

# Modellezés és Szimuláció a tudományban

Héder Mihály

2011. november 12.

## 1. Bevezető

Bill Phillips eleinte nem kedvelte a makroökonómiát. Korábban villamosmérnökként végzett, majd csatlakozott a brit hadsereghez, és megjárta a japán hadifogolytábort is, így csak viszonylag későn, 32 évesen kezdte el a szociológia BSc képzést a London School of Economics-en. Itt a hallgatók fő és mellékszakirányt végeztek, Phillips a szociológia mellé a közgazdaságtant választotta.

Keynessel és Robertsonnal azonban meggyűlt a baja. Sehogy nem állt össze a kép. Miért egyenlők a beruházások a megtakarításokkal? Hogy kell azt érteni, hogy a kamatlábakat a kölcsönözhető források kereslete és kínálata, vagy – egy másik iskola szerint – az elfekvő pénz kereslete és kínálata határozza meg? Végül a minimumszintet éppen csak teljesítve szerezte meg a diplomáját 1949-ben. Nem hagyott fel viszont azzal az erőfeszítéssel, hogy a keynesi közgazdaságtant teljes mélységében megértse, hiszen Keynes és elképzelései oly nagy tiszteletben álltak a brit háborús gazdaság menedzselése okán.

A mainál még jóval kevésbé matematizált korabeli közgazdaságtan egyik központi analógiája az volt, hogy a javak úgy áramlanak akár a folyadékok. Phillips már villamosmérnöki végzettségének megszerzése előtt, 21 évesen egy vízierőműnél dolgozott, így igazán nem meglepő, hogy úgy döntött: a közgazdaságtant egy csövekből, szelepekből és tartályokból álló géppel fogja modellezni.

A legnagyobb gondot nem a gép tényleges megépítése jelentette, hanem a csak szóvegesen ismert metaforák tényleges lefordítása gépi alkatrészek szintjére. Például azt mondják: két piacot úgy képzelhetünk el, mint két összekötött tavat. De hogyan kell ezt a gyakorlatban kivitelezni? Egy másik alapvetés, hogy a hatékony kereslet biztosítja a gazdaság folyamatos körforgását. De hogy képzeljük ezt el, mint egy pumpáló szívet? Azon esetekben is, ahol voltak ismert matematikai összefüggések, ezek csak egy statikus rendszert voltak képesek leírni.

Végül Phillips barátai, Walter Newlyn és a még fiatal (későbbi Nobel díjas) James Meade segítségével – akik közgazdaságtant oktattak Leedsben, illetve Londonban, így tisztában voltak az elmélet részleteivel – elkészítette a működő gépet. Ez szélesebb és magasabb volt egy átlagos embernél. Egy villanymotor keringetett benne vörös színű folyadékot, továbbá minden tartály és cső átlátszó volt, hogy a gépben végbemenő folyamatok láthatóak legyenek. A működő rendszerbe karok és csapok helyzetének állítgatásával lehetett beavatkozni, amelyek a gazdaság egyes paramétereit voltak hivatottak modellezni. A gépről azután másolatok is készültek, oktatási céllal.

A Phillips gép a feljegyzések szerint mély benyomást keltett mindenkire, aki valaha is látta működni. Természetesen sok kritika is érte, de a demonstratív ereje vitán felül állt; a korabeli hallgatók visszaemlékezései szerint, a száraz elméletek és képletek egycsapásra érthetővé váltak amikor a gépen mutatták be

nekik. Meade professzor oktatási módszere például az volt, hogy a pénzügyi politikai döntések elméleti fejtegetése helyett kihívott két hallgatót a géphez. Egyikük a pénzügyminiszter szerepét kapta, és az ennek a szerepnek megfelelő csapokat állíthatta; a másik a Bank of England elnöke lett és ugyancsak hatalma volt néhány csap felett. Az volt a feladatuk, hogy a nemzetgazdaság működésében együttes erővel egyensúlyt teremtsenek, ami leggyakrabban zavarban, szivárgásokban, túlfolyásokban és a gép alatt keletkező kisebb pocsoltyákban végződött. A hallgatók persze egycsapásra megértették a gazdasági döntések jelentőségét és a rendszer szabályozásának nehézségeit. Maga Phillips is a keynesi rendszer szakértője lett a gép segítségével; órákat tartott, majd később kutatásokat is végzett. A Phillips görbe például tananyag lett a világ minden részén.

