

(2006) In: Kelemen, J., Kvasnička, V. (eds.) Kognice a umělý život VI. Slezská univerzita, Opava, pp. 215-222

Princípy molekulárnej kognície

Ladislav Kováč

Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, 842 15 Bratislava. E-mail:
kovacl@fns.uniba.sk

Abstrakt. Prirodzený život (n-life), aký na Zemi vznikol a dosiahol súčasnej podoby prirodzeným výberom, je chemickým systémom. Jeho dynamika je dynamikou chemických interakcií. Na rozdiel od štandardných chemických reakcií v roztoku, ktoré sú skalárne (neprebíhajú v priestorových súradniciach), biochemické procesy sú vektoriálne. Objav vektoriálnosti biochemických procesov, urobený Petrom Mitchellom, je svojím významom zrovnateľný s Darwinovým objavom princípu evolúcie prírodným výberom. Štandardné chemické interakcie sú nomické, teda nutné a bezčasové; biochemické interakcie sú poväčšine teleonomické: sú produktmi prirodzeného výberu. Teleonomické biochemické interakcie sú molekulárnou kogníciou. Vektoriálnosť biochemických procesov spočíva vo vlastnostiach proteínov. Proteíny javia molekulárnu sentienciu. Sentiencia, schopnosť vykazovať rozmanité vnútorné potenciálne stavy, ktoré boli vyselektované v evolúcii a ktoré sú závislé od stavov okamžitého prostredia, sa vyskytuje na všetkých úrovniach organizácie života a možno ju považovať za základnú charakteristiku života.

Ostrými zúbkami pokojne hryzkajú
Enzýmy z válovice krvi
Glukózu, kyslík, adrenalín

Pod rukou spätných väzieb
Jemne sa chveje
Elektrochemická srst' metabolizmu

Presuny iónov na synapsách
Tanec cholinesterázy

Tvoje pery
Na mojich

(Peter Niňaj, Biochémia)

Táto štúdia je venovaná analýze poznania na najjednoduchšej, molekulárnej úrovni. Z nej organicky vyrastá poznanie na hierarchicky vyšších úrovniach. Možno ju považovať za pokračovanie štúdie, ktorá bola v sérii týchto zborníkov uverejnená v roku 2003 [1].

1. Karteziánska povaha štandardných kognitívnych vied

Celkom prvou existenciálnou a ontologickou evidenciou človeka je utrpenie. Ako povedal Shakespeare v jednej svojej hre, nijaký filozof nie je schopný pokojne znášať bolesti

zubov. Pod tiažou telesnej alebo duševnej bolesti, navodenej prostredím, asi aj najzarytejší hlásateľ solipsizmu upustí od svojho tvrdenia, že celý svet je len ilúzia. Pritom osobné utrpenie je jedincom prežívané, nie pozorované. „Prežívam, teda som“ sa javí adekvátnejším popisom nespochybniteľnosti ľudského „bytia vo svete“ než klasický výrok „Myslím, teda som“.

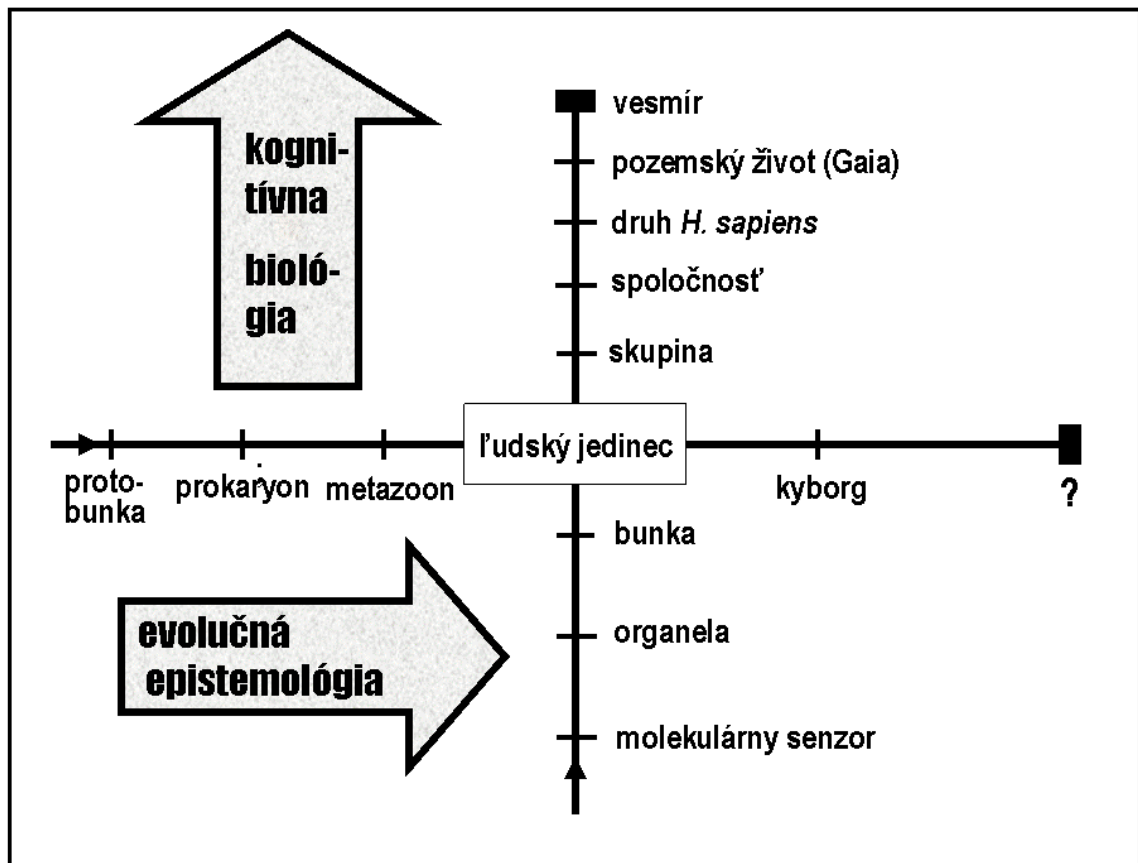
Pôvodcom tohto výroku je René Descartes (Cartesius) (1596-1650), ktorý na ňom vybuďoval svoju filozofiu. Pre neho bolo myslenie vlastnosťou výlučne ľudskou, schopnosťou netelesnej mysle, duše, ktorú definoval ako mysliacu substanciu. Iba ľudia majú dušu, iba oni môžu používať rozum; všetky iné organizmy, vrátane opíc (na ne explicitne poukázal) sú iba automatmi. Descartes neupieral zvieratám život; nerobil ich rovnými neživým strojom, aké zhotovuje človek, ako sa mu často mylne pripisuje. Na rozdiel od neživých strojov, majú zvieratá telesných duchov, ktoré majú aj ľudia, a prejavujú vnímanie a „vášne“. Navrhol aj dômyselný mechanizmus, ktorým duchy riadia telo. No podľa jeho názory všetky živočíchy, s výnimkou človeka, možno úplne vysvetliť z konštitúcie ich telesných orgánov, ony nie sú schopné čistého myslenia, oslobodeného od prírodných impulzov a vášní a chýba im schopnosť porozumenia. So zjavným súhlasom sa odvolal na starého gréckeho filozofa Epikteta, podľa ktorého ty nie si tvojím telom; telo je len šikovne vytvarovaná hlina.

