 Philosophy of Economics*, U. Mäki (szerk.). Elsevier, Amsterdam.
- Morris, I. (2013). *The Measure of Civilization How Social Development Decides the Fate of Nations*. Princeton University Press, Princeton.
- Morris, I. (2017). *Foragers, Farmers, and Fossil Fuels: How Human Values Evolve (The University Center for Human Values Series)*. Princeton University Press, Princeton.

- Morrison, M. – Morgan, M. S. (1999a). Introduction. In: *Models As Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Morgan, M., Morrison, M. (eds). Cambridge University Press, New York.
- Morrison, M. – Morgan, M. S. (1999b). Models as Mediating Instruments. In: *Models As Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Morgan, M., Morrison, M. (eds). Cambridge University Press, New York.
- Musgrave, A. (1993). *Common Sense, Science, Scepticism*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Nagel, E. (1961). *The Structure of Science – Problems in the logic of Scientific Explanation*. Routledge & Kegan Paul, London.
- Negarestani, R. (2018). *Intelligence and Spirit*. Urbanomic/Sequence Press.
- Neuberg, S. L., Kenrick, D. T., Challer, M. S. “Evolutionary Social Psychology” in *Handbook of Social Psychology*, Fiske, S., Gilbert, D. T. & Lindzey, G. Eds. (Wiley, 2010), vol. 2. chap. 21. pp. 761-797.
- Newman, M. (2003). The structure and function of complex networks. *SIAM Review* (45), 167-256.
- Newman, M. (2005). Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. *Contemporary physics* (46), 323-351.
- Newman, M. (2018). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press, New York.
- Newson, L., Postmes, T., Lea, S.E.G., Webley, P., Richerson, P. J., Mcelreath, R. (2007). Influences on communication about reproduction: the cultural evolution of low fertility. *Evolution and Human Behavior* 28 (3).
- North, M. J. (2014). A theoretical formalism for analyzing agent-based models. *Complex Adaptive Systems Modeling*, 2, 3
- North, M. J., Macal, C. M. (2007). *Managing Business Complexity*. Oxford University Press, New York.
- Pagano, U., (1999), Is Power an Economic Good? Notes on Social Scarcity and the Economics of Positional Goods. In Samuel Bowles, Maurizio Franzini and Ugo Pagano, eds., *The Politics and the Economics of Power*. London: Routledge. p. 63-85
- Page, S. E. (2011). *Diversity and Complexity*. Princeton University Press, Princeton.
- Parunak, H. V. D., Savit, R., Riolo, R. (1998). Agent-Based Modeling vs. Equation-Based Modeling: A Case Study and Users' Guide. In *Proceedings of Multi-agent systems and Agent-based Simulation*, Springer, 10-25.

- Pearl, J., Mackenzie, D. (2018). *The Book of Why The New Science of Cause and Effect*. Basic Books.
- Pennebaker, J. W. – Seagal, J. (1999): Forming a Story: The Health Benefits of a Narrative. *Journal of Clinical Psychology*, 55, pp. 1243-1255.
- Penrose, R. (2003). *A nagy, a kicsi, és az emberi elme: Kozmológia, kvantummechanika és a tudatosság fizikája*. Akkord Kiadó, Budapest.
- Pickett, C.L., Gardner, W. L. (2005) “The social monitoring system: Enhanced sensitivity to social cues as an adaptive response to social exclusion” in *The social outcast: Ostracism, social exclusion, rejection, and bullying*, Williams, K. D., Forgas, J. P. & von Hippel, W. Eds. (Psychol. Press, 2005) chap. 13. pp. 213–226.
- Plotkin, H. (1997). *Darwin Machines and the Nature of Knowledge*. Harvard University Press, Boston.
- Popper, K. (1997): *A tudományos kutatás logikája*. Európa Könyvkiadó, Budapest. Fordította: Forrai Gábor.
- Pritchard, D. (2014): *What Is This Thing Called Knowledge?* Routledge, Taylor and Francis Group, London.
- Psillos, S. (2005). *Scientific Realism: How Science Tracks Truth* (Philosophical Issues in Science). Routledge, London.
- Quine, W. v. O. (1951). Two Dogmas of Empiricism. *The Philosophical Review* 60, p. 20-43.
- Riccaboni, M., Pammoli, F. (2001). On Firm Growth in Networks. *Research Policy*, Special Issue on Nelson and Winter Conference, (old.: 1-18).
- Richerson, P., J. Henrich. (2012). Tribal Social Instincts and the Cultural Evolution of Institutions to Solve Collective Action Problems. *Cliodynamics* 3:38-80.
- Richerson, P – Boyd, R. (2005). *Not By Genes Alone How Culture Transformed Human Evolution*. Chicago University Press, Chicago.
- Righi, S., Takács, K. (2017). The miracle of peer review and development in science: an agent-based model. *Scientometrics* 113, 587–607. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2244-y>
- Rosenberg, A. (2005). *Philosophy of Science: A Contemporary Introduction*. Routledge, New York.

