

# TUDOMÁNYOS ÉLET

## Világmodellek\*

A Római Klub nézetei a közelgő világcatasztrófáról, amely a természeti erőforrások kimerülése, a környezet elszennyeződése, a mezőgazdasági termelés viszonylag lassú és a népességnövekedés gyors üteme miatt következne be, nemcsak a szaktudósok, hanem a nagyközönség körében is széles körben ismertté váltak. Ezekkel a nézetekkel, illetve kritikáikkal magyar nem-szakfolyóiratokban megjelent tanulmányok is foglalkoztak. 1973-ban a sussexi egyetemnek egy multidiszciplináris (közgazdászt, szociológust, matematikust, biológust, fizikust, politológust magában foglaló) kutatócsoportja részletesen és sokoldalúan bírálta a Római Klub kezdeményezésére írott munkákat, közöttük elsősorban Forrester „világdinamikáját”, valamint Meadows-éknak a növekedés hatáiról írott népszerűsítő könyvét. Mivel a Római Klub nézeteit igen széles matematikai apparátus támasztja alá és kritikájuk is részben éppen a világmodell felépítésére és általában a hasonló nagyméretű modellek felhasználási lehetőségeire vonatkozik, célszerűnek látszik, hogy a Szigma ismertesse a vitának ezt a matematikai közgazdaságtannal összefüggő oldalát.

Bevezetésképpen érdemes a művek keletkezéstörténetét röviden ismertetni. Forrester az ipari vállalatok vezetésének professzora, jelentős technikai találmányai vannak a szervomechanizmusok, a digitális információ tárolás és az ipari vezérlés területén. Megközelítése alapvetően mérnöki és nem közgazdaságtani jellegű. Módszerét, amelyet rendszer dinamikának nevez, először *Industrial Dynamics* című művében írta le, majd a városok fejlődésének és leromlásának problémáira alkalmazta *Urban Dynamics* című könyvében.

A Római Klub, amelyet Aurelio Peccei olasz gyáriparos hozott létre, meghívta Forrester, hogy ismertesse módszerét, és használhatónak találta azt a Klub érdeklődésének középpontjában álló világproblémák modellezésére. A Klub kezdeményezésére a Volkswagen Alapítvány vállalta a munka finanszírozását és azzal D. L. Meadows-t, Forrester munkatársát bízta meg. Először Forrester írta meg saját elképzeléseit a világmodellről, majd Meadows és társai írtak számos anyagot, tanulmányt, amelyekben lényegesen részletesebb modelljüket és a számítások eredményeit mutatták be. Eredményeiket többé-kevésbé népszerű formában (matematikai apparátus nélkül) foglalták össze *Limits to Growth* című munkájukban.

A sussexi egyetem tudománypolitikai kutató csoportja *Thinking about the Future* című munkájában egyrészt végigvizsgálta mind Forrester, mind Meadows és társai modelljének egyes alrendszereit, a bennük foglalt egyenleteket és paramétereket, az alkalmazott feltevéseket és érzékenységvizsgálatokat végzett a modellnek megváltoztatott paraméterekkel való futtatása útján, másrészt elemezte a növekedés határai koncepciójának tudománytörténeti hátterét és a mögötte meghúzódó jelenlegi gazdasági és politikai érdekeket.

A Forrester által kidolgozott *Világ II* modell a következő nagy tömbökből áll: 1. népesség, 2. természeti erőforrások, 3. ipari termelés és beruházás, 4. mezőgazdasági termelés, 5. szennyeződés. Ezekben a tömbökben viszonylag egyszerű felépítésű egyen-

\* Forrester, J. W.: *World Dynamics*, Cambridge, Mass. 1971. Wright-Allen Press.  
Meadows, D. H.—Meadows, D. L.—Randers, J.—Behrens, W. W. III.: *The Limits to Growth*, New York, 1972. Universe Books. 205 p.