René Descartes žil 50 rokov pred Isaacom Newtonom a 230 rokov pred Charlesom Darwinom. Jeho mechanické vysvetlenie ako telo funguje a ako myseľ komunikuje s mozgom bolo na svoju dobu geniálne. Chémia ako veda vtedy neexistovala. Hodinový stroj bol najlepším modelom tela. Zároveň v tú dobu, keď nebolo účinného liečenia, dávno predtým ako bola vynájdená analgéza a anestézia, zanedbávanie tela, pohrdanie ním, ba jeho priame odmietanie, stotožnenie „Ja“ výlučne s reflexívnym myslením bolo vlastne rafinovaným spôsobom, akým najušľachtilejší a najmúdrejší spomedzi ľudí uhýbali pred ponížovaním, ktorému ich vystavovali telesné obtiaže. Tak si vlastne zachovávali nadhľad a dôstojnosť. Takýto postoj možno vystopovať už v dobe Platóna, takže vlastne hlavný prúd európskeho myslenia, klasický racionalizmus, má v ňom jeden zo svojich zdrojov. Za modernú, sofistickovanú podobu Descartovho dualizmu možno označiť „počítačový model“ kognície, podľa ktorého je myseľ čosi ako softwarový program a mozog ako hardware. Tento model dominoval v kognitívnej vede – alebo, ako Georges Miller [2] uprednostňuje hovoriť, v kognitívnych vedách, v pluráli – v posledných desaťročiach. Mnohí kognitívni vedci naďalej chápe kogníciu ako prejav výlučne ľudský, s ľudskou myseľou ako orgánom vedomého vnímania, myslenia a pamätania, určeného pre „procesovanie informácie“. Za hlavné zložky vedomia sú považované myšlienky, sudy, propozície. Myseľ síce už nie je viac „netelesná“, mozog je jej „štruktúrnou a funkčnou realizáciou“ [2], ale v princípe nielo dôvodu, prečo by reprezentatívne a komputačné schopnosti mysle nemohli byť inkarnované v inom type „hardwaru“, vrátane počítačov zhotovených človekom. To je aj dôvod, prečo počítačová veda a umelá inteligencia tvoria dôležitú súčasť kognitívnych vied. Hodinový stroj bol nahradený počítačom ako modelom mozgu, ba modelom života ako celku.

V súčasnosti možno však pozorovať prinajmenšom tri konceptuálne posuny, ktoré sú radikálnym odklonom od karteziánskej tradície. Po prvé, prebieha „afektívna revolúcia“. Emócie nie sú viac považované za nepodstatné, či prípadne až rušiacie, kontaminácie kognície, ale stávajú sa neoddeliteľnou, ba priam centrálnou súčasťou kognície. Orgánom kognície nie je viac mozog v podobe počítača, ale celé telo. Nečudo že jeden z vedúcich protagonistov afektívnej revolúcie, Antonio Damasio [3], dal svojej knihe titul „Descartes' error“. Po druhé, reinterpretuje sa rola podvedomia, kedysi zdôrazňovaná Sigmundom Freudom: dokonca aj u ľudí vedomé rozvažovanie predstavuje len „monomolekulárnu vrstvičku“ na „oceáne“ toho, čo Wilson [4] nazval „adaptívnym nevedomím“. Po tretie, kognícia sa analyzuje v evolučnej perspektíve, pod označením „evolučná epistemológia“. Kognícia nie je viac výlučná

schopnosť človeka, ale život ako celok je rovný kognícii a celá biologická evolúcia je vykladaná ako evolúcia kognície [5].

Evolučná epistemológia predstavuje „horizontálny“ prístup ku kognícii. Predpokladá sa, že kognícia začala zároveň so životom. Slávnym sa stalo vyjadrenie jedného z jej zakladajúcich otcov, Karla Poppera: „Od améby po Einsteina rast poznania je stále rovnaký...“ Čo tak zvoliť „vertikálny“ prístup, ortogonálny k prístupu evolučnej epistemológie? Začať od vedomého ľudského individua, a vystupovať v analýze vyššie, ku komunite, druhu, spoločnosti, až nakoniec k celému vesmíru? A tiež postupovať v opačnom smere, zostupujúc po úrovniach o stále menšej komplexnosti, tkanivách, bunkách, až k molekulám? Na ktorej úrovni pojem kognície, s jej repertoárom vedomia, kognície, cítenia, vnímania, senzie – ba života vôbec – stratí zmysel a miesto neho sa objavia len neživé nomické interakcie? Tento „vertikálny“ prístup predstavuje kognitívna biológia [6, 7] a môže byť teda chápaná ako komplement k evolučnej epistemológii (obr. 1). Brian Goodwin [8], ktorý pravdepodobne vymyslel termín „kognitívna biológia“, uvažoval kogníciu ako výsledok zmysluplných interakcií v systéme molekúl. No prvý asi Jacques Monod [9] vyslovil názor, že kognícia sa možno vyskytuje už na úrovni jednotlivých molekúl, špecificky proteinových molekúl: ich schopnosť diskriminácie, rozlíšenia si možno predstaviť ako istý druh kognície.

