

IV. Rendszerek viselkedése

Berényi László

DOI: 10.36250/00734.04

1. A fejezet célkitűzése

A rendszerek vizsgálata mögött mindig valamilyen konkrét cél húzódik meg: hatékonyságot növelni, költségeket csökkenteni, párhuzamosságokat megszüntetni, új feladat ellátására felkészülni stb. Ahhoz, hogy e folyamatokban hasznosan tudjunk közreműködni, vagy hogy legalább a minket körülvevő változást megértsük, a rendszerelmélet alapfogalmainak megismerése után el kell mélyedni a rendszerek viselkedésének sajátosságaiban. A rendszerről általában alkotott képünk statikus, ami ugyan számos kérdésre választ ad, de nem képes megmagyarázni, mi és miért történik. A rendszer elemei közötti kapcsolatok hatása összetett. A fejezet átolvasása utána az Olvasó képes lesz a rendszerek struktúrájának és állapotának megkülönböztetésére, továbbá az alapvető viselkedésformák azonosítására. A fogalmak és összefüggések előkészítik a későbbi, a rendszerek dinamikus modellezését bemutató fejezeteket.

2. A rendszerek struktúrája

A rendszer elemei között meghatározott kapcsolatok állnak fenn, ezeket összességében a rendszer struktúrájának nevezhetjük. A *struktúra* alatt invariáns jellemzőket értünk, azaz a struktúrára úgy tekintünk, mint az állandóság kifejezőjére a külső és belső hatásokkal szemben (NEMÉNY 1973). Másképpen kifejezve, ha az elemek esetleges kicserélődése mellett a rendszer struktúrája nem változik meg, másképpen fogalmazva működő rendszerről beszélünk, attól a struktúrája még invariáns. Például az áruházban a pénztár alapvetően ugyanúgy működik, függetlenül az ott ülő pénztáros személyétől.

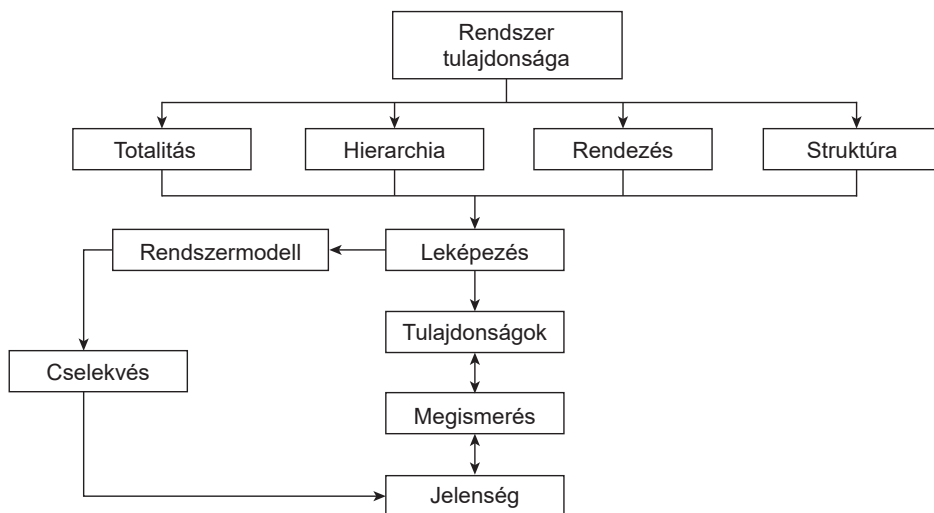
A struktúrák öt típusba sorolhatók (SZINTAY 1991).

- *Célstruktúra*: A célszerűen működő, tervezett rendszerek számára célokat kell kitűzni. Nem elegendő egyetlen (fő) célban gondolkozni, a rendszer feladatainak, a fő cél időhorizontjának, jelentőségének és összetettségének tükrében azt rész-célokra kell bontani. A részcélok elérése a fő cél megvalósulását támogatja, de ezek a célok gyakran nem lineárisan összeadhatók, hanem maguk is összefüggő rendszert alkotnak, különböző relációkkal és hatásokkal. A célstruktúra csak

a többi struktúra ismeretében értékelhető teljes egészében, a hatások komplexek lehetnek. Egy rész cél megítélése más egy adott funkció, hierarchikus szint vagy a rendszer egészének szempontjából. Egy leegyszerűsített példa szerint egy szervezet dönthet úgy, hogy megszünteti egy részlegét, és elbocsájt 10 dolgozót. Ennek megítélése más önmagában, vagy annak ismeretében, hogy a részleg felszámolása révén felszabaduló pénzügyi források 200 másik dolgozó munkahelyének megmentését szolgálják.

