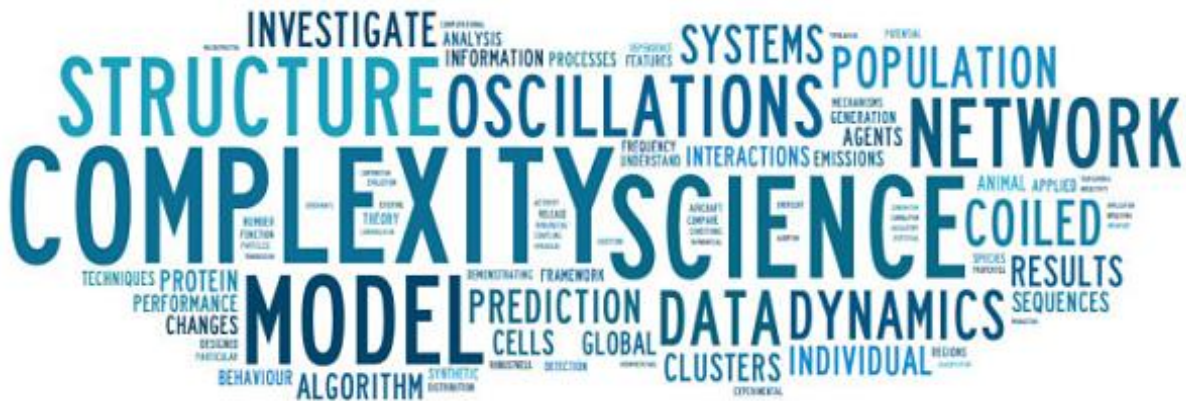


# A komplexitás



Készítette:

**Varga Katalin Eszter**

G2TL0M

Oktató:

**Dr. Pajkossy Péter**

# Bevezetés a kognitív tudományba

## kurzus

Előadó:

**Orbán Gergő**

Computational Cognitive Science,  
egy bevezetés

## Összefoglaló

Az általunk ismert vagy annak csak létezését tudni vélt világ finomhangolt működése, annak komplexitása nap, mint nap lenyűgözi a kutatókat. Évtizedek óta természet- és társadalomtudósok számos tudományterületen próbálják megfejteni az összetettség azon már-már absztrakt szintjét, melyet a komplex rendszerek képviselnek, s mely minden megállapítás után egyre csak túlmutat az addig leírt ismereteken. Épp ezért mai napig nem született pontos, mindent átfogó definíció a komplexitásról, maga a jelenség megfoghatatlan és körülhatárolhatatlan, mégis valóságos és minden egyes pillanatunkra kiterjedő.

Dolgozatomban a komplexitás feltételeit, megjelenési szintjeit és annak leírására szolgáló megközelítéseket tárgyalom, néhány természetből vett példával szemlélítve, illetve egy megközelítést, miszerint a komplex rendszerek vizsgálata közelebb vihet a kognitív rendszerek megértéséhez.

## Tartalomjegyzék

<b>Összefoglaló.....</b>	<b>2</b>
<b>Bevezetés .....</b>	<b>3</b>
<b>A komplexitás feltételei .....</b>	<b>5</b>
Nonlinearitás .....	5
Hierarchia .....	6
Emergencia.....	6
Autonómia és a központi kontroll hiánya.....	7
<b>Matematikai megközelítések .....</b>	<b>10</b>
<b>A modellalkotás korlátai.....</b>	<b>11</b>
Variabilitási mélység.....	11
Kronológiai lépték .....	12
Az általánosítás.....	13
<b>Következtetés .....</b>	<b>14</b>
<b>Bibliográfia .....</b>	<b>15</b>

## Bevezetés

A komplex rendszerek vizsgálatához előbb definiálnunk kell a rendszer fogalmát. Ez lehetséges matematikai modellek irányából, relációkkal összekapcsolt elemek egy halmazaként, vagy a bemenet és kimenet közötti információfeldolgozás szempontjából, utóbbi kifejezetten egybevág a kognitív rendszerekkel is. Az egyéni elemek tömérdek kapcsolatot alkotnak egymással, ezen kapcsolatok minősége: iránya, irányítottsága, súlyozottsága, erőssége, láthatósága végtelen kombinációt hordoz magában, összességük a rendszer működésének alapját képezi. A fent említett hatások és kölcsönhatások teszik a különálló részeket egyetlen egésszé. A rendszer lehet egy fizikai egység, de egy algoritmikus megvalósítás is, mely képzelte objektumok összefüggéseit kódolja (Pletl Sz., Kincses Z., 2019). Nem szabad elfelejtenünk, hogy bármilyen szempontból is közelítünk a fogalomhoz a környezet hatásait a rendszerre és a rendszer hatásait a környezetre nem hagyhatjuk figyelmen kívül.

Elöljáróban szeretném kijelenteni a teljesség igénye nélkül: a komplex rendszerek alapja, hogy az egész több/más, mint a részek összessége. Ennek végtelen interpretációját megtalálhatjuk a társadalomtól kezdve az időjárásról és az élő szervezet alapkövein át a mentális reprezentációkig, melyeket problémamegoldás során használunk (Ladyman, J., Lambert, J. 2013). Bárhol találunk fogódzókat újabb és újabb akadályokba, szükségszerű, de nem elégséges feltételekbe ütközünk, közben a komplexitás kérdésköre csak nő és még több területen szövi magát keresztül. A centrális kérdés azonban továbbra is ugyanaz: Mi, milyen egy komplex rendszer, hogyan segít megérteni a kognitív funkciókat?

