

Evaluacija postkognitivističke kritike kompjutersko-reprezentacijskog shvaćanja uma: teorija dinamičkih sustava u kognitivnoj znanosti

NEBOJŠA MUDRI

Klinika za unutarnje bolesti, Klinički bolnički centar Osijek, Ulica Josipa Huttlera 4,
31000 Osijek, Hrvatska
mudri.nebojsa@kbco.hr

PAVLE VALERJEV

Odjel za psihologiju, Sveučilište u Zadru, Šime Vitasovića 1, 23000 Zadar, Hrvatska
valerjev@unizd.hr

PREGLEDNI ČLANAK – PRIMLJEN 22. 6. 2025. PRIHVACEN 18. 1. 2026.

SAŽETAK: Rad istražuje odnos između dinamičkog pristupa i kompjutersko-reprezentacijskih modela u kognitivnoj znanosti. Dinamička hipoteza polazi od shvaćanja kognicije kao procesa koji proizlazi iz koordinacije mozga, tijela i okoline u realnom vremenu, oslanjajući se na teoriju dinamičkih sustava za objašnjenje samoorganizirajućih obrazaca ponašanja. Za razliku od klasičnog kognitivizma i konekcionizma, koji su kognitivne procese objašnjavali kao manipulaciju diskretnih simbola putem unaprijed definiranih algoritama, odnosno kao propagaciju signala neuronskim mrežama prema algoritmima modifikacije parametara koji određuju snagu poveznica među neuronskim jedinicama, dinamicizam naglašava stalnu prilagodbu i interaktivnost u nelinearnim i kaotičnim sustavima. Unatoč nekim prednostima dinamičkog pristupa u objašnjenju složenih i adaptivnih obrazaca ponašanja, javljaju se i brojne kritike zbog moguće redukcionističke naravi ovog modela, osobito u zanemarivanju viših razina analize kognicije, poput anticipacije i planiranja te zbog nediferenciranja u opisu inteligentnog ponašanja. Komplementarni pristupi pokušavaju pomiriti te dvije perspektive, dajući prijedloge kako kognitivni sustavi mogu biti i utjelovljeni i simbolički, čime se omogućuje objašnjenje kako fleksibilnog ponašanja, tako i složenijih oblika kognicije. U konačnici, postkognitivistički kritički pristupi trebali bi služiti kao poticaj za uklanjanje umjetnih granica između različitih disciplina, otvarajući prostor za integraciju dinamičkih i kompjutersko-reprezentacijskih teorija u jedinstven okvir koji bi omogućio cjelovito razumijevanje kognicije kao procesa koji se odvija unutar biološkog i društvenog konteksta.

KLJUČNE RIJEČI: filozofija uma, kognitivna psihologija, kognitivna znanost, kompjutersko-reprezentacijski model uma, postkognitivizam, teorija dinamičkih sustava

1. Uvod

Pojam postkognitivizam¹ odnosi se na nekoliko teorijskih pristupa u kognitivnoj znanosti koji se po nekim svojim postavkama suprotstavljaju ili nadilaze klasične kognitivističke teorije uma. Termin “postkognitivizam” (Villalobos i Dewhurst 2017; Gomila i Calvo 2008; Heras-Escribano 2021) formiran je po uzoru na “postmodernizam” te, kao i slični “post-smjerovi” mišljenja (poststrukturalizam, postmaterijalizam, postkolonijalna književnost itd.), ističe diskontinuitet s teorijskim naslijeđem prethodnika. Kognitivizam obuhvaća simbolizam, koji um objašnjava u terminima simboličke obrade informacija i kompjutacije nad mentalnim reprezentacijama (Newell i Simon 1972; Fodor 1975) te konekcionizam, koji izvršavanje kognitivnih zadataka razumije kao mapiranje ulaznih u izlazne podatke propagacijom signala među skrivenim slojem neurona koji se usporedno aktiviraju ili inhibiraju prema algoritmima prilagodbe snage njihovih poveznica (Smolensky 1991; McClelland et al. 2010). Postkognitivizam kritički preispituje ta načela, ali ostaje otvoreno pitanje može li se koncepcija uma koja uključuje dinamicizam, enaktivizam, situiranu robotiku, fenomenološku filozofiju i ekološku psihologiju integrirati sa simboličkim i konekcionističkim, kompjutacijsko-reprezentacijskim eksplikacijama uma u koherentni znanstveni okvir kognitivne znanosti (Chemero 2009). Držimo da je tako nešto moguće, ali cijena dijaloga i suradnje je proširenje shvaćanja mentalnih reprezentacija, kao samo parcijalno upotrebljivog okvira za *potpuno* objašnjenje kognitivnih funkcija prirodnih organizama, uz prihvaćanje i drugih oblika *biološke* kompjutacije, koja nije samo formalna manipulacija lokaliziranih i diskretnih simbola.

Kognicija je sposobnost snalaženja živih bića u svijetu (Newell 1990), za što je potrebno fleksibilno, prilagodljivo ponašanje u promjenljivoj i složenoj okolini usmjereno na ciljeve, djelovanje u realnom vremenu, prepoznavanje i korištenje simbola, komuniciranje i suradnja s drugim jedinkama, učenje iz iskustva, stjecanje i usavršavanje sposobnosti tijekom razvoja, autonomno ponašanje, osjećaj sebe te ostvarivost kognitivnih procesa u neuronskom sustavu (Thagard 2005). Pored toga, kognicija je oblikovana evolucijskom, embriološkom i kulturnom povijesti organizma (Clark 1997). Interakcija kognitivnog agenta s prirodnom, društvenom i kulturnom okolinom rezultira novim, a uvjetovana je prethodnim znanjem i vještinama. Drugim

¹ Zbog homonimske sličnosti, pojam “postkognitivizam” može izazvati konfuziju. Postkognitivizam ne upućuje na parapsihološki pojam “postkognicije” (retrokognicije), za koji rječnik Američke psihološke udruge navodi da ima značenje doživljaja prošlih događaja kao da se odvijaju u sadašnjosti, odnosno detaljnog znanja o prošlim događajima koje ne može biti verificirano.

riječima, funkcioniranje organizama u svijetu podrazumijeva tumačenje okolnih zbivanja te reaktivne i spontane načine ponašanja, primjenjive potom u novonastalim situacijama (Thompson 2007). Kognitivnu znanost stoga primarno zanima pojava, dinamika, struktura i funkcioniranje percepcije, pamćenja, rasuđivanja, imaginacije, svijesti, emocija, odlučivanja i planiranja kod čovjeka i drugih živih bića pa je utoliko potrebno povezati empirijske i teorijske nalaze svih znanstvenih disciplina izravno ili posredno uključenih u istraživanje uma. Taj projekt izbjegava redukcionizam svake vrste pa iako u ovom trenutku važnu riječ ima neuroznanost, koja eksperimentalnim metodama i tehnikama oslikavanja pokušava opisati vezu između anatomskih područja i fizioloških procesa u mozgu te adaptivnog ponašanja organizma u okolini, u istraživanju mišljenja potrebna je suradnja u opsegu što ga ne iscrpljuje nikakav pomodni zahtjev za interdisciplinarnošću i koja uključuje više od klasičnih šest sastavnica (psihologija, neuroznanost, filozofija, računalna znanost, antropologija i lingvistika) tradicionalno navedenih u kontekstu kognitivne znanosti (Miller 2003). Na primjeru dinamicizma, s kojim započinjemo ovu raspravu o postkognitivističkim (ali, kako ćemo vidjeti, ne i postkognitivnim) pristupima, postat će jasno na što upućujemo ovim tvrdnjama.