- *Ismérvstruktúra*: A rendszer céljainak ismerete még nem ad választ arra, hogyan lehet elérni őket. Az, hogy egy célt sikerült elérni, felfogható a rendszer egy bizonyos állapotaként, ami egy korábbi állapot megváltozásának (változások sorozatának) eredménye. A változássorozat döntések sorozatával kell irányítani, amit csak akkor lehet megfelelően megtenni, ha az állapotot leíró ismérvek, azok kapcsolata és viselkedése ismert.
- *Funkcionális struktúra*: A célok elérése érdekében feladatokat kell végrehajtani. Ezek a feladatok sokrétűek, az irányítás szempontjából a célok kitűzése, az ismérvek meghatározása éppúgy feladat, mint a végrehajtás és az ahhoz kapcsolódó döntések meghozása. Az ellátandó funkciók és a rendszer elemeinek összerendelése kritikus a célok elérésének szempontjából. Fontos alapelv, hogy egy funkciót egy elem töltsön be, így a párhuzamosságból adódó ellentmondások elkerülhetők. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy egy feladat több funkciót érint, azaz egy feladathoz több elem is kapcsolódhat. Célszerű együttműködésük a többi struktúra által biztosított.
- *Hierarchikus struktúra*: Hierarchikus relációról akkor beszélhetünk, ha a rendszer egyik eleme valamilyen módon meghatározza, befolyásolja a rendszer egy másik elemének viselkedését. A hierarchikus struktúra az irányítási relációkat írja le. A szervezeti gyakorlatban a hierarchikus struktúra leggyakrabban a szervezeti felépítés leírásában mint modellben ölt testet, de annál rendszerszervezési szempontból többről van szó. Meg kell ismételni az összefüggést, miszerint a hierarchikus struktúra a többi struktúrával együttesen írja le a rendszert.
- *Döntési struktúra*: A döntés az a folyamat, amely a rendszer állapotának megváltoztatását lehetővé teszi, illetve azt eredményezi. A döntés joga a rendszer különböző elemeihez, különböző hierarchikus szintekhez, funkciókhoz, ismérvekhez és célokhoz kötődik, lényegében azokból vezethető le a döntési struktúra. A rendszer állapotára gyakorolt közvetlen hatása miatt célszerű külön foglalkozni vele.

A rendszerek elemeinek és struktúrájának megismerése nem öncélú, annak valamilyen változtatási-fejlesztési cselekvést kell megalapoznia. A megismerés eszköze a modellezés. A feladatokat jól összefoglalja az 1. ábra.



1. ábra

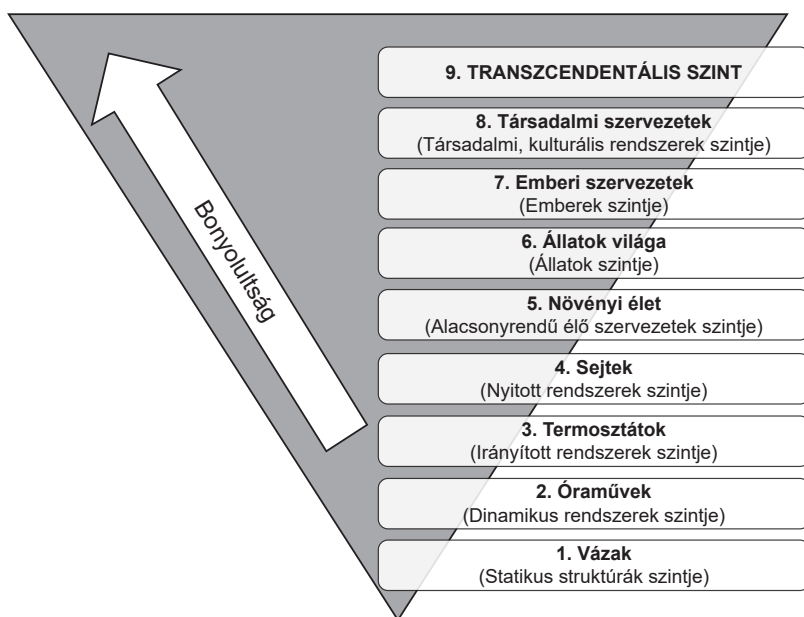
A rendszermodellezés összefüggései

Forrás: KARAJZ-TÓTH 2011

3. A rendszerek viselkedésének bonyolultsága

Az általános rendszerelmélet egyik megközelítése szerint az *elméleti rendszereket* és konstrukciókat *bonyolultságuk* szerint hierarchiába rendezhetjük, elkészíthető a rendszerek rendszere (VON BERTALANFFY 1968; SZINTAY 1991). Az elméleti csoportosítás a gyakorlati, materiális rendszerek jellemzését segíti. Ritkán lehet egy rendszert egyértelműen valamelyik szinthez rendelni, különböző vizsgálati célok mentén eltérőnek tűnhetnek. Egy közlekedési lámpa például statikusan viselkedik a közlekedő számára, amíg a piros jelzésnél várakozik, „belül” azonban egy időzítő vagy egy forgalomfigyelő részrendszer „dolgozik”.

A rendszerek 9 szintjének elnevezése beszédes, a hierarchiát a 2. ábra foglalja össze. Boulding (1971) elképzelése alapján az általános rendszerelmélet a rendszereknek egy olyan vázát képezi, amelyre ráépíthetők a különböző tudományágak úgy, hogy megkapjuk a tudás rendezett és koherens felépítményét.



2. ábra
Rendszerek szintjei

Forrás: BOULDING 1971; SZINTAY 1991 alapján

Vázak: Az első szint az egyszerű statikus struktúrák szintje, a vázak szintje. Idesorolhatók az elektronok atommag körüli elhelyezkedésének a sémái, az atomok sémája a molekulák képletében, az állatok és emberek anatómiája, a Föld, a naprendszer, a csillagvilág térképe. Váznak tekinthető a szervezeti felépítés leírása is. Információtartalma korlátozott, a rendszerek viselkedéséről keveset mond a vázak szintjén végzett vizsgálat, de elengedhetetlen a további vizsgálatok megalapozásához.

Óraművek: Egyszerű gépek, mint egy emelő vagy csiga, de összetettek is, mint a gőzgép vagy az elektromos motor az óraművek szintjén modellezhetők. Idesorolható továbbá a fizika, a kémia vagy a közgazdaságtan elméleti rendszereinek nagy része. Az óraművek szintjén megjelenik az egyensúlyi állapot értelmezése, az erre való törekvés pedig lehetővé teszi a vizsgálatok dinamizálását.

Termostátok: A termostátok a vezérlő mechanizmusok alappéldái. Lényeges részük az információ fogadása, továbbítása és feldolgozása. Ezek segítségével az óraművek szintjén megjelenő egyensúlyi állapot nem csupán értelmezhető, annak fenntartására a rendszer – bizonyos korlátok között – törekszik is.