Manapság számítógépes szimulációkat használnak ugyanilyen célokra, de újabban a Phillips gépből is működőképesé tettek egy-két példányt.<sup>1</sup> További részletekért lásd Morgan and Boumans (2004) kiváló írását.

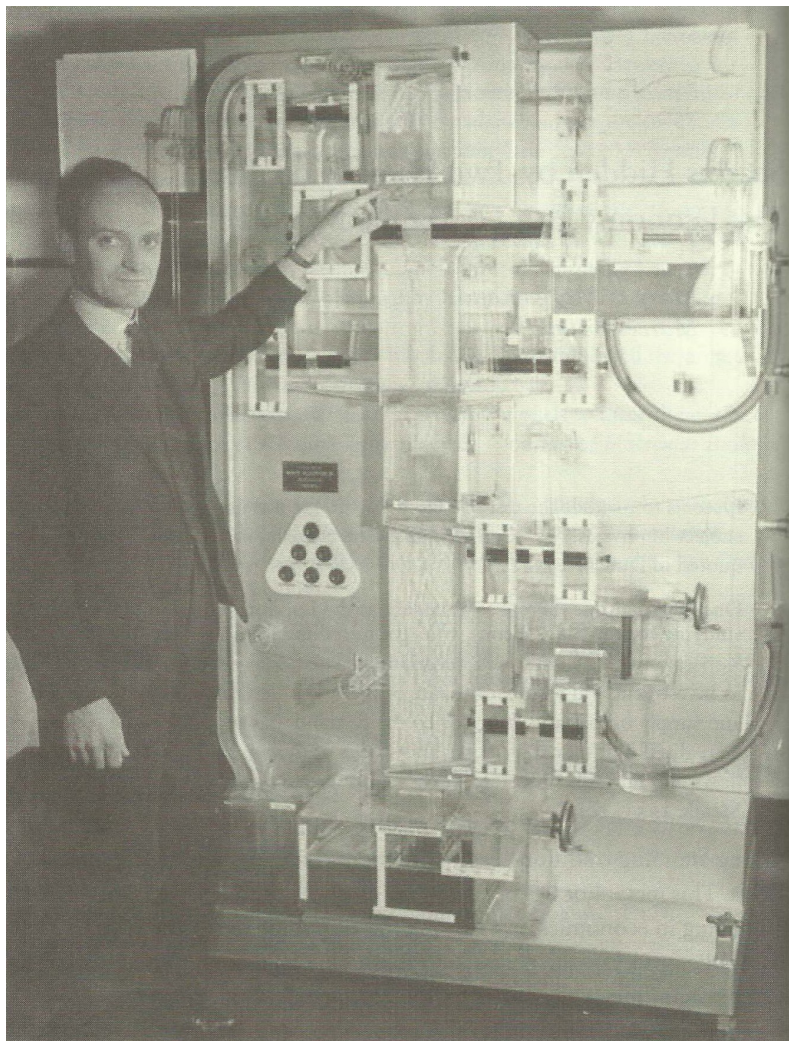
A kérdés, amit ebben az írásban vizsgálok az az, hogy milyen lehetséges definíciói vannak a modell fogalmának, és ezek alapján hogyan lehet a modelleket használni a valóság megismerésére.