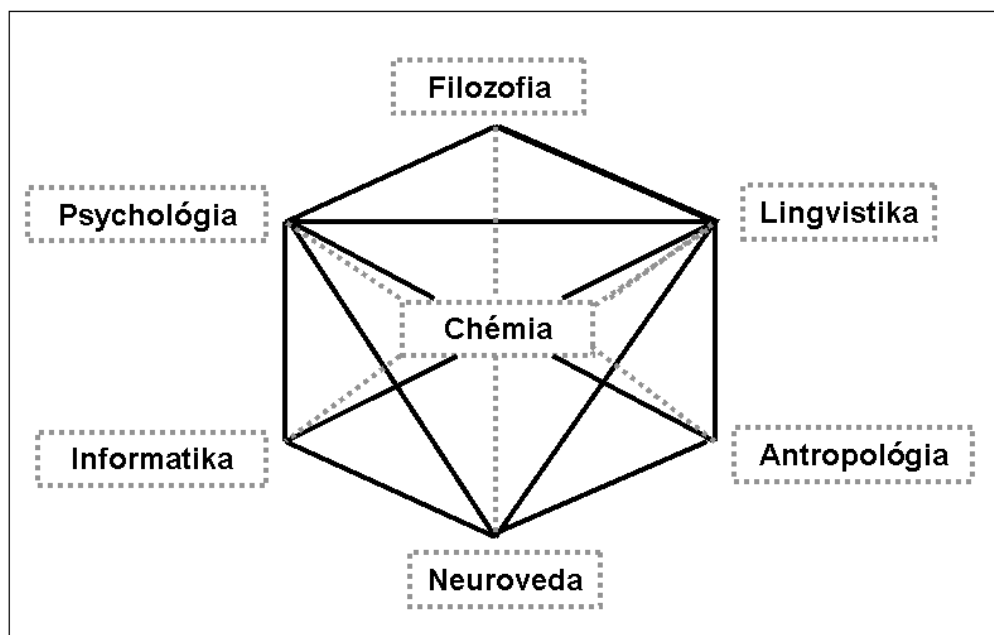


Obr. 1. Kognitívna biológia je prístupom k štúdiu kognície ortogonálnym k evolučnej epistemológii.

2. Prirodzený život je chemickým systémom

Móda modelovať kogníciu, ba aj život ako celok, na počítačoch často zvádza kognitívnych vedcov k ilúzii, že je možno upustiť od logistických záležitostí, ako energie

a fyzikálneho skonštruovania, že netreba brať do úvahy termodynamické obmedzenia, a sústreďovať sa len na to, čo považujú za fundamentálne otázky tokov informácie. Až v poslednej dobe získava na váhe presvedčenie, že kognícia je inkarnovaná, a že tento fakt inkarnácie (*embodiment*) nemožno vypustiť. Pre kognitívnu biológiu je kognícia nielen inkarnovaná, ale inkarnácia má špecifickú podobu: život, ako ho poznáme, prirodzený život (*n-life*) je chemickým systémom a kognícia je vlastnosťou takéhoto chemického systému. Logická možnosť sa nerovná termodynamickej uskutočniteľnosti. Ba aj virtuálny život (*v-life*), ktorému sa darí na obrazovkách počítačov, je inkarnovaný; hoci nie je chemický, ale elektromagnetický. A ani umelý život (*a-life*), ktorý bude čoskoro vynájdený a možno po čase celkom vytlačí zo Zeme prirodzený život, nemusí spočívať na chemických princípoch, mohol by fungovať aj v podobe elektromagnetických, ba aj čisto mechanických systémov. V autoritatívnom prehľade o dejinách kognitívnych vied má Miller [2] inštruktívnu schému prepojenia šiestich disciplín, ktoré podľa neho konštituujú kognitívne vedy. Chémia v jeho schéme celkom chýba. V skutočnosti však je treba chémii priradiť centrálnu postavu medzi nimi, ak chceme popísať prirodzený život (*n-life*) a kogníciu ako jeden z jeho atribútov (obr. 2). Možno parafrázovať Galileia Galileiho, ktorý povedal, že príroda je zapísaná jazykom matematiky: biológovia by mali mať na pamäti, že prirodzený život je zapísaný jazykom chémie.



Obr. 2. Vedecké disciplíny podieľajúce sa na konštituovaní kognitívnych vied. Modifikované z Millera [2]. Modifikáciou je vloženie chémie do stredu grafu a jej prepojenia s inými disciplínami, vyznačené bodkovanými čiarami.

Ako je napísané v štandardnej učebnici ([10], str. 235) „chemické procesy sú najjednoduchšie zo všetkých prírodných procesov, ... toky sú nasmerované ku stavu rovnováhy a nebežia v koordinátach priestoru, ale v koordinátach zloženia systému“.

Štandardné chemické procesy sú teda skalárne. Už pred storočiami starí alchymisti mali zásadu, že látky nereagujú, pokiaľ sú nie rozpustené (*Corpora non agunt nisi soluta*) a dokonca aj jeden zo zakladajúcich otcov modernej biochémie Otto Warburg bol presvedčený, že „tam, kde začína štruktúra, biochémia končí“ (citované Kornbergom [11], str. 66).

To však neplatí. V protiklade ku štandardným chemickým reakciám, biochemické procesy sú nie skalárne, ale svojou podstatou vektoriálne. Ako objavil Mitchell [12], „vektoriálny metabolizmus je predstavovaný sieťou časovo-priestorových dráh, cez ktoré sú ligandy (predstavujúce solúty, ióny, chemické skupiny, elektróny, katalytické látky a komplexy) vedené artikulovanými pohybmi v smere termodynamicky prirodzenej tendencie k rozptýleniu. Hnané sú vektorovými (alebo tenzorovými vyššieho rádu) termodynamickými alebo poľovými silami, ktoré pôsobia na ligandy.“ Mnohým biológom stále ešte uniká fakt, že Peter Mitchell urobil v biológii, sto rokov po vyslovení myšlienky evolúcie prirodzeným výberom, prelom nemenej významný, než aký urobil Charles Darwin.