Felmerül, hogy a komplexitás valóban különálló tudományág, vagy minden már létező tudományterület kritikus pontja, egy-egy sajátos összetett rendszerelmélet, melyet adott területen belül mintegy problémaként fel lehet oldani, azaz területspecifikus. Több neves gondolkodó is megfogalmazta kutatásainak eredményét, véleményét a témakörrel, ezek némelyest egybevágóan, valamennyien meglátták a rendszer fejlődésével, evolúciójával járó komplexifikációt, időigényt, a kezdeti feltételek finomhangoltságában rejlő végtelen kimeneti lehetőséget, de néhol ködös jelzőket, pontatlan változókat használtak (Ladyman, J., Lambert, J. 2013). Mit jelent a változatosság, meddig terjedhet a skála, van-e egyáltalán határa, vagy inkább egy átmeneti rész a lehetséges kimenetek és a káosz között, definiálható-e ez a szint?

A komplexitás egy meglehetősen összetett fogalom, mely utal a rendszer részeinek számára, azok együttműködésére, egymással való kölcsönhatásra, s leginkább a működési elvére. Ha egy drága autót nézünk, láthatjuk, hogy működése mögött egy nagyon összetett rendszer

minden egyes darabjának közös munkája áll. Az alkatrészek végeláthatatlan sora s a beépített rendszerek olyan működőképes egységet tárnak elénk, mely mind funkciói sokaságában, képességeiben és esztétikájában elbűvölő lehet. Rénzésre leírhatatlannak tűnik a fogaskerekek áttétjeinek végeláthatatlan sora, pedig szisztematikusan haladva a részek között beláthatjuk, hogy a szerkezet bonyolultsága a körülményes tervezésnek köszönhető, a részek között lineáris kapcsolat van, tehát egy autó nem lépi át a komplexitás küszöbét, mindössze egy összetett rendszer (Ladyman, J., Lambert, J. 2013).

## A komplexitás feltételei

A következőkben néhány olyan sajátságot részletezek, melyek hozzájárulnak egy rendszer komplexitásának létrejöttéhez.

### Nonlinearitás

Ahogy már fentebb is említettem a rendszer több, mint a részek összessége, ezt a bemenet és a kimenet linearitásának hiánya tükrözi. A relációk szimultán érvényesülésével nem teljesül a szuperpozíció elve, az operátorok, bár látszólag függetlenek egymástól, nem csak hatásuk többszörösével képesek hatni, de kölcsönhatásaikkal egészen váratlan kimenetekre is képesek. A jelenlegi megközelítések nem túl pontosak, rendszerek modelljei általában lineáris, szétválasztható változójú, analitikusan megoldható egyenletek végtelen sora. Természetesen épp a kölcsönhatások elhanyagolása miatt nem elég pontosak. Ahogy lecsökkentjük a változók számát, a relációk összetettségét a redukció gyakran olyan drasztikus, hogy már meg sem közelíti az eredeti jelenséget. (Noël, J.P., Kerschen. G. 2017, Santos-Sacchi, J. 2018).

Ha csak a mikroállapotokat tekintjük, a sejtek valójában élettelen partikulumai, szervecskéi folyamatos dinamikus egyensúlyra való törekvése zavarba ejtő, hiszen leginkább annyit láthatunk, hogy a különböző transzport fehérjék Brown féle mozgást követve lebegnek az intracelluláris térben, s néha, amennyiben épp jó helyre keverednek mérnöki pontossággal le-, majd új pozícióba felkapcsolódik a szállítmányuk. Eddig még nem sikerült felépítenünk egyetlen sejtet sem, hiszen nem tudunk reprodukálni egy olyan minimális térigényű komplexumot, mely önmaga fenntartása, fejlesztése, a külső és belső környezet folyamatos monitorozása mellett osztódásra is képes. Ha pedig az élő és élettelen részek közötti fázisátalakulást vesszük figyelembe, hiszen nincs pontosan meghatározott köztes állapot sem, végképp tanácstalanok vagyunk. (Noël, J.P., Kerschen. G. 2017, Santos-Sacchi, J. 2018).

A sejtet az élő szervezet alapegységének tekintjük, a benne történő molekuláris elváltozások, fázistranzióknak köszönhető a felsőbb szintek differenciálása. A genetikai kód tartalmazza mindazt az információt, ami a szervezet kifejlődéséhez, fenntartásához és alkalmazkodásához szükséges. A kezdeti kondíciók (input) drasztikusan befolyásolják a végső értéket (output), a kettő közötti kapcsolat szintén nem lineáris, mindössze egy esemény bekövetkezésének, egy tulajdonság kifejeződésének lehetőségét s annak valószínűségét mutatja meg. Ez a szenzitivitás a pillangóhatást is felidézheti bennünk, mely egy dinamikus rendszerben a káosz kezdeti értékeinek fontosságát, lehetséges hosszú távú hatásait hangsúlyozza (Ladyman, J., Lambert, J. 2013).

