

V. Dinamikus rendszermodellezés: oksági diagram készítése

Berényi László

DOI: 10.36250/00734.05

1. A fejezet célkitűzése

A dinamikus rendszermodellezés sajátos gondolkodásmódot kíván meg. El kell szakadni attól a hétköznapi megközelítéstől, hogy az ok-okozati kapcsolatokat két (vagy kevés számú) tényező között értelmezve következtetünk egy rendszer egész működésére. A modellezés során számos ilyen kapcsolatot kell azonosítani és hatásukat számszerűsíteni úgy, hogy közben minden további hatást is figyelembe veszünk. Leegyszerűsítve, a hatások rendszerét kell felépíteni. A fejezet átolvasása során az Olvasó megismerkedik a dinamikus rendszermodellezés alapvető eszközével, az oksági diagrammal. A bemutatott példák a téma gyakorlatában jártas szerzők munkáiból lettek kiemelve. A tankönyvi modellek rövidek és leegyszerűsítettek, azonban látni fogja az Olvasó, hogy a kezdő modellező számára ezek is meglepően összetett megoldásokat alkalmaznak. Tanulmányozásuk, átgondolásuk a tanulás első lépése: az oksági diagramok logikájának „megszokása”. Fel kell hívni továbbá a figyelmet arra, hogy a rendszerdinamikai modellek soha nem az egyetlenek és legjobbak. Az oksági diagram felépítése nagymértékben függ a vizsgálatok céljától és a készítő szubjektív elképzeléseitől.

2. A dinamikus rendszermodellezés szükségessége

A rendszerek viselkedésének vizsgálatánál a működési folyamatok leírása a cél, pontosabban bemutatni a folyamatok lefutásának a rendszer állapotára gyakorolt hatását. A folyamatok statikus szemléletű vizsgálata kifejezetten a folyamat tevékenységeinek (elemeinek), a közöttük lévő logikai és sorrendi kapcsolatok leírását célozza. Dinamikus szemléletben a hatásterületek kiemelése és a közöttük lévő kapcsolatok, hatások és visszacsatolások vizsgálatával kell foglalkozni. Egy régi bölcsesség szerint, ha az egyetlen eszközünk egy kalapács, hirtelen minden szögnek fog látszani (KIM 1992). Az oksági diagram, és általában a dinamikus rendszermodellezés a turbulens módon változó társadalmi és gazdasági környezetben (MINTZBERG 1978) cseréli le a kalapácsot egy célszerűbb eszközre.

A dinamikus rendszermodellezés szükségességét a társadalomban jól példázza a vállalatok fejlődésre való törekvése. Senge *Az ötödik alapelv* című művében (SENGE 1998) mutatta be a tanuló szervezeteket, kialakítva a fogalom mai jelentését. A *tanuló szervezet*

olyan dolgozó közösséget jelent, ahol az egyének képességeik folyamatos bővítésére törek-szenek, új gondolkodásmódokat honosítanak meg, amelyeket a vezetés is támogat, a közös elképzeléseknek tág teret biztosítanak, és az emberek a közös tanulás képességének elsajá-tításában is motiváltak. Ezek a szervezetek öt alapelv szerint működnek:

- rendszerben való gondolkodás,
- önfejlesztés, önirányítás,
- közös jövőkép,
- belső meggyőződés (attitűdváltozás, gondolati minták),
- csoportos tanulás, teammunka.

A rendszergondolkodás olyan szemléleti fogalom, amelynek célja, hogy gondolkodásunkat a nagyobb összefüggések átlátására irányítsa, döntéseinknél a hosszabb távú, tovagyűrűző hatásokra koncentráljunk, cselekedeteinket pedig a mélyben húzódo tendenciák és össze-függések ismeretében határozzuk meg. A vállalati élet jellemzője, hogy nem pusztán lineáris ok-okozati kapcsolatok jellemzik, hanem hálózatszerűen összefüggő kapcsolatok és folya-matok. A rendszergondolkodás elsajátításához mindenekelőtt gondolkodásmód-váltásra van szükségünk, ami lehetővé teszi új problémamegoldási módok, újszerű elképzelések létrejöttét.

A többi alapelvet jelen keretek között nem mutatjuk be Senge munkája alapján, de azt jelezzük, hogy visszaköszönnék a módszerek alkalmazásában.

3. Oksági diagram készítésének menete

A rendszerdinamikai vizsgálatok alapvető modellezési eszköze az oksági diagram (casual loop diagram), amelyek endogén (belső, rendszeren belüli) és exogén (külső, rendszeren kívüli) változók figyelembevételével, formalizáltan mutatják be a kapcsolatokat és az ezekből levezethető visszacsatolások rendszerét (KIRÁLY et al. 2016; STERMAN 2000; KIM 1992).

Alapjaiban nagyon egyszerű módszerről van szó, a nagyobb, összetett rendszerekre való sikeres alkalmazása azonban komoly gyakorlatot és tapasztalatot igényel. Egy komplex rendszer változóinak és kapcsolatainak feltárása több ember összehangolt munkáját igényli, heterogén munkacsoportokban dolgozva van lehetőség minél több aspektus bevonására. Egyetlen rendszerre és problémakörre vonatkozóan nincs egyetlen „tökéletes” oksági diagram, a készítők szubjektív megítélésén sok múlik. A példák kapcsán látható lesz, hogy az oksági diagram az *előrejelzés eszköze*, ám ennél sokkal fontosabb feladata a *rendszer működésének megértése* (MEADOWS 2008).

