

Hľadanie kauzálnych vzťahov v probléme mysle a tela z pohľadu neredukcionistického fyzikalizmu

Igor Farkaš*

Katedra aplikovanej informatiky FMFI
Univerzita Komenského
Mlynská dolina, 84248 Bratislava
farkas@fmph.uniba.sk

Abstrakt. Tento článok ponúka náčrt výpočtového modelu vzťahu myseľ-mozog, ktorý sa opiera o poznatky z kognitívnej neurovedy, teórie nelineárnych dynamických systémov a samoorganizácie, pričom sa kladie dôraz na vysvetlenie kauzálnej interakcie medzi mozgom a myseľou. Budem argumentovať, že na lepšie pochopenie tohto problému je nutné uvažovať tri úrovne opisu reality na rozdiel od tradičných dvoch, pričom kauzálne princípy sú realizované v rámci fyzikálneho systému. Mentálna úroveň opisu však ostáva užitočnou, dokonca nevyhnutnou súčasťou modelu, neredukovateľnou na fyzikálnu úroveň. Z pohľadu existujúcej taxonómie filozofických prístupov má prezentovaný model najbližšie k princípom neredukcionistického fyzikalizmu.

1 Úvod

Vzťah mysle a tela je všeobecne považovaný za centrálny problém filozofie mysle, aj keď pozornosť pútajú aj iné otázky zamerané na povahu „mentálnosti“ bez hľadania vzťahu s fyzikálnym svetom (Kim, 1995a). Problém vzťahu mysle a tela bol od antických čias výsostnou doménou filozofov, no v polovici minulého storočia skúmanie tohto zložitého filozofického a vedeckého problému nadobudlo interdisciplinárny charakter, pretože sa prenieslo aj do portfólia psychologov, neurobiológov či informatikov. Principiálna otázka sa týka vzťahu medzi fyzikálnymi udalosťami, o ktorých hovoríme v kontexte mozgu a mentálnymi udalosťami, ktoré spájame s myseľou. Dualizmus a monizmus predstavujú dva základné myšlienkové prúdy, pričom každý má svoje vnútorné členenie (Wikipedia). V rámci týchto prúdov však badať nejednoznačnosť, pretože niektoré teórie, najmä tie „neextrémistické“, ponúkajú viac ako jednu interpretáciu, a ťažko ich zaradiť do jedného či druhého hlavného prúdu.

Dualistické názory, ktorých vznik siaha až k Aristotelovi v západnej kultúre, no taktiež k rôznym východným filozofiám, postulujú existenciu dvoch odlišných svetov alebo úrovní reality. Exaktnejšiu podobu tomuto myšlienkovému prúdu dal Descartes, ktorý tvrdil, že tieto dva svety sa kvalitatívne líšia, pretože materiálne entity sú priestorové, majú vlastnosti a sú objektívne pozorovateľné, zatiaľ čo mentálne entity nie sú priestorové, nemajú vlastnosti, a sú vnútorné prístupné len samotnému subjektu (Descartes, 1985). Ešte môžeme dodať, že fyzikálne procesy sú samy osebe bez významového obsahu a sú nevedomé, zatiaľ čo mentálne procesy sú intencionálne (sú o niečom, zamerané na niečo) a môžu byť vedomé. Descartes bol zástancom viery v paralelnú existenciu dvoch svetov – *dualizmus substancií*, zatiaľ čo iný dualistický smer – *interakcionizmus* – postuluje obojsmerné kauzálne vzťahy medzi oboma svetmi (Popper a Eccles, 1984). Dualistické názory majú svoje opodstatnenie a historické dôvody prameniace zo západných a východných svetonázorov. Okrem toho, argumenty

* Autor pracuje na čiastočný úväzok aj na Ústave merania SAV v Bratislave.

pre ne možno hľadať v subjektívnosti zážitkov človeka i v samotnom fakte, že okolitý svet je plný dichotómií. Naše vlastné empirické skúsenosti nás, zdá sa, nabádajú k dualizmu: Už dávno sa vedelo, že poškodenia v mozgu vedú k duševným poruchám, a opačne, poznáme napr. pozitívne účinky psychoterapie v lekárskej praxi. „Extrémistické“ formy dualizmu (ako napr. dualizmus substancií) sú však problematické, pretože kvôli kvalitatívnym rozdielom medzi oboma svetmi nedokážeme pomocou súčasných vedeckých metód vysvetliť ich vzájomné interagovanie. Menej radikálne formy dualizmu postulujú, že ide o jednu fyzikálnu realitu, ale na jej úplné pochopenie je treba dve rôzne úrovne opisu v rôznych perspektívach. *Dualizmus vlastností* predpokladá, že mentálne vlastnosti mozgu nie sú redukovateľné na fyzikálnu úroveň, aj keď z nej emergujú. Trochu odlišne vyznieva *explanačný dualizmus* populárny najmä v psychiatrii (Kendler, 2001), ktorý zdôrazňuje, že na úplné pochopenie človeka sú nutné oba spôsoby vysvetlenia, pričom neuvažujeme žiadne predpoklady o ich vzájomnom vzťahu (Maxwell, 2000).¹

Ako protipól k dualizmu tradične stoja *monistické* názory, ktoré postulujú existenciu len jedného sveta, jednej reality. Na jednej strane stojí *idealizmus*, ktorého základnou premisou je, že jedinou realitou sú mentálne entity (napr. v duchu tvrdenia „existovať znamená byť vnímaný“). Aj keď tento pohľad má tiež svojich zástancov, významnejšie postavenie má opačne stojaci *fyzikalizmus* (resp. materializmus), a to hlavne hlavne v západnej filozofii. Podľa fyzikalizmu jedinou existujúcou entitou je telo (mozog), pričom vzťah mysle k nemu môže mať rôzne podoby (Stoljar, 2001). *Redukcionistický fyzikalizmus*, tiež známy ako eliminačný materializmus, chápe mentálne stavy už ako epifenomén (t.j. sprievodné mentálne javy sú subjektívne vnímané jedincom, sú však redukovateľné na opis mozgu) a predikuje, že v konečnom dôsledku bude mentálna úroveň reality redundantná a úplne vysvetliteľná na fyzikálnej úrovni mozgu. Takýto redukcionistický pohľad má aj v súčasnosti svojich zástancov, no ostáva problematickým, pretože v absolutistickom chápaní smeruje k redukcii ad absurdum (Churchland, 1989). Kompromisnejšiu formu ponúka viac uznávaný *neredukcionistický fyzikalizmus*, ktorý predpokladá, že fyzikálny svet je kauzálne uzavretý, a podľa ktorého mentálne stavy sú síce závislé od fyzikálnej entity, avšak ich opis (epistemologické poznanie) a vysvetlenie nie sú redukovateľné na opis jazykom fyzikálnej vedy. Tento filozofický smer (ktorý má svoje vnútorné členenie) nadobudol na popularite po tom, čo bol zavedený koncept *supervenencie*, podľa ktorého mentálne vlastnosti sú akousi „pridanou hodnotou“ k fyzikálnym vlastnostiam, pričom nie sú na ne redukovateľné, a platí princíp viacnásobnej realizovateľnosti mentálnych vlastností (Davidson, 1970).²

Viacnásobná realizovateľnosť vyplýva aj z modernejšej monistickej doktríny – *funkcionalizmu*, ktorý sa zrodil v súvislosti so vznikom počítačov. Funkcionalizmus hovorí o mentálnych stavoch (alebo udalostiach) nezávisle od ich implementácie (softvér nezávislý od hardvéru), len v kontexte ich funkcie v rámci fyzikálneho systému. Viacnásobnú realizovateľnosť pritom nezužuje na rôzne konfigurácie toho istého substrátu (rôznych fyzikálnych stavov mozgu), ale zahŕňa aj iné, napr. nebiologické fyzikálne systémy (vrátane počítačov), v ktorých môžu vznikať rovnaké mentálne stavy, ak budú plniť rovnakú funkciu v systéme. Voči funkcionalizmu boli

¹ Ide teda o dva spôsoby (dve ontológie) pochopenia, opisu jednej reality, na rozdiel od substančného dualizmu, kde sa postulujú dve (ontologicky) odlišné reality.