3. Vektoriálna povaha biochemických procesov a molekulárna sentiencia

Magika biochemickej vektoriálnosti spočíva v povahe a štruktúre proteínov. Molekula natívneho proteínu je priestorovo asymetrickou konštrukciou, v ktorej sa sumujú početné slabé elektrostatické, vodíkové, hydrofóbne a van der Waalove príťahovania do silnej príťažlivej sily. Vzhľadom k tomuto multiplicitnému súčtu, typický proteín by mal byť extrémne pevnou látkou, možno nemenej pevnou ako oceľ. Lenže silná chemická príťažlivá sila je v proteíne vyvažovaná rovnako veľkou disperznou silou entropie. Toto vyvažovanie energie a entropie (*energy-entropy compensation*) dáva molekule proteínu labilnú, no zároveň veľmi robustnú štruktúru. Ako vysvetľuje Frauenfelder so spolupracovníkmi [13] „proteín neexistuje v jedinej konformácii, ale môže predstavovať veľký počet konformačných podstavov“ (*sub-states*). Bystro konštatuje, že „keby proteín mal len jednu konformáciu, nemohol by fungovať a bol by mŕtvy ako kameň“. Konformačné podstavy nie sú randomné. Každý proteín, s ktorým sa stretávame v prírode, je produktom evolúcie; bol selektovaný na to, aby vykonával teleonomickú, na cieľ zameranú funkciu [9]. Pravdepodobne pre väčšinu proteínov platí, že funkcia proteínovej molekuly začína viazaním nízko- alebo vysokomolekulového liganda. No nie proteín si vyberá vhodného liganda. Nepretržite bežia pomalé štruktúrne prechody medzi podstavmi, aj keď ligand chýba, no keď je ligand prítomný, viaže sa k jednému z podstavov, ktoré sú kontinuálne predvádzané proteínovou molekulou. Bez prehánania možno povedať, že proteín javí „exploratívne správanie“. K cieľu zameranú plasticitu, ktorá je vlastná proteínovej molekule, možno nazvať „molekulárnou sentienciou“ (*molecular sentience*). A je to práve táto sentiencia, ktorá robí z proteínu „živú“ molekulu. Tradične sa toto privilégium pripisuje DNA, ale, podľa Lewontina [14], DNA je mŕtva molekula, jedna z najmenej reaktívnych. To pripomína názor Rosena [15], podľa ktorého biológia je úplne ukotvená v tom, čo Weissmann nazval kedysi „sómou“: sóma je živá. Treba pripustiť, že podstatou života je sentiencia, schopnosť vykazovať rozmanité vnútorné potenciálne stavy, ktoré boli vyselektované v evolúcii a ktoré sú závislé od stavov okamžitého prostredia.

Práve teleonómia, ktorá je zabudovaná v štruktúre proteínu, opodstatňuje nazývať interakciu proteínu s jeho ligandom „molekulárnym rozpoznaním“ (*molecular recognition*). Iba tie molekulárne interakcie si zasluhujú toto označenie, ktoré sú teleonomické. Pretože proteín má vnútornú teleonómiu, dáva význam, signifikanciu svojmu prostrediu, teda svojmu ligandu. Nomické interakcie atómov a molekúl, akými sú chemické reakcie v neživom svete, ktoré nemajú evolučnú históriu, sú nevyhnutné, deterministické, bezčasové a preto

nepredstavujú molekulárne rozpoznanie. No molekulárne rozpoznanie je len časťou príbehu. Za rozpoznaním nasleduje činnosť, akcia. Ligand je signálom. Na rozdiel od štandardných chemických interakcií, v interakcii proteínu s ligandom nedisipuje celá energia viazania v podobe tepla, ale jej časť sa využíva na konanie molekulárnej práce – na špecifickú naprogramovanú zmenu v molekule proteínu. Týmto spôsob sa signál preniesie z jedného miesta proteínu na iné. Tento prenos sa deje v štvorrozmernom priestore (kde čas je jednou z koordinát) a je to práve tento proces, ktorý dáva biochémiu vektoriálnosť. Využitie energie viazania bolo pôvodne aplikované na vysvetlenie enzýmovej katalýzy, kde časť energie viazania slúži na zníženie aktivačnej energie reakcie [16], ale je priamočiaro použiteľné aj na vysvetlenie práce translokátorov, receptorov a transkripčných faktorov.

Prijatím a prenesením signálu vykonáva proteín úplný pracovný cyklus, a je to uskutočnené spôsobom „všetko-alebo-nič“ (*all-or-none*). Preto je na mieste považovať molekuly proteínov za molekulárne stroje (*engines*). Celý cyklus predstavuje molekulárnu kogníciu (*molecular cognition*). Takže molekulárna kognícia spočíva v molekulárnej senzácii (*sensation*) (s dvomi neoddeliteľnými stránkami, rozpoznaním a signifikáciou /*recognition and signification*/) a v molekulárnej akcii (*action*). Monod [9] poukázal na fakt, že niektoré proteíny, tým že viažu naraz dva alebo viac ligandov, môžu dohromady spojiť ligandy už nie na termodynamickom, ale výlučne logickom základe (princíp gratuity). Selektívnym viazaním sa tiež proteíny spájajú medzi sebou a vytvárajú teleonomické proteínové siete. Navyše, v dôsledku štruktúrnej asymetrie, proteíny môžu kanalizovať tepelnú energiu z prostredia tak, aby sa konala práca v podobe brownovského račetu [6]. Je celkom podstatné si uvedomiť, že všetky aktivity proteínu sú už prítomné ako potencie v jeho štruktúre, zabudované do molekuly evolúciou. V termínoch Shannonovej teórie komunikácie, exploračné správanie molekuly proteínu, pohyby medzi podstavmi, sú prejavom jeho informačnej entropie. Vhodný ligand potom spúšťa (*triggers*) naprogramovanú odpoveď; takže celý proces je iba jednobitovou informačnou transakciou.

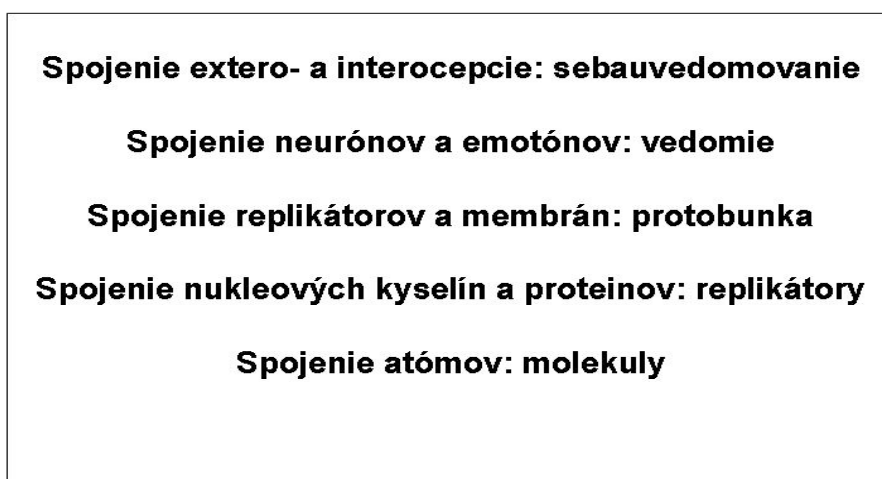
4. Život: hierarchická skladačka z modulov uložených znalostí