Meg kell jegyezni, hogy az oksági diagram készítésének részleteiben és az ábrázolás pontos módjában nincs egységes álláspont a szerzők között, ideértve a jelölések és a részletesség kérdését is. Tágabban értelmezve minden okokat és hatásokat vizsgáló vizuális megoldást idesorolhatunk. A rendszerdinamikában használt eszközt, amely változókat, kapcsolatokat, hatásokat is tartalmaz, *komplex oksági diagramnak* is szokás nevezni.

Az elkészítés általános folyamata (BALA–ARSHAD–NOH 2017):

1. A probléma és a vizsgálati célok meghatározása.
2. A rendszer legfontosabb elemeinek azonosítása.
3. A rendszer másodlagos fontosságú elemeinek azonosítása.

4. A rendszer harmadlagos fontosságú elemeinek azonosítása.
5. Az ok-okozati összefüggések definiálása.
6. Zárt hurkok azonosítása.
7. Megerősítő és kiegyenlítő hurkok azonosítása.

A probléma meghatározásának fontosságát ki kell emelni, mivel ennek elégtelensége esetén a modell felépítésére és a kapcsolódó számításokra fordított erőfeszítések feleslegesek lehetnek. A vizsgálandó probléma ismerete meghatározza a szükséges változókat, a célok pedig többek között az elemzés mélységét. Kim tapasztalatai (KIM 1992) alapján az oksági diagram kidolgozása nem cél, hanem annak a folyamat része és eszköze, amely mélyebb és pontosabb képet akar alkotni egy komplex kérdéstről. A téma megválasztása mellett annak megfogalmazására is gondot kell fordítani. Célszerűbb megfogalmazás például, hogy „megérteni, milyen következményekkel jár, ha a szervezet technológiaorientált stratégiáról piacorientáltra vált”, mint az, hogy „megérteni a szervezet stratégiai tervezési folyamatát”. A *rendszerhatárok kijelölése* is kritikus kérdés. Dönteni kell arról, hogy melyek legyenek az endogén (belső) és az exogén (külső) változók. A téma ismeretében korlátozni kell a figyelembe vett változók, különösen az endogén változók számát ahhoz, hogy a modell kezelhető maradjon.

További javaslatok az időtényező kezeléséhez (KIM 1992):

- *Időtáv*: a megfelelő vizsgálati időhorizont elég hosszú ahhoz, hogy láthatóvá váljon a változások dinamikája. A szervezeti stratégia megváltoztatásához az időhorizont több évig terjedhet, míg a hirdetési kampányok változása hónapokban mérhető.
- *Az idő mint okozó*: noha az idő és az események között gyakran kapcsolat látszik, de ez félrevezető lehet. Például ha egy nagy esőzés után a folyó szintje folyamatosan emelkedik az idő múlásával, az nem az idő következménye. A gyártás során például idővel egy új termék előállítási költségei gyakran csökkennek, az ok azonban valójában a folyamatok fejlesztése és a tanulás.
- *Aggregáció szintje*: A vizsgálati modell részletessége a témák és célok függvényében adható meg. Figyelembe kell venni, hogy az ok-okozati kapcsolatok egy modellen belül összehangolhatók legyenek időben. Ha a vizsgálat például napi vagy időtávban értelmezhető (például gyártósor teljesítménye), akkor egy éves időtávban mérhető jelenséget (például üzemcsarnok felépítése) nem változóként, hanem adottságként érdemes figyelembe venni. További szabály, hogy konkrét, egyedi események helyett általánosítható viselkedésmintákat írjanak le a változók.
- *Késleltetett hatások*: Késleltetett hatások beépítése az oksági diagramba a szimulációs modellezés szempontjából nagyon fontos, mondhatjuk, hogy ezek teszik szükségessé a dinamika vizsgálatát. Ügyelni kell azonban arra, hogy a modell egységesen működjön. Ha a modell egyes részeinek dinamikája tapasztalható, megfontolandó külön modelleket alkotni, mert a hatások nem lesznek értelmezhetők.

A diagramkészítés folyamatának és szabályainak ismertetése azért előzi meg a diagram tartalmának bemutatását, hogy az első lépésektől kezdve egyértelmű legyen, hogyan akarja a hatásokat kezelni. Elszigetelten vizsgálva egyes kapcsolatokat a fenti kérdések nem mindig merülnek fel, figyelmen kívül hagyásuk azonban a későbbi elemzőmunka során komoly akadályokat támaszt.

4. Kölcsönhatások és kapcsolatok: az oksági diagram elkészítése

Az alábbiakban lépésről lépésre haladva, egy egyszerű példán keresztül mutatja be a könyv az oksági diagram felépítését. Az első szemléltető példa témája legyen a *népesség számának alakulása*, amelyet a születések és a halálozások száma befolyásol mint endogén változók (STERMAN 2000).

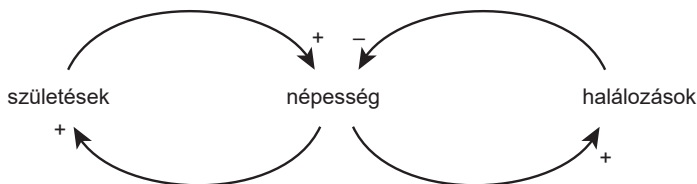
A születések száma hat a népesség számára, a népesség száma pedig visszahat. Ez a kör egy hurkot alkot. Hasonlóan egy másik *hurok* is vázolható: a halálozások száma hat a népesség számára, a népesség száma pedig hat a halálozások számára. A kapcsolat iránya (ok és okozat megjelölése) és a hatás mind a négy kapcsolat esetében egyszerűen megadható:

- a nagyobb születésszám nagyobb népességet eredményez,
- a nagyobb népesség több gyermek vállalásához vezet,
- a nagyobb népességszám mellett nagyobb halálozási számmal kell kalkulálni,
- a halálozások száma csökkenti a népességet.