Sejtek: A sejtek szintje a nyílt rendszerek önfenntartó struktúráját írja le. Az idetartozó rendszerek fő jellemzője, hogy a környezet hatására nemcsak válaszolnak, hanem saját struktúrájuk megváltoztatásával alkalmazkodni is képesek. Idetartoznak például az adaptív szabályozórendszerek, biológiai sejtek.

Növényi élet: Ez a hierarchikus szint a genetikus társadalom szintjét képviseli, aminek tipikus megjelenési formája a növény. A növény sejtjei között munkamegosztás alakul ki. Ez a differenciálódás és az egymástól való kölcsönös függés a gyökér, szár, levél stb. között már azt a vizsgálati szintet képviseli, amikor az egyes részek struktúrái nem ítélnél meg az egész ismerete nélkül.

Állatok világa: Az állatok világának szintjét egy fontos jellemző különbözteti meg a növények szintjétől: a tanulás képessége. Speciális információfelvevői (érzékszervei) vannak, az információk feldolgozását pedig nem a termosztátok szintjén végzi el, sőt nem is csupán felhalmozza azokat, hanem az elé kerülő kihívások megoldása során szisztematikusan rendszerezi és alkalmazza.

Emberi szervezet: Az emberi szervezet szintjén az állati szinten felül az öntudat jelenik meg. További sajátosságok a szimbolikus nyelvhasználat (beszéd, írás), illetve a „tudás tudása”. Az emberi szervezet szintjén a rendszer tisztában van a világgal, amelyben létezik, értelmezi az ingereket, saját hatását a környezetére, és képes elvonatkoztatni az egyedi jelenségektől (absztrakció) annak érdekében, hogy befolyásolja környezetét.

Társadalmi szervezet: Az emberi szinten értelmezett rendszerek kölcsönhatásai sajátos viselkedésformákhoz vezetnek. A gazdasági, társadalmi jelenlét – család, közösség, nemzet stb. – a kommunikáció, a szerepek és értékek vizsgálatának új aspektusait teszi lehetővé.

Transzcendentális szint: A transzcendentális szó jelentése természetfeletti, érzékekkel nem észlelhető. Lényegében a nem ismert vagy nem megismerhetőnek vélt vizsgálati szinteket foglalja össze. Az ilyenfajta elvonatkoztatás tananyagunk szempontjából elméleti jelentőségű, szerepe annyi, hogy egészszé tegye a rendszerek szintjeinek felfogását, és fennartsa a továbblépés lehetőségét.

4. Determinisztikus, sztochasztikus és kaotikus rendszerviselkedés

A rendszer az őt érő külső, illetve belső, struktúrájából és működéséből eredő hatásokra reagál. Ez a reakció a rendszer viselkedése. Azt, hogy külső vagy belső hatásról van-e szó, az dönti el, hogy mit tekintünk a rendszer határának. Egyes esetekben a rendszer határainak meghúzása egyszerű (például egy ház határai), máskor kompromisszumokat kell kötni (általában komplex, társadalmi és természeti elemeket is magában foglaló rendszereknél). A külső és belső hatások megkülönböztetése ezek alapján (KERÉNYI–KISS–SZABÓ 2013):

- Az ismert rendszerhatáron kívülről származó, a rendszert ért hatást külső hatásnak nevezzük. A külső hatás értelmezésénél mindig azt kell figyelembe vennünk, hogy a hatást kiváltó ok a rendszeren kívül létezik (képződik, jön létre), és a rendszer nem, vagy csak csekély mértékben hat vissza a változást kiváltó okra. Az éghajlati rendszer szempontjából ilyen külső hatás például a napsugárzás.
- Az adott rendszer határain belül keletkező hatást belső hatásnak nevezzük. Az éghajlati rendszer példájában belső hatásnak kell tekinteni a nagy óceáni szállítószalagot, amely fontos szerepet játszik a globális éghajlati rendszer működésében, ugyanakkor a rendszer egyik elemének tekintjük.

A hatások leírásában részben eltér a szakirodalmak megfogalmazása, abban azonban egyetértenek, hogy megkülönböztethetünk:

- determinisztikus,
- sztochasztikus,
- kaotikus viselkedést.

A viselkedések tartalma (KERÉNYI–KISS–SZABÓ 2013):

- *Determinisztikusnak* nevezzük a rendszer viselkedését akkor, ha a hatás és a rendszer válasza között közvetlen oksági kapcsolat áll fenn. Első megközelítésben tudományos szempontból (a megismerhetőség oldaláról) ez a viselkedés egyszerűnek tűnik, mivel az adott hatásra bekövetkező válasz kiszámítható. A kapcsolat matematikailag függvényszerű, de megoldása nem feltétlenül egyszerű. Ha egy fűtési rendszerben meghatározott mennyiségű, ismert fűtőértékű energiahordozót égetünk el egy nap alatt, kiszámítható, hogy milyen hőmérséklet lesz az adott épületben, ha ismerjük annak paramétereit is. Ebben az esetben a feladat megoldásához exponenciális egyenletre lesz szükség.
- *Sztochasztikus*, más néven véletlenszerű viselkedésnek nevezzük, ha a rendszer a külső vagy belső hatásokra olyan válaszreakciókat ad, amelyek függvényszerűen nem írhatók le. A rendszer viselkedésében ugyanakkor kisebb vagy nagyobb mértékű szabályszerűségek figyelhetők meg. A matematikai megoldásokban a valószínűségszámítási modellek kerülnek előtérbe, a szabályosságot a nagy számok törvénye alapján statisztikai összefüggések írják le. A gyakorlatban legtöbbször ilyen rendszerekkel (vagy legalábbis a rendszerek ilyen szintű ismeretével találkozunk. Sztochasztikus rendszernek tekinthetjük például egy folyó vízrendszerét, ahol a vízhozam-ingadozások többé-kevésbé szabályos változásait, a nagyvizek és a kisvizek visszatérési gyakoriságát sztochasztikus modellek alapján számíthatjuk ki.
- *A kaotikus viselkedés* mindig nem lineáris és nem periodikus, továbbá se nem determinisztikus, se nem sztochasztikus. Első megközelítésben – hétköznapi kifejezéssel – akár „kiszámíthatatlan” rendszereknek is nevezhetjük őket, bár e „kiszámíthatatlanság” sem nélkülözi a matematikát: ezek viselkedésének leírására született a káoszelmélet (GLEICK 1999). A rendszerleíró egyenletek megoldásával már a 19. században is foglalkoztak, de tanulmányozásában a számítógép felfedezése és elterjedése hozott igazi áttörést (LORENZ 1993).