Princípy kognície na základnej, molekulárnej úrovni platia aj pre kogníciu na všetkých iných úrovniach. Bunková kognícia pozostáva z činností množiny molekulárnych senzorov ako modulov. Sieť bunkových kognitívnych zariadení predstavuje kogníciu na úrovni individuálneho organizmu. Takto existujú početné úrovne kognície, v podobe hierarchickej skladačky, a každej úrovni odpovedá iný typ darwinovskej individuality [17]. Vo vertikálnej optike život možno prirovnať k ruskej bábike; silnejšie či slabšie previazané previazané moduly predstavujú mnohvrstvé hierarchické uhniesdenie (*nestedness*). Na vyšších úrovniach sentiencia znamená citlivosť, dráždivosť, excitabilitu, no naďalej predstavuje exploračnú predvádzaním naprogramovaných (v dôsledku evolúcie alebo developmentu) alternatív. Podľa Rosena [15] sú živé entity sémanticky uzavreté; iba ľudia, zásluhou artefakcie a evolúcie kultúry sú výnimkou, ale v oveľa menšej miere, než sa bežne usudzuje. Pripomína nám to Platóna, podľa ktorého celé poznanie je vlastne len „rozpomínaním“ duše, alebo Johana W. Goetheho, ktorý raz poznamenal, že „vidíme iba to, čo poznáme“. V bakteriálnej chemotaxii sa pohyb všetkými smermi moduluje priviazaním liganda, čím dochádza k biasovanému náhodnému blúdeniu. Spôsob, akým funguje imúnny systém – produkcia najrozmanitejších protilátok a selekcia antigénom jednej z nich – je príkladom na sentienciu na vyššej úrovni. Stochastická expresia génov (ktorá ale nie je randomná v bežnom štatistickom zmysle; je limitovaná konštrukčnými obmedzeniami) je iným príkladom. Ešte iným je synaptogenéza, keď sa tvoria a „predvádzajú“ najrozmanitejšie synaptické spojenia medzi neurónmi, no zachovávajú sa len tie, ktoré sú „schválené“ signálmi z prostredia. Ale na všetkých týchto vyšších úrovniach platí stále ten istý princíp, aký bol popísaný v prípade

jednej molekuly proteinového senzoru: signál iba spúšťa odpoveď, ale neobsahuje informáciu o tom, aká odpoveď to má byť [18]. Preto používanie termínov vypožičaných z teórie komunikácie, ako napr. „kapacita kanálu“, „procesovanie informácie“ a pod., ale aj analógií z lingvistiky, môže byť zavádzajúce na všetkých úrovniach, s výnimkou ich aplikácie na genuinné komunikačné systémy ľudí.

Podľa Feinberga [19] „mozog je usporiadaný v podobnej skladačkovej hierarchii ako všetky biologické systémy. Z tejto štruktúry emerguje jednotné 'Ja'“. Pri štúdiu videnia u cicavcov sa zistilo, že špecifické neuróny vykazujú spontánne usporiadania aktivít, ktoré sa podobajú vizuálnym stimulom aj vtedy, keď žiadne stimuly nie sú prítomné. Z toho sa usúdilo, že takéto vnútorné kôrové usporiadania aktivít môžu byť inkarnáciami „hypotéz“ mozgu o vonkajšom prostredí, ktoré sú len aktualizované prijímaním vizuálnych dát [20]. To platí aj pre motoriku. Už aj izolované hmyzie ganglia javia spontánnu aktivitu motorických neurónov, ktorej štruktúra je len modulovaná propriocepčnými signálmi [21]. Operantné podmieňovanie u všetkých skupín živočíchov, vrátane človeka, je založené na predvážaní všetkých možných naprogramovaných správaní a na stabilizácii jedného z nich. Scaruffi [22] vyslovil hypotézu, že živočíchy možno manifestujú všetky možné druhy emócií po celý čas a prostredie „selektuje“ tie z nich, ktoré pretrvávajú. Na všetkých úrovniach je kognícia naďalej dvojitém procesom senzie a akcie. Len na najvyšších úrovniach akcia nemusí byť zjavná. Pri ľudskej kognícii, akcie môžu byť úplne internalizované v podobe myslenia: Myslenie, podobne ako snívanie, si možno predstaviť ako abstraktnú motorickú činnosť; podľa Konrada Lorenza [23] ako „konanie v imaginatívnom priestore“ (*das Hantieren im Vorstellungsraum*).

Je oveľa menej „procesovania informácie“ ako predpokladá metafora „život ako informácia“ či „život ako komputácia“, ktorá dominovala v biológii za posledných 50 rokov. Konštrukcie na všetkých úrovniach, od molekúl proteinov, cez bunky, tkanivá, individuálne organizmy, až po sociálne inštitúcie a kultúru [24] predstavujú zabudovanú znalosť, ktorá sa hromadila a udržovala evolúciou prírodným výberom. Dôraz treba preniesť z prijímania informácií na zabudovanú znalosť a z procesovania informácie na spúšťanie naprogramovaných odpovedí. Chémia, viac než iné vedy, je plná emergencií; vlastne celá chémia je vedou o kvalitách a dala by sa nazvať „vedou o emergencii“. Keď reagujú molekuly vodíka a kyslíka za tvorby vody, z reakcie emerguje látka s novými, rozdielnymi vlastnosťami. A práve preto, že život je chemický systém, sú v ňom emergentné javy na rôznych hierarchických úrovniach práve tak prirodzené, ale aj tak nepredvídateľné, ako je emergencia vody z vodíka a kyslíka. Mozog sám je chemickým systémom: nie počítač s hardwarom a softwarom, ale skôr je to „wetware“ [25]. Percepčné a emocionálne kvalie, ba aj samo vedomie, vrátane sebauvedomovania, strácajú veľa zo svojej tajomnosti, ak ich chápeme ako emergencie v komplexných chemických systémoch, v ktorých bežia neustále nespočetné množstvá chemických interakcií – molekulárnych kognícií [26] (Obr. 3).



Obr. 3. Emergencie v komplexných chemických systémoch: symbiologika.