A születések száma ugyanakkor nem csupán a népesség számától függ. A gyermekvállalást befolyásolja az egészségi állapot, a társadalmi helyzet, az életszínvonal, a családi háttér, a támogatások elérhetősége. Ezek mindegyikét egyenként csak akkor vesszük figyelembe a modellben, ha az kifejezetten a vizsgálat célja, mivel aránytalanul és indokolatlanul sok adatgyűjtést igényel, sőt felmerülhet, hogy egyéb releváns tényezőket közben figyelmen kívül hagyunk. Ha van olyan aggregált mutató, amellyel kifejezhető az együttes hatásuk, azt célszerű bevonni. Ilyen mutató a születési arányszám. Mivel az ebben összefoglalt körülményekre a vizsgálat szempontjából nincs ráhatásunk, külső (exogén) változóként tekintünk rá. A halálozás oldalán hasonló indokkal javasolható a várható élettartam mint külső változó bekapcsolása (2. ábra).

Az oksági diagram legegyszerűbb formájában *szöveges leírásból* (változók) és közöttük *nyilakkal* jelölve az ok-okozati kapcsolatokról épül fel. A nyilakon jelölni lehet a hatás irányát is (1. ábra). A hatások iránya a modellbe kapcsolt exogén változók esetén is értelmezendő. A *hatások irányát* a kapcsolatot jelző nyílra írt + vagy – jelekkel szokás jelölni, egyes szerzők azonban inkább az „S” (same, azonos) és „O” (opposite, ellentétes) jelölést javasolják (KIM 1992; RICHARDSON 2011), mivel a változók megfogalmazása miatt a + és – jelek félreérthetők lehetnek, előbbihez hajlamosak a modell értelmezői a növekedést vagy bővülést mint tartalmat kapcsolni, utóbbihoz pedig a csökkenést.

Fontos, hogy a nyilak valódi oksági kapcsolatokat jelöljenek, ne csak az összekapcsolt tényezők korrelációját, együtt mozgását. Meg kell azt is jegyezni, hogy a nyilak nem időbeliséget mutatnak, szerepük az okság irányának meghatározása.



1. ábra

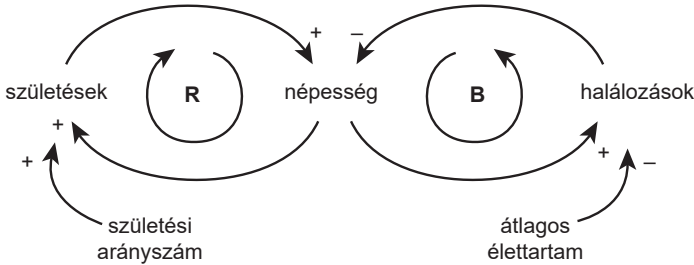
Oksági diagram alapja

Forrás: STERMAN 2000 alapján

Figyeljük meg az 1. ábra két hurkának különbözőségét:

- A születések száma és a népesség száma által meghatározott hurokban azt láthatjuk, hogy a hatások láncolata egymást erősíti, azaz pozitív visszacsatolás valósul meg. A modellben ezt az irányt jelölő nyílba írt + jellel vagy 'R' (reinforcing, *megegyesítő*) betűvel jelölhetjük.
- A népesség száma és a halálozások száma által meghatározott hurokban a két változó kapcsolat ellentétes hatású, ami az egyensúly fenntartása felé mutat. Mindezt egy – jellel vagy 'B' (balancing, *kiegyensúlyozó*) betűvel jelölhetjük.

A kiegészített diagramot nevezik komplex oksági diagramnak (2. ábra).



2. ábra

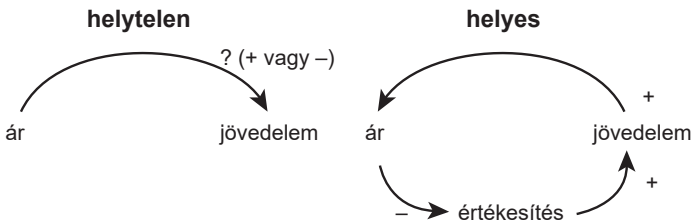
Komplex oksági diagram

Forrás: STERMAN 2000 alapján

5. A modell finomítása

Ha a fenti példa alapján úgy éreznék az Olvasó, hogy képes komplexebb problémák ábrázolására is oksági diagramon, valószínűleg már az első lépéseknél el fog akadni. Az első elképzelést a változók megfogalmazására vonatkozóan valószínűleg finomítani kell, ami a modell újragondolásával jár. Ilyen helyzetekben nyújtanak segítséget az alábbi példák.

Kézenfekvő, hogy ha egy *termék ára* növekszik, az *hatással van a bevételre*. Ha ezt ábrázoljuk (3. ábra), akkor nem tudjuk ábrázolni a hatás irányát, hiszen a magasabb ár növelheti és csökkentheti is a bevételt. Utóbbi akkor fordul elő, ha a magasabb ár miatt csökken a termék eladása. Célszerű ezt is bekapcsolni a modellbe.