² Vzťah supervenencie medzi fyzikálnymi vlastnosťami (FV) a mentálnymi vlastnosťami (MV) je asymetrický: ak sa u dvoch jedincov líšia FV, líšia sa aj MV. Naopak to však neplatí.

postupne vznesené námietky najmä vo forme myšlienkových experimentov, ktoré nabádajú, že funkcionalizmus je nedostatočným vysvetlením vzťahov medzi mentálnym a fyzikálnym svetom. Napríklad argument známy ako problém invertovaného spektra implikuje, že môžu existovať dvaja ľudia s rovnakými funkcionálnymi stavmi, ale rôznymi mentálnymi stavmi (Block, 1980). Podobne, problém čínskej izby zase implikuje, že keďže mentálne stavy musia zahŕňať aj sémantickú zložku, čisto syntaktické manipulácie nestačia, aj keď sú funkcionálne plnohodnotné (Searle, 1980). Sám Searle (1992) prišiel s vlastnou monistickou teóriou nazvanou *biologický naturalizmus*, podľa ktorej všetky mentálne javy (od bolesti po až abstraktnejšie myšlienky) sú spôsobené neurobiologickými procesmi v mozgu, a že súčasne mentálne stavy a procesy sú vlastnosťami mozgu na vyššej úrovni opisu. Hovorí teda o dvoch ontológiách – prvej a tretej osoby, ktoré sa obe viažu na tú istú fyzikálnu realitu – mozog.³ Mentálne vlastnosti mozgu niektorí interpretujú ako prejavy *emergencie*, čo je veľmi populárna doktrína, ktorá v teórii komplexných systémov a samoorganizácie (v rôznych doménach) predstavuje ich kľúčovú vlastnosť (Goldstein, 1999).

Je zrejmé, že vo filozofii problému vzťahu myseľ-mozog neexistuje konsenzus. Samotný Searle (1992) dokonca kritizuje historicky vzniknuté dichotomické vnímanie tohto problému, s čím sympatizujeme. Okrem toho, čo vo väčšine prezentovaných prístupov zjavne absentuje, je to, že ak teda predpokladáme existenciu dvoch zásadne (ontologicky) odlišných druhov entít, či úrovní reality, ako potom tieto kauzálne interagujú, a to oboma smermi. Emergencia ponúka možné vysvetlenie kauzality zdola nahor. Problém potenciálneho kauzálneho účinku mentálnych javov na fyzikálnu substanciu (t.j. účinku zhora nadol) – problém *mentálnej kauzality* sa v literatúre tiež objavuje v rôznych podobách (Robb a Heil, 2003). Viacero filozofov upustilo od uvažovania o nemateriálnej povahe mysle a stotožnilo sa najmä so smerom neredukcionistického fyzikalizmu, ktorý nevylučuje možnosť dvoch ontológií – rôznych jazykov opisu činnosti mozgu, pri zachovaní monistického pohľadu na problém. Tým sa však problém mentálnej kauzality nerieši, a dokonca vzniká protirečenie: ako môžu byť mentálne javy/vlastnosti kauzálne relevantné, keď fyzikálny svet je, podľa predpokladov neredukcionistického fyzikalizmu, kauzálne uzavretý? (O problémoch mentálnej kauzality a rôznych pohľadoch podrobne pojednáva Kim, 1998, pozri aj Vaas, 2002).

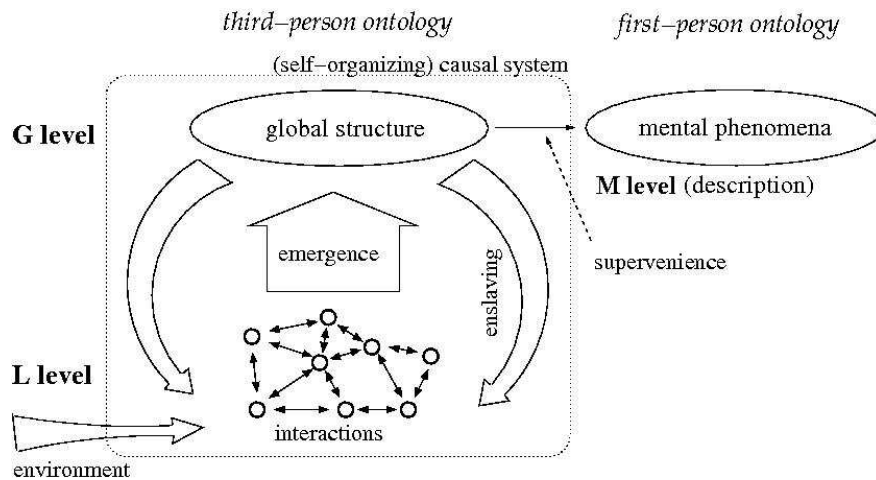
Naším presvedčením je to, že schodnou cestou k riešeniu problému vzťahu mozog-myseľ je orientácia na výpočtové modely, ktoré sú explicitnejšie než verbálne filozofické teórie, aj keď sa snažia „len“ formálne opísať nejaký vzťah. Dávajú však podľa nás priestor pre pochopenie obojsmernej kauzality. V ďalšej časti predstavíme náš model, spomenieme podporné argumenty preň a pokúsime sa ho podľa jeho vlastností zaradiť do existujúcej taxonómie vyššie spomínaných filozofických teórií. V poslednej časti pojednávame o implikáciách nášho prístupu.

2 Model vzťahu mozog-myseľ

Pri opise nášho modelu najprv spomenieme jeho základné vlastnosti a koncepty, na ktorých bude postavený. Náš model je: (1) výpočtový, (2) založený na samoorganizácii (Farkaš, 2006), a snaží sa opísať (3) obojsmernú kauzalitu medzi „mentálnym“

³ Podobne ako iné názory, aj tento má svojich oponentov (napr. Kim, 1995), ktorí kritizujú vnútornú nekonzistentnosť Searlovej teórie.

a fyzickým, opierajúc sa o poznatky z kognitívnej neurovedy, systémov so samoorganizáciou a z teórie nelineárnych dynamických systémov (Farkaš, 2005). V ďalšom texte tieto vlastnosti, koncepty a vzájomné vzťahy bližšie opíšeme.



Obrázok 1. Ponúknutý formálny model vzťahu mozog-mysle' pozostávajúci z troch úrovní opisu. Vzťahy susedných úrovní sú kvalitatívne odlišné: len fyzikálne úrovne – lokálna L a globálna G – vzájomne kauzálne interagujú, úroveň M nemá kauzálne účinky na G – je jej (neredukovateľným) opisom z perspektívy prvej osoby. Fyzikálny systém je otvorený, prijíma externé stimuly na úrovni L.

