

*Bedő Viktor*

## **Adat, információ, tudás. Három lépték**

Az információs és kommunikációs technológiák megjelenése nyomán újabb szempont szerint csoportosíthatjuk a tudás fajtáit: digitalizálható és (még) nem digitalizálható tudás. A tudás feldolgozásának és termelésének folyamatában az ember mellett egyre több ponton jelenik meg a számítógép, mégis kérdés, a gép hogyan tud közlődni az emberi gondolkodáshoz, vagy tud-e egyáltalán. Illetve hogyan vethetjük össze a számítógépes közegben megjelenő tudást az emberi tudással.

Erre a kérdésre egyetlen tudományág sem képes egymagában választ adni, a tudás és a gondolkodás fajtái, megnyilvánulási formái (elméleti, gyakorlati, személyes tudás, képesség, digitális tudás stb.) különböző léptékek felőli megközelítéseket, eltérő módszerek alkalmazását kívánják meg.

Az adatok feldolgozása és manipulálása (bináris kód, DNS által hordozott információ), formák vagy alakzatok látás útján történő felismerése, szövegek értelmezése vagy bonyolult döntések meghozatala – más-más léptékben, közegben ugyan, de mind az információ feldolgozásával, a gondolkodással kapcsolatos tevékenység. Míg az első esetben konkrétan behatárolható, algoritmusok által leírható műveletsopekkel van dolgunk, a legutóbbi lépték már csakis szubjektív, a kulturális környezetbe beágyazott nézőpontból vizsgálható.

A digitális és nem digitális dokumentumokkal együtt, a hagyományos tudástér – a tágabb értelemben vett kulturális környezet – mellett a digitális technológiák közegében megjelent a virtuális tér. A virtuális tér alapvetően más tulajdonságokkal rendelkezik, mint az észlelés fizikai tere, mást jelentenek a távolságok, más szabályok szerint formálják a teret a benne megjelenő dolgok és azok összefüggésrendszere.

Ebben a folyamatban kiindulópontokat szeretnék keresni. Hogyan függ össze a lépték a fizikai tér berendezkedésével, a materiális infrastruktúra és a virtuális tér, a digitális, illetve mentális objektumok közötti átjárás lehetőségével? Mely léptéknek lehet kiemelt szerepe a virtuális és a fizikai tér közti átjárásban vagy az átjárás megteremtésében?

### **A LÉPTÉK**

Az MTA Filozófiai Kutatóintézete által rendezett tudományközi beszélgetéssorozat első ülésén Dudits Dénes azt a megállapítást tette, hogy a biológia egyre inkább közeledik a *systems biology* felé, amely a biológiát különböző vizsgálati szintekre tagolja. A vizsgálat szintje a biológiai jelenségek léptékéből adódik. A molekuláris biológusok nagyrészt a gének, RNS-ek, fehérjék és metabolizmusok szintjével foglalkoznak – Venetianer Pál szerint ez alapján határozzák meg saját tudományágukat –, bár más biológusok is egyre inkább ezen a szinten kezdik vizsgálni saját területeiket. Mára tel-

jes az emberi genom feltérképezettsége, a számítógépes adatbankokban tárolt gén-információ a kísérletezés egy teljesen új lehetőségét kínálja: a kémcsöves eljárásokat felváltja az *in-silico* – számítógépben, csipek segítségével folytatott – kutatás. Dudits szerint mégsem szabad megfeledkezni arról, hogy a DNS-fehérje, fehérje–fehérje kölcsönhatásokból, ezeknek a hálózatából alakulnak ki a funkcionális modulok, egy további lépésben pedig a „nagyléptékű szerveződések”. A léptékek közt felfelé haladva egyre általánosabb, univerzálisabb a rendszer, a kisebb lépték felé haladva egyre specifikusabbak a komponensek. Bár a DNS egyértelműen kódolja a molekuláris szinten végbemenő folyamatokat, a nagyobb léptékben érvényesülő környezeti hatásokat mégsem szabad kihagyni a számításból.