## **Hierarchia**

Látható, hogy egy dinamikus rendszer folyamatosan változik, az alegységek alig érzékelhető, sokszor rendezetlennek tűnő ténykedése a rendszer egészének működését befolyásolja. A hierarchia egy pervazív jelenség, mely biztosítja, hogy a makroállapot már a mikroállapotok szintjén előre definiált legyen (bottom-up elrendezés). A különböző szintek, azok alrendszerei folyamatos interakcióban állnak egymással, és bár úgy tűnhet a rendszer mintegy vezényelve halad és fejlődik, meghatározott központi kontroll nincs. Kiemelkedően szemléletes példa erre az együttműködés egy hangyabolyban, ahol az egyedek külön-külön nem feltétlenül eszes teremtmények, mégis képesek feromonok segítségével tudtára adni a többi egyednek, ha segítségre van szükségük, ha találtak valamit, ami a bolyoknak is jó, ha veszély fenyegeti a tojásokat, a királynőt stb. Mintegy kollektív tudattal képesek egy olyan társadalmat létrehozni, melyben mindenkinek megvan a dolga a közös cél elérésében, pl. amennyiben egy hangyászszün elpusztítja a beszerző hangyák nagyrészét a többiek átveszik a feladatkörüket még mielőtt a boly hiányt szenvedne a bármilyen ellátmányból (Ladyman, J., Lambert, J. 2013).

A hierarchia tetten érhető a depresszió kognitív modelljében is, mely szerint az egyén diszfunkcionális sémái kognitív torzuláshoz vezetnek, ezek biztosítják az alapot, az egyén hitrendszerét. A sémák jellegzetes logikai hibákon keresztül fejtik ki a hatásukat, melynek következménye, hogy előáll a „kognitív triász”: a depressziós egyén negatívan észleli a valóságot (a környezetét), önmagát és a jövőt. Az egyéb tünetek a negatív berögződések, kondíciók további következményei. (Beck, A. T. és mtsai. 2001).

## **Emergencia**

A lokális interakciókból hierarchia épül fel, minél több alapvető modullal rendelkezik a rendszer annál komplexebb információval teli hálózat jön létre, melynek következménye az emergencia. A megjelenés-tudomány tárgya a káoszról spontán kiemelkedő, nem várt rend, mintázat kialakulásában rendkívül fontos szerepet tölt be a már említett kritikus „mennyiség”. Ekkor a rendszer megszűnik részek, egységek csoportjaként létezni, áramlat jön létre, a legfontosabbá a pozíció és a kapcsolatok száma, azok súlyozottsága válik, ezek topológiája szerint redefiniálódik a hálózat, a térbeli szerkezet megváltozik. Fontos kiemelni, hogy egy kapcsolat létrejöhet direkt és indirekt módon, közbeeső elemekkel, loopokkal és feedbackekkel teletűzdelve. Minden egységnek megvan a saját helye, a saját feladata és kapcsolatrendszere, mégis bármely elem nélkülözhető, szinte azonnal pótlásra kerül, szerepei átvállalódnak (Stacey,

R. 2005). Emergens vonásnak tekinthető az ember mentális reprezentációiból kialakuló szimbólumrendszer is (Pléh Cs. 2000).

### **Autonómia és a központi kontroll hiánya**

Az önszerveződés egy emergens vonás, mely a lokális interakciókat használja fel a további feladatok elvégzéséhez. Az autonómia elemszintű jelenléte az emergencia hatására képessé válik a környezethez való adaptációra saját utasítások szerint, központi kontroll nélkül. Ez a fokú autonómia lehetővé teszi, hogy az elemek közreműködjenek, pl. egymáshoz hangolják helyzetük, de ezzel egyidőben nő a lehetséges válaszlehetőségek, a rendszeren belüli diverzitás száma (Brueckner, S., Czap, H. 2006). A jelenségre egy szemléletes példa a madárrajok mintázata, hiszen több száz madár képes hömpölygő, akár az eget besötétítő szinkron mozgást létrehozva a lehető legkülönlegesebb hibátlan alakzatot felvenni. Elképesztő, hogy a váratlan irányváltoztatások és nagy sebesség mellett sem ütköznek össze soha, mindössze, tökéletes összhangban suhannak (Ladyman, J., Lambert, J. 2013). Egy másik, talán a divergenciát jobban szemléltető példa az őssejtek sejtekké való differenciációja, mely az első, egyetlen megtermékenyített heterogén emberi sejttől elvezet minket a végdifferenciált szövetekbe akkumulálódott teljes szervezetig. A folyamat élettani, biokémiai háttere elképesztő komplexitásról tesz tanúságot, de ami miatt ebben a dolgozatban megemlítem az nem más, mint a sejtek egymással való kölcsönhatásba lépése, mely során egy alacsonyan differenciált progenitor sejt egy külső tényező hatására aszimmetrikus osztódásba kezdhet, és egy új sejtípus alakul ki még a kezdeti differenciáció során. Hasonló kölcsönhatások érik az éretlen immunsejteket is, akik a kizárólag thymusban történő szelekció és maturizálás után kezdhetik meg a feladatukat a szervezet védelme, ezáltal homeosztázisa érdekében, ilyen sejtek a segítő (helper) T sejtek, melyek aktivációjához antigénprezentáló sejttel kell kapcsolatba lépniük, a folyamat lezajlása után pedig képesek serkenteni a limfoid progenitor B sejtek plazma sejtekké, a monociták makrofággá, a kezdő T sejtek citotoxikus T sejtekkéérését (Shukla, S. et al. 2017, Dubois, F. et al. 2020). Ez a rövid aktivációs lánc mindössze egyetlen kiragadott szelet az immunrendszer működéséből, de jól szemlélteti a rendszer összetettségét, a hibátlan működéshez szükséges interakciók nélkülözhetetlenségét.