- Samuelson, P. (1963). Problems of Methodology – Discussion. *American Economic Review* 53 p. 232-236.
- Samuelson, P. (1965): Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly. *Industrial Management Review*, 6. évf. 2. sz. 41–49. old.
- Sanfey, A. G., M. Stallen, L. J. Chang. 2014. Norms and expectations in social decisionmaking. *Trends in Cognitive Sciences*. 18:172-174.
- Saunders, A. – Cornett, M. (2021). *Financial Institutions Management: A Risk Management Approach*. McGraw-Hill, New-York, USA.
- Schacter, D. L. (2008). *Searching For Memory: The Brain, The Mind, And The Past*. Basic Books, New York.
- Schacter, D. L., Gilbert, D. T., Wegner D. M. (2011). *Psychology*. Worths Publisher.
- Scheidel, W. (2017). *The Great Leveler: Violence and the History of Inequality from the Stone Age to the Twenty-First Century*. Princeton University Press, Princeton.
- Schlick, M. (1979). *The Future of Philosophy* in Schlick, *Philosophical Papers Vol 2* szerk H. Mulder, B. F. B. van de Velde-Schlick p 210-224. Dordrecht:Reidel.
- Schwichtenberg, J. (2017). *Physics from Symmetry (Undergraduate Lecture Notes in Physics)*. Springer, Berlin.
- Searle, J. R. (1995). *The Construction of Social Reality*. The Free Press, New York.
- Seth, A. (2021). *Being You – A New Science Of Consciousness*. Faber & Faber, London.
- Shapiro, L. (2011). *Embodied Cognition*. Routledge, Taylor and Francis, New York.
- Shenk, M. K. – Towner, M. C. – Howard, C. K. – Alam, N. (2013). A model comparison approach shows stronger support for economic models of fertility decline. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 110 (20), p. 8045-8050.
- Shonkwiler, Mendivil, F. (2009). *Explorations in Monte Carlo Methods*. Springer, Heidelberg.
- Simonovits András (2008). *Nyugdíjrendszerek – tények és modellek*. Typotex Kiadó, Budapest.
- Smil, V. (2018). *Energy and Civilization: A History*. MIT Press, MA.
- Snowdon, B. – Vane, H. R. (2005): *Modern Macroeconomics - Its Origins, Development And Current State*. Edward Elgar Publishing, Northampton.

