

Komplex vagy komplikált?

Boda Dezső

Felsőbbfokú Tanulmányok Intézete, Chernel u. 14, 9730, Kőszeg
Természettudományi Központ, Pannon Egyetem, Egyetem u. 10, 8200 Veszprém

Ebben a rövid írásban arra teszek egy bátortalan kísérletet, hogy közelebb hozzam az olvasóhoz a komplexitás fogalmát. Az akár szakirodalmat, akár közéleti híreket, elemzéseket fogyasztó olvasó egyre gyakrabban találkozik ezzel a kifejezéssel. Egy keresés az angol nyelvű tudományos publikációkban a “complex system”, azaz a “komplex rendszer” karakterláncra azt adja, hogy 1972 és 2020 között kb. 50 ezerről másfél millióra nőtt a “complex system” kifejezést tartalmazó cikkek száma exponenciális növekedést mutatva. Nyilván hasonló növekedést mutathatnánk ki, ha napilapokban, politikusok vagy egyéb megmondóemberek beszédeiben keresgélünk.

Vajon mi lehet az oka ennek az egyre élénkülő érdeklődésnek? Nyilván az, hogy a világ tényleg egyre komplexebbé válik. Mindenki érzi, hogy ez valóban így van. Egyre nehezebben megérthetőek a világban végbemenő folyamatok; egyre nehezebben megjósolható, hogy mi lesz a helyzet egy év múlva; egyre nehezebb adaptálódni a gyorsan változó körülményekhez. Az embert az evolúció úgy “rakta össze”, hogy szeret értelmet keresni az őt körülvevő világban. Ez szükséges ahhoz, hogy tervezni tudjunk, az agyunk nyújtotta evolúciós előnyöket kihasználni. Ha nem találjuk ezt az értelmet, vagy az az értelem, amit eddig adottnak véltünk elveszni látszik, az jelentős kognitív disszonanciát okoz az elménkben, ami szorongáshoz és egyéb nyavalyákhoz vezet.

No igen, de mégis mit jelent az, hogy komplexitás? Mi jellemzi a komplex rendszereket? Maga a tény, hogy oly sokat használjuk ezt a fogalmat szükségessé teszi, hogy tudjuk miről is beszélünk. A komplexitás ugyanis nem ugyanaz, mint hogy valami komplikált, azaz hogy bonyolult. A komplex rendszereknek jól körülírható tulajdonságaik vannak, amikről lehet beszélni, de semmiképpen sem lehet elütni egy bonyolult probléma feldolgozását azzal, hogy ez a probléma túl komplex, esélyünk sincs arra, hogy megértsük.

Egy laptop nyilvánvalóan egy bonyolult szerkezet, mégsem egy komplex rendszer. A laptop egy mérnöki produktum, egy tervrajz alapján készül és minden egyes alkatrésze is egy előre kitalált és megtervezett módon működik egyenként és az alkatrészek is megfelelően működnek együtt, hogy a gép a kívánt módon tegye a dolgát. A részek tulajdonságaiból következik az egész rendszer tulajdonsága. A komplex rendszerek ezzel szemben önszervezőek és az sem érvényes rájuk, hogy az

egész egyenlő lenne a részek összegével. Mivel a laptop komplikált, természetesen előfordulhat, hogy nem működik tökéletesen. Ez nem a komplexitás következménye, hanem tervezési hiba. Az optimalizáció még mindig jobban megy az evolúciónak.

Vannak persze komplex technológiai rendszerek illetve technológiai komponenset tartalmazó nagyobb léptékű komplex rendszerek, de egy egy ilyen rendszer visszacsatolásokat és emberi tényezőket is magukba foglaló részrendszerek bonyolult szövedéke, ahol egy alkatrész hibája vagy egy emberi mulasztás “önmagán túlmutató” hibákat okoz a rendszer működésében.