Cole, H. S. D.—Freeman, C.—Jahoda, M.—Pavitt, K. L. R. (szerk.): *Thinking about the Future. A Critique of the Limits to Growth*. London, 1973. Sussex University Press.  
217 p.

letek fejezik ki a változók időbeni alakulását. Például a világ népességszámának alakulása a születési és halálozási arányszám különbségétől, a halálozási arányszám alakulása az egy főre jutó élelmiszertermelésétől, a népsűrűségtől (zsúfoltságtól), a környezet szennyezettségétől, stb. függ. A természeti erőforrások adott mennyisége az ipari termelés növekedésének ütemével arányosan esökken. A különböző változók egymásra való hatását multiplikátorok fejezik ki. A hatások elég jelentős késésekkel jelentkeznek. A *Világ II* tehát meglehetősen egyszerű dinamikus modell, amely egy bonyolult rendszer változóinak egymást követő értékeit a kiinduló értékek alapján — a feltételezett paraméterek (multiplikátorok stb.) segítségével — előrebecsüli. Az előrebecslés eredménye igen borulató: a természeti erőforrások rövidesen kifognak, és pedig minél gyorsabb a közeljövőben a gazdasági növekedés, annál gyorsabban; a növekvő ipari termelés növeli a környezet szennyezettségét, amely az emberi életfeltételeket lerontja és ezáltal a népesség csökkenését fogja előidézni; a népesség növekedése rövid időn belül az élelmiszer termelés gátjába is beleütközik, mert a mezőgazdasági termelés jellemző csökkenő hozadék következtében az élelmiszertermelés nem képes lépést tartani a népesség növekedésével, illetve egyre több erőforrást von el az ipari beruházásoktól és ezáltal megállítja az ipari növekedést. Tehát a világot fenyegeti egy erőforrás-kimerülési, egy elszennyeződési és egy éhínség katasztrófa. Ha sikerül is elkerülni az egyiket, a többiek szükségképpen bekövetkeznek. A katasztrófák ezért csak igen drasztikus intézkedésekkel hártathatók el: a népesség növekedést meg kell állítani (családonként nem lehet több két gyermeknél), a beruházásokat és a gazdasági növekedést vissza kell fogni, és nagy erőfeszítéseket kell tenni a környezet szennyeződésének megállítására. Ezeknek a javaslatoknak hatásait azonban Forrester már nem modellezi. Úgy látszik, hogy a modellből nem is lehet semmilyen optimistább következtetésre jutni, a katasztrófák egyike — legbiztosabban az erőforrások kimerülése — előbb vagy utóbb szükségképpen bekövetkezik a modell alapfeltevései értelmében.

Meadows *Világ III* modellje tulajdonképpen csak Forrester modelljének részletesebb változata. Háromszor annyi egyenletet tartalmaz, az egyenletekben szereplő paraméterekben lényegesen nagyobb mértékben igyekeztek empirikus adatokat figyelembe venni, a modell felépítése és jellege azonban ugyanolyan maradt. A *Limits to Growth* csak a modellszámítások eredményeit közli, a *Thinking about the Future* című könyvben azonban a szerzők Meadows-ék más munkáira támaszkodva részletesen leírják a modellt.

A modell általános jellemzői a következők. A világ zárt rendszert alkot, minden változó endogén. A paramétereket többnyire nem finom ökonometria módszerekkel, hanem igen egyszerű becslésekkel állapították meg, vagy egyszerűen hipotetikus értékeket választottak. A modellen nem szerepelnek technológiai és társadalmi visszacsatolási mechanizmusok, vagyis a gazdasági körülmények változása nem ösztönöz technológiai változásokra és a társadalom értékeinek, preferenciáinak változásaira. Nincsenek a modellben árak, amelyek a visszacsatolásokat közvetíthetnék. Az egész világ egyetlen szektort alkot, tehát még olyan durva bontást sem alkalmaz, mint amilyen a fejlett és elmaradott országok megkülönböztetése lehetne. A modell alapvetően determinisztikus jellegű.

A *Világ III* erőforrás alrendszere azon a feltevésen alapul, hogy a természeti erőforrások készlete körülbelül 250 évre elegendő (a jelenlegi fogyasztás mellett). Az ipari termelés folyamatosan fogyasztja ezeket, ezzel párhuzamosan nőnek a kitermelési költségek és egyre nagyobb beruházásokat fog igényelni az ismert, de még nem használt erőforrások tartalékok feltárása. Ennek következtében a természeti erőforrás szektor a beruházásoknak egyre nagyobb részét vonja el az ipari beruházásoktól. Nincs olyan műszaki fejlődés, amely eddig ismeretlen erőforrásokat tárna fel vagy a kitermelést olcsóbbá tenné.