Schéma najjednoduchšieho možného modelu je znázornená na obr. 1. Model pozostáva z *troch* (namiesto tradičných dvoch) úrovní opisu reality (dvoch fyzikálnych a jednej mentálnej), ktoré sú nevyhnutné na pochopenie problému myseľ-mozog, a ktoré sú konzistentné s troma hore uvedenými bodmi.⁴ Výpočtový model je založený na predpoklade, že správanie ľubovoľného existujúceho systému (alebo opatrnejšie povedané, aspoň niektoré jeho aspekty) je možné formálne opísať. Je zrejmé, že týmto sa naše možnosti viac-menej zužujú na perspektívu tretej osoby, a teda že uvažované úrovne opisu v modeli sa týkajú mozgu (mentálnej úrovni opisu však tiež budeme venovať pozornosť). Pre naše potreby postačí, ak za najelementárnejšiu fyzikálnu úroveň opisu budeme považovať biologické neuróny a za tú najvyššiu mozog ako celok. Medzi týmito okrajovými úrovňami existuje viacero fyzikálnych úrovní organizácie, ktoré sú relevantné z pohľadu neuroanatómie a neurofyziológie (neurálne mikroobvody, neurálne zhluky, či Broadmannove kortikálne arey), i s ich vzájomnými interakciami. Táto vlastnosť hierarchického prepojenia a ovplyvňovania susedných úrovní je pre mozog signifikantná na rozdiel od počítača (Bell, 1999), no budeme od tohto faktu abstrahovať, a teda predpokladať existenciu len dvoch interagujúcich fyzikálnych úrovní, lokálnej L (častí mozgu) a globálnej G (mozog ako celok). Pritom treba zdôrazniť, že obe fyzikálne úrovne sú relatívne v tom zmysle, že fyzikálna škála, ktorej sa budú týkať, bude závisieť od kontextu. Napríklad, úroveň neurálnych zhlukov je globálna v kontexte úrovne neurónov, ale lokálna vo vzťahu ku kortikálnym areám. Túto abstrakciu si berieme na pomoc preto, lebo existujúce empirické a teoretické

⁴ Striktne povedané, z pohľadu škály má model len dve úrovne opisu (L a G), avšak pre úroveň G existujú dve, vzájomne neredukovateľné *perspektívy* opisu, z ktorých obe sú nevyhnutné pre pochopenie problému myseľ-mozog z pohľadu prezentovaného modelu. Pre zjednodušenie slovníka budeme aj M chápať ako úroveň opisu.

argumenty ktoré spomenieme existujú na rôznych škálach, no v podstate sa dajú chápať ako ten istý princíp kauzality.

V modeli figuruje i mentálna úroveň opisu M, ktorú dáme do vzťahu s fyzikálnou úrovňou G. Úroveň M priamo v modeli nevystupuje ako súčasť kauzálneho systému, o ktorom predpokladáme, že je kauzálne uzavretý,⁵ ale len „prostredníctvom“ úrovne G. Preto budeme hovoriť o „mentálnej“ kauzalite majúcej na pamäti, že „strojom“ kauzality zhora-nadol je samotný mozog, pričom mentálne stavy v mysli sú opisom globálnych stavov mozgu z pohľadu prvej osoby. Nie je však potom opis vlastností mozgu na úrovni M redundantný, keď sa tieto nepodieľajú na riadení jeho činnosti? Odpoveď ponúkne v závere článku, potom, čo detailnejšie nazrieme do vlastností modelu.

3 Hľadanie oporných argumentov

Oporné argumenty ponúkne z oblasti kognitívnej a výpočtovej neurovedy, samoorganizácie, a teórie nelineárnych dynamických systémov.

3.1. Čo hovorí kognitívna neuroveda

V oblasti kognitívnej neurovedy sa pozornosť sústreďuje na hľadanie tzv. *neurálnych korelátov* mentálnych stavov, ktoré sa dajú neinvazívne merať vďaka existujúcim technikám zobrazovania činnosti mozgu v priestore i čase (Frith a spol., 1999). V súčasnosti existuje pomerne dosť empirických výsledkov získaných zo zvieracích alebo ľudských subjektov, ktoré poukazujú na to, že kognitívne procesy sú sprevádzané prechodnou integráciou viacerých distribuovaných interagujúcich oblastí v mozgu (napr. Damasio, 1990; Tononi, Edelman, 1998; Varela a spol. 2001; Engel, Singer, 2001; Beňušková, 2002). Najpriateľnejším mechanizmom umožňujúcim takúto integráciu je vytvorenie dynamických spojení pomocou prechodne *synchronizovanej aktivity* neurónov v rôznych frekvenčných pásmach. Synchronizácia tu znamená pálenie neurónov s rovnakou fázou alebo v presnom fázovom zázve, čo sa dá merať a kvantifikovať modernými štatistickými metódami (Lachaux a spol., 1999). Synchronizovaná aktivita bola pozorovaná v rôznych priestorových škálach. Krátkodosahové synchronizácie sa týkajú jednej senzorickej modality a sú zrejme potrebné na perceptuálne viazanie príznakov (feature binding) vnímaného objektu, aby mohol vzniknúť koherentný vnem (Gray a spol., 1989).

Boli však pozorované i d'alekodosahové synchronizácie, ktoré zahŕňajú vzdialené kortikálne oblasti, a ktoré sprevádzajú rôzne kognitívne úlohy, napr. rozpoznanie vizuálneho vnemu spojené s odpovedajúcou motorickou reakciou. V pozoruhodnom experimente s Mooneyho tvármi⁶ (Rodriguez a spol., 1999) boli asi štvrtinu sekundy po ukázaní podnetu pozorované kolektívne gamma oscilácie neurónov (40 Hz) vo viacerých oblastiach (čo odpovedalo zrejme spracovaniu vizuálneho podnetu), avšak synchronizácia nastala iba v prípade, ak sa subjekt sa díval na tvár. Druhý vzorec synchronizácie bol potom pozorovaný v motorickej kôre, čo korelovalo s motorickou odpoveďou (kliknutie myšou), a ten nastal v pochopiteľne v oboch prípadoch. V inom zaujímavom experimente bola daná do súvisu synchronizácia s kognitívnym procesom – krátkodobou pamäťou (Fell a spol., 2001): iba ak nastala synchronizácia (v hipokampe a príľahlých štruktúrach) v čase memorovania, po ktorom nasledovalo

⁵ v zmysle slabej definície: „Žiaden fyzikálny jav nemá príčinu mimo fyzikálnej domény.“ (J. Kim)

⁶ profily abstraktných čiernobielych tvárí v kontraste s tými istými podnetmi obrátenými dolu hlavou

zámerné rozptýlenie, bol subjekt schopný neskôr si vyvolať z pamäti zapamätané podnety. Tieto výsledky sú kompatibilné aj so všeobecnejšou predstavou o synchronizácii, ktorá zahŕňa všetky dimenzie kognitívneho aktu, vrátane asociatívnej pamäti, emocionálneho podfarbenia a motorického plánovania (Damasio, 1990, Varela a spol., 2001). Zdôraznenie synchronnej aktivity implikuje, že odpoveď na podstatu korelátov mentálnych stavov treba hľadať nie v štrukturálnych vzťahoch aktivovaných oblastí mozgu, ale v ich *dynamickom vzorci správania*. Tieto vzorce vznikajú v časovom rozpätí rádovo stoviek milisekúnd, čo je čas potrebný na vznik kognitívneho vnemu. Inými slovami, tieto poznatky z neinvazívnych metód napovedajú, že je trochu problematické zosúvzťažniť fyzikálne a mentálne stavy (ako sa bežne uvažuje v dualistických teóriách), pretože obe úrovne operujú na rôznych časových škálach. Napriek tomu, odpoveďou by mohla byť superveniencia mentálnych vlastností v tom zmysle, že mentálny stav odpovedá fyzikálnemu procesu (sekvencii fyzikálnych stavov), pričom platí princíp viacnásobnej realizovateľnosti.