A komplex rendszerek definíciója távolról sem egyértelmű. Sokfélék lehetnek és sokféle jellemző tulajdonságuk van. A definíciót adó szerző üléspontjától függően, azaz hogy milyen tudományterületről jön (társadalomtudós, fizikus, evolúciós biológus, informatikus, közgazdász, stb.), ugyanis más és más jellemzőt tart fontosnak és azt foglalja bele a saját tömör definíciójába. A rövid definíció után viszont szinte mindig következik egy hosszabb kifejtés, ahol a komplex rendszerek egyéb tulajdonságai is terítékre kerülnek és ezen kifejtések során nagyjából mindig ugyanaz a kép alakul ki.

Én a következő definíciót adnám a komplex rendszerekre. *A komplex rendszer egy olyan hierarchikus struktúra, amely a struktúra alsó szintjén nagyon sok komponensből (építőközből, összetevőből, ágensből) áll. Ezeknek a kölcsönhatásai és a szabályok által vezérelt adaptív viselkedésük egy spontán emergens rendhez (viselkedéshez, mintázathoz) vezetnek a struktúra magasabb szintjein. A rendszer szintjei és komponensei között visszacsatolások működnek, amelyek lehetővé teszik az ágensek adaptív válaszát az őket ért behatásokra.*

A következőkben sorra veszem az ebben a rövid összefoglalásban megbúvó fogalmakat és példákkal próbálom megvilágítani a jelentésüket. Az első és az egyik legfontosabb kijelentés az, hogy a komplex rendszerek nagyon sok kis összetevőből, építőközből épülnek fel. Az analógia miatt mindig érdemes megemlíteni a *komplex fizikai rendszereket*, ahol az élettelen anyagi rendszer molekulákból vagy atomokból áll. A molekulák közötti kölcsönhatásokat és a viselkedésüket a fizika alapvető törvényei (elektrodinamika, kvantummechanika, statisztikus mechanika) határozzák meg.

Ami minket sokkal inkább érdekel, az a komplex adaptív rendszerek, ahol a rendszer valamely szintjén jelen van az élet, vagy ha társadalmi rendszerekről van szó, akkor az intelligencia is. A komplex rendszer fogalmán általában ezeket a *komplex adaptív rendszereket* értjük. A komplex fizikai vs. adaptív rendszer megkülönböztetés John Hollandtól¹, a genetikus algoritmusok úttörőjétől származik.

A komplex adaptív rendszerekre vagy a biológiából, vagy a társadalomtudományokból lehet példákat hozni. Biológiai rendszerekben nagyon sokféle rendszerről beszélhetünk attól függően, hogy

1 John H. Holland: *Complexity: A Very Short Introduction*, 2014 (Oxford University Press)

a hierarchia melyik szintjén állunk. Összetett makromolekulák építik fel a sejteket. Ekkor a molekulák az építőkockák, míg a sejt maga a komplex rendszer. Ha az agyat vagy az immunrendszert tekintjük egy komplex rendszernek, akkor ott az építőkövek a neuronok illetve az immunrendszer sejtjei. Egy élő organizmus is egy komplex rendszernek tekinthető, ami alrendszerekből áll össze, de mint az agyra és az immunrendszerre vonatkozó példákból láttuk, ezek az alrendszerek is tovább bonthatóak alrendszerekre.

Ez húzódik meg a mögött a kijelentés mögött, hogy a komplex rendszer egy hierarchikus struktúra. A társadalom kisebb egységekből épül fel, de végső soron mindegyik emberekből áll. Az ember maga is egy komplex rendszer, aminek a belső működése befolyásolja azt, hogy miként reagál a behatásokra a társadalom részeként.

Amikor a komponensekről beszélek, ezentúl az ágens kifejezést fogom használni hangsúlyozandó, hogy a rendszer komponensei “csinálnak valamit”, azaz hogy van nekik valamilyen tipikus viselkedésük. Azt, hogy egy adott ágens egy adott helyzetben és adott időpontban konkrétan mit csinál, az nagyon sok mindentől függ, amikre mindjárt kitérek, de az alaphipotézis az, hogy van nekik egy jellemző viselkedésük, azaz hogy egy adott behatásra hajlamosak mindig ugyanazt a választ adni. Azt, hogy valamilyen bejövő jelre az ágens miféle választ ad konkrét cselekvés formájában, cselekvési szabályok írják le.