## 2. A modell, mint szemléltető eszköz

A Phillips gép példája azt mutatja, hogy egy modell egy elmélet megértését és oktatását nagy mértékben képes segíteni. A XVI-II. század végén például az orvosok oktatásánál már használtak viaszmodelleket, amelyek a belső szerveket mutatták be Schnalke (2004); a XIX. század végén komplett, kifúrt krikettgolyókból és

---

<sup>1</sup><http://www.youtube.com/watch?v=rVOhYROKeu4>



1. ábra. Phillips és a Phillips gép

rudakból álló készleteket lehetett kapni molekulák modellezésé-

hez Meinel (2004); és így tovább, a mai napig számtalan szemléletes modell született a legkülönbébb tudományterületeken.

Első látásra a modell szemléltető eszközként való definiálása problémamentesnek tűnik. Ha ezt a definíciót elfogadjuk, akkor azzal a kritikával kell szembenéznünk, hogy a modellekben az érthetőség, szemléletesség szempontjának a pontos leírás látja a kárát. A Phillips géppel kapcsolatban például felmerült, hogy beépül-e miatta titkon a hallgatók gazdaságról alkotott elképzelésibe a gravitáció, amely a gép működésének központi eleme ugyan, viszont Keynes eredeti elméletében aligha van helye. A korábbi, papíron megalkotott két dimenziós modellek még félrevezetőbbek voltak ebben a tekintetben. Fisher (1911) a gazdaságot illusztráló rajzaiban néhol kihasználta a gravitáció feltételezett jelenlétét, más esetekben viszont eltekintett tőle, épp akkor, amikor problémát okozott volna (Morgan and Boumans, 2004, p378), (Morgan, 1999).

És általában, ha a modellek célja a szemléltetés, akkor nem fogjuk-e egyszer túllépni a határait? Nem lesznek-e elégtelenek a szemléletes illusztrációk a valóság tényleges komplexitásának megragadására? Stoff (1966, p317-379) az ezzel kapcsolatos vitát bemutató fejezetében Kuipers (1959)-t idézi, aki szerint „A kvantummechanikában az elmélet továbbfejlődése a világ szemléletes képétől való egyre nagyobb elszakadással jár együtt... A klasszikus fizika szemléletes képét a formalizmusok váltják fel, s ezek létesítik a kapcsolatot az észlelt jelenségek között. Az atom mindinkább egyenletek rendszerévé lesz.”

E gondolat mentén eljutunk a modell egy olyan fogalmához, amelyben a szemléletesség aligha követelmény. Az atomot leíró egyenletrendszerek látványa ritkán vált ki olyan revelációt a szemlélőben, mint a Phillips gép látványa működés közben. Akkor hát miért az ilyen kevésbé érthető modelleket használjuk az atomot, mint egy mini naprendszert leíró modell helyett? Ennek

az az oka, hogy a tudomány jelenlegi állása mellett úgy tűnik, hogy az egyenletrendszerek jobb összhangban vannak a tapasztalatokkal, mint a mini naprendszer. Ezen felfogás szerint a modellek elsődleges célja a valóság minél pontosabb leírása, amellyel a szemléletesség csak esetlegesen jár együtt.

## 3. Modell és valóság

### 3.1. A modell, mint kísérleti eszköz a valóság megismerésére

Stoff (1966, p7) szerint a modell a tudományos megismerés minőségileg sajátos kategóriája: „a modell olyan anyagilag realizált vagy gondolatilag megvalósított rendszer, amely a megismerés folyamatában a kutatás objektumát helyettesíti (reprezentálja), az utóbbival világosan kifejezett hasonlósági viszonyban (izomorfrelációban, analógiában, fizikai hasonlóságban, stb) van, s ennek következtében a modell tanulmányozása és a vele végzett műveletek információ szerzését teszik lehetővé a kutatás valódi objektumáról”.

Ezen definíció fényében Galilei gondolkísérletét (amelyben megmutatta, hogy a nehezebb testek nem esnek gyorsabban) modellkísérletként foghatjuk fel, és természetes, hogy mint ilyen, új információ szerzésére volt alkalmas.

Hasonlóképp, minden olyan modell – akár fizikailag realizált, akár csak gondolatban létező – amely sikeres előrejelzésre alkalmas, azért működik, mert a valósággal hasonlósági relációban van. A Phillips gépet képesnek tartották arra, hogy bizonyos döntések hatását előre jelezze, ezzel segítve magát a döntést; az atom naprendszer modellje elvezetett a lézer megalkotásához.