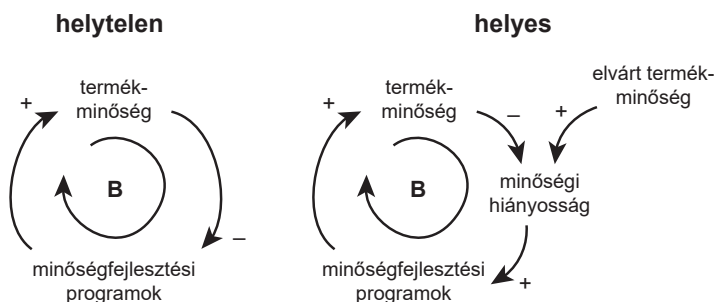


3. ábra

Nem egyértelmű hatás kezelése

Forrás: STERMAN 2000 alapján

Érdekes a *minőségfejlesztési programok* és a *szolgáltatás minősége* között felvázolható kapcsolat (4. ábra). Ha nincs gond a szolgáltatás minőségével, akkor nincs szükség fejlesztési programra sem. A modell logikája szerint a szolgáltatásminőség hatása negatív (ellentétes irányú) a minőségfejlesztési programok számára. Felmerül a kérdés, hogy egyáltalán nincs-e szükség fejlesztési programokra, ha a minőség magas. Hogyan tudom egyáltalán megítélni a minőségnek azt a szintjét, amikor már nincs fejlesztésre szükség? A gyakorlati tapasztalatok alapján a fejlesztési programok az észlelt nem megfelelőségek esetén indulnak, azaz észlelt eltérések esetén a minőségi elvárásoktól (minőségi hiányosság). A modellt célszerű kiegészíteni. A negatív visszacsatolások mindig célkereső jellegűek.



4. ábra

Külső tényezők figyelembevétele

Forrás: STERMAN 2000 alapján

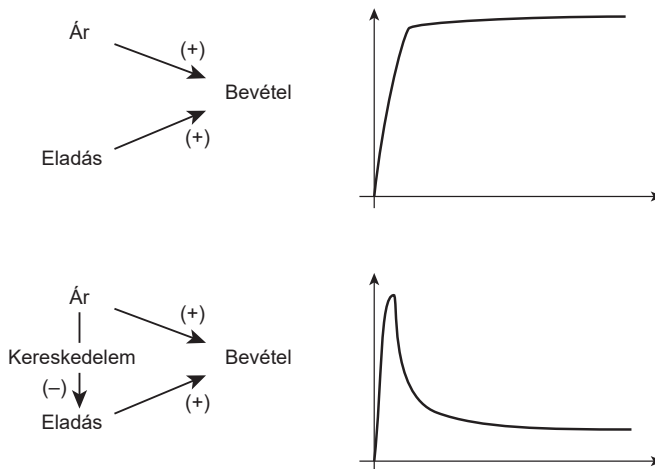
Néhány további megfontolás ahhoz, hogy a modell hatékonyan segítse a munkát (KIM 1992; RICHARDSON–PUGH 1983):

- A változók nevei főnevek legyenek, jelzők, minősítések és feltételezések nélkül (ezeket a hatások iránya fejezi ki). A „bevétel” tehát megfelelőbb, mint a „növekvő bevétel”. A kapcsolatok és hatások értelmezése akár lehetetlenné is válhat. A 3. ábra példáján bevételnövekedést ábrázolva nem egyértelmű, hogy az értékesítés a bevétel növekedését vagy a bevétel növekedésének a növekedését okozza.
- A változók számokkal kifejezhetők legyenek. A „lelkiállapot” például nem ilyen, helyette a „boldogság” megfelelőbb.
- A fentiekből következik, hogy célszerű a pozitívabb vagy nagyobb jelentéstartalommal bíró főnévvel jellemezni a változót.
- A nem szándékos hatások figyelembevétele segíthet a modellépítésben. Például a termelés fokozásának következménye a több termék, de emellett a munkások kimerülése is, amit negatív visszacsatolással érdemes figyelembe venni a modellben.
- A kapcsolatok valóban oksági viszonyokat mutassanak be. A modell ne is sugalljon időrendiséget, azaz a két változó közötti kapcsolat nem azt reprezentálja, hogy először az egyik, majd a másik következik be.

6. Késedelem

A diagramok ábrázolásánál általában elmarad, de nem kizárt egy fontos tényező, a *késedelem* figyelembevétele. A külső változók megadásával részben már kezeljük a kérdést, a rendszerek sajátosságából adódóan az aggregáció szintjére vonatkozó javaslatok (KIM 1992) nem tarthatók tökéletesen. Késedelmes hatása van bevezető példamodellünkben a népesség számának a születések számára: évek telnek el, mire a most születettek lesznek a gyermekvállalók. A modellben – ha azt szükségesnek ítélik meg a modellezők – jelölhető a késedelem, például a nyílra húzott kettős vonallal vagy szöveges megjegyzéssel (STERMAN 2000).

A késedelem érdekes és összetett viselkedést eredményezhet még az olyan rendszerekben is, ahol nincs visszacsatolás, és az ábrázolt ok-okozati hatások száma is kevés. A késedelem hatását a rendszer jellemzőinek alakulására jól szemlélteti Horváth példája (5. ábra).