2. Nastanak dinamičke hipoteze u kognitivnoj znanosti

U osnovi klasičnog kognitivizma je kompjutacijska (računalna) teorija uma. Prema tom gledištu, kognicija se može izjednačiti s kompjutacijom (Pylyshyn 1984), a kompjutacija se najopćenitije definira kao manipulacija formalnih simbola. Proces kompjutacije upravlja nastankom, obradom, transformiranjem, pohranom i prizivanjem mentalnih reprezentacija (Newell 1980; Haugeland 1985). Mentalna reprezentacija označava unutarnje stanje u kognitivnom sustavu (npr. u ljudskom mozgu ili umu) koje predstavlja neki aspekt vanjskog svijeta, unutarnjih stanja ili odnosa među njima. Mentalne reprezentacije omogućavaju organizmu da u odsustvu neposrednog podražaja zadrži, manipulira ili transformira informaciju o stvarima, događajima, idejama ili konceptima. One su ključne za procese kao što su percepcija, mišljenje, zaključivanje, pamćenje i jezične sposobnosti. Mentalne reprezentacije su, pored kompjutacije, druga osnovica kognitivizma. Sama definicija kognicije sadrži i "simbole" koji su oznaka za pojam, ideju, reprezentaciju koja je nositelj informacije o nečemu drugome i time sadrži tranzitivno svojstvo referentnosti (Fodor 1975). "Formalno" se u definiciji kompjutacije odnosi na oblik, formu i sintaksu koja je nezavisna od semantičkih svojstava. Formalnost opisuje način kodiranja i obrade simbola. "Manipulacija" se odnosi na aktivni, utjelovljeni proces koji se događa u fizičkom

sustavu (npr. mozgu). Važno je odmah prepoznati da kompjutacija može imati različite izvedbe i da se ne mora poistovjećivati s digitalnim računalima koja obradu informacija vrše digitalnom, serijskom kompjutacijom, u određenoj mjeri otuđenom od okoline (Churchland 1989). Moguće je da je takvo suženo shvaćanje kompjutacije u podlozi dijela otpora prema ideji kognitivizma, posebice od strane neuroznanstvenika (Edelman 2006) koji naglašavaju da je signaliziranje među neuronskim krugovima paralelno, u određenoj mjeri individualno i varijabilno u mozgu svake jedinice, dvosmjerno i redundantno, a organizam ne prima pasivno ulazne signale nego ih u stalnoj interakciji s okolinom selektira i evaluira prema vlastitim potrebama, stvarajući obrasce ponašanja koji nisu unaprijed programirani. Mozak se, dakle, uvelike razlikuje od digitalnog računala koji vrši svoje operacije prema logičkim i aritmetičkim pravilima u sekvencama koje određuje središnja procesorska jedinica. Međutim, kompjutaciju bi trebalo shvatiti kao nadređeni pojam koji uključuje i serijsko i paralelno procesiranje, i diskretne i kontinuirane zapise te digitalnu i analognu obradu informacija.

Unutar kognitivizma ističu se dva glavna pristupa: simbolizam i konekcionizam. Simboličke arhitekture opisuju kogniciju kroz serijsko procesiranje simbola i jasno razgraničene module koji eksplicitno manipuliraju simbolima koji predstavljaju informacije i znanje (Newell 1980). Nasuprot tome, konekcionističke arhitekture temelje se na neuronskim mrežama u kojima je paralelna obrada oblikovana jačinom veza među čvorovima,² a informacije i znanje implicitno su sadržani u obrascima aktivacije (Rumelhart et al. 1986). Znanje u konekcionističkim sustavima nije eksplicitno formulirano niti pohranjeno kao deklarativna činjenica u određenim jedinicama sustava. Umjesto toga, ono je implicitno utjelovljeno u samoj strukturi mreže koja izvršava zadaću, a stječe se postupnim ugađanjem jačine poveznica među jedinicama uključenim u procesiranje (Rumelhart 1998). Prema konekcionističkom pristupu, reprezentacije nisu lokalizirane u pojedinačnoj jedinici koja bi, primjerice, predstavljala pojam, propoziciju ili mentalnu

² Za ono što zastupnici teorije paralelnog distribuiranog procesiranja nazivaju "čvorovi" postoji više naziva koji ovise o kontekstu uporabe. "Umjetni neuron" je standardni termin koji najčešće nalazimo u literaturi o umjetnim neuronskim mrežama (ANN), a jasno naglašava analogiju s biološkim živčanim stanicama. Koristi se u većini udžbenika iz strojnog učenja i računalne inteligencije. "Čvor" (engl. *node*) je univerzalan, ali manje specifičan termin, a koristi se u opisu grafova, mrežnih struktura pa i neuronskih mreža. Neutralan je, tehnički pojam, ali ne daje informaciju da čvor funkcionira poput neurona. Koristi se pri opisu mreže kao apstraktne strukture (npr. u dinamičkim sustavima, mrežnoj analizi), koja nije nužno model mozga. Konačno, "jedinica procesiranja" (engl. *processing unit*) didaktički je jasna sintagma, ali u rjeđoj upotrebi. Naglašava funkciju (obradu), a ne analogiju s neuronima. Koristi se kada se želi izbjeći biološke metafore, a istaknuti da je riječ o apstraktnim računalnim elementima.

sliku. One su distribuirane kroz mrežu međusobno povezanih jedinica koje posjeduju određena mikrosvojstva, ali funkcionalno djeluju kao čvorišta čije značenje nastaje tek širenjem aktivacije ili inhibicije od ulaznih, preko skrivenih, do izlaznih umjetnih neurona. Tek ta dinamička konfiguracija može poprimiti status smislenog entiteta, nositelja značenja ili referencije, odnosno reprezentacije. Umjetni neuroni primaju ulazne signale, izračunavaju izlaznu vrijednost i prosljeđuju je jedinicama u sljedećem sloju. Jačina njihovih međusobnih poveznica nije fiksirana; ona se mijenja kako sustav evoluirao i “uči iz iskustva”, prilagođavajući svoje parametre zahtjevima zadatka.

Sve do 1990-ih simbolički i konekcionistački pristupi predstavljali su dva dominantna, u mnogočemu različita, ali ipak relativno kompatibilna okvira unutar kognitivne znanosti (čemu svjedoče i hibridne arhitekture, primjerice ACT-R [Anderson et al. 2004] i CLARION [Sun 2015]), čija je zajednička osnova bila kompjutacijsko-reprezentacijsko shvaćanje uma, bilo da se radi o lokalnim ili distribuiranim reprezentacijama, algoritamskoj ili implementacijskoj razini opisa, manipulaciji simbola prema zadanim pravilima ili aktivaciji subsimboličkih neuronskih jedinica sve do stabilizacije izlaznog signala (Bechtel i Abrahamsen 2002).³ S vremenom se, međutim, razvijao i nov pristup – dinamicizam – koji inteligentno ponašanje ne svodi na sekvencijalni poredak u “kognitivnom sendviču” (što ga čini pretvaranje senzornog inputa u djelovanje sustava kognitivnom obradom podataka), već ga tumači kao svojstvo interakcije biokemijskih procesa u mozgu, kretanja tijela i promjena u okolini (van Gelder i Port 1995). Taj pristup opisuje