## 3.2. Modell és igazság

Ez elvezet minket ahhoz a kérdéshez, hogy egy sikeres modell szükségszerűen igaznak tekinthető-e.

Mielőtt azonban erre rátérünk, tisztáznunk kell azt a kérdést, hogy mi a különbség „elmélet” és „modell” között. Ez látszólag nem kérdés, amíg egy fizikailag megvalósított objektum a modelünk, mint például a Phillips gép, egy terepasztal, egy viaszból készült emberi emésztőrendszer-utánczat, vagy egy mechanikus planetárium; de tényleg modell-e az az egyenletrendszer ami az atomot vagy a nemzetgazdaságot leírja?

Erről a kérdésről hasonlóan vélekedik Stoff (1966) és Wartofsky (1979) is. Szerintük a modell egy valóságos objektumot vagy jelenséget *reprezentál*. A kérdés, hogy mit jelent a reprezentációs viszony? Wartofsky szerint ez egy olyan hasonlósági viszony, amelynek egy nem kizárólagos része a referencia-viszony is. Mit jelent ez? A referencia Wartofsky által használt fogalma Frege-től származik. Eszerint például az „Duna” kifejezés referenciája a tényleges, fizikai folyó. A Dunára azonban más módon is lehet hivatkozni, például „Magyarország legnagyobb folyója”, amely kifejezés ugyanarra a fizikai objektumra referál, de más módon. Frege egyik maradandó alkotása az volt, hogy megkülönböztette a hivatkozás módját (az előző két kifejezés) a hivatkozott objektumtól. Az előbbit nevezi jelentésnek, az utóbbit jelölletnek, vagy referenciának. A fenti két kifejezés jelentése ezek szerint különbözik, de azonos a referenciájuk. Ez azonban Wartofsky szerint nem elegendő ahhoz, hogy reprezentációvá váljanak, hiszen a nyelvi kifejezések nem hasonlítanak a tényleges folyóra. Reprezentáció azonban egy papírra rajzolt girbegurba folytonos alakzat, amennyiben annak a kanyarjai és arányai hasonlóak a tényleges folyó kanyarjaihoz és arányaihoz; ez az alakzat ugyanúgy referál az igazi folyóra, mint a korábban látott nyelvi kifeje-

zések, de ennél többet is tesz a hasonlóság kifejezésével.

Ezek szerint tehát attól lesz valami modell, hogy legalább bizonyos részleteiben hasonlóságban áll az általa leírt valósággal. Így a kérdés megfordul: nevezhetünk-e egyáltalán valamit értelmes elméletnek, ami nem modell is egyben? A jelentés, referencia és reprezentáció Wartofsky szerinti szétválasztása lehetővé teszi, hogy legyenek olyan mondatok, amelyek jelentéssel bírnak ugyan, de nem reprezentációk, például tisztán logikai kijelentések. Ez persze csak addig működik, amíg magukat a logikai konnektívumokat, vagy a nyelvet általában nem úgy fogjuk fel, mint amik a fizikai valóságban gyökereznek.

Stoff is különbözőnek tartja a modelleket az elméletektől, és ennek indoklására megadja azon módokat, amelyek révén a reprezentáció hasonló lehet a valósághoz. Idézi például Pólya (1954)-t, aki megadja az analógiák három típusát, amelyek szerintre kellően tisztázottak ahhoz, hogy tudományosan is értékelhetők legyenek: a viszonyok hasonlóságát, vagyis, ha a viszonyokat ugyanazok a törvények határozzák meg; az izomorfizmust; és a homomorfizmust (Stoff, 1966, p189). További kifinomult elméleteket is idéz a hasonlóság felállítására, mint Höffding (1924), Klaus (1961).