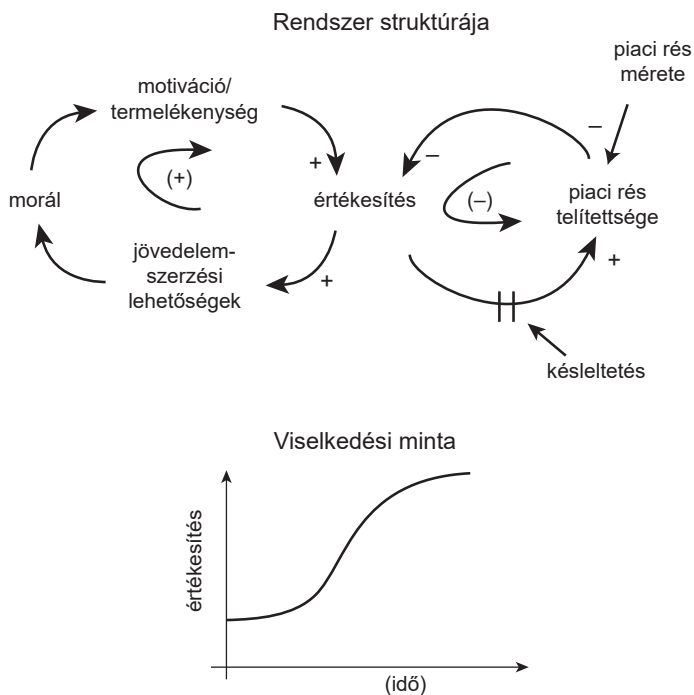
5. ábra

Késedelem hatása a rendszerre

Forrás: HORVÁTH 2012

Megvizsgálva az eladási ár és az értékesített mennyiség kapcsolatát, megfigyelhető, hogy ha nő az ár vagy az eladott mennyiség, akkor növekszik a bevétel. Ez természetesen csak akkor igaz, ha az igény olyan alapvető jellegű és fontosságú, úgynevezett merev kereslet rugalmasságú, hogy a fogyasztó bármilyen áron megvásárolja a terméket vagy a szolgáltatást. A valóságban általában az első időben az ár felugrik, majd a piac bizonyos szintű telítődése után az eladások drasztikusan visszaesnek, így természetesen a bevételek is csökkennek. Annak ellenére, hogy ebben a „rendszerben” nincs visszacsatolás, csak három ok-okozati kapcsolat, a rendszer viselkedése bonyolult. A bonyolultságot a késedelem okozza, amely a rendszer működését gyökeresen megváltoztatja.

Kirkwood (1998) példája megerősítő (R, +) és kiegyensúlyozó (B, -) hurok együttese esetén mutat be példát a késedelmek hatására (6. ábra). Az értékesítés kezdetét exponenciális növekedés jellemzi, a bevételi lehetőségek kedvező hatással vannak a morálra és ezen keresztül a termelékenységre, ami növeli az értékesíthető mennyiséget. A másik hurok a piac adott méretét feltételezve a piac telítődését veszi figyelembe, ami negatívan hat az értékesítésekre. A telítődés több-kevesebb idő elteltével fejt ki hatását a rendszerben, az exponenciális növekedés az értékesítéseknél jelentősen lelassul.



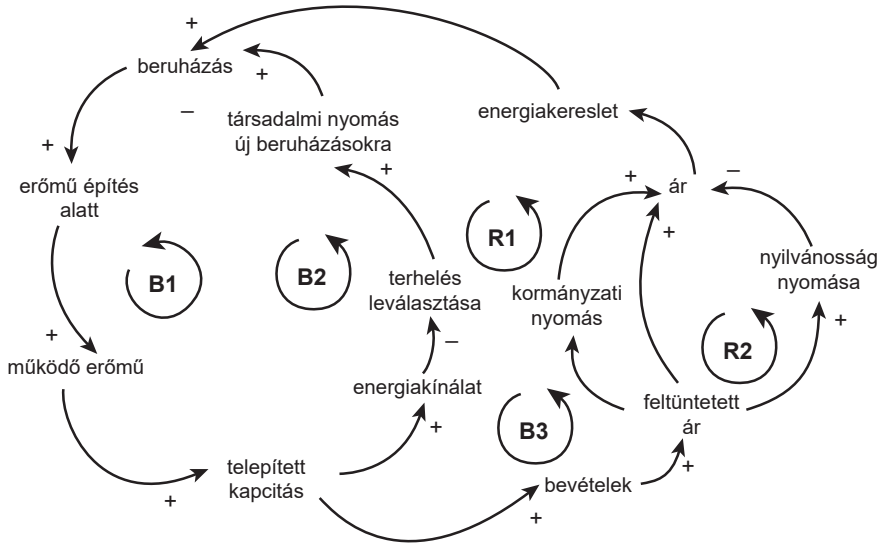
6. ábra
A késedelem hatása

Forrás: KIRKWOOD 1998

7. Példák oksági diagramokra

A komplex rendszerek leírását segítő oksági modellek az előzőekben bemutatott logikán alapulnak, azonban nem egyetlen vagy néhány hurokból épülnek fel. A fejezet különböző műszaki és társadalmi kérdések területéről mutat be modelleket, *tanulmányozásuk segít elsajátítani a szükséges gondolkodásmódot.*