³ Fodor i Pylyshyn (1988) iznijeli su iscrpnu kritiku tadašnjih arhitektura koje se osnivaju na paralelnom distribuiranom procesiranju tvrdeći da konekcionizam ne može biti točan kognitivni model jer nije u stanju objasniti tri osnovna uvjeta koje zadovoljava mišljenje. Najprije, našu sposobnost razumijevanja i formiranja novih spoznaja, što autori nazivaju produktivnošću mišljenja. Zatim sposobnost da razumijemo neku misao na osnovi drugih povezanih misli, što nazivaju sustavnošću mišljenja. Konačno, činjenicu da značenje misaonih sklopova (rečenica ili propozicija) nastaje povezivanjem značenja njihovih sastavnica, što nazivaju kompozicionalnošću mišljenja. U zaključku ipak priznaju da bi se konekcionizam mogao tretirati kao implementacijska teorija, pri čemu bi samo objašnjavao kako bi se kognitivni procesi mogli realizirati u mozgu, ali time on nije nova, alternativna teorija uma. S druge strane, Dawson (2013) iznosi ključne sličnosti simbolizma i konekcionizma, jer 1) rabe formalne metode i matematičko-logičke dokaze; 2) posređuju pravilnosti pojave reakcije na određeni podražaj; 3) reprezentacijske su, iako je u simboličkoj riječ o lokalnim, a u konekcionistačkoj o distribuiranim predodžbama i 4) u osnovi su funkcionalističke, jer ih zanima provedba obrade informacija bez obzira na fizička svojstva uređaja koji ju vrši. Rescorla (2024) također navodi da klasični kompjutacijski modeli i umjetne neuronske mreže nisu međusobno isključivi, jer se neuronska mreža može implementirati u klasični model (odnosno standardno je implementirana u digitalno računalo) i *vice versa*, s obzirom na to da se kompjutacija u Turingovom stilu može vršiti i unutar mreže čije se neuronske jedinice aktiviraju primanjem kontinuiranih vrijednosti.

kognitivni sustav kao dinamički sustav koji se razvija u složenom međudjelovanju svojih sastavnica u realnom vremenu, a modelira se diferencijalnim jednadžbama⁴ (Thelen i Smith 1994).

Dinamicizam je pristup u kognitivnoj znanosti koji argumentira da ljudski um ne provodi kompjutaciju, već da se mentalni procesi mogu preciznije opisati kao zbivanja unutar dinamičkog sustava s kontinuiranim varijablama, a takvi su opisi izraženi matematičkim modelima temeljenim na teoriji dinamičkih sustava. Dinamička hipoteza tako je prema nekim autorima alternativa kompjutacijskoj hipotezi (Thelen i Smith 1994; van Gelder 1998), što je čini jednom od postkognitivističkih kritičkih pristupa. Dinamički pristupi često koriste diferencijalne jednadžbe za modeliranje promjena stanja sustava, ističući važnost konteksta i tjelesne interakcije s okolinom (Beer 2000). Zanimljivo, i kognitivistička i dinamička paradigma crpe inspiraciju iz rada engleskog matematičara i logičara Alana Turinga, koji je poznat po konstruiranju stroja za dešifriranje nacističkih poruka tijekom Drugoga svjetskog rata čime je značajno doprinio ratnom ishodu (Hodges 1983). Turing je nakon smrti slavljen kao “otac modernog računarstva”, zahvaljujući svom radu na konceptualizaciji apstraktnog automata poznatog pod nazivom Turingov stroj koji vrši kompjutacije manipulirajući diskretnim zapisima na beskonačnoj traci prema zadanim pravilima (Turing 1936–7; Valerjev 1999), a njegov poznati “Turingov test” za umjetnu inteligenciju (opisan u Turing 1950) potaknuo je brojne rasprave (Searle 1980; 1984). Za raspravu o dinamicizmu, međutim, relevantan je Turingov kasniji rad “Kemijska osnova morfogeneze” (Turing 1952), u kojem opisuje kako se različiti obrasci u prirodi mogu pojaviti spontano iz homogenih početnih stanja. Njegova reakcijsko-difuzijska teorija morfogeneze udarila je temelje teorijske biologije i potakla brojne istraživače iz različitih disciplina na proučavanje pojave složenosti i samoorganizacije u prirodi (Murray 2003). Teorije dinamičkih i kompleksnih sustava, uključujući kibernetiku (Wiener 1948), sinergiku (Haken 1983), teoriju kaosa (Gleick 1987) i teoriju kompleksnosti (Mitchell 2009) mogu se, s jedne strane, smatrati nastavkom Turingovih ideja o obrascima i organizaciji, a s druge strane odjekom Schrödingerova programatskog predavanja o prirodi života koje je 1943. austrijski fizičar održao u Dublinu gdje se tada nalazio u egzilu (Schrödinger 1992).

Schrödinger (1992) se također može smatrati idejnim prethodnikom obiju hipoteza u kognitivnoj znanosti, s obzirom na to da je u svojoj knjizi *Što*

⁴ Diferencijalne jednadžbe osim nezavisnih varijabli i funkcija tih varijabli uključuju i derivacije tih funkcija. Prirodni zakon, kao veza sadašnjeg stanja neke pojave i stanja koje slijedi, tj. veza fizikalnih veličina i njihovih promjena, može se izraziti diferencijalnom jednadžbom, “pri čemu se kao mjera tih promjena pojavljuju diferencijalni koeficijenti” (Vranić 1967: 265).

je život? uveo pojam “aperiodičkog kristala” kojim je predvidio da genetski materijal nosi nasljedne upute unutar stanice (što je kasnije dovelo do otkrića DNA) i time je postavio temelje konceptu preskriptivne informacije za razvoj i funkcioniranje organizma (Abel 2012). S druge strane, Schrödinger je prizivao nove fizikalne zakone koji bi objasnili dinamičku mehaniku organizma i uveo pojam “negativne entropije” (tj. ponašanja žive materije koja se opire propadanju i održava svoju uređenost metaboličkim procesima), potaknuo je istraživanja samouređivanja, samoorganizacije i autonomnog oblikovanja dinamičkih obrazaca u prirodi (Davies 1999). Na tim osnovama, uz dodatne poticaje koji su dolazili od strane Nielsa Bohra, Wernera Heisenberga i Wolfganga Paulija (fizičara koji su uz Schrödingera najzaslužniji za razvoj kvantne mehanike), dinamicizam je nastao kao pokušaj prevladavanja strogih dihotomija u prirodnoj znanosti i binarnog razmišljanja. Taj pristup teži razvoju komplementarne znanosti tijela, mozga, uma i ponašanja (Kelso 2008).