Zaujímavé poznatky nám poskytujú aj invazívne metódy merania aktivity jednotlivých neurónov. Z mozgu sa už napríklad dá vyčítať, ktorý objekt dotyčný subjekt vníma. U makakov bola počas 12.5 ms meraná aktivita asi 100 náhodne vybraných neurónov v inferiórnej časti spánkového laloka, a tá robustne a spoľahlivo (pre rôzne objekty, ich rôzne pozície i veľkosti) umožňovala určiť identitu objektu (Hung a spol., 2005).

Hľadanie neurálnych korelátov je skromnejší zámer, ktorý nič nehovorí o ich prípadnom účinku týchto neurálnych korelátov na mentálnu úroveň.⁷ Ak by sme chceli vysvetliť tento účinok, museli by sme identifikovať neurálne stavy či procesy, ktoré sú nevyhnutné pre vznik mentálnych stavov, a ktoré ich kauzálne ovplyvňujú. Na to by sme však potrebovali uskutočniť experimenty, v ktorých by sme ovplyvňovali synchronizáciu neurónov a sledovali zmeny v správaní jedinca. Experimenty tohto druhu sa však už dajú vypátrať v literatúre. V prípade hmyzu bolo ukázané, že narušenie synchronizácie spôsobí jeho zníženú schopnosť rozoznávať vône (Stopfer a spol., 1997). Zaujímavejší, nedávny experiment s makakmi pomocou zaužívaných behaviorálnych metód ukázal, že stimulácia správnych neurónov reagujúcich na tváre (v inferiórnej časti spánkového laloka) spôsobí, že makak začne vnímať tvár, aj keď samozrejme pred ním žiadna tvár nie je (DiCarlo 2006).

V kontexte nášho modelu sme sa v ostatných dvoch príkladoch zmienili o experimentoch, ktoré by mohli predstavovať „kauzálny“ účinok úrovne G na M. Do úvodzoviek sme ho dali preto, lebo v striktnom slova zmysle ide o metaforu, nakoľko my chápame možné účinky kauzality len vo fyzikálnom svete, ktorý podlieha fyzikálnym zákonom. Môžeme to teda interpretovať tak, že ide o jav, ktorý nie je formálnym modelom podchytiliteľný. Tento jav znamená, že existujúce vlastnosti na úrovni G (napr. synchronizácia) umožnia vznik vlastností mozgu na úrovni opisu M (uvedomenie si pozorovaného objektu), čo možno podľa nás chápať ako supervenienciu. Podobne by bolo obtiažne hovoriť o mentálnej kauzalite (M→G), pretože tá sa vymyká nášmu modelu. Napriek tomu spomeňme niektoré práce, ktoré nabádajú ku kauzalite zhora nadol.

Existujú experimentálne práce, ktoré poukazujú na to, že stav pozornosti (úroveň M) môže byť akcelerátorom emergentných procesov zdola (L→G). Ako bolo

⁷ Zámerne sa tu vyhýbame slovu „kauzálnych“, aby nevznikla nekonzistentnosť s naším modelom, kde kauzálnosť figuruje len medzi L a G. Tieto účinky na M môžeme chápať ako vznik vlastností M po tom, čo vznikli vlastnosti na úrovni G.

pozorované v experimentoch, stav pozornosti urýchľuje vznik synchronizácie v somatosenzorickej kôre (Steinmetz a spol., 2000) alebo pri vizuálne evokovanej aktivite (Fries a spol., 2001). Podobne, stav očakávania podnetu môže prispieť k synchronizácii v motorickej kôre (Riehle a spol., 1997). Tieto poznatky vieme vysvetliť pomocou nášho modelu tak, že za štartovací moment (stav pozornosti M) zoberieme jemu odpovedajúci korelát na úrovni G, ktorý potom vyústi (prostredníctvom procesu $L \rightarrow G$) v iný stav G (synchronizácia v kôre).

Ďalší zaujímavý poznatok ponúka predikciu o mentálnej kontrole epilepsie. Je známe, že epileptická aktivita spôsobuje zmeny v mentálnych stavoch, no možno kauzalita funguje i opačne. Už Penfield a Jasper (1954) opísali prípad pacienta, u ktorého záchvat v temennom laloku prestal, ak pacient začal riešiť zložitú matematickú úlohu ($G \rightarrow L$). Na podobné prípady vplyvu kognitívnych stavov na aktivitu mozgu poukazuje aj Schmidt-Schobstein (1998), ktorý predpokladá, že takáto intervencia zhora nadol je možná, nakoľko epileptické zóny sú súčasťou rozsiahlej komplexnej siete pokrývajúcej aj iné oblasti mozgu podieľajúce sa na vytváraní mentálnych stavov. Tým, že jednotlivé oblasti sú vo vzájomnej interakcii, zrejme takýto globálny systém môže mať vplyv na oblasť, postihnutú epilepsiou. Tento potenciálny efekt detailnejšie sledovali Lacaux a spol. (1997a,b) a ukázali, že percepčné stavy (vznikajúce v myslí subjektu pri riešení úloh) môžu fungovať ako modulátory aktivity neurónov v epileptickom ohnisku. Konkrétne, autori sledovali časové charakteristiky týchto neurónov (dĺžky intervalov medzi výbojmi) a zistili, že tieto sa vplyvom aktu percepcie menili. Konkrétne, aj keď sa na prvý pohľad epileptické ohnisko prejavovalo pravidelnými osciláciami (s frekvenciou 2 Hz) skrytými v gaussovskom šume, následná analýza dát odhalila deterministický vzorec aktivít. Ten sa vplyvom percepčných stavov menil smerom k tzv. nestabilným periodickým orbitám v rámci dynamického systému, čo autori interpretovali ako prejav kauzality zhora nadol. Tento poznatok vznikol kombináciou experimentálnych dát spojených s ich formálnou analýzou, čo nás vedie k druhej doméne výskumu, z ktorej môžeme hľadať podporu pre našu teóriu, a tou sú výpočtové modely so samoorganizáciou, uvedené v ďalšej časti.

Ešte predtým spomeňme príklad kauzality ($G \rightarrow L$), ktorá je konzistentná s naším naším modelom, a to známy fakt týkajúci sa úrovne biologického neurónu. Kortikálny neurón má rádovo 10.000 synaptických spojení od iných neurónov, z čoho vyplýva, že súhra aktivít presynaptických neurónov určuje, ako bude postsynaptický neurón reagovať. Inými slovami, podľa súčasnej predstavy biologický neurón funguje ako integrátor vstupných signálov, ale súčasne aj ako detektor koincidencií na vstupoch (výraznejšie reaguje na súčasný príchod viacerých impulzov v rámci krátkého časového okna), z čoho vyplýva jeho citlivosť na časové charakteristiky (König a spol., 1996).