- Sober, E., D. S. Wilson. (1998). *Unto Others: The Evolution and Psychology of Unselfish Behavior*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Spitzer, M., U. Fischbacher, B. Herrnberger, G. Grön, E. Fehr. 2007. The neural signature of social norm compliance. *Neuron* 56:185–196.
- Spolaore, E. – Warziarg, R. (2022). Fertility and Modernity. *The Economic Journal*, Vol. 132 (642), p. 796–833.
- Stanford, Kyle, "Underdetermination of Scientific Theory", The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/scientific-underdetermination/>>.
- Stark, R. (2014). *How the West Won - The Neglected History of the Triumph of Modernity*. ISI Books, Wilmington, DE.
- Stulp, G. – Barrett, L. (2016). Wealth, fertility and adaptive behavior in industrial populations. *Philosophical Transactions Royal Society B* 371.
- Suarez, M. (2003). Scientific Representation: against similarity and isomorphism. *International Studies in The Philosophy of Science* 17 (3).
- Suarez, M. (2004). An Inferential Conception of Scientific Representation. *Philosophy of Science* 71 (5) p 767-779.
- Suarez, M (2010). Scientific Representation. *Philosophy Compass* 5 (1) p. 91-101.
- Sugden, R. (2000). Credible Worlds. The Satus of Theoretical Models in Economics. *Journal of Economic Methodology* 7 p. 1-31.
- Suppe, F. (2000). Understanding scientific theories: An assessment of developments, 1969-1998. *Philosophy of Science* 67 (3) p. 102-115.
- Suppes, P. (1962). Models of Data. in Nagel, E., Suppes, P., Tarski, A. (szerk.) *Logic, methodology, and Philosophy of Science*. Stanford University Press, 252-261.
- Tajfel, H., J. C. Turner. "The Social Identity Theory of Intergroup Behavior" in *Political psychology: Key readings*, Sidanius, J. Eds. (Psychol. Press, 2004) chap. 16. pp. 276-293.
- Todd, M. 2004. *Early Germans*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Turchin, P. (2007). *War and Peace and War: The Rise and Fall of Empires*. New York: Plume.

- Turchin, P. (2016). *Ages of Discord: A Structural-Demographic Analysis of American History*. Beresta Books
- Turner, J. (2010). *Theoretical Principles of Sociology, Volume 1 - Macrodynamics*. Springer, New York.
- Thurner, S., Hanel, R., Klimek, P. (2018). *Introduction to the Theory of Complex Systems*. Oxford University Press, New York.
- Vatiero, M. (2011). The Institutional Microeconomics of Positional Goods.
- Van Fraassen, B. (2004). Empirical Stance.
- Voci, A. 2006. The link between identification and in-group favoritism: Effects of threat to social identity and trust-related emotions. *British Journal of Social Psychology* 45:265-284.
- van Riel, R., Van Gulick, R. (2019) "Scientific Reduction", The Stanford Encyclopedia of Philosophy Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/scientific-reduction/>>.
- Watts, D. J. (2003). *Six Degrees: The Science of Connected Age*. Norton, New York.
- West, G. (2007). *Scale: The Universal Laws of Life, Growth, and Death in Organisms, Cities, and Companies*. Penguin Books, New York.
- Wilson, T. (2010): *Ismeretlen önmagunk – A tudattalan új megközelítése*. Háttér Kiadó, Budapest.
- Winsberg, E. (2010). *Science in the Age of Computer Simulations*. University of Chicago Press, London.
- Werding, M. (2014). Children are costly, but raising them may pay: The economist approach to fertility. *Demographic Research* 30 (8) p. 253-276.
- Winther, R. G. (2016). *The Structure of Scientific Theories*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/structure-scientific-theories/>>.
- Wolpert (1991): *The Unnatural Nature of Science*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Woodward, J. (2017). "Scientific Explanation", The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/scientific-explanation/>>.

Függelék

A1 Az adatok előállításának és módja és a kockázat mérése

Ebben fejezetben megvizsgáljuk, hogy az alternatív módokon előállított adatsorok miképpen alkalmazhatók a kockázat mérésben (Value-at Risk, VaR módszert alkalmazva)

A VaR segítségével, arra a kérdésre kaphatunk választ, hogy adott valószínűség mellett (jelölje ezt p) a következő n kereskedési napon, a piacok normális működését feltételezve, mekkora a várható maximális veszteség adott eszköz vagy portfólió tartása kapcsán (Jorion 2001). A VaR értéket szokás abszolút és relatív értékben is megadni (Kovács – Marsi 2018). Utóbbi esetben az értelmezés a következő: $(1-p)100\%$ -ig biztosak vagyunk, hogy a következő n kereskedési napon a hozam nem lesz rosszabb, mint VaR. Jellemzően n értéke 1 vagy 10, p értéke pedig leggyakrabban 0,01. A volumen alapú mintavételezés esetében természetesen nem kereskedési napokra, hanem adott számú volumen egységre, összérték alapú adatsor esetében az összérték egységre értelmezzük a VaR-t.