Dinamicizam, dakle, nije isključivo nova kognitivna paradigma, nego pristup koji se oslanja na uspješnu primjenu teorije dinamičkih sustava u brojnim područjima prirodnih znanosti, što se često se navodi kao argument u prilog dinamičkoj, a ne kompjutacijskoj hipotezi. Naime, “izvanredan raspon prirodnih fenomena najbolje se može opisati kao međuovisna koevolucija kvantitativnih varijabli” (van Gelder 1998: 622). Kognicija se, u tom smislu, razumijeva kao prirodan proces koji se odvija u vremenu i razvija u međuovisnosti organskih i okolinskih promjena (Thelen i Smith 1994; Beer 2000). Budući da je kompjutacija također proces transformacije ulaznih podataka koji početno stanje transformira u rezultat, klasični se kognitivizam ne može optužiti za statičnost – sama definicija kompjutacije uključuje i pojam “manipulacije” simbolima što ukazuje na stalnu promjenu. Ipak, kao dinamička kritika simbolizma, na koju je u određenoj mjeri imun konekcionizam koji modelira i kontinuirano, analogno procesiranje informacija (iako stabiliziranje mreže ovisi o brzini procesora i postupnoj prilagodbi težina poveznica iterativnim postupkom “učenja” koje mora prethoditi prepoznavanju obrazaca, što ne odgovara usklađenošću s ritmom zbivanja u svijetu, tj. pravodobnosti), može se navesti da diskretni koraci izvođenja računalnog postupka, odnosno izvršavanje naredbi, nisu (ili nisu dovoljno) uvjetovani realnim vremenom ni sinkronizirani s događajima u okolini, već se određuju brzinom procesiranja algoritama. Kompjutacija se mora izvoditi pravodobno da bude adaptivna u okolini. S druge strane, dinamicizam drži da kognicija dijeli značajke s fenomenima poput kretanja fluida, njihanja dvostrukog klatna, nastanka uragana, životnog ciklusa sluznjača i Bénardovih heksagonalnih struktura – procesima u kojima složeni, uređeni obrasci nastaju bez unaprijed programiranih rutina ili središnje upravljačke

jedinice. Ti procesi odlikuju se multikauzalnošću, varijabilnošću, uparenošću s okolinom, kompleksnošću i metastabilnošću (svojstvima koje ćemo pobliže razmatrati u idućem poglavlju). Mentalna stanja, u tom kontekstu, ne treba shvatiti kao statične reprezentacije, već kao privremeno stabilne strukture podložne promjenama, s obzirom na to da mozak neprestano dinamički reagira na podražaje. Organizmi se, kako je to slikovito opisao Walter J. Freeman u predavanju o neurodinamici percepcije i djelovanja na Sveučilištu Berkeley, "pri svakom udahu" prilagođavaju vanjskim utjecajima i reguliraju vlastita tjelesna stanja (Freeman 2000).

3. Osnovne postavke nove "kognitivne" paradigme

Dinamicizam se, dakle, bavi opisom i predviđanjem *ponašanja* različitih prirodnih sustava, uključujući i kognitivni sustav, gdje se procesi u mozgu, tijelu i okolini odvijaju međuovisno i kontinuirano (Kelso 1995). Međutim, postavlja se pitanje: nije li dinamička hipoteza tek nova verzija bihevizma? S obzirom na povijesnu činjenicu da je jedan od ključnih poticaja za razvoj kognitivne znanosti bilo odbacivanje bihevizističke podražaj-reakcija formule i ponovno otvaranje "crne kutije" uma eksperimentalnim istraživanjima unutarnjih mentalnih procesa (Miller 2003), ne riskiramo li ovdje povratak na teorijski prevladanu poziciju u povijesti psihologije? Odgovor je negativan, iako je tek dinamicizam, što će na prvu zvučati paradoksalno, "bihevizizam u pravom smislu riječi", no u širem i preciznijem značenju. Tradicionalni bihevizisti bavili su se analizom ishoda ponašanja istraživane jedinice, fokusirajući se na vezu podražaj-odgovor, a zanemarujući mehanizme koji integriraju i koordiniraju aktivnosti živog sustava. Naime, fleksibilna koordinacija djelovanja različitih čimbenika koji omogućuju pojavu posljedice nekog podražaja u klasičnom bihevizizmu nije bila predmet istraživanja (Kelso 1995; van Gelder 1998). Tek nakon što psihološki zanimljivo ponašanje shvatimo kao dinamičku pojavu (nastanak, preobrazbu i nestanak obrazaca ponašanja) kod živih bića koja su uronjena u bogato kontekstualno okruženje, koordinacija postaje ključni predmet analize (Thelen 1992; Smith i Thelen 2003). Dinamicizam inteligentnom, adaptivnom ponašanju ne pristupa promatrajući samo krajnje točke koje ga omeđuju (ulazne podražaje i izlazne reakcije), nego opisujući ključne integrativne i segregacijske tendencije sustava koje uvjetuju koordinaciju s prirodnim kontekstom u kojem se ponašanje odvija. Prema nekim autorima, ipak, teorija dinamičkih sustava pati od problema sličnih onima koji su motivirali napuštanje bihevizma u korist komputacijsko-reprezentacijskog pristupa. Naime, objašnjenje *svih* manifestacija kognicije na taj način (oslanjajući se na interakciju organizma i okoline u realnom vremenu) i svih kognitivnih

procesa dinamistima će ostati neostvarena želja, s obzirom na to da ne mogu objasniti anticipatorno ponašanje, odnosno predviđanje, planiranje, zamišljanje budućih situacija u svrhu zadovoljenja potreba i ciljeva (Wilson i Foglia 2017; Clark 2013). Ta ograničenja sugeriraju da će za potpuno razumijevanje kognicije biti potrebna integracija dinamičkih modela s modelima koji uključuju reprezentacije i predikciju (Tenenbaum et al. 2011).

Prije no što razmotrimo razlikovna svojstva dinamičke hipoteze u usporedbi s kompjutacijskom, kao i niz kritičkih reakcija na pojavu nove paradigme ili “trećeg natjecatelja” (Eliasmith, 1996) u kognitivnoj znanosti, potrebno je detaljnije objasniti značajke nelinearnih dinamičkih sustava u stanju termodinamičke neravnoteže kakav je i kognitivni sustav. Za razliku od linearnog dinamičkog kretanja poput godišnjeg rasta kamate na štednji, gdje se stanje determiniranog sustava može precizno izračunati za svaki trenutak, nelinearni sustavi pokazuju nepredvidivo ponašanje. Promjene u završnom stanju sustava nisu proporcionalne izmjenama početnih uvjeta pa se promatraču njegovo ponašanje može učiniti posve kaotičnim. Te tranzicije ilustriraju osnovnu značajku nelinearnih dinamičkih sustava: ponašanje sustava nije unaprijed zadano ili šifrirano u obliku formalnih instrukcija, već ga određuju aktualne okolnosti i interakcije među njegovim sastavnicama (Thelen i Smith 1994). Sustav tako linearno može prolaziti niz stanja sve do pojave nestabilnosti uvjetovane kontrolnim parametrima (poput temperature), pri čemu daljnjim razvojem preko kritične točke dolazi do bifurkacije i faznog pomaka te sustav počne pokazivati drugačiji obrazac ponašanja, jer njegove sastavnice sada koordinirano djeluju na nov način koji će se kod sljedeće nestabilnosti i kritičnog prijelaza opet spontano izmijeniti i promatrani će obrazac ponašanja nestati i zamijenit će ga drugi. Treba zamijetiti da okolnosti u kojima se odvija promjena diktiraju stanja sustava a ne unaprijed zadane, na neki način šifrirane i potom interpretirane upute za odvijanje procesa u fizičkom sustavu. Kaotični sustavi postaju predvidivi tek kada su poznati kontrolni parametri i kolektivne varijable što određuju kvalitativne promjene njegova ponašanja (Strogatz 1994). Stoga se većina istraživanja takvih sustava fokusira na analizu nestabilnosti koje prethode faznim pomacima i stvaranju novih obrazaca (Beer 2000).