Humberto Maturana és Francisco Valera a tudatos gondolkodás képességét és működését a molekulák sejtje szerveződéséből kiindulva magyarázzák, a kis léptéktől haladnak a szerveződés legnagyobb léptéke, a társadalom felé (MATURANA–VALERA 1987). A molekulákból összeáll a sejt, a sejtekből a többsejtű és a többsejtűekből a társadalom, minden léptéknek megvannak a saját egységei. Az egységek struktúrája nem más, mint az egységek összetevői – az eggyel kisebb lépték egységei – és az összetevők viszonyrendszere által megvalósított szerveződés. Így egy többsejtű struktúrája értelemszerűen az egyes sejtek lehetséges elrendezései és interakciói függvényében alakulhat. Egy bizonyos léptékből tehát a struktúrán keresztül vezet az út a nála kisebb lépték felé. A nagyobb léptékhez Maturana és Valera a funkcionálisan motivált szerveződésen keresztül jut el. Az egységeknek oly módon kell összeállniuk, hogy annak, ami belőlük létrejön, a nagyobb léptékben funkcionális szerepe lehessen. Egy bütordarab például anyagától és készítési eljárásától függetlenül akkor lehet szék, ha összetevőinek – láb, ülőfelület, támla – elrendezése lehetővé teszi, hogy valaki üljön rajta. A sejt esetében a szerveződés az a tulajdonság, ami biztosítja az élet, illetve a túlélés lehetőségét egy nagyobb léptékben, a környezetben.

A léptékek közti kapcsolat és a léptékek egymásra gyakorolt hatása szempontjából nagyon tanulságos Maturana és Valera modellje. Eszerint a többsejtű egyed élete elválaszthatatlan részeinek működésétől, mégsem determinálódik általa. Míg a molekuláris szint és a többsejtűek szintje között a léptékváltás csupán a konstellációban mutatkozó váltást jelenti, a társadalmi léptékben minőségbeli változás valósul meg. A társadalmat összetartó kapocs a nyelv, ebben a nyelv közegben valósulhat meg a reflexió, a megfigyelt jelenségek tudatosítása. Ezen a ponton a két neurobiológus függetlenül a tudatos társadalmi léptéket az azt megelőző kisebb léptékektől, a kigyó a saját farkába harap: a tudatos gondolkodás alapját valóban az alacsonyabb szintek szerveződése jelenti, de a szerveződés maga egy konstrukció, ami csak a reflexió, a megfigyelés szintjén jelenik meg. Ezek szerint az elemek definiálása, elrendezésük feltérképezése, a különböző szintek, léptékek szétválasztása tehát kognitív folyamatok eredménye.

A médiaelméletben az adat–információ–tudás hármassal – a biológiai szerveződési szintekhez hasonlóan – három különböző léptékként jelenik meg. Manfred Faßler következőképpen írja le a hálózatok három szintjét: (1) háló: a materiális infrastruktúra; (2) hálózat: a használatban lévő infrastruktúra és általa létrejött médiaformátumok; (3) hálózati kultúra: a kommunikációs lehetőségek tudatos felhasználása (FAßLER 2001, 70.). Ebben a három szintben a hálóval az adat, a hálózattal az információ, a hálózati kultúrával pedig a tudás párosul.

## HAGYOMÁNYOS INFORMÁCIÓS ÉS KOMMUNIKÁCIÓS ELMÉLETEK

Az információs és kommunikációs elméletekről szóló irodalom nagy része Claude Shannonnal, *A Mathematical Theory of Communication* című tanulmány szerzőjével kezdi bevezetőjét (SHANNON 1948). Shannon ebben a tanulmányban leszögezi: a kommunikáció alapvető problémája abban áll, hogy az egyik ponton – az összes lehetséges üzenet közül – kiválasztott üzenetet egy másik ponton – megközelítőleg – változások nélkül reprodukálni lehessen. A kommunikáció szemantikai szempontjai teljességgel érdektelenek a kérdés műszaki vonatkozásában: Shannon nem foglalkozik behatóan azzal a kérdéssel, hogy miért éppen arra a bizonyos üzenetre esett a választás, de azzal sem, hogy a célba érő üzenet milyen hatást fejt ki környezetében. Ez a modell kizárólag egy léptékben zajló folyamatokat ír le.

Az információs és kommunikációs elméleteknek a XX. század közepe felé kialakult hagyománya a matematika és a fizika felől közelíti meg az információ fogalmának, működésének, viselkedésének kérdését. Jeremy Campbell úgy fogalmaz, hogy az új mozgalom megtestesítője immár nem a gőzgép, hanem a számítógép (CAMPBELL 1982, 19.). Ebből a nézőpontból az információ áramlása olyan, mint az energiáé; a termodinamika két törvénye az információra is vonatkozik.