Feltéve, hogy a hozamok normális eloszlásúak, a várható érték 0, $p = 0,01$, $n = 1$ és σ jelöli a hozamok szórását, akkor a VaR számítása a következő formulával adható meg:

$$VaR = -2.33\sigma \quad (7)$$

Mivel egy év minden kereskedési napjára elvégezzük a számítást, és a vizsgált adatsorok közül csak a volumen alapú homoszkedasztikus, ezért a volatilitás alakulását is modellezni kell valamiképpen. Ennek végrehajtására a RiskMetrics modelljét használtam, amely szerint a variancia előrejelzése a jelenlegi volatilitás és hozam (R_t) súlyozott átlaga:⁷⁷

$$\sigma_{t+1}^2 = 0.94 \sigma_t^2 + 0.06R_t^2 \quad (8)$$

a VaR számítása pedig a következőképpen alakul:

$$VaR_{t+1} = -2.33\sigma_{t+1} \quad (9)$$

VaR számítása, illetve a volatilitás modellezése a fentieknél szofisztikáltabb módokon is végrehajtható. Ezen módszereket jellemzően az adatsorok bonyolultabb statisztikai tulajdonságai hívták életre, azonban az értekezés éppenséggel az alternatív mintavételezési

⁷⁷ Riskmetrics volatilitás modellje lényegében egy GARCH (1,1)-nek tekinthető (Christoffersen 2012).

eljárások lehetséges előnyeit vizsgálja, ezért a VaR számítása során célszerűbb az egyszerűbb, normális eloszlás feltételezésére épülő eszközöket alkalmazni.

A kapott VaR adatsorok összehasonlításának egyik módja, ha megvizsgáljuk azon napok, volumen egységek, illetve összérték egysége számát, ahol a hozam rosszabb volt, mint az adott időszakra számított VaR.⁷⁸ Jelölje ezt a számot x . A definíció alapján p valószínűséggel $R_t < VaR_t$, ezért 100 megfigyelésből nagyjából p esetében kell ennek bekövetkeznie. Ha $x > p$, akkor a kockázat-előrejelző modell alábecsüli a kockázatot, míg $x < p$ esetben túl óvatos.

Formálisan is vizsgálhatjuk a kérdést a következő módon: legyen

$$I_t = \begin{cases} 1, & \text{ha } R_t < VaR_t \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases} \quad (10)$$

függvény a találati függvény, továbbá legyen

$$X = \sum_{i=1}^n I_i. \quad (11)$$

Amennyiben a VaR modell megfelelően működik, akkor X a binomiális véletlen változó egy realizációja, azaz

$$H_0: X \sim B(n, p).$$

Adott szignifikancia szint mellett ezek alapján meg tudjuk határozni, hogy a vizsgált minta X értékének milyen intervallumban kell lennie. Ez 5 százalékos szignifikancia szinten, nagyjából 250 megfigyelés⁷⁹ és $p=0,01$ esetén $[0, 5]$. Azaz, amennyiben $0 \leq X \leq 5$, nem tudjuk elutasítani a nullhipotézist, miszerint az adatsorunk (a találati függvény) a megfelelő binomiális eloszlású sokaságból származó minta. Ilyen feltételek mellett, amennyiben 5-nél többször marad el a tényleges hozam a VaR előrejelzésétől, akkor a modellünk teljesítménye nem kielégítő.