5. Osobná digresia: „Neurobiológia na nových cestách“ v roku 1977

Názory, predložené v tejto štúdiu, radia sa v roku 2006 do polyfónie početných interpretácií života a poznania, ktoré po fázach troch predchádzajúcich revolúcií v kognitívnych vedách, behaviorálnej, kognitívnej a afektívnej, možno prednaznačujú blízkosť ďalšej revolúcie. Pred niekoľkými desiatkami rokov zneli však celkom osamotene. Možno to ilustrovať na príbehu textu, napísaného v roku 1977, ktorý sa však na verejnosť nedostal. Zaslaný bol do redakcie Vesmíru a redakcia ho, na základe kompetentného recenzentného posudku, odmietla.

Tu sú podstatné časti pôvodného textu, ktorý niesol titul „Neurobiológia na nových cestách“.

Na počiatku tohto desaťročia napísal Max Debrück, že vo vede nastáva doba neurobiológie. Nenapísal to hocikto; tento vedec rovnako jasnozrivo predvídal po druhej svetovej vojne éru molekulárnej biológie. A sám, fyzik vzdelaním a profesiou, k molekulárnej biológii tiež významne prispel. Objavil geniálny princíp: že konkrétny biologický fenomén treba študovať na najjednoduchšom organizme, u ktorého tento fenomén existuje. Tak zaviedol do štúdia genetických problémov podivuhodne jednoduchý genetický objekt, bakteriofága, a tým položil základný stavebný kameň pre molekulárnu biológiu. Pár rokov intenzívnych štúdií bakteriofága prinieslo viac základných poznatkov, ako celé desaťročia výskumnej práce na zložitejších organizmoch. Cez bakteriofága naučili sme sa rozumieť všeobecne platným zákonom genetiky a cez toto porozumenie môžeme dnes šľachtiť rastliny a živočíchov, predchádzať ľudským dedičným chorobám a robiť projekty na ovládnutie živej prírody metódami genetického inžinierstva.

Prečo dnes neurobiológia? Lebo, ako-tak rozumejúc atómom, kameňom, génom a bunkám, primálo rozumieme sami sebe: motívom svojho správania, svojim citom, svojim vzťahom k spolublížnym a k ostatnému svetu. Pritom, ako sa vyjadril A. Schweitzer, „žijeme v nebezpečnej dobe. Človek začal ovládať prírodu skôr než sa naučil ovládať sám seba.“

Lenže ovládať, ako vieme, možno len na základe poznania a tu nám sokratovský imperatív „poznaj sám seba!“ znie dnes rovnako naliehavo ako znel pred dvetisícpäťsto rokmi.

Dávno neplatí to, čo veľkí duchovia antiky vedeli z fyziky alebo biológie. No to, čo povedali o človeku, o ľudských vášniach, o láske a nenávisti, o šťastí, stále nám znie múdro a aktuálne. Že by, historicky obmedzení v poznaní ďaleko jednoduchších systémov, boli myslitelia antiky bezvadne rozumeli tak komplikovanému systému ako je ľudská psychika? Určite nie. To iba naše znalosti od tých čias podstatne narástli vo fyzike a biológii, no poznanie psychiky ostalo na rovnakej úrovni: nevieme oveľa viac, tj. vieme iba tak málo, ako vedela antika.

Preto sa mnoho pracovníkov vedy začína venovať výskumu správania, psychiky a nervového systému. „Vôbec nepochybujem – povedal nedávno popredný sovietsky filozof Alexandrov – že sa predný front vedy presúva ... do oblastí štúdia človeka. Hľbame nad elementárnymi časticami a pritom ponechávame nepoznaným obrovský oceán ľudského ducha a podvedomia.“

(V texte nasledujú mená významných molekulárnych biológov, ktorí sa začali venovať neurobiologickému výskumu.)

Noví priekopníci neurobiológie, inšpirovaní úspechmi ku ktorým im v molekulárnej biológii dopomohol Delbrückov princíp, snažia sa teraz tento princíp aplikovať vo výskume správania a nervového systému. Hľadá sa akýsi „neurobiologický bakteriofág“; čo najjednoduchší živý objekt, na ktorom by sa mohli odhaliť základné neurobiologické zákonitosti, aby ich potom bolo možno už len prostou analógiou aplikovať na ďaleko zložitejší nervový systém a správanie človeka.

(V texte sú potom uvedené údaje z výskumu chemotaxie u baktérií. Novšie tieto skúmania popísali Tomáška [27] a Tomáška a Nosek [28]. V ďalšej časti sú vylíčené výsledky skúmania biológie správania a neurobiológie ovocnej mušky *Drosophila melanogaster*, s dôrazom na využitie mutantov, ale aj farmakologického prístupu. Poukázalo sa na význam pokusov s izolovanými orgánmi hmyzu – plodnosť tohto prístupu ilustruje mimo iné práca [21], o ktorej sa táto štúdia zmieňuje vyššie. Zvlášť sa zdôraznili možnosti, poskytované miniatúrnym červom *Coenorhabditis elegans*, ktorý má len 250 neurónov, a morského mäkkýša *Aplysia californica*, ktorého výhoda spočíva v neobvyklej veľkosti jeho neurónov. Analyzované boli tiež experimenty s modelovaním morfinovej závislosti, robenej na bunkách neuroblastómu, ktorý krátko predtým bol označený Haffkem a Seatsom [29] za „*Escherichia coli* neurobiológie“.) Záverečný paragraf znel takto:

Štúdium neurobiologických modelov je naozaj len jednou z mnohých horizontálnych rovín skúmania ľudského správania. Citát z Alexandrova, v ktorom sme si pre zostručenie pomohli na začiatku tohto článku trojbodkami, znie v skutočnosti takto: „Vôbec nepochybujem, že sa predný front vedy presúva do oblasti sociológie, sociálnej psychológie a štúdia človeka vôbec...“ Alexandrov neprotirečí Delbrückovi, s ktorým sme začali tento článok. Všetky roviny poznania sú dôležité a skutočné porozumenie – a teda múdrosť – spočíva vo vertikálnej integrácii všetkých rovín poznania.