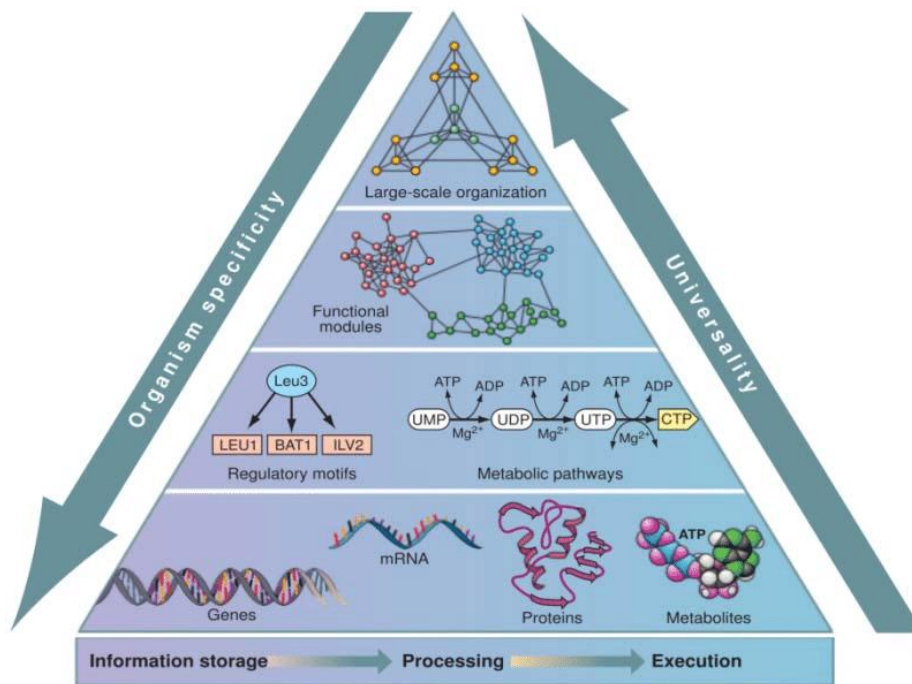
A differenciáció képessége már a DNS-ben kódolva van. Ez az aprócska információ-tömörítvény véleményem szerint az egyik komplexebb dolog, amit eddig ismerünk. A DNS nukleotid sorrendje magában hordozza a szervezet minden sejtének, szövetének tervrajzát és receptjét, működésének lehető legpontosabb leírását, s olyan kölcsönhatásokat foglal magába,

melyeknek mindössze töredéke van a mai napig egyáltalán megfigyelve, nem, hogy tudományosan rögzítve és a leírás helyessége bizonyítva (Meiser, L. 2020).

Nativista nézőpont szerint a nyelv egy velünk született képesség, mely a születéstől kezdve folyamatosan fejlődik, a behavioristák szerint minden a tapasztalati úton megszerzett tudásnak köszönhető. Mindkét elmélet cáfolható, de abban mindenképp egyet értenek, hogy az evolúciónak köszönhető az a biológiai rendszer, mely a képesség kibontakozásának lehetőségét megteremti. Már a zigóta tartalmazza azt az információt, mely a későbbi artikulációs eszközök, a hangok képzéséhez, megértéséhez, formálásához szükséges szervek s azok kontrollálását végző izmok beidegzésének kifejlődési útvonalát kódolja. A nyelvelsajátítás, illetve a nyelvhasználat már olyan kognitív folyamatok eredménye, melyek precizitása a mai napig kérdéseket vet fel. A hallott szöveg tagolása, annak megértése, a mentális reprezentációk, azok kategorikus halmazából kialakuló mentális lexikon nem teljesen feltérképezett, illetve tudásunk meglehetősen tördelt, ahogy sok más tudományterületen is, mégis képesek vagyunk a folyékony összefüggő beszédprojekcióra és annak megértésére is, egészséges idegrendszer esetében, különösebb megerőltetés nélkül (Lukács Ágnes, Kas Bence, 2008).