3.2 Čo hovoria systémy so samoorganizáciou

Samoorganizácia ako proces determinujúci vznik koherentného správania je fascinujúcim fenoménom, ktorý pôsobí ako protiklad k bežne pozorovaným procesom sprevádzaných s nárastom neporiadku (entropie) v systéme. Jav samoorganizácie je spoločným znakom rôznych typov prírodných systémov (či už fyzikálnych, chemických alebo biologických), no príklady takýchto systémov so samoorganizáciou nájdeme aj v sociálnych vedách (Haken, 1977). Princípy samoorganizácie umožňujú vysvetliť, ako vďaka nelineárnym interakciám medzi elementami (na rôznych škálach) môžu emergovať koherentné vzorce správania až na úrovni celého systému (či už ide o

rezonanciu v nejakom fyzikálnom systéme alebo o zosúladený potlesk obecnstva). Formálna analýza takýchto systémov umožnila zodpovedať viaceré otázky, a to i vďaka počítačovým simuláciám, ktoré sú kvôli nelineárnym vlastnostiam interakcií často jedinou schodnou cestou, lebo teoretická analýza nie je možná. Aj na mozog sa možno pozeráť ako na samoorganizujúci sa systém (von der Malsburg, 2003). Vzniká však otázka, či tento pohľad dokáže uspokojivo vysvetliť po stáročia pertraktovaný vzťah mysle a mozgu. Podľa nášho názoru umožňuje vysvetliť kauzálne vzťahy medzi úrovňami L a G, a to hlavne v smere zdola nahor $L \rightarrow G$ (emergencia). Avšak už Haken (1977) poukázal na to, že “zotročovanie” (enslaving) častí celkom je manifestáciou kauzality zhora nadol, aj keď jej pochopenie je zložitejšie. Tento smer možno ilustrovať na úrovni ľudskej spoločnosti napr. skúsenosťou, že človek má väčšinou tendenciu správať sa podľa davu, či už na ulici alebo v obecnstve podľa potlesku (o zaujímavých príkladoch všadeprítomnej, s tým súvisiacej globálnej koherencie sa možno dočítať v Strogatz, 2003). Dôležitou podmienkou v našom kontexte je to, že prijateľná teória mozgu ako komplexného systému musí uvažovať (predovšetkým) neautonómny režim, t.j. spracovanie vonkajších vstupov (čo v teórii formálnych systémov nie je nutnosťou).⁸

Samoorganizáciu môžeme interpretovať v dvoch rovinách: (1) ako procesy determinujúce kauzálne účinky na úrovni aktivity systému, a (2) ako procesy adaptácie parametrov (plasticity), či už lokálnych (sily prepojení, synáps) alebo globálnych (bude vysvetlené nižšie). Vo výpočtových modeloch môžeme pozorovať účinky samoorganizácie v oboch smeroch, pričom môžeme, na rozdiel od vyššie uvedených poznatkov z kognitívnej neurovedy, priamo hovoriť o kauzálnosti, lebo obe úrovne sú kvalitatívne zhodné (fyzikálne), len predstavujú odlišné škály.

Prejavom samoorganizácie pri modelovaní kauzálneho účinku zdola nahor ($L \rightarrow G$) pomocou impulzných neurónových sietí (t.j. na úrovni biologických neurónov) je vznik synchronizovanej aktivity v modeli s plasticitou synáps. V súčasnosti najviac experimentálne i teoreticky študovanou formou je plasticita založená na časovaní pre- a postsynaptických impulzov (spike-timing dependent plasticity, STDP; pozri napr. prehľad v Abbott a Nelson, 2000), ktorá v modeloch predstavuje hebbovsky založenú adaptáciu (Song a spol., 2000; Legenstein a spol., 2005). Synchronizovanú aktivitu v neurónovej sieti možno pozorovať pri externých štruktúrovaných vstupoch do siete, ale aj pri spontánných šumových vstupoch (Izhikevich, 2003; Gerstner a Kistler, 2002). Aj na abstraktnejšej úrovni – umelých neurónových sietí bolo navrhnutých zopár hebbovsky založených algoritmov adaptácie váh (synáps), ktoré sú považované za prijateľné modely samoorganizácie v mozgovej kôre (pozri referencie vo Phillips a Singer, 1997). Aj keď boli tieto modely odvodené odlišnými spôsobmi, majú spoločnú tú črtu, že zmenu synaptickej plasticity vzťahujú na postsynaptickú aktivitu nemonotónnym spôsobom. Toto umožňuje dynamickú moduláciu neurónu v procese posilňovania, resp. oslabovania jeho synaptických spojení. Obe kategórie model teda ponúkajú mechanizmy samoorganizácie na rôznych úrovniach opisu neurónu z pohľadu diskretného času. Nie sú nezlúčiteľné, možno medzi nimi nájsť vzťah. Napríklad, BCM pravidlo vyplýva z STDP, ak uvažujeme iba účinky časovo najbližších pre- a postsynaptických impulzov (Izhikevich a Desai, 2003).

Čo sa týka kauzality zhora nadol ($G \rightarrow L$), zaujímavé predikcie na úrovni neurónu ponúkajú napr. Salinas a Sejnowski (2001) v súvislosti s poznatkom o vplyve

⁸ Vychádzame z toho, že bdely mozog dokáže fungovať i v stave úplnej senzorickej deprivácie, ale len pomerne krátky čas.

presynaptických korelácií na správanie neurónu. Výsledky ich modelovania ukazujú, že kľúčom pre zvýšenie temporálneho rozlíšenia v impulznom neuróne je jeho „vyváženosť“, t.j. správny pomer vstupnej excitácie a inhibície. Vyvážený neurón je schopný reagovať aj na impulzné podnety, ktoré sa prejavujú na časovej škále oveľa kratšej než je membránová časová konštanta neurónu (ktorá určuje rýchlosť zmeny membránového napätia neurónu). Inými slovami, vyvážený neurón je oveľa citlivejší na korelácie na vstupoch než nevyvážený neurón, pretože tie ovplyvňujú fluktuácie sumárneho synaptického vstupu, ktorý vybudí neurón k odozve. Autori uvádzajú, že modelovanie vyváženého stavu neurónu bolo vecou nájdania vhodných parametrov. Zaujímavé by preto bolo zistiť, ako by sa také parametre dali nájsť adaptívne, pomocou mechanizmov samoorganizácie.