Cirkularna kauzalnost očituje se u činjenici da djelovanje sastavnica u određenim uvjetima dovodi do formiranja kolektivnih obrazaca ponašanja sustava, a ti obrasci zatim ograničavaju i usmjeravaju ponašanje pojedinih sastavnica (Kelso 1995; Haken 2006). Na kortikalnoj razini, globalno stanje neke populacije neurona generira se međudjelovanjem živčanih stanica unutar neuropila, dok istovremeno taj makroskopski događaj utječe na aktivnosti pojedinih neurona, demonstrirajući time međusobnu uvjetovanost mikrorazina i makrorazina (Freeman 2006; Bressler i Kelso 2001). Iz

perspektive kognicije, intencionalna mentalna stanja pojedinca usmjeravaju njegovo djelovanje u okolini, ali su istodobno podložna stalnoj regulaciji ishodima takvog djelovanja. Ta dvosmjerna povezanost između činjenja i percepcije ilustrira složenost adaptivnog ponašanja u realnim uvjetima (Thelen i Smith 1994). Multikauzalnost, s druge strane, ne odnosi se samo na činjenicu da ponašanje složenih sustava nije određeno jednim nego mnogim uzročnim čimbenicima. Ona podrazumijeva da niti jedan element organskih sastavnica niti ograničenja i prilika iz okoline nema prvenstvo pred drugima. Sustav se razvija u stalnom međudjelovanju svih čimbenika koji se također mijenjaju, ali u različitim vremenskim skalama (Smith i Thelen 2003).⁵ Time se ukazuje na važnost dinamičke interakcije između individualnih i kolektivnih čimbenika ponašanja te omogućuje obuhvaćanje kako stabilnosti tako i fleksibilnosti sustava (van Gelder 1998). Varijabilnost u dinamicizmu ne smatra se “eksperimentalnom noćnom morom”, već se istražuje relativna stabilnost ponašanja sustava u pojedinom kontekstu i određenom vremenskom razdoblju (Thelen 1992). To, naravno, otežava generalizaciju i tipologizaciju sustava jer svaki ima svoju jedinstvenu povijest, putanju razvoja i osjetljivost na utjecaje u pojedinim stadijima razvoja (Kelso 1995). Ipak, usprkos toj individualnoj varijabilnosti, različiti sustavi mogu pokazivati konvergentne ishode (tj. atraktore) kojima teže tijekom svog razvoja, što je posebno naglašeno u proučavanju rane dječje psihomotoričke i kognitivne razvojne dinamike (Thelen 1992; Thelen i Smith 1994).

Pojam uparenosti označava stalnu interakciju elemenata koji su povezani na način da promjena jedne sastavnice neposredno utječe na druge dijelove sustava. Iako klasična mehanika već poznaje međusobno djelovanje povezanih oscilacijskih sustava, teorija dinamičkih sustava iz uparenosti jednadžbi u gore navedenom smislu zaključuje na uparenost formalno opisanih elemenata sustava. Uparivanje (engl. *coupling*) se smatra uvjetom za adaptivnu koevoluciju unutar sustava u kojem elementi kontinuirano održavaju koordinaciju višestruko se prilagođavajući promjenama u realnom vremenu (Kelso 2008). U kognitivnom smislu, ciklus procesiranja koje ide od zamjećivanja prema kompjutaciji do djelovanja može se dinamički shvatiti kao adaptivno uparivanje kognitivnog agenta i njegove okoline. To uparivanje odvija se kroz tjelesnu interakciju i koordinaciju, često i bez posredovanja stabilnih mentalnih reprezentacija (Clark 1999; Chemero 2009). Drugim riječima, ponašanje se može razumjeti kao kontinuirana

⁵ Jedan primjer cirkularne i multikauzalnosti iz navedenog članka povezuje emocionalne epizode, koje se odvijaju u periodu od nekoliko sekundi do nekoliko minuta, ugodaje koji traju satima ili danima te obilježja ličnosti koja mogu trajati godinama. Ti složeni uzročnici mentalnih stanja, odluka i ponašanja međusobno se uvjetuju i određuju (Smith i Thelen 2003).

tjelesna angažiranost u okolini radi stabilizacije prikladnih obrazaca ponašanja (Beer 2000).

Spontani nastanak brojnih dinamičkih obrazaca ponašanja u kognitivnom sustavu može se pripisati iznimnoj složenosti organizma i njegove interakcije s prirodnom i društvenom okolinom. Usmjerimo li se samo na živčani sustav čovjeka, moramo uzeti u obzir aktivnost približno 84 milijardi neurona, koji se mogu klasificirati u oko 200 različitih vrsta, a svaki može imati i do 10 000 anatomskih poveznica s drugim neuronima, pri čemu u njihovom elektrokemijskom prenošenju signala djeluje oko 50 vrsta neurotransmitera (Šimić, Valerjev i Nikolić Ivanišević 2020). Živčani sustav, naravno, ne funkcionira izolirano, već je duboko integriran u cijeli organizam, koji dodatno uključuje dišni, krvožilni, probavni, endokrini, limfni, mišićni, koštani, mokraćni, reproduktivni i osjetilni sustav. Svaki od tih sustava zasebno odražava visok stupanj složenosti, ali istodobno svoju funkciju ispunjava kao dio jedinstvenog organizma. Elemente složene okoline u kojoj se organizam ostvaruje ne može iscrpiti niti jedan prikaz, ali u suvremenoj holističkoj znanosti postalo je jasno da višestruke interakcije elemenata složenih samoorganizirajućih sustava dovode do nastanka emergentnih fenomena. Ti fenomeni "nisu samo zbroj svojih dijelova" i ne mogu se svesti na interakcije pojedinih komponenti, jer kvantitativne, inkrementalne promjene mogu generirati kvalitativne promjene strukture i ponašanja što rezultira novim tipovima poretka ili organizacije koji nisu proizvod centraliziranog nadzora, već sinergijski učinak međudjelovanja elemenata sustava (Corning 2002; Haken 1983). U naglašavanju emergentnih struktura koje bez prethodnog plana i programa nastaju iz interakcije elementarnih procesa u nelinearnim dinamičkim sustavima konekcionizam i dinamicizam se slažu (McClelland et al. 2010), iako je "naglasak kod teorije dinamičkih sustava na cjelokupnom koalicijskom doprinosu ponašanju, dok je konekcionizam usredotočen na promjene u mentalnim reprezentacijama" (Thelen i Bates 2003: 389).

Kako bismo dobili cjelovitu sliku dinamičke hipoteze u kognitivnoj znanosti potrebno je dodatno pojasniti i pojam metastabilnosti koji je ključan za razumijevanje koordinirane dinamike funkcioniranja mozga, stvaranja informacija pa čak i nastanka aktivnog sebstva (Kelso 2002). Metastabilnost se odnosi na sposobnost sustava da balansira između stabilnih obrazaca ponašanja i fleksibilnosti u prilagodbi promjenama u okolini, istovremeno omogućujući stabilnost i otvorenost za reorganizaciju (Kelso 2008). Svi procesi žive materije i sustava koji nisu u stanju ravnoteže karakterizirani su ritmičkim promjenama ili oscilacijama. Promatrajući oscilacije iz različitih izvora, one mogu biti međusobno sinkronizirane ili desinkronizirane, simetrične ili asimetrične, u fazi ili antifazi te se mogu odvijati u