„A véletlenszerű tényezőt entrópiának nevezik, ez a káosz közege, ami rendezett dolgok felkavarására irányul, ezzel megsemmisítve a jelentést. Az információ a nem-véletlenszerű tényező, ami kiaknázza az entrópia elvében rejlő bizonytalanságot, hogy új struktúrákat generáljon, hogy újszerűen öntse formába a világot.” (CAMPBELL 1982, 11.)

A termodinamika második törvénye szerint a világegyetem az entrópia felé, egy homogén, egyenletes eloszlás felé tart, amelyben nem bontakozhat ki a jelentéshez szükséges elrendezés. A jelentés előfeltétele a megkülönböztetés lehetősége, egy homogén közegben a közeg struktúráját alkotó elemek szerveződése nem mutat az átlagtól „jelentősen” eltérő mintákat. Ha a homogén közeg egyik pontján kiválasztunk egy üzenetet, tehát a struktúrát képző elemek egy tömbjét, és az elrendezés megváltoztatása nélkül – egy ideális shannoni csatornán keresztül – egy másik pontra szállítjuk, hogy ott beilleszkedjen a struktúrába, az új helyzet megvizsgálásakor nem fogunk topológiai különbséget észlelni. A közeg minden pontján ugyanazt a struktúrát, ugyanazt a mintát látjuk majd.

A kommunikációs elméletben mégis létezik egyfajta rendezőelv, ami ellenáll az entrópiának: „Világos, hogy a nyelvnek és az élő rendszereknek legalább egy közös tulajdonságuk van: egyszerre komplexek és tartósak, ezt az állapotot belső szabályok útján tartják fenn. Nem adják meg magukat a véletlenszerűséget előidéző hatásának, amit a termodinamika második törvénye diktál, a vártnál kisebb mértékben függenek a véletlentől és váratlantól. Önszabályozó komplexitással rendelkeznek.” (CAMPBELL 1982, 99.)

Egy ponton Shannon mégis utal arra, hogy a továbbítandó üzenetet valaki vagy valami egy bizonyos ponton kiválasztja az összes lehetséges üzenet közül. A tér ebben az esetben fizikai teret, környezetet jelent, materiális médiumot. A csatorna nem más, mint az üzenet egy olyan formája, amelyben az üzenet a fizikai környezet hatásaitól

függetlenül képes megtartani rendezett struktúráját. Mindemellett azokon a pontokon, ahol az üzenet kapcsolatba lép a környezettel, változásokat idéz elő:

„Mint láthatjuk, az információ nem csak a csatorna kapacitásával, vagy a rendszer önálló részeinek központi szabályozó által adott elrendezéssel kapcsolatos – felveheti a »közeg« szerepét, amelyre a rendszer önálló részei vonatkoznak, és amely specifikus információval látja el azokat a koherens és kooperatív módon történő viselkedésre nézve. Ezen a szinten kapcsolódik be a szemantika.” (HAKEN 1988, 23.)

Campbell, amikor áttekinti az információ fogalmának alakulását a negyvenes évektől, aktív cselekvőként írja le az információt, amely formába önti az anyagi világot, mint a gének, amelyek arra utasítják a sejteket, hogy szervezetet alkossanak: „A fehérjéket tekinthetjük a genetikus üzenet jelentésének. [...] Mondhatni a DNS a szó, a fehérjék a tettek (deeds), a tettek közvetlenül hatnak, több kockázatot vállalnak, visszavonhatatlanabban konfrontálódnak az étellel, mint a szavak.” (CAMPBELL 1982, 93.)

## A DIGITÁLIS ÜZENETEK TERE: A KIBERTÉR

Az információ továbbítása manapság egyre inkább digitális technológiák segítségével történik, a materiális infrastruktúra – a digitális információs és kommunikációs technológia hálózata – által lefedett fizikai, illetve földrajzi térben megvalósul a shannoni értelemben vett zajmentes, a fizikai környezettől független közvetítés.