5. Viselkedési minták leírása a rendszer állapotával

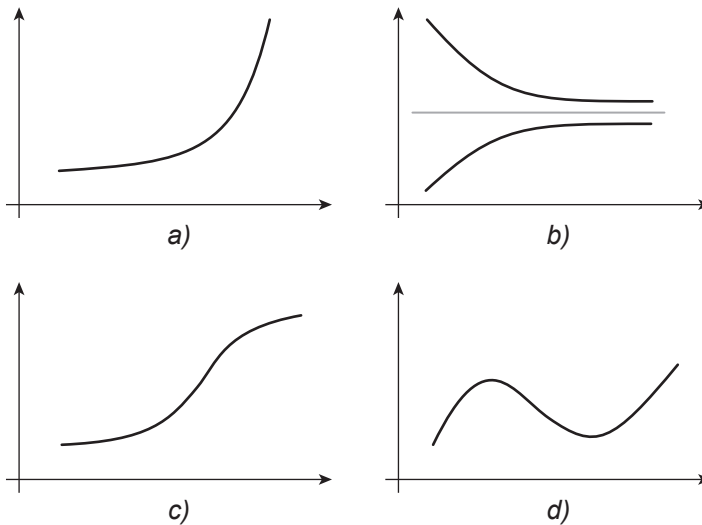
Egy rendszer viselkedésére első megközelítésben a rendszer jellemzőinek, állapotának változásai alapján következtethetünk. Ezt alapvetően kétféleképpen lehet megtenni:

- Statikus pillanatképek sorozatából vonunk le következtetéseket dinamikus sajátosságokra, megpróbáljuk megbecsülni a belső kapcsolatokat és hatásokat. Ilyenkor a *fekete doboz* megközelítést alkalmazva statikus adatok alapján következtetünk a rendszer viselkedésére.
- *Rendszerdinamikai modellezéssel* feltárjuk a kapcsolatokat, és a hatások végeredményeként tekintjük át a statikus jellemzők változását.

Meg kell jegyezni, hogy a releváns jellemzők megválasztása, az adatgyűjtés módja és részletessége a vizsgálatok sikerének kritikus kérdései. A fekete doboz megközelítést a gyakorlatban mindig alkalmazzuk, mert nincs lehetőség minden ismérv és kapcsolat részletes megismerésére (időbeli korlátok, költségek, adatok elérhetősége miatt).

A visszacsatolási kapcsolatok alapján a rendszernek négy jellemző viselkedésformája mutatható be (KIRKWOOD 1998; BALA–ARSHAD–NOH 2017), pontosabban fogalmazva az ismérvek változásának négy jellemző formája (3. ábra):

- exponenciális viselkedés,
- célkereső viselkedés,
- S-alakú (szigmoid) viselkedés,
- ingadozó viselkedés.



3. ábra

Visszacsatolási formák

Forrás: a szerző szerkesztése

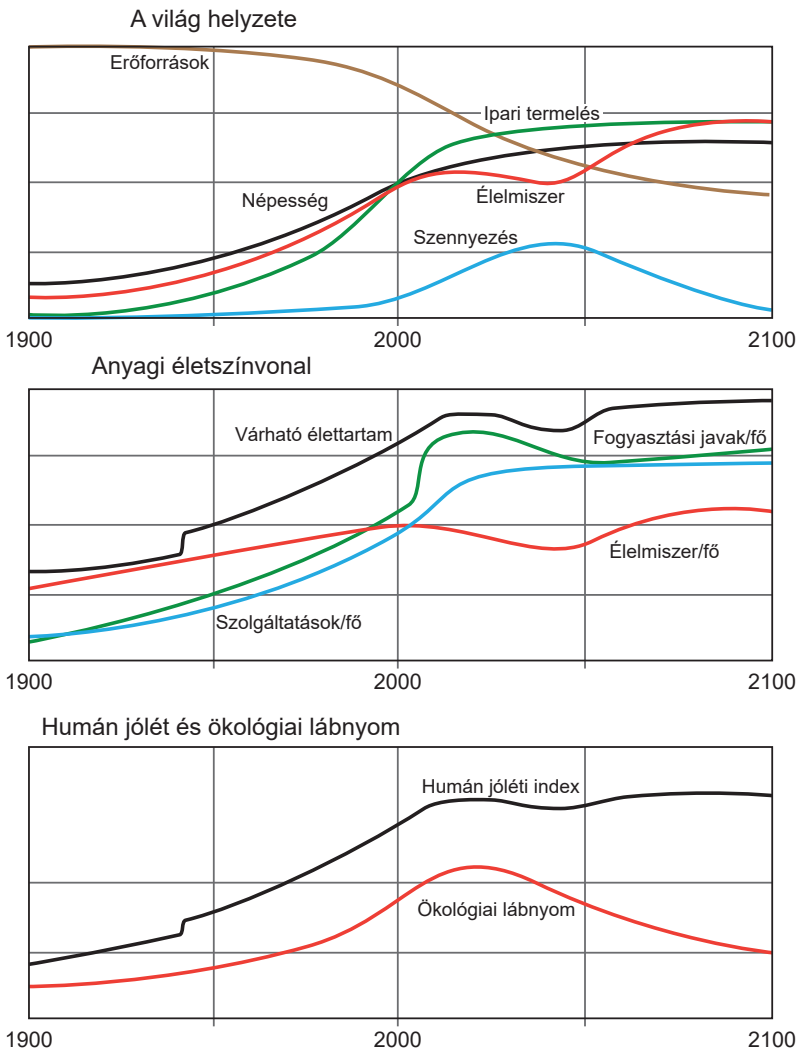
Exponenciális viselkedéssel írható le a kezdeti eladások növekedése. Az exponenciális növekedés a tapasztalatok szerint nem folytatódhat a végtelenségig, a valós rendszerek olyan korlátokkal bírnak, amelyek elérése esetén a növekedés nem folytatódhat. Az egyik lehetséges eredmény a rendszer összeomlása vagy megsemmisülése lehet (nem lehet a végtelenségig enni, valaminek a hőmérsékletét növelni, stb.). A másik eredmény az exponenciális növekedés lelassulása a határhoz közeledve. Ilyen viselkedést ír le az S-alakú görbe, amely a normális eloszlás eloszlásfüggvényének a képe. Számos természeti és társadalmi jelenség *szigmoid viselkedéssel* jellemezhető, így például a termékek életpályája, az új technológiák elterjedése (SZAKÁLY 2002).