Mindezek után érdemes megvizsgálni a fenti eredmények kockázatkezelésben történő hasznosításának lehetőségét. A vizsgált időszakra kiszámított 1 napra, 1 volumen és 1

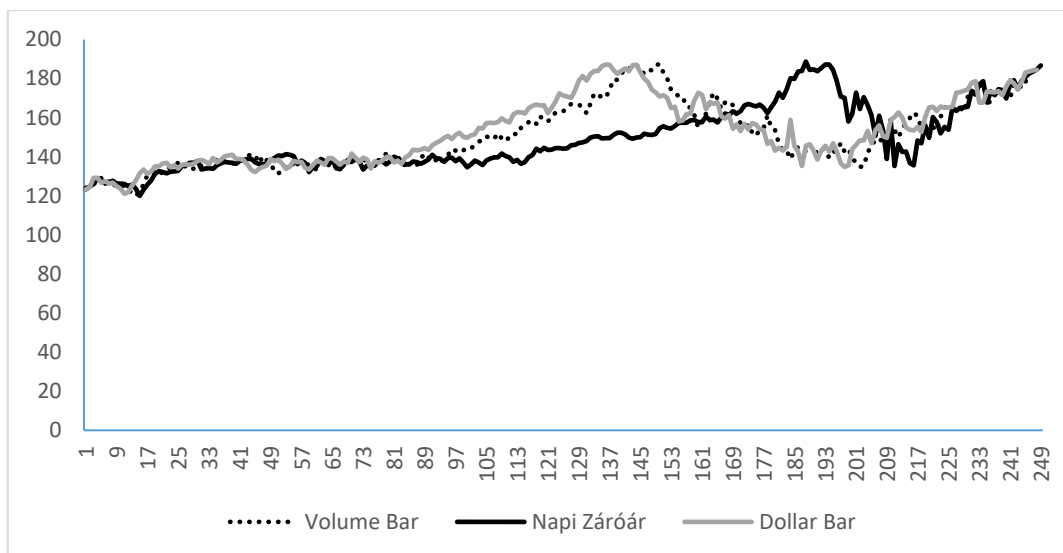
⁷⁸ Ez az úgynevezett backtesting egyik módja (Holton 2003).

⁷⁹ A "nagyjából" szót az indokolja, hogy a tényleges adatsorainkban 248, illetve 247 megfigyelés van, ez a minimális eltérés azonban nem befolyásolja az intervallumokat.

összérték egységre kiszámított VaR alakulása a 4. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy mind a volumen mind az összérték alapon számított VaR sokkal kiegyensúlyozottabb, kevésbé volatilis. A X értéke napi VaR esetében 7, míg a volumen és összérték alapon számított adatsoron 4, azaz mindkét alternatív módszer kevesebb hibát vétett.

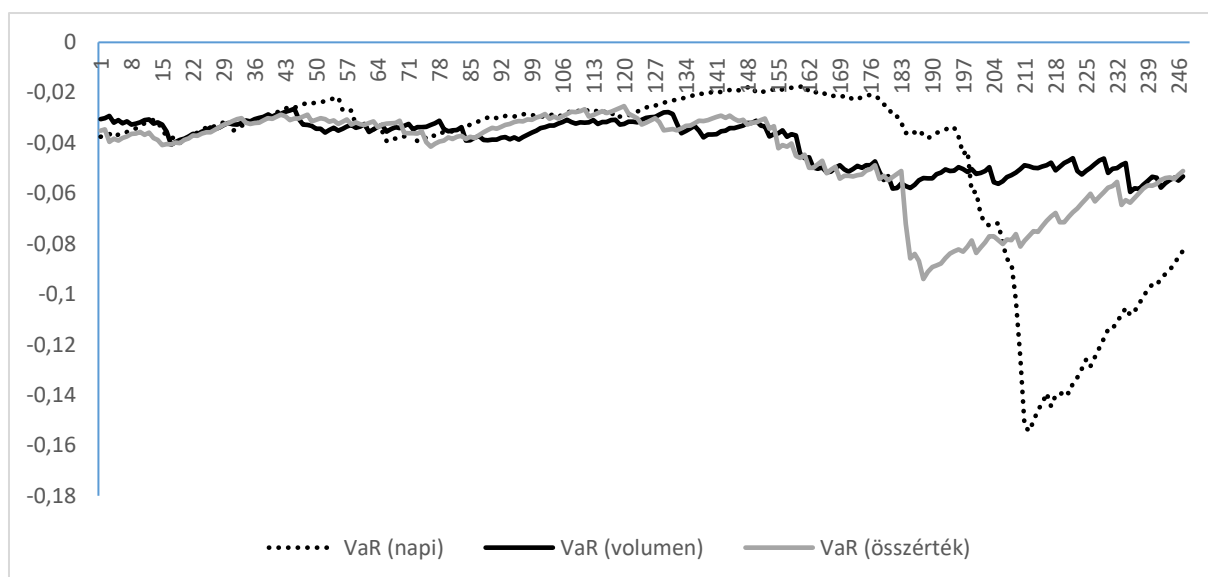
Mivel a megfigyelések száma 247, illetve $n = 248$, továbbá $p = 0.01$, 5%-os szignifikancia szinten esetben az elfogadási intervallum $[0, 5]$. Tehát volumen alapú és összérték alapú VaR esetében 5%-os szignifikancia szinten nem tudjuk elvetni a nullhipotézist, miszerint a minta egy megfelelő binomális eloszlást követ, a napi VaR esetében azonban igen.