Ezek szerint tehát a modell szándéka az, hogy hasonlóságot fejezzen ki a valósággal, a valóság egy részét, szeletét vagy aspektusát reprezentálja, a szó fent részletezett értelmében. Így egy modell akkor igaz, ha a hasonlóság ténylegesen fennáll. Kérdés, hogy milyen eszközeink vannak ennek eldöntésére. Amennyiben a hasonlóságra pusztán a sikeres előrejelzésből próbálunk következtetni, máris visszakapjuk a tudományos állításokkal kapcsolatos instrumentalizmus-realizmus vitát.

Wartofsky szerint a reprezentációs viszony által kifejezett hasonlóságot az emberi észlelés teremti meg, így minden reprezentáció a létrehozót is tartalmazza egy kicsit. Ezek azonban nem egyéniek, sokkal inkább arról árulkodnak, hogy az ember (mint



faj) tudata milyen objektumokat használ, és a tanulás lényege a reprezentáció továbbadása, amely több, mint nyelvi kommunikáció, minthogy a reprezentáció is több, mint amit a nyelv ki tud fejezni. Mindebből az következik, hogy a hasonlóságra nem a sikerességből következettünk (utólag), hanem az észlelésünk és a felfogásunk következménye. Ekkor tehát a modell igazsága attól függ, hogy milyen a képességünk a valóság észlelésére. Itt elágazáshoz érkezünk, hiszen hasonló kérdésben a pozitivista iskola egy programot hirdetett, amelynek az eredménye az objektív, tehát észlelőtől független tudás lett volna (ők azonban nem reprezentációkat, hanem nyelvi kifejezéseket vizsgáltak); ez a program azonban negatív eredményre jutott és körvonalazódni látszott az objektív tudás lehetetlensége. Egy harmadik utat jár Polányi (1966), aki a szubjektív/objektív dichotómiát feloldva a személyes tudást úgy írja le, mint objektívvá nem tehető, de nem is relativisztikus, az ember evolúciója során kifejtett, hatékony észlelésre alapuló tudást.

### 3.3. A modellezés szintjei

Stoff felhívja a figyelmünket arra, hogy a tudományban használt modellek nagy részénél a hasonlóság csak egy adott szintig valósul meg, az alatt azonban a modell gyökeresen eltér az általa leírni kívánt valóságtól, és ezt a tényt a modell létrehozója sem vitatja.

Maxwell nevezetes elektromágneses tér modelljében az erővonalakat változó keresztmetszetű csövekként ábrázolta, amelyeken keresztül egy abszolút összenyomhatatlan, tehetetlenség nélküli folyadék áramlik. Közben viszont világossá teszi, hogy ténylegesen az elektromágneses tér nem csövekből és folyadékokból áll, ezek a reprezentációk csupán egy bizonyos szempontból hasonlóak az elektromágneses tér összetevőihöz. Ez a hasonlóság viszont

már lehetővé teszi, hogy a jelenséget egy másik szinten, a folyadék áramlását a töltés áramlásának megfelelően nagyon pontos leírást kapjunk az indukcióra vonatkozóan. Thomson egy gondolkísérletben felépítette az éter pörgettyűkből álló kvázimerev modelljét, de nem gondolta hogy a tényleges éter pörgettyűkből áll. Pavlov ugyancsak nem gondolta, hogy az agyban ténylegesen relék, kondenzátorok és más áramköri elemek lennének, annak ellenére, hogy ezek segítségével modellezte azt. Ez éles ellentétben van Descartes felfogásával, aki mechanisztikus leírásaiban egy adott jelenséget teljes mélységében ír le. (Stoff, 1966, p185). És nyilvánvalóan Phillips sem gondolta, hogy ténylegesen folyadékok folynának a nemzetgazdaságban.