A *célkereső viselkedés* olyan eseteket ír le, amikor a rendszer jellemzőinek értéke egy határértékhez tart, például a szabad munkaerő létszáma és az új munkahelyek száma vagy a potenciális utasok és az új utazások száma. A célkeresés során, vagy több, egymással

összekapcsolódó viselkedési hatás eredőjeként ingadozó viselkedés is kialakulhat. Tipikus példák a gazdasági ciklusok, de a készletek ingadozása is ilyen formában írható le.

A rendszerek viselkedésével foglalkozó egyik leghíresebb kutatás eredményeit az úgynevezett Meadows-féle világmodellek foglalják össze (MEADOWS–MEADOWS–RANDERS–BEHRENS 1973; MEADOWS–RANDERS–MEADOWS 2005). Különböző forgatókönyveket (szcenáriók) vázoltak az 1970-es évek eleje óta, amelyek alapján előrejelezték a világ jövőbeli helyzetét. A teljesség igénye nélkül néhány forgatókönyv (SZATMÁRI 2013 összefoglalása alapján):

- *Referenciapont* (standard, SC_1 modell): A társadalom a 20. században megszo-
kott, hagyományos utat követi anélkül, hogy bármilyen jelentősebb szakpolitikai
változtatást kezdeményezne. A világ népességszáma és a termelés mindaddig nö-
vekszik, amíg ezt a nem megújuló természeti erőforrások költségeinek rohamos
növekedése meg nem akasztja. Az újabb erőforrások eléréséhez egyre nagyobb
tőkeberuházásokra van szükség. Végül a beruházási alapok hiánya a gazdaság más
ágazataiban is (gazdasági javak, szolgáltatások) hanyatlást indukál. Ezekkel együtt
az élelmiszer-ellátás és az egészségügyi szolgáltatások is visszaesnek, csökken
a várható élettartam.
- *Még több nem megújuló erőforrás* (SC_2 modell): Az SC_1-ben feltételezett erőfor-
rások megduplázásával, valamint az erőforrások gazdaságos (az emelkedő kinyerési
költségeket kompenzáló) kinyeréséhez szükséges technológiák fejlődésével az ipari
termelés még 20 évig növekedhet. A népességszám 8 milliárd fő körül tetőzik 2040-
ben, emelkedő fogyasztási szint mellett. A szennyezés mértéke viszont rendkívül
magas lesz a 21. század közepére, a terméshozamok lecsökkennek és hatalmas
beruházások szükségesek a mezőgazdaság helyreállításához. Az élelmiszerhiány
és a magas szennyezési szint egészségügyi hatásai miatt a népesség lecsökken.
- *2002-től a világ korlátozza a népességnövekedést* (SC_7 modell): A forgató-
könyvben feltételezzük, hogy a világon minden pár vállalja a kétgyermekes
családmódot, és ehhez rendelkezésre is állnak a hatékony születésszabályozási
technológiák. A népesség még egy generáción keresztül tovább növekszik a kor-
struktúra változási tehetetlensége miatt. A lassuló népességnövekedés gyorsabb
ipari termelésnövekedést tesz lehetővé mindaddig, amíg azt a szennyezés növekvő
költségei meg nem állítják.
- *2002-től a világ korlátozza a népességnövekedést, az egy főre jutó ipari termelést,
és fejlett szennyezés-ellenőrzési, erőforrás-hatékonysági és mezőgazdasági tech-
nológiákat alkalmaz* (SC_9 modell): Ebben a futtatásban az előző forgatókönyvhöz
hasonlóan a népességnövekedés és az ipari termelés korlátozott, továbbá technoló-
giai fejlesztéseket vezetnek be a szennyezés-ellenőrzéssel, a talaj termékenységének
növelésével, a talajerózió elleni védelemmel és az erőforrás-hatékonyság növelésével
kapcsolatban. Ezek a korlátozások és fejlesztések együttesen azt eredményezik,
hogy a globális társadalom fenntartható, közel 8 milliárd ember számára bizto-
sított a magas jóléti szint, miközben az emberiség ökológiai lábnyoma csökken.
A rendszer egyensúlyi állapotba kerül, vagyis a rendszerszemléleti megközelítéssel
magyarázva a pozitív és negatív visszacsatolási hurkok kiegyenlítődnek, és a rend-
szer legfontosabb állapotváltozói (népesség, tőke, talaj, termelés, szennyezés, erő-
források) kiegyensúlyozott állapotban maradnak. A 9. forgatókönyv futtatásának
eredményeit a 4. ábra foglalja össze.