W. Page a sussexi kutatócsoport könyvében egyrészt arra mutat rá, hogy az erőforrás készletek a feltételezettnél sokszorososan nagyobbak és nem az abszolút hiány, hanem a technológiai nehézségek és a gazdasági tényezők (költségek) akadályozzák a kitermelés növelését. Másrészt az elmúlt évtizedekben a bányászati technológiák fejlődése ellensúlyozni tudta a nehezebben hozzáférhető készletek kitermeléséből adódó költség növekedést, ezért indokolt arra számítani, hogy ez a jövőben sem változik. Számítani lehet a hulladékok hasznosításának tökéletesítésére és az erőforrások egyre takarékosabb felhasználására is. Mindez azonban nem változtat azon, hogy átmenetileg egy-egy erőforrás szűkössé válhat és ára emelkedhet. Ilyen elsősorban az olaj, amint azt az energia-forrásokkal foglalkozó tanulmányban A. J. Surrey és A. J. Bromley megállapítják. De ebben az esetben sem a fizikai hiány okozza a fő problémát, hanem a gyorsan növekedő fogyasztás miatt szükségessé váló gazdasági és társadalmi változások.

A népesedési alrendszert szintén W. Page elemezte. Ebben az alrendszerben az egyik fő változó a termékenység. Ez egyrészt függ a maximális teljes normál termékenységtől

amelyet 12 gyermekkel vesznek egyenlőnek. A ténylegesen érvényesülő teljes maximális termékenység ennél kisebb, mert a nők jelentős része nem éli végig a propagatív életszakaszt. Ebben az értelemben a halandóság javulása a tényleges termékenység növelése irányában hat. A születésszámot ezen kívül befolyásolja a kívánt gyermekszám. Ez függ a gazdasági fejlődéstől egyrészt olyan módon, hogy maga a jövedelem emelkedés a termékenység növekedésének irányában hat (mert nagyobb jövedelemből több gyermeket lehet eltartani), másrészt a gazdasági fejlődéssel együttjáró társadalmi struktúra változások (városiasodás, az iskolai végzettség emelkedése stb.) a gyermekszám csökkenése irányában hatnak. A modell azt is feltételezi, hogy létezik valamilyen alapvető vágy a gyermekek iránt és ez a családonkénti négy gyermekes átlag kialakulása irányában hat, az említett jövedelmi és strukturális hatások ezt a négy gyermekes átlagot módosítják. Itt meg kell jegyezni, hogy bár a termékenységre ható tényezők felépítése a modellben nagyjából megfelel a demográfiai elmélet mai állásának, ez utóbbi tenyező, a négy gyermek utáni természetes vágy, semmilyen empirikus adattal sem igazolható. Arra vonatkozóan sincs empirikus alapunk, hogyan befolyásolja számszerűen a jövedelememelkedés és a fejlődéssel járó strukturális változás a termékenységet. Ezért teljesen hipotetikus a modellnek az a feltételezése, hogy bizonyos fejlettségi szint fölött a tényleges gyermekszám nőni kezd a gazdasági fejlődéssel párhuzamosan. A hatvanas évek közepe óta Amerikában és Nyugat-Európában bekövetkezett születésszám csökkenés teljesen rácafolni látszik erre az elképzelésre. A világmodell népesedési prognózisa viszont éppen ezen és a négygyermekes természetes családideálon alapul. Mivel egyik sem reális, a modell népesedési prognózisa sem az.