Az ICT (*information communication technologies*) hálózatára épülve jön létre a nagy hiperdokumentum – az internet. Az interneten digitális dokumentumok digitális kódok utasításaira mozognak, változnak, kapcsolódnak egymáshoz – megjelenik egy virtuális tér, a kibertér. A kódolt üzenet a kapcsolódási pontokon kódolt parancsok függvényében módosul, esetleg módosít más kódolt üzeneteket. A kibertér a kódszekvenciák találkozásai által konstituálódik, földrajzi értelemben vett tartózkodási helyüinktől függetlenül bármely ponton beléphetünk a kibertérbe.

A digitális információ tere mégis folyamatos kapcsolatban van a fizikai térrel, egyrészt a dokumentumok digitalizálása – új input – révén, másrészt az interfészek által létrejövő emberi manipuláció által. Az interfészek megmutatják a kibertér egyes részleteit, sokszor képi megjelenítései, térképei a virtuális térnek. Martin Dodge és Rob Kitchin *Atlas of Cyberspace* címen gyűjtöttek össze megjelenítéseket, térképeket, a digitális tartalmak manipulációjára is alkalmas interfészeket. A szerzők is hangsúlyozzák, hogy a kibertér olyan világokat kínál, amelyek első pillantásra fedni látszanak a földrajzi teret, további vizsgálatok során mégis gyorsan kiderül, hogy a fizika tér-idő törvényeinek nem sok jelentősége van on-line környezetben.

## TESTBE ÁGYAZOTT TUDÁS

Érdekes kérdés, hogy tudásunk, absztrakt fogalmaink tere és az anyagi infrastruktúrát jelentő agyi ideghálózat felépítése milyen módon viszonyul egymáshoz. Hogyan viszonyul a fogalmak virtuális hálója az impulzusok forgalmához, az idegvégződések aktiválódásának mintázatához, az agyhoz, a szervezethez és a környezethez mint a materiális infrastruktúra különböző léptékeinek megnyilvánulásaihoz?

A tudás egyes formáinak vizsgálatához nem elegendő egyetlen lépték, mondjuk az adat vagy az impulzus szintjének figyelembevétele: „Világos, hogy a tudásnak/képességnek/készségnek több típusa van, ezek közül csak némelyik esetében az a kérdés, hogy megoldható-e átvitelük oly módon, hogy két agy (vagy számítógép) között jeleket küldözgetünk. Néha a test (a hardver) bír tudással, néha a világ (környezet) bír tudással.” (SMITH 2003, 18.)

Harry M. Collins a következő példával illusztrálja test és tudás viszonyát: ha egy profi teniszező agyában található tudást átültetjük egy nem igazán sportos ember agyába, elképzelhető, hogy emberünk keze az első szervánál vállból leszakad. Nem elég erős az izomzata vagy a csontozata, hogy akkorát szerváljon, mint a profi teniszező. A tenisztudáshoz nem elég a teniszező agyának tartalma, a tudás nagyrészt a teniszező testében van.

Collins négy osztályba sorolja az elméleti és a gyakorlati tudást: szimbolikus tudás, testbe ágyazott tudás, agyba ágyazott tudás, kultúrába ágyazott tudás. Ebből a négyből csak az első az, amely véleménye szerint veszteségek nélkül átküldhető egyik agyból (gépből) a másikba (COLLINS 1995).

Lawrence W. Barsalou absztrakt fogalmaink hálózatát kutatva arra a következtetésre jut, hogy az absztrakt fogalmak agyi szimulációinak egymáshoz való viszonya és az agyi idegsejtek aktiválódási mintájának topológiája között észlelhető összefüggés van (BARSALOU 2002). A percepció során a befogadott tárgy bizonyos tulajdonságaira különböző neuronok reagálnak, melyek külsőjei lokalizálhatóak. Egyesek az élek, a szögek, a felületek mintázatára aktiválódnak, mások a színre vagy a mozgás irányára. Ezek az információk az agy releváns területein *tulajdonság-térképeket* hoznak létre. Ez persze nem azt jelenti, hogy a fogalmak helye pontosan meghatározható az agyban, de párhuzamokat vonhatunk az aktiválódás topológiája és a fogalmak hálózatán belüli összefüggések között.

A fogalmi háló reprezentációi – a szimulátorok – nemcsak a percepció útján befogadott tárgyak tulajdonságait, de az azok közti viszonyt is szimulálják. Így például nemcsak arra érzékenyek, hogy egy bizonyos tárgynak általában mennyire érdes a felülete, hanem térbeli elrendezésére is, tehát hogy mi alatt, felett, illetve mellett szokott elhelyezkedni.