različitim režimima kao što su monostabilni, multistabilni, metastabilni ili mogu biti potpuno neovisne jedne o drugima pri čemu im putanje nikada ne konvergiraju (Kelso 2008). Metastabilnost označava režim dinamike u kojem su simultano ostvarene dvije tendencije oscilirajućih elemenata: prvo, prema povezivanju ili sinkronizaciji, te drugo, prema neovisnosti ponašanja. Metastabilni procesi se ne relaksiraju u stabilno stanje kao umjetna neuronska mreža, nego se nalaze u stalnoj napetosti između stabilizacije (tj. približavanja atraktoru) i divergentnog razilaženja putanja elemenata nakon faznog pomaka (Kelso 1995; 2008). Ti procesi kao da zadržavaju tragove fiksnih točaka te se periodično autonomno odvijanje procesa ponovno koordinira nakon određenog broja ciklusa i formiraju se novi integrativni obrasci ponašanja (Kelso 2002). U živčanom sustavu, interakcija pojedinih neurona kao i (funkcionalnih ili anatomskih) populacija neurona odvija se u metastabilnom režimu. Na primjer, elektroencefalografska (EEG) mjerenja bilježe stabilne periode sinkronizacije električne aktivnosti (moždanih valova), nakon čega dolazi do loma simetrije valova, pri čemu se očituje segregacija elemenata zbog novonastalih uvjeta koja prethodi novoj adaptivnoj integraciji itd. Funkcionalna snimanja dokumentiraju tu dinamiku kooperativnih i kompetitivnih odnosa unutar i između kortikalnih područja koja su ključna za nastanak kognicije (Bressler i Kelso 2001). Na makrorazini mozga metastabilnost objašnjava komplementarnost naizgled suprotstavljenih tendencija pojedinih funkcionalno specifičnih moždanih regija te njihove globalne koordinacije u regulaciji ponašanja organizma u okolini. Osim toga, metastabilnost omogućuje bogatstvo informacija i njihovu stabilnost. Budući da je samoorganizirajući složeni sustav nelinearan, on odgovara na svaku promjenu parametara novim, "informacijski smislenim" koordinacijskim stanjem koje se može stabilizirati s vremenom (Kelso 2002: 369). Metastabilnost predstavlja fleksibilni i adaptacijski dijalog živog organizma s promjenjivom okolinom, pri čemu i osjećaj vlastitog djelovanja (aktivnog sebstva) proizlazi upravo iz koordinacije tjelesnih pokreta s promjenama u okolini koje ti pokreti izazivaju.⁶ Matematičkim zakonima koordinacije kakav je, primjerice, Haken–Kelso–Bunz model (Fuchs i Kelso 2018; Haken et al. 1985) moguće je formalno opisati metastabilne odnose koji otkrivaju komplementarnosti u prirodi na različitim razinama organizacije. No, ostaje otvoreno pitanje: iscrpljuje li se kognicija u dinamičkoj samoorganizaciji sustava mozak-tijelo-okolina ili je kompjutacijski pristup ipak nužan kako

⁶ Dinamicisti se često pozivaju na višekratno ponavljani eksperiment koji uključuje dojenčice čija je noga vrpcom privezana za pokretnu igračku iznad krevetića (Rovee i Rovee 1969), a koji je pokazao da nakon izvjesnog vremena dijete počinje povezivati svoje pokrete s kretanjama igračke (čime je formiran uparen dinamički sustav) i postupno otkriva vlastitu aktivnost kao nešto što izaziva promjene u svijetu.

bismo u potpunosti razumjeli mentalne procese, uključujući anticipaciju, planiranje i simboličku manipulaciju?

4. Odnos dinamičke i kompjutacijske hipoteze u kognitivnoj znanosti

Dinamički pristup nastao je kao pokušaj tumačenja kognicije u kontinuitetu s novim, sustavnim shvaćanjem dinamičkih procesa u prirodi. Najveći doprinos toga pristupa leži u prevladavanju klasičnih dualizama (um-tijelo, kvantitativno-kvalitativno, segregativno-integrativno, lokalno-globalno, individualno-kolektivno te nastanak-nestanak) ukazujući na komplementarnost i međusobnu uvjetovanost suprotstavljenih tendencija u složenim sustavima. Polazeći od ponašanja inteligentnog, tjelesnog agenta u promjenjivoj okolini, dinamicizam od samog početka nastoji izbjeći potrebu za posredovanjem unutarnje i vanjske sfere postuliranjem stabilnog "mentalnog modela svijeta" ili stvaranjem eksplanatornog jaza između znanstvenog opisa funkcioniranja uma i poznatih zakona gibanja materije (Thelen i Smith 1994). Dinamički pristup stoga teži integriranom razumijevanju kognicije, bez potrebe za hipotezom o internim simboličkim ili distribuiranim reprezentacijama, odnosno "mentalnim kopijama" stvarnosti (Clark 1999; Chemero 2009). Međutim, čini li to dinamicizam potpunim, konkluzivnim i neproblematičnim teorijskim modelom mentalnih stanja i procesa? Moglo bi se reći da taj pristup, iako uspješno opisuje i u nekim slučajevima ispravno predviđa ponašanje složenih nelinearnih dinamičkih sustava, zapravo *ne objašnjava* samu narav kognicije (Eliasmith 1996). Dinamicizam tek potvrđuje trivijalnu činjenicu da se kognicija odvija u vremenu i da je u stalnoj interakciji s okolinom, no time kognitivna znanost ne može napraviti važniji iskorak u objašnjenju svojeg predmeta istraživanja (Clark 2013). Ipak, ključno je istaknuti da kogniciju treba *razumjeti* u terminima teorije dinamičkih sustava (van Gelder 1998: 623) koja se primjenjuje na analizu ponašanja evolucijski razvijenih organizama, čiji je opstanak uvjetovan koordiniranom akcijom i reakcijom na događaje u kompleksnoj okolini. Osnovne samoorganizacijske procese moguće je pratiti na svim razinama (od međustanične signalizacije i neuronskog procesiranja informacija, preko koordinacije tjelesnih pokreta, do ciklusa percepcija-djelovanje), ali u različitim vremenskim skalama. Dinamički pristup time predstavlja temeljito drugačiju perspektivu u odnosu na klasične kognitivne modele i koristi se terminologijom koja je često strana tradicionalnim psihološkim opisima, ali to ne umanjuje njegovu eksplanatornu snagu (Freeman 2000; Kelso 1995; Thelen i Smith 1994). Upravo su u dinamičkom razumijevanju uma i

ponašanja objedinjeni različiti aspekti adaptivnog funkcioniranja organizama u stalno promjenjivom svijetu.