A népesedési alrendszer másik fő változója a halandóság. A világmodell feltételezi, hogy a halandóságot egyrészt kedvezőtlenül befolyásolja a szélűrtiség és a környezeti szennyezettség növekedése, másrészt függ az egészségügyi szolgáltatásoktól (amelyek a harmadik szektor beruházásainak egy részét alkotják), valamint az egy főre jutó élelmiszertermeléstől. A világmodell szerint a következő évtizedekben nő a népsűrűség, nő a szennyezettség, és hamarosan csökkenni kezd az egy főre jutó élelmiszertermelés és egészségügyi szolgáltatás színvonala, mert a megtermelt nemzeti jövedelemnek egyre nagyobb részét köti le a természeti erőforrások kitermelése és az élelmiszertermelés fokozása kedvezőtlenebb mezőgazdasági területeken. Ezért népesedési katasztrófa következik be a halandóság hirtelen megnövekedése miatt, és ez csökkenti majd a születésszámot (mert a nők rövidebb ideig élnek) és a népességszámot is. Látható tehát, hogy a világmodellben semmi olyan mechanizmus sem szerepel, amelyen keresztül a világ népessége születésszámát korlátozza, amikor a népesség növekedése az élelmiszertermelés korlátjába ütközik. A népesedés története viszont éppen azt látszik bizonyítani, hogy hasonló helyzetekben egy-egy ország vagy vidék népessége előbb-utóbb mindig megtalálta a születésszám korlátozásának módját. Ez ilyen társadalmi visszacsatolások hiánya különben az egész világmodellét jellemzi. Ha ilyen visszacsatolás a valóságban létezik, akkor a jövő természetesen egészen másképpen zajlik le, mint ahogyan ezt a világmodell jósolja.

A mezőgazdasági termelés alrendszere, amelyről a sussexi kutatócsoport könyvében *P. K. Marstand* és *K. L. R. Pavitt* írt, tulajdonképpen azt a ricardói tételt fogalmazza meg modell alakban, hogy a mezőgazdasági termelés növekedésével párhuzamosan egyre rosszabb minőségű földeket kell a termelésbe bevonni, ezért a hozadékok csökkennek. Ehhez járul, hogy a levegő szennyeződése csökkenteni fogja a terméshozamokat, maga a tőkeintenzív mezőgazdaság tartósan elszennyezi a földterületet és a hosszan tartó megművelés is visszafordíthatatlan eróziót eredményez. A modell szerint a mezőgazdaságban nincs műszaki fejlődés, amely ezeket a folyamatokat feltartóztathatná. A múltban viszont éppen e műszaki fejlődés miatt nem érvényesült a csökkenő hozadék a mezőgazdaságban. A bírálók e hiányosságban kívül kiemelik azt is, hogy a világmodell egyáltalán nem veszi figyelembe a mezőgazdaságilag megművelhető földterületen országok közötti megoszlását, pedig éppen ez a megoszlás okozza ma a legnagyobb problémákat a világ népességének élelmiszerellátásában. Egyes országokban sok az ember, de nincs föld, amelyet megműveljen, más országokban sok a föld, de nincs ember, aki megművelje. Ha ez az akadályozó tényező nem hatna, akkor még sokáig egyáltalán nem merülhetne fel a csökkenő hozadék.

A világmodellben az ipari termelés és a tőkejavak egyetlen alrendszert alkotnak, ugyanis az ipari termelés egy részét fordítják beruházásra az iparban (második szektor), a mezőgazdaságban és bányászatban (első szektor) és a harmadik szektorban. Mivel az első szektorban a termelés növelése egyre nagyobb beruházásokat igényel, az ipar és a harmadik szektor egyre kevesebb beruházást kap, így a gazdasági növekedés stagnálásba, majd visszaesésbe megy át. A modell állandó 3 értékű tőke/termelés együtthatót tételez fel, ebben a szektorban tehát nincs csökkenő hozadék és van műszaki fejlődés. A szekto-

rok egymáshoz viszonyított termelése a világban a közelmúltban megfigyelt arányban fog alakulni (Chenery ismert adatai szerint). Amint azonban a sussexi kutatócsoport két tagja, *P. A. Julien* és *C. Freeman* rámutatnak, az 1960-as években különböző fejlettségű országokban megfigyelt szektor-arányok semmiképpen sem értelmezhetőek fejlődési törvényszerűségként, nem lehet azt mondani, hogy amikor az egész világ eléri az amerikai gazdaság jelenlegi fejlettségi szintjét, akkor a világon a szektorok aránya meg fog egyezni a jelenlegi amerikai aránnyal, már csak azért sem, mert ezeket a mai arányokat a külkereskedelem erősen befolyásolja. Azt is erősen megkérdőjelezzük, hogy a világ népességének fogyasztási preferenciái, értékelései a jövőben a mai fejlett országokban megfigyelt preferenciák szerint fognak-e alakulni.