3. ábra A Microsoft részvény árfolyamának alakulása, napi záróár, volumen és összérték záróár alapján.



Forrás: saját szerkesztés.

5. ábra A napi, volumen alapú, illetve összérték alapú adatsorok alapján készített VaR alakulása.



Forrás: saját szerkesztés.

Az eltérések száma mellett fontos még azok átlagos nagysága is - szórásban kifejezve ezek napi, volumen és összérték adatokon rendre 0.58, 0.35 és 0.34. tehát a napi hozamokon alkalmazott kockázaterőjelző modell nemcsak gyakrabban, hanem nagyobb mértékben is becsüli alul a kockázatot. Ez arra enged következtetni, hogy szemben a hagyományos napi statisztikák alapján számított kockázat méréssel, az alternatív mintavételezési eszközök jobban teljesítenek a kockázat számszerűsítésében az adott részvény esetében. Mindezek összefoglalóan az 5. táblázatban láthatók.

A fentiek alapján azt mondhatjuk, hogy a volumen és összérték alapú adatsorunk kedvezőbb statisztikai tulajdonságaik miatt (modellezési szempontból vizsgálva), a VaR megközelítés egy viszonylag egyszerű megvalósítása, kedvezőtlen piaci környezetben is elfogadhatóan működik. Az eredményeink azt sugallják, hogy érdemes a mintavételezés módjára is figyelmet szentelni a pénzügyi adatok elemzése és a kockázatkezelés során.

5. Táblázat. A VaR előrejelzések teljesítménye.

| | Napi hozam | Volumen alapú hozam | Összérték alapú hozam |
|--------------------------------------|------------|---------------------|-----------------------|
| VaR túllépések száma (x) | 7 | 4** | 4** |
| Túllépések átlagos nagysága (szórás) | 0.58168 | 0.34277 | 0.35022 |
| Megfigyelések száma | 248 | 247 | 247 |

Megjegyzés: ** jelzi, hogy 5%-os szignifikancia szinten elfogadhatónak tartjuk a modell teljesítményét. Forrás: saját szerkesztés.

Ezt követően egy egyszerű Value-at-Risk modell alkalmazásával vizsgáltam, hogy az éves adatsorok hogyan teljesítenek a kockázat erőjelzésében. Az eredmények alapján elmondható, hogy az alternatív mintavételezés segítségével jobban működő kockázatmodellt kaptam. A gép tanulási módszerek pénzügyi használatával, az algoritmikus kereskedés elterjedésével, a nagyfrekvenciás kereskedők (HFT) egyre fontosabb szerepével párhuzamosan a kockázatkezelésben is érdemes megvizsgálni az alternatív mintavételezési technikákra alapuló módszerek teljesítményét.