9. Forgatókönyv

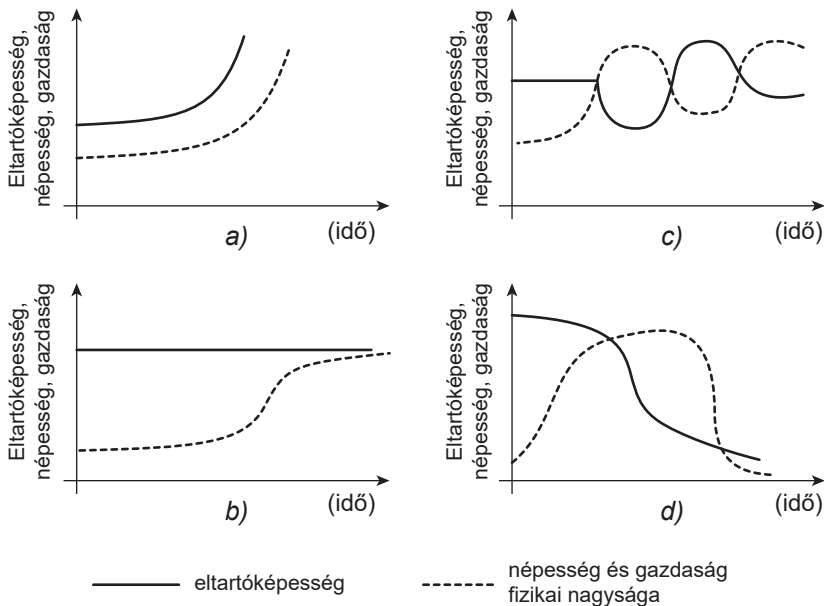
4. ábra

*Korlátozott és stabilizált modell**Forrás: SZATMÁRI 2013; MEADOWS–RANDERS–MEADOWS 2005 alapján*

A fentiek alapján már látható, hogy a forgatókönyvek különböző környezeti és társadalmi tényezők kombinációit használva becsülik meg együttes alakulásukat. Az eredeti Meadows-modellek leegyszerűsített interpretációja négy lehetséges kimenetet vázol fel (5. ábra):

- a) modell: a népesség nagyságával párhuzamosan bővülnék, illetve *bővíthetők az életlehetőségek* (termőterület, hulladékasszimilációs képesség).

- b) modell: szigmoid növekedést ír le, amely az eltartóképesség változatlanságát feltételezi. Azaz a népesség növekedése az eltartóképesség határa felé közeledve lelassul, így *nem következik be katasztrófa*.
- c) modell: a reakcióidők eltéréséből adódó hatásokat mutatja be, amelyek révén rövidülő amplitúdóval alakul ki a népesség és az eltartóképesség viszonya. Ha túlnépesedés áll elő, és romlanak a feltételek, a népesség száma csökkenni fog, a környezet pedig regenerálódik, ami teret ad az újabb növekedésnek. Végző soron *dinamikus egyensúlyi állapot* alakul ki.
- d) modell: a *katasztrófa* esetét mutatja be. A népesség és a gazdaság növekedése túllépi, majd jelentősen degradálja az eltartóképességet, ami már nem képes regenerálódni, hanem egy alacsonyabb színvonalon stabilizálódik, alacsonyabb népesség mellett (BERÉNYI 2009).



5. ábra

Meadows-modellek

Forrás: BERÉNYI 2009 feldolgozása

A növekedés határait a kutatók húsz, majd harminc év után újra megvizsgálták. Új modelleiket, forgatókönyveiket a megváltozott viszonyok figyelembevételével készítették el. Fontosabb megállapításai:

- az erőforrások kimeríthetetlennek tekintése esetén biztosan katasztrófa következik be,
- késlekedő cselekvések esetén szintén katasztrófával számolhatunk,
- időben megtett cselekedetekkel és a határok ismeretében kerülhető el csak a katasztrófa.

6. Rendszerszemlélet és rendszerdinamika

A rendszerekben való gondolkodásra, a rendszerszemléletre már több ponton felhívta a tanács a figyelmet. A kérdés fontosságát szemléletesen foglalja össze Kata (KATA 2013): A rendszerszemlélet alkalmazásának néhány évtizedes történelme arra a felismerésre épül, hogy a funkcionális és szakmai ismeretek elszigetelt felhasználása, illetve az azok alapján létrehozott folyamatok működése legtöbbször sokkal kevésbé hatékony, mint ha összekapcsolnák őket. A bővített újatermelés folyamatában ugyanis egyre összetettebb technológiák alakultak ki, amelyek korábban teljesen szétválasztott területek együttműködését igényelték. E bonyolult tevékenységek megvalósulása egyre nagyobb fokú koordinációt igényelt, és emellett nagyon megnövekedett azok kölcsönös függősége is. Így például egy adott területen fellépő működési zavar teljesen váratlan helyeken és időpontokban okozott problémákat. A folyamatokat irányító szakemberek esetenként a legkülönbözőbb szakmák igényeit képviselték, és azok összehangolását egyre inkább akadályozta a közös nyelv (terminus technicus) hiánya is.