Végül a világmodell szennyeződés alrendszere, amelyet a sussexiek részéről *P. K. Marstrand* és *T. C. Sinclair* bírált, azon az egyszerű tételre alapul, hogy mind az ipari, mind a mezőgazdasági termeléssel arányos mennyiségű szennyeződés jön létre, így a termelés növekedésekor nő a világ szennyezettsége, ugyanakkor annak szennyeződés elnyelő kapacitása változatlan. A világmodell feltételezi, hogy az 1970. évinek 25-szöröse az a maximális szennyeződés mennyiség, amelyet a környezet még fel tud szívni. A modell egyáltalán nem veszi figyelembe annak a lehetőségét, hogy az egységnyi termelésre jutó szennyeződés mennyiségét műszaki újításokkal csökkenteni lehet, és hogy a szennyeződés egyrészt esetleg művi úton fel lehet dolgozni. Ténylegesen azonban úgy látszik, hogy az évi nemzeti jövedelem egy törtrészének (körülbelül 0,5—2,0 százaléknak) felhasználásával meg lehetne akadályozni a szennyeződés növekedését ezekben az országokban. A bírálók rámutatnak, hogy a világmodell kidolgozója azért, hogy a szennyeződésre összpontosítottak, elterelték a figyelmet a gazdasági növekedés más társadalmi költségeiről (pl. a munkahelyi balesetekről, a strukturális változásokhoz való alkalmazkodás nehézségeiről).

*H. S. D. Cole* és *R. C. Curnow* leírják, hogy a sussexi kutatócsoport keretében kísérleteket végeztek a világmodellel olyan módon, hogy kissé megváltoztatott paraméterekkel, feltételekkel, új összefüggések beépítésével futtatták őket. Ezeket a futtatásokat semmiképpen sem tekintik reális előrebecsléseknek, csupán érzékenységi vizsgálatoknak. Tisztázódott, hogy némely paraméternek kisfokú változtatása esetén egészen más jövőbeli folyamatokat kapnak. Némely esetben a katasztrófa időben kitolódik, máskor egyáltalán nem következik be a következő kétszáz évben. Teljesen megváltozik a modell működése, ha visszacsatolási mechanizmusokat építenek be, amelyek technológiai, gazdasági és társadalmi-politikai alkalmazkodási folyamatokat indítanak meg. Éppen ezeknek a legkritikusabb paramétereknek az értéke nagyon bizonytalan a világmodellekben. Kidolgozók a lehetséges értékek közül következetesen a pesszimistábbakat választották, tehát messzemenően hagyták érvényesülni saját értékítéleteiket, ugyanakkor ezt a tényt a matematikai modell látszólagos objektivitása mögé rejtették. *C. Freeman* a bevezető fejezetben találoan jellemezte a világmodelleket így: „Malthus egy computerrel”.

A világmodell tehát megmutatták, mire és hogyan nem szabad a matematikai modelleket felhasználni. Egyrészt világossá vált, hogy egy ipari üzem vezérlésére jól használható modell-típus nem alkalmas a sokkal bonyolultabb összefüggéseket tartalmazó világméretű folyamatok leírására és előrebecslésére. Másrészt a megfelelő statisztikai adatbázis nélkül felépített modellt csupán gondolkísérletekre szabad használni, a belőle kapott eredményeket nem lehet a vlóságos folyamatok előrebecslésének tekinteni. Különösen veszélyes az exponenciális trendek egyszerű meghosszabbítása. A gazdasági folyamatok hasonló hosszútávú modelljeiben túlzott leegyszerűsítést jelent az árváltozások, az azokon keresztül megvalósuló alkalmazkodási folyamatok elhanyagolása. Mellettük figyelembe kell venni más társadalmi alkalmazkodási mechanizmusokat is. Egy rendszer modellnek éppen az kellene, hogy legyen a fő jellemzője, hogy szerepelnek benne azok a visszacsatolások, amelyek keresztül a rendszer működésének szabályozása megvalósul. Mindez természetesen nem jelenti azt, — ezt a sussexi kutatócsoport tagjai is erősen hangsúlyozták — hogy a világmodellekben vizsgált jelenségek; a környezet szennyeződése, az energiaellátás, a világ növekvő népességének élelmezése nem érdemlik a szaktudományok különleges figyelmét. Éppen a tudományos kutatások felismerései, eredményeik átültetése a gyakorlatba alkotják az egyik fontos visszacsatolási mechanizmust, amely a katasztrófális helyzetek elkerülése irányában hat.