Beszélhetünk tehát arról, hogy a modellezést egy adott szinten végzik. Ebből az a kérdés következik, hogy ezek a szintek csak a megismerésünk mélységére vonatkoznak, vagy a létezés szintjeire? Newell and a Simon (1976) híres fizikai szimbólumrendszer hipotézise (FSZH) szerint az intelligens viselkedés a szimbólumfeldolgozás eredménye, és mindegy, hogy ezt hogyan valósítják meg: az emberi agy, vagy konzervdobozok segítségével.<sup>2</sup> Ezzel tehát azt állítják, hogy az intelligencia lényege nem az agy szintjén található, hanem magasabb szintű mentális állapotok szintjén, és ezért az agy nem is szükséges feltétele. Egy másik felfogás szerint az elme ilyen modellezése nem vezet tényleges intelligenciához, csupán annak imitációja lehet.

Azt a kérdést, hogy egy adott modell mögött milyen rejtett elköteleződés lapul a létezés szintjeire vonatkozóan, a legtöbb esetben feltehetjük, hiszen a reprezentációhoz szinte mindig más természetű, mint a modellezni kívánt valóság. Nem sok értelmel lenne ugyanis egy agyat egy másik agy segítségével model-

---

<sup>2</sup>A létezés szintjeinek ilyen módon történő szétválasztása az úgynevezett *többszörös realizálhatóság* szükséges feltétele

lezni, vagy 1:1 arányú térképet készíteni. Az agyat a mentális állapotainak két dimenziós ábrázolásával, vagy egy kontinenst egy jóval kisebb méretű két dimenziós rajzzal reprezentálnak, hiszen a reprezentáció lényege az, hogy valami nehezen kezelhetőt egy könnyebben kezelhető dologgal helyettesítsenek. (Wartofsky, 1979),(Brachman and Levesque, 2004). Ekkor azonban az a kérdés, hogy az elhagyott részletek miért hagyhatók el? Lehetséges, hogy a modellezők a valóság bizonyos részleteit esetlegesnek tartják, mint az FSZH esetében az intelligens viselkedést megvalósító agyat. Egy másik lehetőség az, hogy bizonyos részleteket az adott szempontból fontosabbnak tartanak mint másokat: ez a térkép esete, amelyeken például gyakran a folyók kanyargását híven jelölik, de a folyam szélessége konstans, ami nyilvánvalóan eltér a valóságtól.

### 3.4. Modellezés és döntés

A releváns részletek kiválasztásának kérdése elvezet minket a felismeréshez, hogy a modellezés mindig döntéssel jár együtt. Davis et al. (1993) A szoftverfejlesztők számára például rutinfeladat, hogy úgynevezett analízis modelleket készítsenek egy szervezetről (például vállalati szoftverek esetén), a fizikai valóságról (egy játék esetén) vagy bármi egyébéről. Fontos, hogy minden ilyen esetben a valóság feltérképezése (amelyet az analízis szó sugall) mellett döntések is születnek, akár explicitté tesszük ezeket, akár nem. Hasonló a helyzet a gazdasági modellek megalkotásánál is, hiszen rendszerint egy gazdaság sokkal több paramétere ismerhető, mint amennyit egy modellben ténylegesen felhasználnak. Továbbá döntéseket kell hozni a reprezentáció módját illetően is, például Phillips számára még a gépében alkalmazott folyadék viszkozitásának kiválasztása, vagy a szelepek és csapok típusának kiválasztása is külön megfontolást igényelt, ugyanis ezen részle-

tek nagyban kihatnak az egész rendszer viselkedésére. Ugyancsak döntések sorozatának tekinthetjük az őslények rekonstrukcióját, ahogy azt például Waterhouse Hawkins és Richard Owen vitája mutatja Secord (2004). Hawkins, a kiváló szobrászművész az 1850-es években a híres angol világkiállítás helyszínén, a Kristálypalotában eredeti méretükben alkotott meg néhány kihalt őslényt, például a tíz méteres nagyság körüli megaloszauruszt. A rekonstrukciót ismert leletekre alapozta, ám ez nem jelentett többet néhány csontnál. Owen, az őslénytan korabeli vezető szakértője erre csendesen úgy hívta fel a figyelmet, hogy kiadott egy kézikönyvet, amelyben rajzokon illusztrálta a talált csontokat és az ezek alapján rekonstruált modelleket.