Anonymný recenzent, ktorý príspevok posudzoval, konštatoval, že „jde o nepříliš zdařilý pokus o vědecký fejeton, orámovaný výsledky slavných přírodovědců. Získali jsme dojem, že článek napsal poučený laik, jemuž unikly základní pokroky v neurobiologii v posledních letech. ... Bylo by podceněním práce laureátů Nobelových cen J.C. Ecclese, B. Katze, Hodgkina a Huxleyho a desettisíců dalších neurofyziologů a neurobiologů pouhé konstatování, že se „hledá neurobiologický bakteriofág“. Pohyblivé bakterie a bičíkovci jsou jen jedním – a zatím zcela **okrajovým** příspěvkem k pochopení analytické činnosti c.n.s. u vyšších obratlovců a člověka. Chemotaxe prvoků je známa více než 200 let (nebo ještě déle?) a stejně jako mutanty banánové mušky nepřinesly zásadní poznatky bez použití elektrofysiologických metod, které odhalí funkcí podstatu změněných funkcí. ...

*Doporučujeme: nemíchat pseudovědecký guláš z torzovitých údajů od izolované hmyzí nohy, schopné učení (?), až k povaze lidské lásky a nenávisti. ... Vynechat reklamní slogany typu „geniální princip“ (mimořádně Delbrück nebyl zdaleka první, který formuloval požadavek studia jednoduchých objektů). Přepsat článek prostě tak, aby nadšeným učitelům biologie, pro které je Vesmír jedním z hlavních zdrojů nových poznatků, nezasel do hlavy zmatek nejen pojmový, ale i filozofický. ... U nižších živočichů jsou fyzikálně chemické vlastnosti různých typů neuronů a dráždivých tkání zcela odlišné než u vyšších, kde jde o zcela jinou **podstatu** integrace. ... P.S. Kdo rozumí sám sobě? Říďme se základními mezilidskými pravidly, mějme na mysli spíše zájem svého bližního a vyžeňme aktivně z naší hlavy „zvířecí“ vlastnosti typu „bojuj nebo zhyň“. Zahodme svá „kusadla“ a neučme se boji, neboť mírní budou jednou vlastní zemí.“*

Autor článku zaslal redakci svoje stanovisko. V ňom mimo iné uviedol, že „*hlavným poslaním článku bolo ukázať, že pozornosť nervovému systému začínajú dnes venovať biológovia, ktorí dosiaľ bádali v iných oblastiach a že pritom volia **iné** experimentálne prístupy než „klasická“ neurobiológia. ... „Možno si ľahko predstaviť, že by článok o „genetike na nových cestách“, ktorý by bol chcel u nás počiatkom 50ych rokov upozorniť na štúdie robené s bakteriofágom, narazil na podobné pohrdlivé argumenty, že dedičnosť vyšších organizmov (nehovoriac o človeku!) má inú „**podstatu**“ ako dedičnosť vírusov. Takýto konzervativizmus skutočne spôsobil, že sa u nás vývoj moderných smerov genetiky oneskoril a cítime to dosiaľ. ... Domnievam sa, že Vesmír nie je určený len „nadšeným učiteľom biologie“, ako píše recenzent, ale aj vedeckým pracovníkom a najmä mladým medzi nimi, mimo iné práve na to, aby ich upozorňoval na nové trendy vo vede a stimuloval k originálnemu, netradičnému mysleniu a bádaniu. U nás, pri obmedzených materiálových a technických možnostiach, tým viac sa treba snažiť o naprostú originalitu a pritom pokiaľ možno technickú jednoduchosť...“* „Ironizovanie významu a dôsledkov neurobiologického výskumu, obvinenie z „bombastičnosti“, používania „reklamných sloganů“, označenie článku za „fejton orámovaný výroky slávnych prírodovedců“ pôsobí dojmom, ako čo by recenzent neregistroval súčasnú situáciu vo vede, volanie po relevancii výskumu, narastajúce diskusie o zmysle a význame vedy... ... Ak sa nám nepodari presvedčiť verejnosť – a iste na prvom mieste nás samých – že naše skúmanie izolovaných švábich nôh alebo ovocných mušiek je relevantné pre porozumeniu ľudskému správaniu, a teda i pre poznanie „povahy ľudskej lásky a nenávisti“, môže sa nám ľahko stať, že spoločnosť na našom bádani strati záujem.“ ... „K demagogickej invektive, že by článok mohol zasiahť do hlavy „nadšených učiteľů biologie“ „filozofický zmatek“ som jednoducho neschopný sa vyjadriť.“

Príbeh tohto nepublikovaného textu mal dvojité dohru v roku 2000. V tom roku dostal Eric R. Kandel Nobelovu cenu za výskum neurobiológie aplýzie, organizmu, na jedinečnosť ktorého text v r. 1977 poukazoval. V tom istom roku 2000 anonymný recenzent, ktorý text navrhol neuverejniť, vystúpil z anonymity a autorovi textu sa hlboko ospravedlnil. R. 1977, keď písal svoj posudok, to bol mladý ambiciózný elektrofyzikológ, pre ktorého svet začínal a končil pichaním mikroelektród do neurónových a svalových buniek a meraním membránových potenciálov; za 30 rokov vyrástol na jedného z najvýznamnejších súčasných českých vedcov.

6. Záver: Kognitívna biológia a „teória všetkého“

Kognitívna biológia, ako veľa z úvah o živote, mysli či vedomí, je viac reinterpretáciou existujúcich dát než výskumným programom čo by navrhoval nové experimentálne prístupy k starodávnym problémom. Opýtať sa možno s Tomom Wolfem [30]: „Načo zápasit s Kantovým Bohom, so slobodou a nesmrteľnosťou, keď je to len záležitosť času kedy nám neurobiológia, hádam cez neinvazívne techniky snímania mozgu, odhalí skutočný fyzický

mechanizmus ktorý fabrikuje tieto mentálne konštrukty, tieto ilúzie?“ Odpoveď je prinajmenšom trojitá. Po prvé, naša psychologická konštitúcia je taká že nám nedovolí trpezlivo čakať, kým nám veda poskytne všetky odpovede na naše životne dôležité otázky; aby dosiahlo pokoj mysle, ľudstvo sa vždy usilovalo o jednotné a všeobjímajúce porozumenie. V našej dobe rýchly pokrok vedy nám umožňuje rýchlo vylepšovať naše interpretácie, akokoľvek sú predbežné, tak, aby odpovedali vydobytému stavu poznania. Po druhé, vŕhad poskytovaný kognitívnou biológiou by nám mohol pomôcť zvládnuť obmedzenia, ktoré na naše poznanie ukladá ľudský mozog a ktoré boli nazvané „Kuhlenbeckovým paradoxom“ [31]: náš svet vedomia je fenoménom mozgu, ale náš mozog je tiež fenoménom mozgu, z čoho rezultuje gödelovský typ uzavretia. Potrebovali by sme nejaký zázračný „metamozog“, aby sme dosiahli úplné porozumenie ľudskému mozgu. No analýza kognície menej komplexnými organizmami alebo kognície na menej komplexných úrovniach by nám mohla dovoliť extrapolovať získané poznatky na ľudskú kogníciu a takto obísť Kuhlenbeckov paradox.