Ezek a topológiai viszonyok a tulajdonság-térképeken fizikailag is kirajzolódnak, és bár a további feldolgozás során e topológia megváltozik, a térképek mégis kapcsolódási pontot jelenthetnek az absztrakt fogalmak virtuális hálója és az agy mint materiális infrastruktúra között.

## EMBERI ÉS GÉPI ARCHITEKTÚRÁK

Bár a számítógép számítási folyamatai bizonyos szempontból összehasonlíthatóak a tudásnak és az információknak az emberi agy által történő feldolgozásával, a két folyamat között mégis alapvető különbségek vannak. John Searle szerint az agy és a számítógép információfeldolgozása csak akkor egyezhet meg, ha a komputert és az agyat azonosan programozzák. Persze ez csak abban az esetben lenne elképzelhető – mint ezt a fent említett teniszező-példa is mutatja –, ha a komputer és az agy felépítése teljes mértékig megegyezne: „Bármilyen legyen az intencionalitás, az biztos, hogy biológiai jelenségről van szó, és eredetéből kifolyólag valószínűleg ugyanolyan

kauzális függőségben áll a biokémiai adottságoktól, mint a tejképzés, a fotoszintézis vagy bármely más biológiai jelenség.” (SEARLE 1977, 204.)

Az emberi agy felépítéséhez hasonló infrastruktúrák tervezése, a kognitív folyamatok számítástechnikai modellezése, a mesterséges intelligencia kutatása, ha nem is az emberi gondolkodás gépi megvalósítására törekszik, olyan feladatok ellátását szeretné megoldani gépi környezetben, mint a beszédfelismerés, képfelismerés, tanulás.

A Turing-gép megszületése óta egyre bonyolultabb számítási modellek próbálják megközelíteni az emberi gondolkodás komplexitását. Paul Thagard az eddig megszületett számítási modelleket áttekintve a legújabb, pusztán elektromos kisműveletekre épülő mesterséges neurális háló-modellt szeretné kiegészíteni kémiai folyamatokkal (THAGARD 2002). A legtöbb mesterséges neurális hálózattal dolgozó kognitív modell az aktiválódás paraméterével írja le a neuronok viselkedését, ami egy bináris kódot jelent: aktív (1) – inaktív (0). Az újabb modellek már az aktiválódás mintáját is figyelembe veszik, hiszen hat kisművelet esetén például a sorrend lehet „111000”, de „101010” is. Ezeket a hálózatokat *spiking* vagy *pulse* hálózatoknak nevezik. Egyik nagy előnye a hagyományos neurális háló-modellrel szemben, hogy a neuronok összehangolhatóvá válnak. A neurális összehangoltságot sok esetben a következtetés, az analógia és a tudatos gondolkodás alapfeltételének tekintik.

Thagard a fehérjék sejten belüli szerepének, a szinapszisok és neurotranszmitterek működésének, valamint a neuromodulátorként működő hormonok vizsgálatának segítségével támasztja alá a kémiai neurális háló modelljének előnyeit a pusztán elektromos neurális háló modelljével szemben.

A kémiai modell közelítés a testbe ágyazott tudáshoz, az információ áramlása a lassabb kémiai folyamatok miatt sokkal inkább függ az anyagi közegtől, mint a pusztán elektromos neurális modellek esetében.

Barsalou-nál láthattuk a neuronaktiválódások mintája és a neuronok topológiai elrendezése közötti összefüggést. Felmerül a kérdés, hogy a számítógépes hardver képes-e olyan topológiák megalkotására a fizikai térben, amelyek illeszkedhetnek a futtatott számítási modell hálózati topológiájához.

Roska Tamás és Leon Chua a CNN- (Cellular Neural Network) szuperkomputer kifejlesztésével egy olyan számítógépet alkottak meg, ami – amellet, hogy képes párhuzamos számításokra – egyszerre analóg és digitális.

A CNN egy analógiai számítógép elve, melynek működése az agy bizonyos részeinek és a látórendszernek a működéséhez hasonlítható. A CNN-számítógép egymással hálózatba kötött kisműveletekből áll, melyek egy geometriailag szabályos tömbhálót alkotnak a térben. A hálózat elemeiként szolgáló számítógépek külön-külön programozhatóak, tárolt programúak, ezért a rendszer bizonyos értelemben logikai. De együttesen – CNN-tömbbe rendeződve – olyan rendszert alkotnak, amelynek egy téridőbeli hullám az elemi művelete, ezért a rendszer egyben analóg is. A CNN-számítógép működése a retinakutatással foglalkozó Frank Werblin neurobiológus érdeklődését is felkeltette, mivel véleménye szerint a CNN működése nagyon hasonlít a retinára.