3.3 Dynamika kortikálnej koordinácie

Zaujímavé vysvetlenie kauzality zhora nadol na úrovni globálnych aktivít (G) vo formálnom systéme ponúka Kelso (1995) pomocou formalizmu nelineárnych dynamických systémov. Na základe experimentálne verifikovaného teoretického modelu navrhol *teóriu dynamiky kortikálnej koordinácie* ako integrujúceho rámca kognitívnych funkcií. Táto teória postuluje existenciu dvoch kľúčových typov premenných: Jedným sú tzv. *kolektívne premenné*, ktoré globálne špecifikujú vzťahy medzi interagujúcimi zložkami dynamického systému, a usmerňujú ich správanie. Druhým typom sú *riadiace parametre*, ktoré indukujú (fázové) prechody medzi stabilnými stavmi sprevádzané kvalitatívnymi zmenami v správaní systému, a sú tak hybnou silou pre dynamiku vzniku usporiadaných stavov. Smer pôsobenia celku na jeho časti má kvalitatívne odlišný charakter než emergentné prejavy zdola nahor, ktoré spätne pôsobia na celok, a tým aj na tieto premenné (recipročná kauzalita). Identifikácia kolektívnych premenných a riadiacich parametrov v neurálnom systéme je zatiaľ ťažkým orieškom, no v prípade jednoduchých systémov Kelso ponúka vysvetlenie. Napríklad, v experimente s obojručnou koordináciou (pohybujúcich sa ukazovákov ruky subjektu) úlohu kolektívnej premennej spĺňa relatívna fáza medzi oboma prstami, a frekvencia pohybu prstov je riadiacim parametrom (Kelso, 1984). Bolo ukázané, že pre nejaký rozsah frekvencií existujú dve stabilné riešenia (kmitanie prstov vo fáze a v protifáze). Pri náraste frekvencie sa stáva protifáza nestabilnou a nastáva prechod k sfázovanej konfigurácii (zaujímavé je, že opačný prechod nenastáva pri spätnom poklese frekvencie). Napriek tomu, že uvedený experiment je z pohľadu myseľ-mozog triviálny, Bressler a Kelso (2001) argumentujú, že kolektívne premenné (napr. relatívna fáza) môžu figurovať aj pri mentálnych procesoch. Podľa teórie dynamiky koordinácie mozog pracuje v metastabilnom dynamickom režime, prechádzajúc permanentne z jedného stabilného režimu do druhého.

Vyššie spomínaný súhrn poznatkov o samoorganizácii predstavuje tehličky do našej neurovýpočtovej mozaiky o tom, ako náš mozog a myseľ asi fungujú. Spomínaná dynamika koordinácie je pozoruhodným kandidátom na vysvetlenie fungovania kortikálnej aktivity na systémovej úrovni. Na neurálnej úrovni zase pomocou modelov s impulznými neurónmi vieme vysvetliť vznik koherentných vzorcov aktivít. Tieto modely síce zahŕňajú aj aspekt plasticity lokálnych parametrov (synaptických spojení, podľa teórie STDP), no dôležitým krokom by bolo, keby dokázali vysvetliť aj samoorganizáciu globálnych parametrov (ktoré však najprv treba identifikovať). Podľa neurovýpočtového pohľadu, je cieľom mozgu ako komplexného systému zrejme jeho maximálna efektívnosť pri reprezentovaní a spracovaní informácie, čo považujeme za

konzistentné s požiadavkou na vyváženosť medzi špecializáciou a integráciou jednotlivých centier pri spracovaní informácie v mozgu (Tononi a spol., 1994). Veľmi zaujímavé poznatky ponúkajú nové práce o mozgovej kôre ako o komplexnom systéme s vlastnosťami „malého sveta“, ktorý umožňuje veľmi efektívny prenos informácie v rámci systému (pozri prehľad v Sporns a Zwi, 2004). Druhou nedávno objavenou charakteristikou mozgu ako komplexného systému je tzv. bezškálová organizácia (Eguíluz a spol., 2005). Pohľad na mozog ako na komplexný systém so samoorganizovanou dynamikou sa venuje i Burian (2006).

4 Miesto mentálnej úrovne v modeli

Spomínaný model kladie veľký dôraz na úrovne L a G, a to preto, že len tie sú hybnou silou recipročnej kauzality v mozgu. Znamená to, že za kauzálne účinky považujeme len účinky v rámci prírodných zákonov, jej ostatné prejavy (napr. v makroekonómike) chápeme ako užitočnú metaforu. Za dôležitý však považujeme fakt, že náš formalizmus dáva priestor aj pre „mentálnu“ kauzalitu (t.j. zhora nadol), aj keď na formálnej úrovni sme zatiaľ nedali uspokojivú odpoveď ako k nej dochádza. Podotýkame, že aj mimo rámca formálnych modelov predstavuje mentálna kauzalita zložitý filozofický a vedecký problém (Robb a Heil, 2003). Odhliadnuc od toho vzniká otázka, akú úlohu hrá úroveň opisu M v našom modeli, ak nemá žiadnu kauzálnu silu. Význam úrovne M vidíme v dvoch rovinách.

Po prvé, M predstavuje nevyhnutnú (a tým aj neredukovateľnú) úroveň opisu pre kompletnejšie pochopenie činnosti mozgu. Na to, aby subjekt pochopil mentálne stavy iného subjektu, je nutné skombinovať ontológiu tretej osoby (úroveň G) s ontológiou prvej osoby (M), pričom tu možno uplatniť niečo ako princíp analógie.⁹ Týmto je podľa naša pozícia konzistentná s pozíciou neredukcionistického fyzikalizmu. Človeku, ktorý je od narodenia slepý, nemožno vysvetliť, čo je červená farba. Riešením (v budúcnosti) však môže byť vyvolanie tohto zážitku správnu stimuláciou jeho mozgovej kôry (podobne ako v experimente s tvármi, a za predpokladu, že subjekt má funkčnú vizuálnu kôru).

Po druhé, mentálna úroveň opisu mentálnych stavov je prístupná bežnému jazyku a jediná umožňuje efektívnu verbálnu komunikáciu medzi subjektami. Subjekt vlastne ani nemá na výber, pretože úroveň G mu je neprístupná. Súčasne tým umožňuje subjektu figurovať v kontexte populácie, ktorú môžeme chápať ako vyššiu úroveň organizácie s možnými komplexnými prejavmi kolektívneho správania. Aj keby sme v budúcnosti našli presné neurálne koreláty všetkých mentálnych stavov (t.j. že by sme dokázali čítať myseľ), ich opis by bol kvôli ich zložitosti asi prakticky nepoužiteľný.

Náš pohľad môžeme dať aj do súvisu so známymi výpočtovými teóriami *vedomia*. V našom príspevku sme síce zámerne nešpecifikovali, či pod mentálnymi stavmi máme na mysli len vedomé alebo aj nevedomé stavy, ale toto rozlíšenie v kontexte recipročnej kauzality nepovažujeme za podstatné. Atkinson a spol. (2000) prezentovali taxonómiu

⁹ Ja ako subjekt viem porozumieť činnosti mozgu iného subjektu práve preto, že sme z „rovnakého cesta“, aj keď zrejme môžu existovať „reziduálne“ rozdiely v detailoch fenomenálnosti mentálnych stavov (kvôli jedinečnosti osobnej skúsenosti, napr. s vnímaním červenej farby). Týmto súčasne dostávame negatívnu odpoveď na Nagelovu otázku: „Aké je to byť netopierom?“ Nevieme, a ani to nemáme ako zistiť.

výpočtových teórií vedomia podľa dvoch dimenzií.¹⁰ Jednou bola tá, či vedomie skôr závisí od špecifických procesov alebo od (neurálnych) reprezentácií so špecifickými vlastnosťami. Druhou dimenziou bola tá, či vedomie je lokalizovateľné v mozgu, alebo či jeho koreláty sú široko distribuované. V rámci tejto taxonómie sa ohľadne prvej dimenzie skôr prikláňame k názoru, že vedomie je špecifickým procesom, avšak ten sa nedá oddeliť od reprezentácií, na ktorých proces operuje (na rozdiel napr. od počítača). To považujeme za konzistentné s požiadavkou ukotvenia neurálnych reprezentácií (Ziemke, 2003). Z pohľadu druhej dimenzie je naše zaradenie jednoznačnejšie, a to smerom k distribuovanosti neurálnych korelátov vedomia.