A kognitív funkciók az egyén korával igen szoros kapcsolatban állnak. Bár képesek vagyunk egész életünkben tanulni agyunk plaszticitása folyamatosan csökken, ezzel párhuzamosan az elsajátítások hatékonysága is csorbul. Míg gyerekkorban egy agysérülés, születési rendellenesség, trauma okozta régióhiány miatti kiesett funkciókat az agy megmaradt része képes akár teljesen 100%-ban átvenni, reprodukálni, felnőtt korban ehhez hasonló eredmény nehezen érhető el. Fontos kihangsúlyozni, hogy a gyógyulás folyamata szintén időigényes folyamat, az idegrendszernek pedig megfelelő környezetre, ingerkészletre van szüksége az optimális gyógyuláshoz (Feng Yu és mtsai. 2015, Tina T. Liu és mtsai. 2018).





1. **ábra:** A fenti ábrán szemléletesen elkülönülnek egy organizmus szerveződési szintjei, látható, ahogy a DNS-ről átíródó RNS-ekből olyan fehérjék transzlálódnak, melyek makromolekulákat alkotnak, különböző (szabályozó, építő és bontó, védelmi stb.) feladatokat ellátva, végősoron megteremtik a szervezet homeosztázisához szükséges feltételeket, illetve a komplex folyamatokat lehetővé tevő idegrendszeri, kognitív hátteret (forrás: [https://www.researchgate.net/figure/Lifes-complexity-pyramid-see-online-version-for-colours\\_fig2\\_280838816](https://www.researchgate.net/figure/Lifes-complexity-pyramid-see-online-version-for-colours_fig2_280838816) )

## Matematikai megközelítések

Ezt a komplexitást a tudomány mai szintje nem képes sem modellezni, sem teljes mértékben kivitelezni, viszont az információk digitalizálásával szükség volt a bonyolultabb, beláthatatlanabb outputok számokba történő kódolására. A 90'-es évek közepén Claude Shannon leírt egy optimális módszert, mellyel bármilyen szöveget a benne előforduló karakterek vagy karakterláncok előfordulásának valószínűsége szerint kódolt. Minél nagyobb eseményterületet vizsgált, annál nagyobb volt annak bizonytalansága, s annál több információt kellett kódolnia az üzenetben. Észrevette, hogy minden nyelv egy statisztikus szerkezetre épül, a leggyakrabban használt szavak, karakterek kapták a legrövidebb, legkisebb térigényű kódot, míg a ritkán előfordulók, azaz a kis valószínűséggel előfordulók egy bonyolultabbat, nagyobb térigényűt, mivel azoknak több eltérő, váratlan információt kellett átadniuk. A lehetséges outputok valószínűsége normál eloszlást követ. Shannon az entrópiát választotta, mely megadja egy eseménytér bizonytalanságának mértékét. Az entrópia maximális, ha minden lehetséges kimenet valószínűsége megegyezik, ilyenkor a legnagyobb a megjósolhatatlanság is (Eskov, V. 2017, Ladyman, J., Lambert, J. 2013).

Minden esetben a legfontosabb szempont, hogy karakterláncok információtartalmának visszafejthetőnek kell lennie, tehát az üzenet lényegében nem változhat mindössze bizonyos mintázatok alapján rövidebben megfogalmazható. A szabálykeresésre különböző programnyelveket, vagy Turing-gépeket használnak, ezek megvizsgálják a bitsorozatok, és a karakterek, illetve az azokból felépülő láncok periodikus ismétlődése, esetleges szimmetriája, vagy bármilyen belső rendezőelve alapján megfogalmazzák a felismert mintázatot. Ezen a ponton jutunk el a Kolmogorov komplexitáshoz, vagyis egy adatsor lehetséges legrövidebb leírásához a talált mintázatok segítségével (Ladyman, J., Lambert, J. 2013). Amennyiben egy szekvencia random, azaz nem található benne semmilyen rendezőelv előfordulhat, hogy a szekvencia direkt módon való beillesztése célszerűbb, mint a ráerőltetett mintázatok alapján való leírás. Erre jó példa a  $\pi$ , hiszen az értékeinek legenerálása és az abban való mintázatkeresés nagyobb futási időt és tárhelyet igényelne, mint maga a karakterlánc kiírása (Vitányi P. 2020). A Lempel-Ziv komplexitás éppen az eredeti és a rövidített string hányadosát adja meg (Ladyman, J., Lambert, J. 2013).

Lloyd és Pagel olyan követelményeket fogalmaztak meg, melyek a komplexitás mércéjeként minden útvonalra teljesülnek, valamint a Shannon entrópiával is egybevágnak, annyi eltéréssel, hogy a termodinamikai mélység a randomitás és nem pedig a kiszámíthatóság mértéke.

Elsőként leszögezték, hogy a trajektória valószínűségi eloszlásának folytonosnak kell lennie, valamint, ha minden útvonal valószínűsége megegyezik, akkor az  $n$ , ami a lehetséges kimenetek száma, olyan függvényt ad, mely monoton nő. Az addíciót az állapotok átmenetének szempontjából írták le:  $a \rightarrow b \rightarrow c = a \rightarrow b + b \rightarrow c$ , ami, ha jobban szemügyre vesszük megfelel az autó összeszerelési mintázatának is, hiszen a részek összeszerelése modulokká, majd azok összeillesztése a kész produktumig valójában megfelel az alkatrészek összeillesztésének a kész járműig. Erre a példára Lloyd és Pagel első két követelménye nem teljesül (Ladyman, J., Lambert, J. 2013).