7.1. Elektromos ellátás¹



7. ábra

Elektromos ellátás – oksági diagram

Forrás: BALA–ARSHAD–NOH 2017

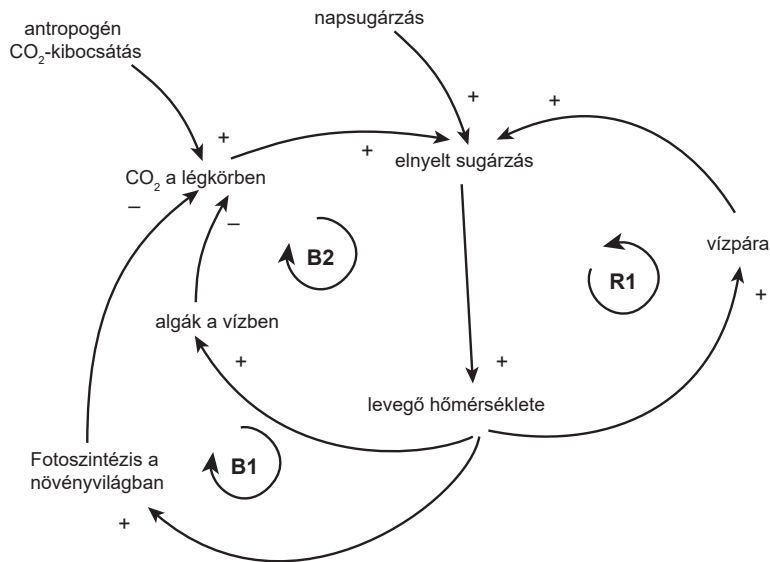
Az energia a gazdasági és társadalmi fejlődéshez (BALA 1997a, 1997b, 1998) egyaránt szükséges. Az egy főre eső energiafogyasztás az életminőség mutatójaként értelmezhető (BALA 1998). Tudjuk, hogy az egy főre eső energiaigény folyamatosan növekszik, kielégítése erőművek építését igényli. Az erőművi beruházások megindítását az ellátási hiányosságok, az ár és a társadalmi nyomás befolyásolják. Az árak meghatározásának mechanizmusában a kormányzat és a társadalom is megjelenik. A magasabb tervezett ár társadalmi oldalon generál nyomást annak csökkentésére. Az erőmű építése és működése között bizonyos idő telik el, azonban a már üzembe helyezett kapacitás energiakínálatot teremt, ami csökkenti az új beruházásokra nehezedő nyomást.

Az elektromos ellátás fenti modelljében három kiegyensúlyozó hurok és a két megerősítő hurok emelhető ki. A beruházások hatása a kapacitásokra, a kapacitások bővülésének hatása az energiakínálaton keresztül a beruházások szükségességére, továbbá a kapacitások hatása a keresletre kiegyensúlyozó, míg a bevételek és az árak alakulására ható nyomás kapcsán megerősítő hurkok azonosíthatók (7. ábra).

¹ Készült BALA–ARSHAD–NOH 2017 alapján.

7.2. Globális felmelegedés²

A globális felmelegedés az atmoszférikus átlaghőmérséklet emelkedését jelenti, amit az úgynevezett üvegházhatás okoz. A kérdés számos fejlődő ország számára kritikus fontosságú és hatású. Az átlaghőmérséklet emelkedését üvegházhatású gázok kibocsátása és a napsugárzás okozza. A kibocsátás csökkentéséről a növényzet és a tengeri algák gondoskodnak. Fontos megjegyezni, hogy a vízgőz jelenléte a légkörben növeli az elnyelt sugárzás mértékét. A rendszer oksági diagramját a 8. ábra foglalja össze.



8. ábra

Globális felmelegedés oksági diagramja

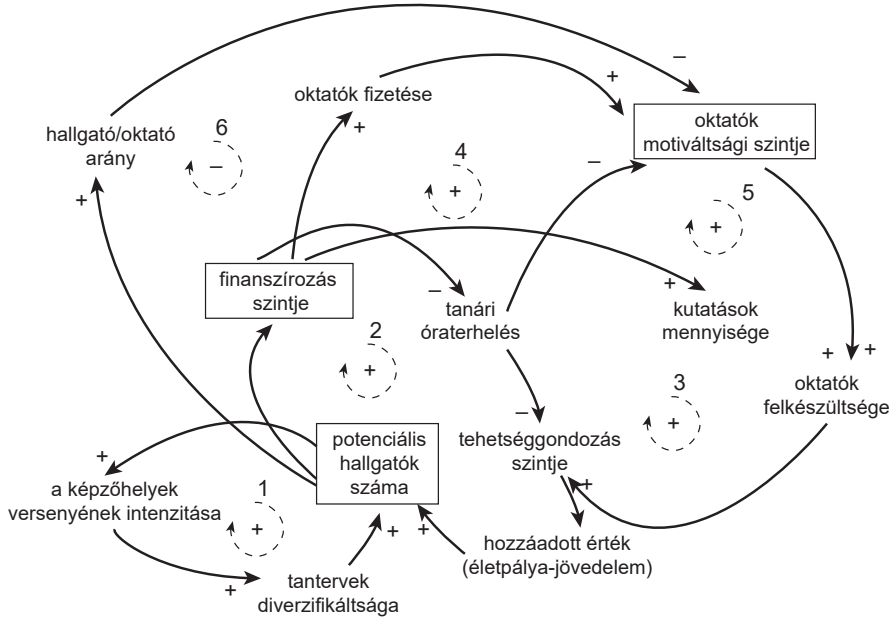
Forrás: BALA–ARSHAD–NOH 2017

Az elnyelt sugárzást a napsugárzás és a légkörben, valamint a vízgőzben lévő szén-dioxid növeli. A levegő hőmérsékletének növekedése fokozza a fotoszintézist a növényvilágban és az algákban, ami visszahat, és csökkenti a légköri szén-dioxid szintjét (B1 és B2 hurkok). A levegő hőmérsékletének emelkedése több vízgőz jelenlétével jár a légkörben, ami növeli az elnyelt sugárzást. Ez pozitív, megerősítő visszacsatolási hurok (R1) a rendszer modelljében.

² Készült BALA–ARSHAD–NOH 2017 alapján.

7.3. A felsőoktatás rendszermodellje³

A felsőoktatás modellezése a fenti példánál sokkal összetettebb kihívás. Király és szerzőtársai egy olyan modellt mutatnak be, amely a potenciális hallgatók számát, az oktatók motiváltságát és a finanszírozás szintjét emeli ki csomópontként olyan szerkezetben, amely még áttekinthető egy tankönyv hasábjain is (9. ábra).



9. ábra

Visszacatolási hurok a felsőoktatás rendszermodelljében

Forrás: KIRÁLY et al. 2016

A rendszermodell hat, jellemzően megerősítő visszacsatolási hurokkal bír (kivételet csupán a hatodik visszacsatolási hurok képez, amely egy önszabályozó hurok).