5 Implikácie a záver

V prezentovanom modeli chápeme problém vzťahu myseľ-mozog ako problém týkajúci sa komplexného (deterministického) systému so samoorganizáciou, kde neurálne udalosti ovplyvňujú mentálne udalosti a naopak. Touto reciprocitou sa tento prístup odlišuje od „klasických“ fyzikalistických prístupov, ktoré zahŕňajú len neurobiologický prístup zdola nahor (napr. Crick, 1997). Obojsmerná kauzalita dáva priestor aj na zásah mentálnych stavov do diania v našom mozgu, ako sme ukázali v predchádzajúcej časti, aj keď kauzálne procesy sa dejú vnútri fyzikálneho sveta.

Jednou z implikácií takéhoto deterministického pohľadu je to, že slobodná vôľa asi predstavuje ilúziu, pretože každý úkon (či už vplyvom zdola alebo zhora) musí byť kauzálne podmienený, a to v rámci fyzikálneho systému. Ilúziu slobodnej vôle chápeme v tom zmysle, že samozrejme *subjekt* je strojcom svojho správania, avšak v rámci neho je to mozog, ktorý riadi činnosť, a vedomie je len „informované“ o dianí.¹¹ Aj keď takáto hypotéza nie je zrejme veľmi lákavá, v jej prospech existuje viacero experimentálnych poznatkov. Libet (1985) síce vo svojich experimentoch, kde ukazuje, že aktivita mozgu predchádza vedomým stavom pri vôľou riadených úkonoch, necháva priestor aj pre zásah slobodnej vôle (a to v podobe vetovacieho mechanizmu, ktorým myseľ zablokuje aktivitu iniciovanú mozgom), avšak viaceré experimenty poukazujú na to, že pocit slobodnej vôle môže byť *iluzórny* (pozri prehľad vo Wegner, 2003) v tom zmysle, že len úroveň G a externé vstupy určujú správanie subjektu.¹² Táto iluzórnosť môže byť aj dôsledkom nemožnosti našej snahy úplne pochopiť samých seba. V teórii formálnych systémov Gödel (1931) dokázal tvrdenie, že žiaden formálny systém nemôže byť kompletný, t.j. že by sa v ňom dali dokázať všetky pravdivé výroky. Ak je mozog možné opísať ako formálny systém, na ktorý Gödelove závery vzťahujú, tak podľa tejto logiky mozog nedokáže sám seba úplne obsiahnuť (pochopiť), a preto niektorým jeho prejavom nemôžeme principiálne porozumieť alebo budeme mať o nich nejaké ilúzie (Churchland a Churchland, 1999).

Táto hypotéza sa môže týkať aj snahy pochopiť zložitejšie aspekty vzťahu mysle a mozgu, ako je napr. fenomenologická povaha mentálnych stavov, vedomia, čo Chalmers (1986) definoval ako „ťažké“ problémy. Tie vyvolávajú otázku, *prečo* činnosť fyzikálneho systému môže byť spojená so subjektívnym zážitkom, čo implikuje

¹⁰ V kontexte spomínaných neurovýpočtových teórií nie je prekvapením návrh, že by sme mali hľadať nielen neurálne koreláty vedomia, ale aj výpočtové koreláty vedomia, a hľadať medzi nimi vzťah (Cleeremans, 2005).

¹¹ Máme pri tom na pamäti, že len zlomok procesov prebiehajúcich v mozgu sa dostáva na úroveň vedomia.

¹² Ak pre daný stav v G existuje odpovedajúci stav na úrovni M, vtedy zrejme máme pocit, že sme sa vedome rozhodli.

tzv. explanačnú medzeru medzi funkciou a zážitkom. Mechanistické prístupy (nevynímajúc ten nami prezentovaný) môžu jedine pracovať s postulátom, že fenomenálne javy sú podtriedou vlastností (alebo javmi superveniencie) fyzikálnych systémov (na úrovni G) od istej úrovne komplexnosti. Koho takáto odpoveď neuspokojuje, musí počkať na objavenie nových paradigiem a metód skúmania mysle dúfajúc, že tie mu poskytnú uspokojivejšie odpovede.

PodĎakovanie: Tento príspevok vznikol s podporou grantovej agentúry VEGA v rámci projektov 1/2045/05 a 1/3612/06. Autor ďakuje Deziderovi Kamhalovi za cenné pripomienky.

Literatúra

- [1] Abbott L.F., Nelson S.B.: Synaptic plasticity: Taming the beast. *Nature* 3 (2000) 1178-1183.
- [2] Atkinson A., Thomas S., Cleeremans A.: Consciousness: mapping the theoretical landscape. *Trends in Cognitive Sciences* 4 (2000) 372-382.
- [3] Block N.: Troubles with functionalism. V knihe *Readings in the Philosophy of Psychology*, Block N. (ed.), Cambridge, MA: Harvard University Press, 1980.
- [4] Haugeland J.: Artificial Intelligence. *Behavioral and Brain Sciences* 3 (1980) 219-224.
- [5] Bell A.: Levels and loops: The future of artificial intelligence and neuroscience. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B* 354 (1999) 2013-2020.
- [6] Beňušková E.: Kognitívna neuroveda. V knihe *Kognitívne vedy* (Rybár J., Beňušková E., Kvasnička V., eds.), Kalligram, Bratislava, 2002: 47-104.
- [7] Bressler S., Kelso J.: Cortical coordination dynamics and cognition. *Trends in Cognitive Sciences* 5 (2001) 26-36.
- [8] Chalmers D.J.: Facing up to the problem of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 2 (1995) 200-19.
- [9] Chrisley R., Ziemke, T.: Embodiment. *Encyclopedia of Cognitive Science*. Macmillan Publishers (2000) 1102-1108.
- [10] Churchland P.M., Churchland P.S.: *On the Contrary*. MIT Press, Cambridge 1999.
- [11] Cleeremans A.: Computational correlates of consciousness. *Progress in Brain Research* 150 (2005) 81-98.
- [12] Crick F. *Věda hledá duši (Překvapivá domněnka)*. Mladá Fronta 1997.
- [13] Damasio A.: Synchronous activation in multiple cortical regions: a mechanism for recall. *Seminars in Neuroscience* 2 (1990) 287-297.
- [14] Davidson D.: *Mental Events*. Reprinted in *Essays on Actions and Events*. Oxford: Clarendon Press 1970.
- [15] Dennett D.: *Consciousness explained*. Little, Brown 1991.
- [16] Descartes R. *Meditations on First Philosophy*. Preklad: Lafleur L.J. NY: MacMillan 1985.
- [17] DiCarlo, J.J.: Making faces in the brain. *Nature Neuroscience* 442 (2006) str. 664.
- [18] Eguíluz V.M. a spol.: Scale-free brain functional networks. *Physical Review Letters* 94 (2005) 018102.
- [19] Engel A.K., Singer W.: Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness. *Trends in Cognitive Science* 5 (2001) 16-25.
- [20] Farkaš I.: Recipročná kauzalita medzi myslou a mozgom z neurovednej perspektívy. *Kognice a umělý život V, Smolenice* (2005) 117-124.
- [21] Farkaš I.: Samoorganizácia ako hybná sila dynamických vzorcov aktivity v mozgu a mysli. V zborníku *Kognice a umělý život VI, Trešť* (2005) 143-148.
- [22] Fell J. a spol.: Human memory formation is accompanied by rhinal-hippocampal coupling and decoupling. *Nature Neuroscience* 4 (2001) 1259-1264.