Ennek megfelelően a szaktudományok egymástól egyre inkább elszigetelődő részekre tagolódnak, aminek eredményeként egyre többet tudunk egyre szűkebb területekről. A valóság azonban ritkán tagolódik a szakmák fejlődése szerint, így számos esetben kiderült, hogy a felmerülő probléma tényleges megoldását éppen annak komplexitása akadályozza.

Az ilyen esetek tanulmányozása arra a következtetésre vezetett, hogy az analitikus gondolkodás segítségével nem minden probléma oldható meg. Ilyenkor ugyanis a dolgot környezetéből és külső kapcsolatrendszeréből kiszakítva vizsgáljuk, ezért nem értjük meg a teljes működés szabályait. Az ezzel szemben álló szintetikus gondolkodás a dolgot nem szaggatja részeire, így azt összességében, kapcsolataival és hatásaival együtt látja, ezért van rá esély, hogy megtalálja a hatékony megoldásokat.

A tudománytörténet jellegzetes példái alapján az emberi gondolkodásra eredetileg ez a gondolkodásmód volt jellemző, hiszen a hatékony biológiai és társadalmi létnek alapfeltétele a feladatok sokoldalú és teljes elvégzésére való képesség. A munkamegosztás egyre magasabb fokai azonban beindították a szakosodást, amely kezdetben társadalmi szinten jóval hatékonyabban tudott működni, éppen a feladatok megosztásával és a szakértelem szerepének növekedésével. A specializálódás hátrányai és a folyamatok összetettsége azonban mára újra lehetetlenné tették a műszaki-gazdasági rendszerek ilyen működését. Világunkban a *rendszer technika feladata* az, hogy – most már persze tudatosan – minél nagyobb méretekben összekapcsolt tevékenységeket vizsgáljon és kezeljen hatásmechanizmusai és kapcsolataik egyidejű felismerésével párhuzamosan. Ehhez persze harmonikusan össze kell illeszteni mind az analitikus, mind a szintetikus gondolkodás elemeit és eljárásait is.

A rendszerszemlélet gyakorlatba ültetésének egyik módja a *rendszerdinamikai modellezés és szimuláció*. A rendszerdinamika az 1950-es években, Jay Forrester által kidolgozott módszer. A villamosmérnök Forrester a bostoni MIT-n dolgozott, de szűkebb szakterületéről kilépve olyan területeken is alkalmazta módszerét, mint a vállalati készlet- és logisztikai menedzsment (FORRESTER 1961), a városi kerületek hanyatlása és az erre adható szociálpolitikai válaszok (FORRESTER 1969), sőt a világ népesedése és a környezetszennyezés (FORRESTER 1971). A módszert a szerző nevezte el rendszerdinamikának. Az elemzéseihez rendszerint számítógépes szimulációkat is használt (FORRESTER 1971), amihez saját programnyelvet is kifejlesztett.

A rendszerdinamika célja, hogy komplex rendszerek működését, folyamatait speciális modelleken keresztül leírja. A módszer az egyes alkotóelemek közti többlépcsős és körkörös kapcsolatokra helyezi a hangsúlyt. Megközelítése újszerű, eltér a hétköznapi gondolkodástól. Amíg általában „*eseményszerűen*” gondolkodunk, a természeti és társadalmi jelenségeket egyszerű „ha-akkor” magyarázatokkal írjuk le, addig *korlátozzuk a gondolkodásunkat*. A hatások rendszerének csupán kis szegmensét figyelembe véve a problémák megoldását célzó kezdeményezések sikertelenek, sőt károsak lehetnek. Ha például a híreket olvassuk, és olyan témák tűnnek fel, mint a munkanélküliség, a válság vagy a klímaváltozás, akkor eseményeket látunk, de gyakran nem tárulnak fel azok a komplex rendszerek, amelyek ezeket az eseményeket létrehozzák (MEADOWS 2008, idézi KIRÁLY–KÖVES–PATAKI–KISS 2014).

A rendszerdinamika klasszikusaiban és „gyakorlati” irodalmában gyakran szereplő vállalati példák egyikével élve (KIRÁLY–MISKOLCZI 2016): cégünk eladásai visszaestek, mert (úgy véljük) versenytársaink alacsonyabb áron kínálták termékeiket. A tipikus válasz az lehetne, hogy próbáljunk meg mi is árat csökkenteni. Lehetséges, hogy így visszaszerezzük versenyképességünket és kiesett bevételeinket, de előfordulhat, hogy az eredeti problémának más okai is voltak: például a reklámra vagy a vásárlókkal való kapcsolattartásra fordítottunk túl kevés gondot, és az is lehet, hogy az új helyzetben versenytársaink még tovább képesek majd süllyeszteni az árszintet, s végül a versenyben elvérzünk, miközben magas árszínvonalon, „prémium” szereplőként sikerre juthattunk volna a piacon. A valóságban elkerülte a figyelmünket, hogy a rendszer (az adott piac), amelyben működünk, soktényezős, az áron kívül rengeteg más változó hatására is reagál, és mindemellett dinamikus is: nem kizárólag a mi cselekedeteink, hanem saját belső törvényei (és más aktorok cselekvései) szerint is „mozog”.

Richardson (RICHARDSON 2011) két olyan jellemzőt emel ki, amely különlegessé teszi a rendszerdinamikai szemléletet:

- a *visszacsatolási mechanizmusok* fontosságának hangsúlyozása, amely különösen fontos szerepet kap összetett jelenségek értelmezésénél.
- a *belső nézőpont*, azaz egy adott rendszer viselkedésének belülről és nem külső hatásokból levezetett elemzése.