Ha magasabb a potenciális hallgatók száma, akkor több felsőoktatási képzőhely lesz a piacon, ami növeli a köztük folyó versenyt. A verseny intenzitása pedig meghatározza a tantervek sokszínűségét, tehát azt, hogy sokféle formában és sokféle módon lehet elsajátítani a szükséges tudástartalmakat és készségeket. Ez a sokszínűség viszont lehetővé teszi, hogy a hallgatói populáció is diverzebb legyen, tehát többféle ember veheti igénybe a felsőoktatás szolgáltatásait. Emiatt ki is tágul a potenciális hallgatói bázis.

A potenciális hallgatók számához kötődő másik hurokban két negatív kapcsolat is benne van (a finanszírozás szintje és a tanári óraterhelés, továbbá a tanári óraterhelés és a tehetség-gondozás szintje között). Összességében a hurok önerősítő jelleggel bír, aminek oka, hogy a páros számú negatív kapcsolat „kioltja” egymást. Minél magasabb tehát a potenciális

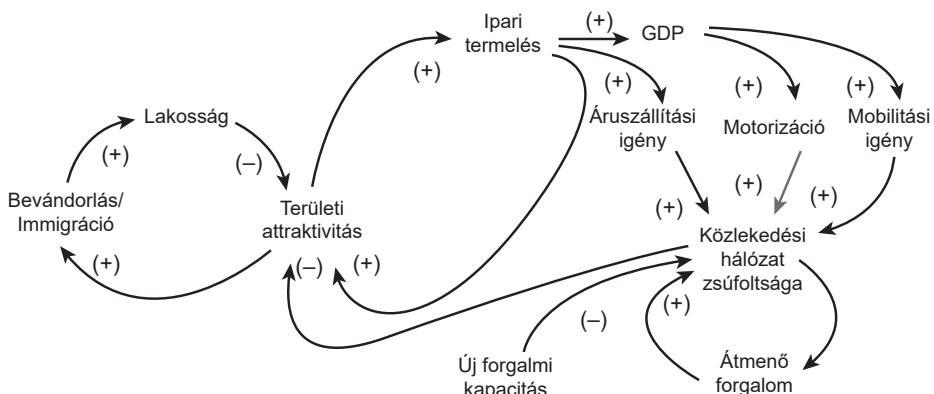
³ Készült KIRÁLY et al. 2016 alapján.

hallgatók száma, annál magasabb a finanszírozás. A finanszírozás viszont meghatározza a tanári óraterhelést, de ez a kapcsolat ellenkező, negatív előjelű. Más szavakkal egy magasabb finanszírozási szint alacsonyabb óraterheléssel jár a paneltagok gondolkodása szerint. Hasonlóképpen az óraterhelés és a tehetséggondozás között is negatív kapcsolat van, tehát magasabb óraterhelés mellett az oktatóknak kevesebb idejük jut a hallgatókkal személyesen foglalkozni, szakmai fejlődésüket segíteni. A tehetséggondozás szintje hat továbbá a felsőoktatás által hozzáadott értékre, vagyis arra, hogy az életpálya-jövedelem szempontjából mennyi hozadékot jelentenek a felsőoktatásban elsajátított tudástartalmak és készségek. A kör végén pedig a hozzáadott érték és a hallgatók száma között pozitív kapcsolat van, hiszen a magasabb hozzáadott érték a társadalom nagyobb része számára jelent vonzerőt a felsőoktatásba való belépésre.

A többi megerősítő visszacsatolási hurok értelmezését az Olvasóra bízunk, foglalkozunk még a kiegyensúlyozó hurokkal. Ez fejezi ki legjobban a hallgatói létszámhoz kötött finanszírozási rendszer ellentmondásosságát, valamint a fent ismertetett tömegesedés nem szándékolt következményeit. A nagyobb hallgatói létszám ugyanis növeli a hallgatók arányát az oktatókhoz képest, amely „nagyüzemi” működés rontja az oktatók motiváltságát és ezen keresztül a felkészültségüket és a hallgatói kiválóságot is. Ez az oksági kör tehát az eddigiekkel ellentétesen hat, hiszen nem biztos, hogy a nagyobb hallgatói létszámból fakadó egyéni és intézményi többletbevételek ellensúlyozni tudják a „tudásgyár” (POLÓNYI–TÍMÁR 2001) lehangelő légkörét.

A modell készítői kiemelik, hogy e hurkok kialakítására nem törekedtek kifejezetten, azokat csak később azonosították. Ezért is figyelemre méltó, hogy a rendszer működését meghatározó visszacsatolási hurkok összetett és informatív módon jelentek meg, szinte „önmaguktól”, mindez pedig bizonyítja a rendszermodellezés használhatóságát.

7.4. Közlekedés⁴



10. ábra

Közlekedési rendszer modellje

Forrás: HORVÁTH 2012

⁴ Készült HORVÁTH 2012 alapján.

A közlekedési igényrendszer alapelemei hatáskapcsolati rendszersémájának fontos, alapvető eleme a lakosság. Hasonlóan alapelemként kell kezelni a területi attraktivitást, amely multiplikátorszerepet tölt be hatásai révén, számszerűsítése azonban problémás. Amennyiben nő egy adott területen a lakosság száma, akkor az a terület közlekedési attraktivitásának csökkenéséhez vezet, mert nő a területen a közutak, azaz a közlekedési hálózat zsúfoltsága (amely egy újabb alapelem), emelkednek a közlekedési idő- és költségáfordítások. Ha nő a terület attraktivitása, akkor vonzó lesz a betelepülők számára, aminek hatására a lakosság száma nőni fog. A részfolyamat egy szabályzó kör, amely magára hagyva a területi és népességi adatoknak megfelelő szinten stabilizálódik.