- [23] Frith C., Perry R., Lumer E.: The neural correlates of conscious experience: an experimental framework. *Trends in Cognitive Sciences* 3 (1999) 105-114.
- [24] Fries P., Reynolds J.H., Rorie A.E., Desimone R.: Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention. *Science* 291 (2001) 1560-1563.
- [25] Fuchs A. a spol.: Spatiotemporal analysis of neuro-magnetic events underlying the emergence of coordinative instabilities. *Neuroimage* 12 (2000) 71-84.
- [26] Gerstner W., Kistler W.M.: *Spiking Neuron Models: Single Neurons, Populations, Plasticity*. Cambridge University Press, 2002.
- [27] Gödel K.: Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme, I. *Monatshefte für Mathematik und Physik* 38 (1931) 173-98.
- [28] Goldstein J.: Emergence as a construct: History and issues. *Emergence: Complexity and Organization*, 1 (1999) 49-72.
- [29] Gray C.M. a spol.: Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties. *Nature* 338 (1989) 334-337.
- [30] Grossberg S.: The link between brain learning, attention and consciousness. *Consciousness and Cognition* 8, 1-44.
- [31] Haken H.: *Synergetics*. Springer Verlag, 1977.
- [32] Hung C.P., Kreiman G.K., Poggio T. a DiCarlo J.J. Fast readout of object identity from macaque inferior temporal cortex. *Science* 310 (2005) 863-866.
- [33] Izhikevich E.M. a Desai N.S.: Relating STDP to BCM. *Neural Computation* 15 (2003) 1511-1523.
- [34] Izhikevich E.M.: Spike-timing dynamics of neuronal groups. *Cerebral Cortex* 14 (2004) 933-944.
- [35] Kelso J.: Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *American Journal of Physiology* 15 (1984) 1000-1004.
- [36] Kelso J.: *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior*. MIT Press, 1995.
- [37] Kendler K.S.: A psychiatric dialogue on the mind-body problem. *American Journal of Psychiatry* 158 (2001) 989-1000.
- [38] Kim J.: Problems in the philosophy of mind. V kniže Honderich, T. (ed.): *Oxford Companion to Philosophy*. Oxford: Oxford University Press 1995a.
- [39] Kim J.: Review: Mental causation in Searle's biological naturalism. *Philosophy and phenomenological research*, 55 (1995b) 189-194.
- [40] Kim J.: *Mind in a Physical World: An Essay on the Mind-Body Problem and Mental Causation*. Cambridge MA: MIT Press 1998.
- [41] König P., Engel A.K., Singer W.: Integrator or coincidence detector? The role of the cortical neuron revisited. *Trends in Neurosciences* 19 (1996) 130-137.
- [42] Lachaux J-P. a spol.: Measuring phase synchrony in brain signals. *Human Brain Mapping* 8 (1999) 194-208.
- [43] Le Van Quyen M. a spol.: Temporal patterns in human epileptic activity are modulated by perceptual discriminations. *Neuroreport* 8 (1997a) 1703-1710.
- [44] Le Van Quyen M. a spol.: Unstable periodic orbits in human epileptic activity. *Physical Review E* 56 (1997b) 3401-3411.
- [45] Legenstein R., Naeger C. a Maass W.: What can a neuron learn with spike-timing synaptic plasticity? *Neural Computation* 17 (2005) 2337-2382.
- [46] Libet B.: Unconscious cerebral initiative and the role of conscious will in voluntary action. *Behavioral & Brain Sciences* 8 (1985) 529-566.
- [47] Maxwell N. The mind-body problem and explanatory dualism. *Philosophy* 75 (2000) 49-71.
- [48] Penfield W., Jasper H.: *Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain*. Little, Brown & Co., 1954.
- [49] Phillips W., Singer W.: In search of common foundations for cortical computation. *Behavioral and Brain Sciences* 20 (1997) 657-722.

- [50] Popper C., Eccles, J.C.: *The Self and Its Brain: An Argument for Interactionism*. Routledge, 1984.
- [51] Riehle A. A spol.: Spike Synchronization and rate modulation differentially involved in motor cortical function. *Science* 278 (1997) 1950-1953.
- [52] Robb D., Heil J.: Mental causation. *Stanford Encyclopedia of Philosophy* 2003 <http://plato.stanford.edu>.
- [53] Rodriguez E. a spol.: Perception's shadow: long-distance synchronization of human brain activity. *Nature* 397 (1999) 430-433.
- [54] Roelfsema P. a spol.: Visuomotor integration is associated with zero time-lag synchronization among cortical areas. *Nature* 385 (1997) 157-161.
- [55] Salinas E., Sejnowski T.: Impact of correlated synaptic input on output firing rate and variability in simple neuronal models. *Journal of Neuroscience* 15 (2000) 6193-6209.
- [56] Schmid-Schonbein C.: Improvement of seizure control by psychological methods in patients with intractable epilepsies. *Seizure* 7 (1998) 261-270.
- [57] Searle J.R.: Minds, brains and programs. *Behavioral and Brain Sciences* 3 (1980) 417-457.
- [58] Searle J.R.: *The Rediscovery of the Mind*. MIT Press 1992.
- [59] Song S., Miller K., Abbott L.: Competitive hebbian learning through spike-timing-dependent synaptic plasticity. *Nature Neuroscience* 3 (2000) 919-926.
- [60] Sporns O., Zwi J.D.: The small world of the cerebral cortex. *Neuroinformatics* 2 (2004) 145-162.
- [61] Steinmetz P. Ea spol.: Attention modulates synchronized neuronal firing in primate somatosensory cortex. *Science* 404 (2000) 187-190.
- [62] Stoljar D. *Physicalism*. Stanford Encyclopedia of Philosophy. Stanford University 2001.
- [63] Stopfer M. a spol.: Impaired odour discrimination on desynchronization of odour-encoding neural assemblies. *Nature* 390 (1997) 70-74.
- [64] Strogatz S. *Sync: The Emerging Science of Spontaneous Order*. NY: Hyperion Books 2003.
- [65] Tononi G., Edelman G.: Consciousness and complexity. *Science* 282 (1998) 1846-1851.
- [66] Tononi G., Sporns O., Edelman G.: A measure for brain complexity: relating functional segregation and integration in the nervous system. *Proceedings of the National Academy of Science* 91 (1994) 5033-5037.
- [67] Varela F. a spol.: The brainweb: phase synchronization and large-scale integration. *Nature Reviews Neuroscience* 2 (2001) 229-39.
- [68] Varela F., Thompson E., Rosch E.: *The Embodied Mind*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- [69] Vaas R.: Problems of mental causation - Whether and how it can exist: A review of J. Kim's *Mind in a Physical World*, *Psyche* 8 2002. <http://psyche.cs.monash.edu.au/v8/psyche-8-04-vaas.html>
- [70] Von der Malsburg C.: Self-organization and the brain. In: *Handbook of Brain Theory and Neural Networks* (M. Arbib, ed.), MIT Press (2003), 2. vydanie, 1002-1005.
- [71] Wegner D.M.: *The Illusion of Conscious Will*. MIT Press 2003.
- [72] Ziemke T.: What's that thing called embodiment? *Proceedings of the 25th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. Lawrence Erlbaum, 2003.
- [73] <http://en.wikipedia.org/wiki/Causality>