Ezeket a szabályokat valahogy úgy kell elképzelni, hogy amennyiben az ágens A jelet kap, akkor cselekedje C-t, míg ha B jelet kap, akkor cselekedje D-t. Ha A és B jelet egyaránt kap, akkor valamilyen valószínűséggel cselekedje C-t illetve D-t. Mik ezek a bejövő jelek? Ezek lehetnek a külvilágból érkező impulzusok, vagy a többi ágens cselekvéseiből eredő információ. Ha egy ágens például azt látja, hogy egy másik ágens A-t cselekszik, akkor ezt felfoghatjuk egy A jelnek az ágens számára.

Vegyük például a madárraj példáját, amit látványossága és egyszerűsége miatt sokszor felhozunk példaként. Mindannyian láttunk már ilyen madarakból álló “felhőket”, amik tipikus alakzatokat formálnak az égen. Ezeknek az alakzatoknak a formája folytonosan és dinamikusán változik, ahogy a madarak repkednek a rajban, de azt érezzük, hogy ez a forma nem lehet akármilyen, valamilyen szabályszerűségek tehát érvényesülnek a háttérben. Mi csak az emergens mintázatot látjuk, ami egyáltalán nem véletlenszerű, nem rendezetlen. Nem is teljesen rendezett, hanem valahol a kettő között.

Az egzotikusnak tűnő “emergens” szó (nem nagyon van rá jó magyar kifejezés) jelentésére is rávilágít a példa: az emergens tulajdonságok a komplex rendszer magasabb szintjein jelennek meg az alsóbb szinteken működő ágensek kaotikusnak tűnő, de valójában szabályozott viselkedésének eredményeként. Ha egy pillanatra visszakanyarodunk a fizikai analógiához, ilyen emergens

tulajdonságnak tekinthető a molekulák által alkotott gáz hőmérséklete és nyomása, azaz azok a tulajdonságok, amiket a makroszkopikus szinten mérni tudunk.

Ahogy a gáz tulajdonságait is akkor érthetjük meg igazán, ha “lemegyünk a molekulák szintjére”, úgy a a madárraj viselkedése mögött megbújó rendről is akkor tudunk valamilyen benyomást szerezni, ha “lemegyünk a madarak szintjére” és őket figyeljük. Ekkor a komplex rendszer a madarak összessége, a madarak pedig az ágensek. Egy adott madár számára minden időpillanatban a bejövő jel az az információ, hogy mit csinálnak a szomszédai, vagy a szélirány, vagy a támadó sólyom viselkedése. Ennek alapján a madárraj viselkedését kitűnően lehet szimulálni egy számítógépben², ha például egy madár számára a következő egyszerű viselkedési szabályokat írjuk elő:

- (1) Próbálj meg ugyanabba az irányba repülni, mint a szomszédaid!
- (2) Próbálj meg közel maradni a szomszédaidhoz!
- (3) Próbálj meg nem nekik menni!

Ezek olyan “ökölszabályok”, amiket a madár repülés közben könnyen tud alkalmazni, szem előtt tartani.

Itt tehát az történt, hogy az ágensek (a madarak) szintjéről lejjebb mentünk egy még alapvetőbb szintre, a szabályok szintjére. Ha így nézzük a dolgokat, akkor ebben a játszmában a madarak tényleg csak ágensek, akik eljártsszák a szerepüket, és a fontos kapcsolat a szabályok (a madarak közti kölcsönhatások) és a makroszkopikusan észlelt mintázatok (az egész madárraj viselkedése) között van.

Jogosan merül fel a kérdés, hogy honnan tudják a madarak ezeket a szabályokat. A madarak esetében ezek ösztönös viselkedések, a szabályok nyilván a madarak DNS-ében vannak kódolva. Ezért az is kijelenthető, hogy ezek a szabályok evolúciós úton alakultak ki, azaz a madárraj ily módon való viselkedésének valamiféle adaptív előnye kell hogy legyen a madarak számára. Ez így is van; ez a viselkedés feltehetően a ragadozók elriasztására alakult ki.³

Amennyiben egy madárrajnál némileg bonyolultabb komplex rendszert, konkrétan emberek közösségét vesszük, akkor a helyzet jelentősen bonyolódik, mivel a viselkedési szabályok már nem csak a génekben tárolt ösztönös szabályok lesznek, hanem tanult, társadalmi szabályok is. Ezek végső soron az agyunkban tárolódnak.