Tretia odpoveď nás vracia tam, kde táto štúdia začala. Existenciálny primordiál ľudského utrpenia bol možno hnacou silou, čo poháňala rozvoj vedy: pri pohľade dozadu zo špecifického uhla javí sa veda ako dejiny úsilia o zmenšenie ľudského utrpenia. Prečo z toho neurobiť explicitné a centrálné poslanie vedy? Potom však, samozrejme, opravdové porozumenie ľudskej kognícii, aj s jej podstatnou a neoddeliteľnou súčasťou, emóciami, je predpokladom pre naplnenie takéhoto poslania. Význam takého porozumenia by mohol byť ďalekosiahly. Ako povedal básnik André Breton, omyl vo výklade človeka spôsobuje omyl vo výklade vesmíru. Možno sa ukáže, že tak úporne hľadaná teória všetkého [32] bude nie teóriou základných stavebných jednotiek sveta, ale teóriou mysle a jej vzťahu k vesmíru.

Pod'akovanie. Táto štúdia bola sčasti podporená grantom Howard Hughes Medical Institute, č. 55000327.

Literatúra

- [1] L. Kováč: Komentovaný úvod do kognitívnej biológie. In: *Kognice a umělý život IV.* (J. Kelemen, V. Kvasnička, J. Pospíchal, eds.) Slezská univerzita, Opava, 2004, pp. 233-258.
- [2] G.A. Miller: The cognitive revolution: a historical perspective. *Trends in Cognitive Sciences* 7 (2003) 141-144.
- [3] A. Damasio: *Descartes' error. Emotion, reason, and the human brain.* Putnam's sons, New York, 1995.
- [4] T.D. Wilson: *Strangers to ourselves: Discovering the adaptive unconscious.* Harvard University Press, Cambridge, Mass., 2002.
- [5] G. Radnitzky, W.W. Bartley: *Evolutionary epistemology, rationality, and the sociology of knowledge.* Open Court, La Salle, 1987.
- [6] L. Kováč: Úvod do kognitívnej biológie. *Biologické listy* 51 (1986) 172-190.
- [7] L. Kováč: Fundamental principles of cognitive biology. *Evolution and Cognition* 6 (2000) 51-69.
- [8] B.C. Goodwin: A cognitive view of biological process. *J Soc Biol Structures* 1 (1978) 117-125.
- [9] J. Monod: *Le hasard et la nécessité.* Éditions du Seuil, Paris, 1970.
- [10] I. P. Bazarov: *Termodinamika.* Vyššaja škola, Moskva, 1983.
- [11] A. Kornberg: *For the love of enzymes.* Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1985.

- [12] P. Mitchell: Coupling of phosphorylation to electron and hydrogen transfer by a chemiosmotic type of mechanism. *Nature* 191 (1961) 144-148.
- [13] H. Frauenfelder, B.H. McMahon, P.W. Fenimore: Myoglobin: The hydrogen atom of biology and a paradigm of complexity. *Proc Natl Acad Sci US* 100 (2003) 8615-8617.
- [14] R. Lewontin: The dream of the human genome. *N Y Rev Books*, 28 March, 1992, pp. 31-40.
- [15] R. Rosen: *Life itself*. Columbia University Press, New York, 1991.
- [16] W.P. Jencks: Binding energy, specificity, and enzyme catalysis: The Circe effect. *Adv Enzymol* 43 (1975) 219-410.
- [17] S.J. Gould SJ: *The structure of evolutionary theory*. Harvard University Press, Cambridge, Mass., 2002.
- [18] M.W. Kirschner, J.C. Gerhart: *The plausibility of life*. Yale University Press, New Haven, CT, 2005.
- [19] T. Feinberg: *Altered egos*. Oxford University Press, Oxford, 2001.
- [20] T. Kenet, D. Bibitchkov, M- Tsodyks, A. Grinvald, A. Arieli: Spontaneously emerging cortical representations of visual attributes. *Nature* 425 (2003) 954-956.
- [21] G. Knop, L. Denzer, A. Büschges: A central pattern-generating network contributes to "reflex-reversal"-like leg motoneuron activity in the locust. *J Neurophysiol* 86 (2001) 3065-3068.
- [22] P. Scaruffi: The nature of emotions. <http://www.thymos.com/science/emotion.html>, 2000.
- [23] K. Lorenz: Die angeborenen Formen möglicher Erfahrung. *Z Tierpsychologie* 5 (1943) 235-409.
- [24] L. Kováč: Science, an essential part of culture. *EMBO Rep.* 7 (2006) 128-132.
- [25] S.M. Kosslyn, O. Koenig: *Wet mind: The new cognitive neuroscience*. The free press, New York, 1995.
- [26] L. Kováč: Symbiologika: od génocentrizmu k noocentrizmu. In: *Kognice a umělý život V.* (J. Kelemen, V. Kvasnička, J. Pospíchal, eds.) Vol. 1, 271-282, 2005.
- [27] Ľ. Tomáška: Rozum a cit: sme v zajatí chemických signálov? In: *Hľadanie spoločného jazyka v kognitívnych vedách* (Ľ. Beňušková, V. Kvasnička, J. Pospíšil, eds.) Iris, Bratislava, 2000.
- [28] Ľ. Tomáška, J. Nosek: Molekulárna darwinovská evolúcia: In vivo, in vitro a in silico. In: *Kognitívne vedy III.* (V. Kvasnička, J. Pospíchal, E. Gál, eds.) Katedra matematiky CHTF STU, Bratislava.
- [29] S.C. Haffke, N.W. Seeds: Neuroblastoma: the E. coli of neurobiology? *Life Sci* 16 (1975) 1649-57.
- [30] T. Wolfe: *Hooking up*. Picador, New York, 2000.
- [31] J. Gerlach: Gödel-Theorem and Kühlenbeck-Paradox. *Naturwissenschaften* 75 (1988) 393-398.
- [32] J.D. Barrow: *Theories of everything*. Oxford University Press, Oxford, 1991.