## **A modellalkotás korlátai**

### **Variabilitási mélység**

A 0 vagy 1 értékű érmefeldobás 0,5 valószínűséggel eredményez fejet vagy írást. Ha egy string 1000 valódi feldobás eredményét tartalmazza 0-k és 1-ek komplex sorozatát kapjuk majd. Ha egy számítógépet kérünk erre, az is Kolmogorov random sorozatot generál nekünk, főleg, ha parancsként megadjuk neki, hogy az átlag 0,5 legyen. Egy 01 kódot 500 alkalommal egymás után tartalmazó string ugyanazt a valószínűséget adja, sőt 500 darab 0, majd azt követő 500 darab 1 is. Már-már azt hinnénk, hogy ugyanazt az eredményt több úton is elérhetjük, hiszen mindhárom adatsor azonos számú kísérletet és azonos valószínűségi eloszlást szolgáltat nekünk. A komplexitáshoz való viszonyuk mégis más, a mesterséges számsorok matematikai és termodinamikai mélysége nagy valószínűséggel nem engedné meg egy élő szervezet működését, alsó és felső szintek kifejeződését, mivel annak nincs előre definiált „háttér”, ami valahol a random és a tökéletesen precíz befolyása alatt áll. Ez a mélyen kódolt, láthatatlan mintázat teszi lehetővé a populációk mindennemű diverzitását és hasonlóságát (Ladyman, J., Lambert, J. 2013).

Seth Lloyd a komplexitást három mérhető szempontból vizsgálta: a leírás és a megalkotás nehézsége, valamint a rendezettség fok szerint. Ahogy fent is látható volt egy organizmus működését, az abba beágyazott kognitív folyamatokat nehéz leírni, mesterséges megalkotásuk pedig szinte lehetetlen. Egy homogén, tökéletes gömböt könnyű leírni, viszont meglehetősen nehézkes létrehozni, és ritkán is fordul elő a természetben, mint rendszerbe épült, működő elem (Ladyman, J., Lambert, J. 2013).

## Kronológiai lépték

Egy következő aspektus William Paley órásmester egy érdekes gondolat kísérletében tetten érhető, miszerint egy pusztán áthaladva talál egy követ. Ha valaki megkérdezné tőle, hogy az hogyan került oda egyszerűen azt felelné: mindig is ott volt, s a kérdező sem kételkedne a válasz helyességében. Más a helyzet egy pusztában talált zsebórával. A kérdésre, hogy hogyan kerülhetett oda nem annyira evidens a válasz, miszerint mindig is ott volt. Az is meglehetősen valószínűtlennek tűnne, hogy a lépteink által okozott rezgések szubatomi mozgásokat idéztek elő, melyek olyan frekvenciával rezegtették a puszta szabad molekuláit, hogy spontán összeállt egy működő struktúra. Tekintettel arra, hogy az óra egy precíz, bonyolult szerkezet, okkal gondolhatjuk, hogy azt valakinek el kellett készítenie. Tehát az odakerülésének útvonala feltételez egy alkotót, aki kigondolta, megtervezte, egyesével kivitelezte a részeket és összerakta a működő szerkezetet, ez pedig felölel egy hosszabb „történetet”, melynek időbeli léptéke nem elhanyagolható. Még meg sem említettük, hogy ezt a folyamatot egy élő, cselekvő és algoritmikus gondolkodásra képes organizmus, egy ember, hozta létre, akinek szintén el kellett jutnia arra az intellektuális szintre, ahol nem kövekkel és botokkal harcol, nem is a túléléséért küzd. Minden egyes egyén önmagát fejleszteni, tanulni, döntéseket hozni, összetett problémákat megoldani, s ahogy fentebb is láthatjuk feltalálni, alkotni képes, emellett mégsem ugyanolyan, mint bármelyik másik társa (Ladyman, J., Lambert, J. 2013, Bodnár G., Simon P. 1997).

A komplexitás logikai mélységét három szempont szerint állapíthatjuk meg: a komplex dolgok valahol a tökéletes káosz és a teljes rend között helyezhetőek el, végtelen variabilitást kölcsönözve a végső kimenetnek; a komplex dolgok kialakulásához idő kell, ez elhanyagolhatatlan az adaptáció és természetes szelekció szempontjából; egy komplex dolog története nem triviális, de az eredet legvalószínűbb háttere egy hosszú komputációs, ok-okozati folyamat. A természetnek, vagy mondhatjuk úgy is, hogy az evolúciónak, évmilliárdokba telt, mire létrehozott minden fajt, legyen az egysejtű, növény vagy állat, főemlős, ember, de gondolhatunk az áramlatokra, az időjárásra is. Valamennyi említett fenomén nem csak a fizikai megjelenést, de a bennük rejlő szabályszerűségeket, bonyolult, összefüggő rendszereket, folyamatokat is tartalmazza. A komplexitás magába foglalja a tényt, miszerint valamit teremteni, ami magától működik, vagy egyáltalán képes fennmaradni, nem csak nagyon bonyolult, de rengeteg időbe is telik (Ladyman, J., Lambert, J. 2013).