Nadalje, kao opći prigovor dinamičkom pristupu često se navodi da, u nastojanju da pronađe univerzalni zakon koordinacijskog djelovanja, ne uspijeva objasniti što točno čini kognitivne sustave posebnim, odnosno po čemu se oni razlikuju od drugih složenih sustava koji ne pokazuju inteligentno ponašanje. U tom smislu, kognitivna znanost ostaje bez jasno definiranog i ograničenog polja istraživanja (Clark 1997). Na taj se prigovor može odgovoriti da kognicija proizlazi iz koevolucije sustava mozak-tijelo-okolina te da je postojanje upravo tih međusobno uparenih elemenata⁷ (neuronska aktivnost, tjelesna dinamika i kontekstualno bogato okruženje) temeljna pretpostavka za definiranje sustava kao kognitivnog (Thelen i Smith 1994; Kelso 1995). Iako je taj odgovor u skladu s dinamičkom perspektivom i čini se uvjerljivim, on zapravo ne proizlazi iz same teorije dinamičkih sustava, nego se temelji na uvidima koji dolaze iz drugih područja prirodnih, društvenih i humanističkih znanosti koja su ovdje preuzeta u težnji iznalaženja jedne koherentne slike prirode u kojoj različite discipline daju vlastiti doprinos postupno otkrivajući njezine boje, konture i teksture. Ipak, ostaje dodatni prigovor: ne može se svako ponašanje složenog sustava mozak-tijelo-okolina smatrati inteligentnim ponašanjem. Primjerice, koordinaciju udova prilikom različitih atraktora kretanja ne bismo definirali inteligentnim ponašanjem iako uključuje elemente kognitivnog sustava. Stoga se nameće potreba za dopunom dinamičkog pristupa drugim teorijskim perspektivama koje mogu objasniti *specifično* kognitivne aspekte ponašanja. Neki autori zagovaraju uvođenje oblika reprezentacionalizma (Clark 1997), dok drugi ističu ulogu pragmatizma (Freeman 2000)⁸ ili naturaliziranog fenomenološkog konstruktivizma i interpretativizma⁹ (Varela 1992; Roy et al. 1999; Thompson 2007).

⁷ Elementi složenog kognitivnog sustava (prema dinamičkoj hipotezi: mozak, tijelo i okolina) i sami su složeni sustavi pa se, s obzirom na razinu složenosti koja je u pitanju kod kognitivnog sustava, može uputiti i prigovor *skaliranja i traktabilnosti*, jer broj parametara i veličina prostora mogućih stanja (engl. *state space*) postaju matematički nepregledni, čime je točan opis ponašanja sustava nemoguće pružiti (Clark 1997).

⁸ Prema pragmatističkom stavu, koji naglašava da su mentalna stanja i procesi dinamičke strukture nastale iz djelovanja organizma u svijetu, informacija je tjelesno u-obličeno (in-formirano) značenje koje ono što ga susreće u okolini ima za ostvarenje potrebe ili nekog cilja. Razvijanjem vještina (kretanja, manipulacije predmetima, prostornog snalaženja, vremenske procjene itd.) organizam optimizira svoje ponašanje u skladu s unutarnjim i vanjskim uvjetima djelovanja u ekološkoj niši kojoj pripada.

⁹ Samoorganiziranje dinamičkog sustava mozak-tijelo-okolina odvija se kao izgradnja i samodefiniranje organizma unutar njegove polupropusne membrane, kao tumačenje okolnog svijeta i konstrukcija niše, pri čemu ono što je informativno u kognitivnom procesiranju određuju same interakcije unutar sustava.

Kognitivni sustavi odlikuju se izuzetno slojevitom prostornom i vremenskom strukturom. Prednost dinamičkog pristupa leži u argumen-tiranom objašnjenju kako u prirodi dolazi do složene organizacije, no pos-tavlja se pitanje: je li koncept samoorganizacijskih procesa dovoljan za pot-puno objašnjenje kognicije? Biosemiotičari tvrde da fizikodinamika nije dostatna za objašnjenje razlikovnih karakteristika života, jer ono što dina-misti nazivaju “samoorganiziranjem” zapravo predstavlja tek *samo-uređivanje*, a ne istinsko organiziranje (Abel 2012; Barbieri 2008). Prema bio-semiotičkoj perspektivi, život je kibernetički fenomen, uključuje procese kontrole, motivacije, regulacije i upravljanja prema postizanju funkcional-nih, metaboličkih, reprodukcijских i drugih ciljeva. Nadalje, u transkripciji i translaciji nukleotida tijekom stanične diobe biosemiotika prepoznaje sus-tav simboličke komunikacije koji se koristi kvaternarnim diskretnim kodom (četiri tipa nukleotida u DNK), a ne kontinuiranim varijablama karakteris-tičnim za dinamičke sustave (Abel 2012). Taj simbolički aspekt bioloških procesa sugerira da je biokomunikacija utemeljena na naredbama koje una-prijed određuju staničnu strukturu i funkcije, razvoj organa, selekciju koja se odvija na molekularnoj a ne fenotipskoj razini, što teorije samoorganizacije, razmatrajući isključivo neupravljanje, spontane dinamičke formacije, ne mogu objasniti (Barbieri 2008). Reakcija dinamista mogla bi biti usmjerena prema upozoravanju da biokibernetička kritika dinamizma ponovno uvodi pojam svrhe, odnosno teleološko objašnjenje prirodnih procesa, što je nespojivo s općeprihvaćenom evolucijskom paradigmom (Mayr 1992), iako pri tom nije mišljen *causa finalis* nego je svrha emergentno svojstvo života kao semiotičkog procesa i ne nalazimo ga u prirodi ispod razine organizma (Short 2007). Ipak, naglasak biosemiotičara na prisutnost kompjutacijskih procesa u živim bićima – uključujući prokariotske organizme poput bakterija – ukazuje na to da ponašanje kognitivnih sustava ima dvojni prirodu: s jedne strane ono je upravljano, programirano i ograničeno, a s druge spon-tano, autonomno i kaotično (Clark 1997). Taj dvojni aspekt upućuje na po-trebu za integriranim pristupom koji bi mogao objediniti dinamičku i kompjutacijsku perspektivu u jedinstveni okvir za razumijevanje kogni-tivnih procesa.

Dinamička hipoteza gorljivo odbacuje mogućnost da je kognitivni agent vrsta digitalnog računala (van Gelder 1998). Simbolizam se često koristi metaforom uma kao softvera, a mozga kao hardvera, pri čemu se kog-nitivni procesi zamišljaju kao računalne procedure koje operiraju nad sim-boličkim strukturama, obrađujući informacije putem algoritama i šaljući izlazne signale putem motoričkih mehanizama (Newell 1980; Pylyshyn 1984). Prema tom shvaćanju, mozak prima podražaje iz okoline, procesira ih kroz hijerarhijski organizirane module te generira odgovore na temelju

zapisanih programa. S druge strane, prema dinamičkoj hipotezi kognicija nije kompjutacijska manipulacija statičkim strukturama diskretnih simbola već kontinuirano odvijanje procesa u kojima se organizam ostvaruje u svojoj okolini u realnom vremenu (Kelso 1995). Umjesto algoritamske obrade informacija prema unaprijed zadanim pravilima, kognicija se ovdje shvaća kao dinamično, vremenski ovisno samoorganiziranje, u kojem se stabilizacija ponašanja događa u uvjetima stalne prilagodbe okolini (Beer 2000). Konekcionizam, unatoč inspiraciji biološkim neuronskim mrežama, zamijenio je simbole obrascima aktivacije i jačinama veza među čvorovima, ali ostao je vjeran kompjutacijskom reprezentacionalizmu i “input–output” shemi kognitivnog funkcioniranja (Bechtel i Abrahamsen 2002). No, potpuno odbacivanje simbola značilo bi i odbacivanje semantike, tj. referentnosti i intencionalnosti mentalnih stanja. U tom slučaju nameće se pitanje: po čemu se mozak, kao dinamički sustav, razlikuje od drugih dinamičkih sustava poput pluća ili jetre, koji ne manifestiraju svijest ili kognitivne procese? Van Gelderov (1998) isključivi antirepresentacionalizam, koji je blizak i dinamičkoj teoriji razvoja (Thelen i Smith 1994), međutim, ne dijele svi autori koji zagovaraju dinamističku perspektivu: ono što svakodnevno shvaćamo kao predodžbe zapravo su privremeno stabilizirana stanja u dinamici sustava, a ne statične jedinice neovisne o kontekstu (van Gelder 1999). Dinamika neuronske aktivnosti može posjedovati dva svojstva koja se standardno pripisuju reprezentacijama:¹⁰ (1) uparenost s okolinom putem senzorno-motoričke signalizacije koja uspostavlja vezu organizma s vanjskim svijetom; te (2) stabilizaciju obrazaca aktivnosti, primjerice sinkronizirane propagacije akcijskih potencijala, koje možemo bilježiti kao moždane valove određene