### 3.5. Modellezés és Idealizmus

Végül a modellezés és valóság kapcsolatát illetően megemlíthetjük azt a felfogást, ami szerint a modell jobban írja le a valóságot, mint a megszerezhető tapasztalataink. Ebben a felfogásban a valóság valamely eszményi modell nem tökéletes megvalósulása. Ilyen felfogás a pithagoreusoké, akik szerint lényegében csak számok és arányok léteznek, és a valóság mögött mindig ezek húzódnak meg.<sup>3</sup>

Modernebb példa Carnot (1824) hőerőgép modellje, amely leírja az ideális kalorikus gép teljesítményét. Carnot tudja, hogy az ideális gép nem megépíthető, különféle gyakorlati korlátok miatt, de a tényleges hőerőgépeket aszerint fogja fel, hogy miben térnek el az ideális hőerőgéptől. Mivel a Carnot-féle modell megadja az elméletileg elérhető maximális teljesítményt, a végrehajtandó program az, hogy a tényleges gépek minél közelebb kerüljenek a

---

<sup>3</sup>Ezért volt krízis számukra az irracionális számok felfedezése, amelyek nem adhatók meg két szám hányadosaként

modellhez.

Még újabb példa a Turing gép konstrukciója, amelyet a valóságban – hasonlóan a Carnot hőerőgéphez – csak megközelíteni lehet, azonban a tényleges számítógépek számítási erejét mégis ezekhez mérik.

## 4. Szimuláció

Végül tekintsük át a modellezéshez nagyon szorosan kapcsolódó szimuláció fogalmát. Általában egy valóságos folyamat vagy helyzet imitációját értik alatta, amelynek szerves része a körülmények modellezése is. Olykor ezt a viszonyt átfogalmazzák, és azt mondják, hogy a szimuláció egy statikus modell „futtatása”, dinamikus használata.

Szimuláció például Meade professzor makroökönómia óráján a Phillips géppel való kísérletezés. De még korábban, már az első világháború alatt használtak például mechanikus ló-szimulátorokat. Manapság viszont szimuláció alatt leginkább számítógéppel végrehajtott, modelleken alapuló számításokat értenek, amelyeket emberek a maguk kognitív eszközeivel egyáltalán nem képesek végrehajtani. (Humphreys, 1990) A használt modellek nagyon változatosak, mindenki ismeri az autó- és repülőszimulátorokat, vannak különféle gazdasági és üzleti szimulációk, szociológiai szimulációk, stb. A ténylegesen megépített szélcsatornák a nagy haladási sebességet képesek szimulálni, ugyanúgy ahogy a számítógépes áramlási modellek.

A szimulációk nagyon pontos modelleken alapulhatnak, például általánosan elfogadott nézet, hogy a pilóták kiképzéséhez használt repülőszimulátorok ténylegesen képesek kiváltani sok repült órát, ami jóval drágább. Ismertek olyan esetek amikor kezdő Formula-1-es pilóták egy-egy pályát autószimulátor prog-

ram segítségével gyakoroltak be, és ezután jó helyezést értek el a tényleges versenyen. Egy másik példa a pilóta nélküli repülőgépeké, amelyek egy belső fizikai modellel rendelkeznek, amelyet folyamatosan frissítenek a szenzoros adatokkal – ez tehát valós idejű szimulációnak tekinthető.

De ugyanígy szimulációnak tekinthetjük például azt a Digitális Rendszerek vizsgát ahol a hallgatóknak egy Z80-as vagy 8080-as processzor működését kell fejben és papíron megvalósítaniuk, és kiszámítaniuk egy adott bemenetre adott eredményt; vagy azokat a programozás vizsgákat, ahol a feladat egy nyomtatott programkód elképzelt futtatása esetén az output megadása.