Az adott információhalmaz szemléltetése után még inkább nyilvánvalóvá válnak a környezeti és belső tényezők folyamatos monitorozásának korlátai. Az agy olyan flexibilis komputációs

architektúrával rendelkezik, mely képes minden mozdulatot valós időben lekövetni, korrigálni, és hosszú időre elraktározni (Grill-Spector, K. 2018). Ezzel szemben egy gépnek minden egyes mozdulatot, elvet egyesével be kell tanítani, többszörösen tesztelni, és jelenleg még egy nagyon jól működő mesterséges intelligencia sem képes olyan hatékonyan általánosítani, mint amennyire egy kisbaba (Klingbeil, E. 2010, Beyret, B. 2019).

### **Az általánosítás**

Az általánosítás egy érzékeny téma, mivel gyakran mi magunk, emberek is sztereotípiákba kapaszkodunk, vagyis saját tapasztalat helyett mások tapasztalatain keresztül egyszerűsített formában szemléljük a világot (Bodnár G., Simon P. 1997). Ezzel szemben egy MI általánosításra való képessége a vele „megettetett” adatok függvényében változik. Nem fogja tudni, hogy a standard kilincses, a kerek kilincses, a liftbe vezető és a fotocellás vagy kártyával nyitható falba épített objektum mind-mind ajtó és mindegyiknek saját nyitómechanizmusa van, amíg valaki mindet egyenként meg nem mutatja neki. Nem fogja tudni, hogy egy kötél hajlik és nem törik, mert hiányzik a belső intuitív, kognitív képessége, amivel a világról egy alap reprezentációt képezhetne (Klingbeil, E. 2010). Épp ezért minden egyes döntés előtt a meglévő információk feldolgozása, a korábbi információk előhívása komoly számítási kapacitást igényel.

Ezzel szemben egy élő szervezet rendelkezik efferens pályával, valós idejű monitorozásra, alsóbb szintű döntéshozásra is képes, pl. a kezünket egy forró kályhára téve, ha csak tudatosan nem ellenkezünk reflex-szerűen visszarántjuk. Ennek során a szabad idegvégződéseink a másodperc töredéke alatt információt küldenek a központi idegrendszerhez, az pedig parancsot ad a kezünk visszarántására, de már az információtovábbítás során több jelszűrőn átesik az inger, bekapcsol a „fájdalomcsillapító” rendszer, és főleg vészhelyzet esetén képesek vagyunk akár teljesen megfedkezni a fájdalomról, miközben ott már el is indulnak a sejtszintű, majd szövet szintű gyógyulási fázisok. Az élmény pedig a tapasztalatot olyan érzelmi töltettel látja el, ami elég ahhoz, hogy soha többé ne tapogassuk a forró kályhákat, különösebb kalkulációk nélkül minden egyes esetben, amikor szembe találjuk magunkat eggyel (Szolcsányi J. 2017).

## Következtetés

Összességében látható, hogy a világ jelenleg nem egy számunkra egyszerűen leírható szerkezet. A matematikai formalizmusokkal való közelítés további bővítésre, fejlesztésre szorul. A jelenlegi lineáris megközelítések gyakran olyan szintű redukcióval járnak, melyek meglehetősen távol sodorják a célobjektum valódi működési folyamatait az arról mintázott modelltől (Benner, P. 2017). A biológiai rendszerek megfigyelésénél nehéz eldönteni mikor rendelkezünk kellő információval, mikor ismerjük a legfőbb termodinamikai hatásokat, a folyamatok irányát és melyeket jellemzünk egy együttes bizonytalansági változóval, tekintettel arra, hogy a makroreverzibilitás tulajdonképpen egyéni mikrotrajektóriák együttes vagy különálló visszafordíthatóságának eredménye, ezek időbeli léptéke pedig jelenleg sem pontosan meghatározott (Gnesotto, F. et al. 2018).

A biológiai, hozott alapok, a gyerekkori berögződések, az ellesett vagy utasítások által tanult szabályok metszete létrehoz egy olyan kognitív rendszert, mely a természet, a környezet külső komplex ingereire a lehető legoptimálisabb válasz előállításáért dolgozik. A fent említett információhalmazok dinamikusan változó hálózatából az egyén részben mindenkitől eltérő tulajdonság-mintázatai fokozatosan emelkednek ki, tűnnek el, változnak át. A fizikai tulajdonságaink, a velük járó örökölt szervi rendellenességeink, vagy az azokra való hajlam, a személyiségjegyeink, pszichológiai jegyeink mind-mind segítenek saját elvrendszerünk kialakításában, melyekkel egyidőben megfogalmazhatjuk saját normáinkat, céljainkat. A pillanatnyi ötletek, következtetések, reakciók minősége, tudatos és nem tudatos megnyilvánulások már komplex döntési sorozatok eredményei. Mi mindössze az utóbbiakat vagyunk képesek detektálni, mérni és bizonyos szempontok szerint csoportosítani, relációkat vizsgálni. Ez már a sajátságaink legfelső szintje, a mögötte rejlő komplex hálózatra mindössze Következtetni tudunk.