A2 A korlátos optimalizálási eredmény levezetése

A főszöveg 4.4.2 fejezetében (7) az alábbi formát ölti:

$$\max_{c,l,n,TC,EC} a_c \log(c) + a_l \log(l) + \gamma a_n \log(n) + \gamma a_p \log(A) + \gamma a_p \alpha \log(ec) + \gamma a_p \beta \log(tc)$$

$$\text{F.h. } w \cdot tc \cdot n + k \cdot n + l \cdot w + ec \cdot n + c - w - y = 0$$

A Lagrange-függvény:

$$\mathcal{L}(c, l, n, tc, ec) = a_c \log(c) + a_l \log(l) + \gamma a_n \log(n) + \gamma a_p \log(A) + \gamma a_p \alpha \log(ec) + \gamma a_p \beta \log(tc) - \lambda(w \cdot tc \cdot n + k \cdot n + l \cdot w + ec \cdot n + c - w - y) = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial c} = \frac{a_c}{c} - \lambda = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial l} = \frac{a_l}{l} - \lambda \cdot w = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial n} = \frac{\gamma a_n}{n} - \lambda(tc \cdot w + ec + k) = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial tc} = \frac{a_p \beta \gamma}{tc} - \lambda n w = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial ec} = \frac{a_p \alpha \gamma}{ec} - \lambda n = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = -1(w \cdot tc \cdot n + k \cdot n + l \cdot w + ec \cdot n + c - w - y) = 0$$

A fenti egyenleteket n-re megoldva jutunk el az optimális megoldáshoz:

$$n^* = \frac{-\gamma(a_p * \alpha + a_p * \beta - a_n)w}{(a_c + a_l + a_p) * k}$$

Az értekezés témakörében megjelent saját publikációk

- Janos Zoltan Varga (2021): Interest rate pass-through using Weighted Average Cost of Liabilities Method. Evidence from Czech Republic, Hungary and Romania. *Acta Oeconomica* 71(4) p. 551-567
- Janos Zoltan Varga (2021): Effect of various sampling methods on the statistical properties of financial data and their application in risk management. *Statisztikai Szemle* 99 (3) p. 233-252.
- Janos Zoltan Varga (2018): Competition between Social Groups, in-group favoritism and population-level cooperation. *Cliodynamics: The Journal of Quantitative History and Cultural Evolution*, 9 (1).
- Gábor Dávid Kiss, Máté Csiki, János Zoltán Varga (2019). Comparing the IMF and the ESM through Bond Market Premia in the Eurozone. *Public Finance Quarterly* 64 (2).
- György Kovács, Gábor Dávid Kiss, János Zoltán Varga (2016): Expectations and Monetary Policy - with Special Attention to the Hungarian Experiences (Várakozások és a monetáris politika – különös tekintettel a magyarországi gyakorlatra). *Economic Review (Közgazdasági Szemle)* 63, November pp. 1192-1216. DOI:10.18414/KSZ.2016.11.1192
- Janos Zoltan Varga (2016): The Effect of Interbank Liquidity Surplus on Corporate and Interbank Interest Rates. *Public Finance Quarterly* 61(1) pp. 95-115.
- Gábor Dávid Kiss, János Zoltán Varga (2016): Extreme fluctuations of financial time series. *Statisztikai Szemle (Statistical Review)* DOI:10.20311/stat2016.02.hu0162
- János Zoltán Varga Interest rate pass-through using Weighted Average Cost of Liabilities Method. Evidence from Czech Republic, Hungary and Romania. In: Udvari, B.; Voszka, É. (szerk.) Proceedings of the 3rd Central European PhD Workshop on Economic Policy and Crisis Management. Szeged, Magyarország: Szegedi Tudományegyetem Gazdaságtudományi Kar, pp. 60-77.
- Varga János Zoltán (2017). A Niche Construction Theory (NCT) közgazdaságtani alkalmazásának lehetőségei. In: Farkas, Beáta; Pelle, Anita (szerk.) Várakozások és gazdasági interakciók. Szeged, Magyarország : JATEPress, pp. 57-68.

Varga, János Zoltán (2016). Comparison of the Current Monetary System and the Full Reserve System by Agent-based Models. Artificial Economics Conference, Róma, Olaszország, 16 p.