A retina és a CNN esetében egyaránt fontos az egyes receptoroknak, illetve számítógépeknek a térbeli elrendezése. A CNN rendszerében és a retinán az elemek – számítógépek, illetve receptorsejtek – hálózata geometriai rácsot alkot, a hálózat elemei mindig csak a szomszéd elemekkel kommunikálnak. Egy-egy elem számítási feladatai éppen ezért erősen függenek a hálózatban elfoglalt helytől: az elemek csak

a szomszéd elemektől kapnak és szomszéd elemeknek adnak impulzusokat. A CNN-számítógép egy materiális hálózati infrastruktúra a fizikai térben, amelyen digitális információ áramlik, a számítógép topológiája és a programban megvalósuló számítási minták topológiája összefügg.

## LÉPTÉKEK KÖZTI ÁTMENET

Az impulzusok folyama számára az idegsejtek hálózata, az adatok és az adatok által hordozott információ számára az információs és kommunikációs technológiák hálózata jelenti a materiális infrastruktúrát.

Az agyi idegsejtek hálózata és a rajta keresztüláramló információ folyamatosan hatnak egymásra, kölcsönösen befolyásolják és változtatják egymás topológiai tulajdonságait. Az információ egyrészt a kialakított pályákon közlekedik, az impulzus csak a kapcsolódott idegsejtek mentén tud haladni az agyban. De ezzel egyidejűleg az idegsejtek kapcsolódásainak alakulása nem független az impulzusok által bejárt utaktól, hiszen nagyobb forgalmú területeken sűrűbb idegkapcsolódások jönnek létre. A materiális infrastruktúra pályái is alkalmazkodnak az információ áramlásához, kitaposott utak, gócpontok alakulnak ki olyan agyközpontokban, mint például az arcfelismeréssel kapcsolatos területek. Az absztrakt fogalmak hálója és az idegháló mondhatni együttműködik.

Ez az együttműködés fontos kiindulópontot jelenthet a materiális és absztrakt/virtuális hálók közötti kapcsolat, és a léptékek közti átmenet (pl. adat-információ) további vizsgálata számára. Kérdés például, hogy megvalósítható-e egy ilyen együttműködés hardver és szoftver között, vagy hogy a hagyományos internetre ráépülő szemantikus web képes lesz-e biztosítani a léptékek közti átjárást.

### IRODALOM

- BARSALOU, Lawrence W. 2002. *Abstraction as Dynamic Interpretation in Perceptual Symbol Systems*. In: L. Gershkoff-Stowe & D. Rakison (eds.): *Building object categories*. Carnegie Symposium Series. Mahwah, NJ: Erlbaum. <http://userwww.service.emory.edu/~barsalou/Publications/online.html>
- CAMPBELL, Jeremy 1982. *Grammatical Man: Information, Entropy, Language, and Life*. New York: Simon and Schuster.
- COLLINS, Harry M. 1995. Humans, machines, and the structure of knowledge. In: *SEHR*, vol. 4, issue 2: *Constructions of the Mind* (<http://www.stanford.edu/group/SHR/4-2/text/collins.html>)
- FAßLER, Manfred 2001. *Netzwerke*. München: Fink.
- HAKEN, Hermann 1988. *Information and Self-Organization / A Macroscopic approach to Complex Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- MATURANA, Humberto R. – VARELA, Francisco J. 1987. *Der Baum der Erkenntnis*. Bern–München: Scherz.
- SEARLE, John R. 1977. Minds, Brains and Programs. In Haugeland, John (ed.): *Mind Design II*. Massachusetts Institute of Technology.
- SHANNON, Claude E. 1948. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27. 379–423, 623–656.
- SMITH, Berry 2003. The Ecological Approach to Information Processing. In Nyíri Kristóf (szerk.): *Mobile Learning: Essays on Philosophy, Psychology and Education*. Vienna: Passagen.
- THAGARD, Paul 2002. How Molecules Matter to Mental Computation. *Philosophy of Science*, 69. 429–446.