Bármely modellalkotásnál feladatunknak kell éreznünk a természet, mint követendő példa, körültekintően való fürkészését, különös figyelmet szentelve a kölcsönhatásokra, folyamatos fejlődésre, változásokra. Egy így megalkotott modell működése és emberi hatékonyságot megközelítő hatékonysági foka valóban releváns lehet az élő szervezet működési sajátságainak felismerésében, a hibáik következetes megfigyelése pedig a korlátjaink megértésében, kitágításában.

## Bibliográfia

1. Beck, A. T., Emery, G., Rush, A. J., Shaw, B. F. (2001). *A depresszió kognitív terápiája*. Animula. Budapest.
2. Benner, P., Cohen, A., Ohlberger, M., Willcox, K. (2017). *Model Reduction and Approximation*. Siam, Philadelphia.
3. Beyret, B., Hernández-Orallo, J., Cheke, L., Halina, M., Shanahan, M., Crosby, M. (2019). The Animal-AI Environment: Training and Testing Animal-Like Artificial Cognition, *Cornell University*, NY.
4. Bodnár G., Simon P. (1997). *A viselkedés pszichológiai alapjai*. EKTF Líceum Kiadó, Eger.
5. Brueckner, S., Czap, H. (2006). Organization, Self-Organization, Autonomy and Emergence: Status and Challenges. *International Transactions on Systems Science and Applications*, 2, 1-9.
6. Dubois, F., Gaignerie, A., Flippe, L., Heslan, J., Tesson, L., Chesneau, M., Haspot, F., Conchon, S., David, L., Brouard, S. (2020). Toward a better definition of hematopoietic progenitors suitable for B cell differentiation. *PLoS ONE*, *Purdue University*, US.
7. DebRoy T., Bhadeshia H.K.D.H. (2021). *Secrets of Ageless Iron Landmarks*. In DebRoy T., Bhadeshia H.K.D.H. (szerk.) (2021) *Innovations in Everyday Engineering Materials*. Springer, Chap. 12.
8. Eskov, V., Eskov, V., Vochmina, Y., Gorbunov, D., Ilyashenko, L. (2017). Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity. *Moscow University Physics Bulletin*, 309-317, 72(3).
9. Gnesotto, F., Mura, F., Gladrow, J., Broedersz, C. (2018). Broken detailed balance and non-equilibrium dynamics in living systems: A review. *Reports on Progress in Physics*, 81(6).
10. Grill-Spector, K., Weiner, K., Gomez, J., Stigliani, A., Natu, V. (2018). The functional neuroanatomy of face perception: From brain measurements to deep neural networks. *Interface Focus*, 8(4).
11. Klingbeil, E., Saxena, A., Ng, A. Y. (2010). Learning to open new doors. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2751-2757.
12. Ladyman, J., Lambert, J. and Wiesner, K. (2013). What is a complex system?. *European Journal for Philosophy of Science*, 3(1), 33-67.

13. Liu, T.T., Nestor, A., Vida, M.D., Pyles, J.A., Patterson, C., Yang, Y., Yang, F.N., Freud, E., Behrmann, M. (2018). Successful Reorganization of Category-Selective Visual Cortex following Occipito-temporal Lobectomy in Childhood. *Cell*, 31;24(5):1113-1122.e6.
14. Lukács Á., Kas B. (2008). A specifikus nyelvi zavar biológiai alapjai. *Pedagógusképzők és -továbbképzők folyóirata*, 1-2, 69-78.
15. Meiser, L., Antkowiak, P., Koch, J., Chen, W. D., Kohll, A. X., Stark, W. J., Heckel, R., Grass, R. (2020). Reading and writing digital data in DNA. *Nature Protocols*, 309-317, 72(3).
16. Noël, J.P., Kerschen. G. (2017). Nonlinear system identification in structural dynamics: 10 more years of progress. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 83, 2-35.
17. Pletl Sz., Kincses Z. (2019). *Jelek és rendszerek*. Szegedi Tudományegyetem tananyag, Szeged.
18. Pléh Cs. (2000). Polányi Mihály és a mai kognitív szemlélet. Szabadkozás a történetietlen kifejezésért. *Polanyiana*, 9. évfolyam, 1–2. szám
19. Santos-Sacchi, J. (2018). High frequency measures of OHC nonlinear capacitance (NLC) and their significance: Why measures stray away from predictions. *AIP Conference Proceedings*, 1965(1).
20. Shukla, S., Langley, M., Singh, J., Edgar, J. M., Mohtasami, M., Zúñiga-Pflücker, J., Zandstra, P. (2017). Progenitor T-cell differentiation from hematopoietic stem cells using Delta-like-4 and VCAM-1. *Nature Methods*, 531-538, 14(5).
21. Stacey, R. (2005). *Experiencing Emergence in Organisations: Local interaction and the emergence of global pattern*. Routhledge, NY.
22. Szolcsányi J. (2017). *Kapszaicin-érzékeny kettős funkciójú idegvégződések perifériás idegi szabályozó rendszere*. Semmelweis Kiadó, Budapest.
23. Vitányi P. (2020). How incomputable is Kolmogorov complexity?. *Entropy*, 22(4), 408.
24. Yu, F., Jiang, Q., Sun, X., Zhang, R. (2014). A new case of complete primary cerebellar agenesis: clinical and imaging findings in a living patient. *Brain*, 138, 6, e353