Lényegében tehát a modellezést mindig szimuláció követi, amennyiben a modell nem csupán magyarázó vagy illusztráló funkciót tölt be, hanem kísérletezünk rajta vagy előrejelzéseket teszünk segítségével. E szerint például a gondolatkísérletek is szimulációk, a számítógépes szimulációk viszont szuper-gondolatkísérletek (Di Paolo et al., 2000).

A szimuláció a modellezésnél hagyományosan jóval kevésbé tárgyalt fogalma a tudományfilozófiának. Az elmúlt húsz évben azonban beindult némi pezsgés ezen fogalom körül, feltehetőleg a számítógépes szimulációk elterjedésének és látszólagos hatékonyságának köszönhetően. A viták leginkább a szupervenienencia, a többszörös realizálhatóság és az emergencia témaköre körül zajlanak. Ezek a kérdések a szimulált elmék, a szimulált evolúció (amelyet mára iparszerűen használnak és oktatnak Genetikus Algoritmusok címszó alatt) és a mesterséges élet létrehozására törekvő projektek kapcsán merülnek fel, amelyek önmagukban egy-egy önálló témakört alkotnak.

## 5. Köszönet

A jegyzet elkészítését a TÁMOP - 4.2.2.B-10/1-2010-0009 projekt támogatta.

## Hivatkozások

R.J. Brachman and H.J. Levesque. *Knowledge representation and reasoning*. Morgan Kaufmann, 2004.

Sadi Carnot. *Reflections on the Motive Power of Heat and on Machines Fitted to Develop That Power*. New York: J. Wiley and Sons [transl. 1890], 1824.

R. Davis, H. Shrobe, and P. Szolovits. What is a knowledge representation? *AI magazine*, 14(1):17, 1993.

E.A. Di Paolo, J. Noble, and S. Bullock. Simulation models as opaque thought experiments. In *Artificial Life VII: The Seventh International Conference on the Simulation and Synthesis of Living Systems*, pages 497–506. Citeseer, 2000.

Irving Fisher. *The Purchasing Power of Money*. Macmillan, New York, 1911.

P. Humphreys. Computer simulations. In *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, pages 497–506. JSTOR, 1990.

H. Höffding. *Der Begriff der Analogie*. Leipzig, 1924.

G. Klaus. *Kybernetik in philosophischer Sicht*. Berlin, 1961.

A. Kuipers. *Model en inzicht*. Nijmegen, 1959.

- Cristoph Meinel. Molecules and croquet balls. In Soraya de Chadarevian and Nick Hopwood, editors, *Models: the third dimension of science*, chapter 9. Stanford University Press, 2004. ISBN 0-8047-3972-2.
- Mary S. Morgan. Technology of analogical models: Irving fisher's monetary worlds. *Philosophy of Science*, pages 304–14, 1999.
- Mary S. Morgan and Marcel Boumans. Secrets hidden by two-dimensionality: The economy as a hydraulic machine. In Soraya de Chadarevian and Nick Hopwood, editors, *Models: the third dimension of science*, chapter 13. Stanford University Press, 2004. ISBN 0-8047-3972-2.
- Alan Newell and Herbert a Simon. Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. *Communications of the ACM*, 19(3):113–126, 1976.
- Michael Polányi. *The tacit dimension*. Doubleday New York, 1966.
- György Pólya. *Mathematics and Plausible Reasoning*, volume 1. Princeton, 1954.
- Thomas Schnalke. Casting skin: Meanings for doctors, artists, and patients. In Soraya de Chadarevian and Nick Hopwood, editors, *Models: the third dimension of science*, chapter 8. Stanford University Press, 2004. ISBN 0-8047-3972-2.
- James A. Secord. Monsters at the crystal palace. In Soraya de Chadarevian and Nick Hopwood, editors, *Models: the third dimension of science*, chapter 6. Stanford University Press, 2004. ISBN 0-8047-3972-2.



C. V. Stoff. *Modell és Filozófia*. Kossuth Könyvkiadó, magyar ford. Kocsondi András [1973], 1966.

Marx W. Wartofsky. *Models: representation and the scientific understanding*. Boston studies in the philosophy of science, 1979.