Most már csak az van hátra, hogy röviden megvilágítsam, hogy mit takarnak azok a kijelentések, hogy a rendszerben “visszacsatolások működnek, amelyek lehetővé teszik az ágensek adaptív válaszát az őket ért behatásokra”. Az adaptációt az teszi lehetővé, hogy az ágenseknek van mozgásterük: habár a viselkedésük szabályoknak van alávetve, ezek korántsem olyan szigorú szabályok, mint amik az

2 Erre egy példa a következő videóban látható: https://youtu.be/VyZZE4H1G_w

3 A következő videón jól látható a madárrajt támadó sólyom, ami nem nagyon tud mit kezdeni a helyzettel: <https://youtu.be/bb9ZTbYGRdc>.

atomok mozgását vezérlik egy jégkristályban. Egyrészt mindig van választási lehetőség, hogy milyen szabályokat alkalmazzon az ágens, másrészt a szabályok is változtathatók. A biológiai rendszerek esetében ez azt jelenti, hogy változnak a gének egy evolúciós szelekciós mechanizmuson keresztül. Ez a mechanizmus kitűnően működik, de meglehetősen lassú. Ki kell várni a következő nemzedékeket, és a kicsi előnyös változások felgyülemelését a faj genomjában.

Az emberek esetében sokkal gyorsabban megy a dolog. A generális társadalmi szabályok is gyorsabban változnak a biológiai időléptékhez viszonyítva, de az ágensek a maguk kreativitása révén képesek új szabályok kialakítására.

A visszacsatolások egyrészt az ágensek között működnek, másrészt a hierarchikus komplex rendszer magasabb szintjeiről is érkehetnek a jelek. Az ágens valamilyen viselkedése például előnyös lehet a csoport, azaz a teljes komplex rendszer számára. Ekkor megvannak azok a mechanizmusok, amelyek révén a csoport, mondjuk egy emberi közösség motiválja az ilyen szabályok érvényesülését az ágensek szintjén. Ezekhez a mechanizmusokhoz tartoznak a jog, az erkölcs, a vallások által alkotott közösségi szabályok.

Az emberek egymás közötti kooperációját elősegítő etikai és erkölcsi szabályok lassan, de biztosan választódtak ki évszázadokkal ezelőtt. Hatékonyságukat jellemzi, hogy az általuk életre hívott vallások és társadalmi normák még a mai kaotikus világban is tartják magukat. A káoszban az ember rendre vágyik, nem meglepő tehát, ha a magasabb rendű komplexitás miatt fellépő kaotikusnak tűnő világban a rendezettség irányába mutató folyamatok indukálódnak. A komplex rendszerek egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy a rend és a rendezetlenség peremén egyensúlyoz. Ez a rendszer működésében rejlő versenyt és kiválasztódást elősegítő mechanizmusoknak és az ebből eredő nagyfokú optimalizáltságnak köszönhető. Persze máshogy működnek ezek a mechanizmusok a biológiában és a gazdasági életben, de nem haszontalan észrevenni az analógiákat az egymástól látszólag nagymértékben különböző rendszerek között.

A komplex látásmód egy ilyen intellektuális keretrendszert szolgáltat. Ha ezeket az analógiákat szem előtt tartva tekintünk világunk zavarba ejtő folyamataira, talán rögtön nem lesznek olyan zavarba ejtőek. Ha az olvasó ennél a rövid leírásnál mélyebben szeretne elmerülni a komplex rendszerek világában, javaslom a Felsőbbfokú Tanulmányok Intézetének gondozásában megjelent ismeretterjesztő könyvemet⁴, illetve az abban bőségesen citált irodalmat.

4 Dezső Boda: *Complexity in Nature and Society. From Dancing Molecules to Collapsing Societies*. Kőszeg, 2020, (iASK Monographs. iASK)