A rendszerdinamika alkalmazási területe szerteágazó lehet. Maga Forrester is egyre inkább általánosabb társadalmi problémákkal foglalkozott műveiben (LANE 2007), ki lehet emelni a Meadows-modelleket (MEADOWS–RANDERS–MEADOWS 2005) a világ helyzetének megítélésére. A rendszerdinamikai vizsgálatok helyi környezetvédelmi problémák kezelésében egyre többször jelennek meg (STAVE–GOSHU–AYNALEM 2017), de alkalmasak közlekedési kihívások modellezésére is (HORVÁTH 2012). Emellett a műszaki területeken alkalmas az energiaellátás modellezésére (SEELER 2014), de az üzleti folyamatok, sőt makropénzügyi folyamatok kezelésénél is megjelenhet.

A rendszerdinamika módszerének alkalmazásához szervesen hozzátartozik az elemek és kapcsolatok vizuális ábrázolása, továbbá a számítások szoftveres támogatása. A hatásokat differenciálegyenletekkel lehet leírni, nagyobb (több elemet és kapcsolatot tartalmazó) modellek esetén ezek megoldása komoly számítási kapacitást kíván. A következő fejezetben foglalkozunk a modellezés technikájával.

Fogalmak

- célkereső viselkedés
- célstruktúra
- determinisztikus rendszer
- döntési struktúra
- exponenciális viselkedés
- funkcionális struktúra
- hierarchikus struktúra
- ingadozó viselkedés
- ismérvstruktúra
- kaotikus rendszer
- katasztrófamodell
- Meadows-modellek
- rendszerdinamika
- rendszerdinamikai modellezés
- rendszerek rendszere
- S-alakú viselkedés
- szimuláció
- sztochasztikus rendszer
- visszacsatolási mechanizmus

Áttekintő kérdések

1. Mit értünk a rendszer struktúráján?
2. A rendszerek viselkedésének mely szintjeit tekinthetjük dinamikusnak?
3. Milyen jelenségeket tudnánk példaként említeni a rendszerek jellemző viselkedésformáihoz (exponenciális, célkereső, S-alakú, ingadozó)?
4. Mi a célja a Meadows-modelleknek?
5. Ki és miért alkotta meg a rendszerdinamikát?

Felhasznált irodalom

- BALA, B. K. – ARSHAD, F. M. – NOH, K. M. (2017): *System Dynamics: Modelling and Simulation*. Singapore, Springer.
- BERÉNYI L. (2009): *Környezetmenedzsment*. Miskolc, Miskolci Egyetem.
- BOULDING, K. E. (1971): *Rendszerelmélet: Válogatott tanulmányok*. Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó.
- FORRESTER, J. W. (1961): *Industrial Dynamics*. Cambridge, The MIT Press.
- FORRESTER, J. W. (1969): *Urban Dynamics*. Cambridge, The MIT Press.
- FORRESTER, J. W. (1971): *World Dynamics*. Cambridge, The MIT Press.
- GLEICK, J. (1999): *Káosz: Egy új tudomány születése*. Budapest, Göncöl.
- HORVÁTH R. (2012): *Rendszerdinamika mint a közlekedési rendszerek igénymodellezésének új lehetősége*. PhD-értékezés. Győr, Széchenyi István Egyetem.

- KARAJZ S. – TÓTH Z. (2011): *Komplexitáselmélet a közgazdaságban*. Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó.
- KATA J. (2013): *Mérnöki módszerek a pedagógiában*. Budapest, Typotex.
- KERÉNYI A. – KISS T. – SZABÓ Gy. (2013): *Környezeti rendszerek*. Debrecen, Debreceni Egyetem.
- KIRÁLY G. – KÖVES A. – PATAKI Gy. – KISS G. (2014): Rendszermodellezés és részvétel: egy magyar kísérlet tanulságai. *Szociológiai Szemle*, 24. évf. 2. sz. 90–115.
- KIRÁLY G. – MISKOLCZI P. (2016). A részvétel dinamikája. Rendszerdinamika és részvétel: empirikus áttekintés. *Replika*, 100. sz. 103–129.
- KIRKWOOD, C. W. (1998): *System Dynamics Methods: A Quick Introduction*. Tempe, Arizona State University.
- LANE, D. C. (2007): The Power of the Bond between Cause and Effect: Jay Wright Forrester and the Field of System Dynamics. *System Dynamics Review*, Vol. 23, No. 2–3. 95–118. DOI: <https://doi.org/10.1002%2Fsd.370>
- LORENZ, K. (1993): *The Essence of Chaos*. Seattle, University of Washington Press.
- MEADOWS, D. (2008): *Thinking in Systems: A primer*. White River Junction, Chelsea Green Publishing.
- MEADOWS, D. H. – MEADOWS, G. – RANDERS, J. – BEHRENS III., W. W. (1973): *A növekedés határai*. Budapest, Kossuth.
- MEADOWS, D. H. – RANDERS, J. – MEADOWS D. L. (2005): *Növekedés határai harminc év múltán*. Budapest, Kossuth.
- NEMÉNY V. (1973): *Gazdasági rendszerek irányítása*. Budapest, Közgazdasági és Jogi Kiadó.
- 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%2Fsd.462>
- SEELER, K. A. (2014): *System Dynamics. An Introduction for Mechanical Engineers*. New York, Springer.
- STAVE, K. – GOSHU, G. – AYNALÉM, S. (2017): *Social and Ecological System Dynamics*. Cham, Springer.
- SZAKÁLY D. (2002): *Innováció- és technológiamenedzsment*. Miskolc, Bíbor.
- SZATMÁRI J. (2013): *Modellek a geoinformatikában*. Szeged–Debrecen–Pécs, Szegedi Tudományegyetem – Debreceni Egyetem – Pécsi Tudományegyetem.
- SZINTAY I. (1991): *Rendszerelmélet, rendszerszervezés*. Budapest, Tankönyvkiadó.
- VON BERTALANFFY, L. (1968): *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York, George Braziller.