A területi attraktivitást befolyásoló további tényező az ipari termelés (alapelem). Ha nő az ipari termelés, azzal nő a terület attraktivitása, aminek hatására újabb vállalkozások jelennek meg, amelyek tovább növelik az ipari termelést. A folyamat hatása egy növekvő tendencia lenne, ha nem lenne akadályozó elem a közlekedési hálózat kapacitása.

A növekvő ipari termelés eredményeként nő a jövedelem (GDP), amely egy újabb alapelem, amelynek hatására nő a motorizáció (alapelem). A motorizáció növekedésével nem feltétlenül növekszik ugyanolyan mértékben a közutak zsúfoltsága, mivel a járművek egy része nem vesz részt ténylegesen a forgalomban, a család második vagy harmadik autója nem biztos, hogy mindig használatban van.

A növekvő ipari termelés további hatása, hogy nő az áruszállítási igény (mint újabb alapelem), több alapanyag beszállítására és több késztermék kiszállítására van szükség, ami a közutak zsúfoltságát növeli. A növekvő termeléshez általában több munkaerőre van szükség, és mivel az új ipari területek általában egyre messzebbre vannak a lakóterületektől, így hivatásforgalmi mobilitásnövekedés áll elő, ami szintén növeli a közutak zsúfoltságát.

A közutakon még egy jelentős tényező van a területi személy- és áruforgalmon kívül, az átmenő forgalom (alapelem). Az adott terület földrajzi helyzetétől függően ez jelentős forgalmi többletteljesítmény. Ez a körfolyamat elméletileg lényegében önszabályzó kör, ha nő az átmenő forgalom, akkor a növekvő zsúfoltság, illetve annak következményei (magas baleseti kockázat, hosszú eljutási idő stb.) miatt az átmenő forgalom az adott területet elkerülő alternatív útvonalakat keres, így az adott területen az átmenő forgalom csökken. A közutak zsúfoltsága ugyanakkor visszahat a terület attraktivitására is, hiszen, ha romlanak a terület közlekedési lehetőségei, úgy a terület veszít vonzerejéből mind a lakosság, mind az ipar szempontjából.

Fogalmak

- dinamikus rendszermodellezés
- hurok
- időtáv
- késedelem
- késleltetett hatás
- kiegyensúlyozó hurok
- komplex oksági diagram
- külső tényező

- megerősítő hurok
- oksági diagram
- rendszerszemlélet

Áttekintő kérdések

1. Miért van szükség dinamikus rendszermodellezésre?
2. Melyek az oksági diagram készítésének fő lépései?
3. Mi alapján döntjük el, hogy egy változó endogén (belső) vagy exogén (külső)?
4. Mi a különbség az oksági és a komplex oksági diagram között?
5. Milyen visszacsatolási hurkokat ismer?
6. Hogyan hat a késedelem a rendszer állapotára?

Felhasznált irodalom

- BALA, B. K. – ARSHAD, F. M. – NOH, K. M. (2017): *System Dynamics: Modelling and Simulation*. Singapore, Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007%2F978-981-10-2045-2>
- BALA, B. K. (1997a): Computer modelling of the rural energy system and of CO2 emissions for Bangladesh. *Energy*, Vol. 22, No. 10. 999–1003. DOI: <https://doi.org/10.1016%2Fs0360-5442%2897%2900025-x>
- BALA, B. K. (1997b): *Computer modelling of energy and environment: the case of Bangladesh*. Proceedings of 15th international system dynamics conference, Istanbul, Turkey.
- BALA, B. K. (1998): *Energy and environment. Modelling and Simulation*. New York, NOVA.
- HORVÁTH, R. (2012): *Rendszerdinamika mint a közlekedési rendszerek igénymodellezésének új lehetősége*. PhD-értekezés. Győr, Széchenyi István Egyetem.
- KIM, D. H. (1992): Guidelines for Drawing Causal Loop Diagrams. *The Systems Thinker*, Vol. 3, No. 1. 5–6.
- KIRÁLY, G. – GÉRING, Zs. – CSILLAG, S. – KOVÁTS, G. – KÖVES, A. – SEBESTYÉN, G. – GÁSPÁR, T. (2016): Rendszermodellezés a felsőoktatásról. Jelentésadás egy részvételi folyamatban. *socio.hu*. 3. sz. 66–90. DOI: <https://doi.org/10.18030/socio.hu.2016.3.66>
- KIRKWOOD, C. W. (1998): *System Dynamics Methods: A Quick Introduction*. Tempe, Arizona State University.
- MEADOWS, D. (2008): *Thinking in Systems: A Primer*. White River Junction, Chelsea Green Publishing.
- MINTZBERG, H. (1978): Patterns in Strategy Formation. *Management Science*, Vol. 24, No. 9. 934–948. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.24.9.934>
- POLÓNYI, I. – TIMÁR, J. (2001): *Tudásgyár vagy papírgyár?* Budapest, Új Mandátum.
- RICHARDSON, G. P. – PUGH, A. (1983): *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*. Cambridge, The MIT Press.
- RICHARDSON, G. P. (2011): Reflections on the Foundations of System Dynamics. *System Dynamics Review*, Vol. 27, No. 3. 219–243. DOI: <https://doi.org/10.1002%2Fsdr.462>
- SENGE, P. M. (1998): *Az Ötödik alapelv*. Budapest, HVG.
- STERMAN, J. D. (2000): *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston, Irwin–McGraw-Hill.