¹⁰ Mentalne reprezentacije, u standardnom tumačenju, nositelji su informacija koje kognitivni algoritmi obrađuju. One bi na neki način trebale biti strukturalno izomorfne s onim što predstavljaju, uzročno povezane s predmetom koji predstavljaju te vršiti određenu funkciju (primjerice, omogućavati komunikaciju inteligentnih bića). Reprezentacije mogu predstavljati pojedine konkretne predmete, njihova svojstva, događaje, zbiljska i moguća stanja stvari u svijetu, apstraktne pojave i njihove odnose itd. U samom pojmu reprezentacije ili predstave (njem. *Vorstellung*) sadržan je odnos stvari koja je predočena i onoga koji predstavljeno ima “pred” sobom. Drugim riječima, predodžba na nešto upućuje, nastala je pojavom nečega, a dio je mentalnog stanja u kojem je istumačena (kao nešto). Ona je realizirana, tj. ima svog nositelja, kao i referenta ili sadržaj s kojim je na neki način povezana, odnosno ima svoje utemeljenje. Osim toga, svaka predodžba mora se moći interpretirati, jer u protivnom ona ne bi upućivala na ništa izvan sebe i ne bi bila dijelom semantičke mreže u kojoj je povezana s drugim mentalnim stanjima. Pojam reprezentacije (lat. *repraesentatio*) u sebi sadrži i vremensku dimenziju koja uglavnom u kognitivnoj znanosti nije naglašena, a znači “učiniti ponovno sadašnjim”. Fenomenološka filozofija tako razlikuje intencionalne akte prezentiranja, odnosno zamjedbe (koja uz prezentiranje potrebuje i artikuliranje kao kategorijalnu odredbu danosti te teleološko-praktični motiv koji usmjerava zamjećivanje [Patočka 2016]), kod koje je predmet originarno, tjelesno tu, od onih re-prezentiranja, kao što je, primjerice, prisjećanje, u kojem jednom opaženo, u modificiranom smislu, postaje ponovno prisutno (Husserl 2007).

frekvencije. Takva stabilizacija može čuvati informaciju i kada podražaj više nije prisutan ili dok se planirani pokret još nije izvršio (Schöner 2008). Osim toga, dinamički sustavi posjeduju svojstvo u kojemu se vrijeme izražava na višestruke načine: sadašnjost se očituje u stalnoj međudjelatnosti komponenti sustava, budućnost je implicitna u atraktorima kojima sustav teži, dok metastabilnost omogućuje očuvanje tragova prošlih stanja čak i kada sustav nastavlja evoluirati. Na taj način dinamički sustav objedinjuje ove tri dimenzije u realnom vremenu, što nedostaje diskretnim reprezentacijama koje statički opisuju mentalne procese poput opažanja, pamćenja ili predviđanja (Kelso 2008). Prošireno shvaćanje reprezentacija, odnosno prepoznavanje nekih svojstava ponašanja dinamičkih sustava (posebice na razini neuronske aktivnosti) koja su tradicionalno nazivana reprezentiranjem, moglo bi otvoriti put konstruktivnom dijalogu između kognitivizma i dinamizma te potaknuti razvoj komplementarne teorije (Clark 1997). No ostaje pitanje: što je s kompjutacijskom komponentom klasične teorije uma?

Oslanjanje teoretičara dinamičkih sustava na matematiku moglo bi nas lako navesti da dinamičke sustave protumačimo kao kompjutacijske, pri čemu se klasični kognitivizam i dinamizam u osnovi ne bi značajno razlikovali. Međutim, u dinamizmu je matematika alat koji omogućuje *opis* sustava i *predviđanje* njegova ponašanja koje se može simbolički prikazati, no prirodni dinamički sustavi nisu efektivni u Turingovom smislu, jer oni ne pretvaraju početna stanja u završna, izvršavajući algoritamski određen broj osnovnih operacija (van Gelder 1998).¹¹ Primjerice, kretanja unutar Sunčeva sustava moguće je matematički opisati te predvidjeti položaj planeta u određenom trenutku, ali to ne znači da planeti “računaju” svoje putanje i da na temelju tih rezultata upravljaju svojim kretanjem. Isto vrijedi i za kognitivne sustave. Ipak, kompjutacija se u kognitivnim znanostima ne iscrpljuje efektivnim manipuliranjem simbolima. Kognitivni agenti (i modelirani inteligentni sustavi) dodatno se koriste prepoznavanjem obrazaca te prediktivnim kodiranjem (Tenenbaum 2018). Paralelno distribuirano procesiranje (PDP) odvija se na subsimboličkoj razini; pri tome prepoznavanje obrazaca u konekcionističkim mrežama pokazuje osjetljivost na kontekst i robusnost, kontinuirano se razvija u vremenu te stabilizira po postignuću rezultata. Neki autori smatraju da se PDP pokazuje kao “jedino održivo rješenje za jedinstvenu kognitivnu teoriju” (Eliasmith 1996: 458), jer obuhvaća i reprezentacijske i dinamičke značajke mišljenja. Prediktivno kodiranje (Clark 2013)¹² predstavlja suvremeni kompjutacijski pristup prema kojem mozak

¹¹ Čak i kad se ta distinkcija uzme u obzir, ne možemo ne primijetiti da su dinamičke simulacije i modeli često izvedeni na standardnim računalima koja su digitalna i serijska.

¹² Prediktivno procesiranje može poslužiti kao primjer komplementarnog pristupa koji kombinira značajke kompjutacijsko-representacijske teorije uma, suvremene neuroznanosti i

kontinuirano generira predviđanja senzornih inputa na temelju dinamičkog modela svijeta koji se iskustvom ažurira i ispravlja, koristeći se statističkim vjerojatnostima za zaključivanje o uzrocima opažaja i anticipaciju budućih događaja. Takva *top-down* teorija ima snažnu empirijsku podlogu u aksoskoj povratnoj povezanosti čeonu kore s različitim senzornim moždanim područjima i talamusom. Uz to, objašnjava kako mozak prilagođava brzinu, energetska učinkovitost i detaljnost procesiranja senzornih signala u skladu s funkcionalnim zahtjevima trenutne situacije. U tom pristupu uparenost organizma s okolinom na kojoj inzistira dinamička hipoteza dodatno je istaknuta i detaljnije objašnjena nego u klasičnim kompjutacijskim teorijama. Ipak, zagovornici dinamicizma vjerojatno bi se usprotivili ideji internog mentalnog modela svijeta koji kontrolira ponašanje organizma jer koncepti poput pohranjivanja i prizivanja reprezentacija, otkrivanja i ispravljanja pogrešaka, provjere usklađenosti, povratne propagacije, usporedbe obrazaca i slično opisuju funkcioniranje umjetne inteligencije i strojnog učenja, ali ne odgovaraju procesima u biološkim mozgovima situiranih organizama u strukturiranoj prirodnoj okolini (Freeman i Skarda 1990). Iako dinamički sustavi ne funkcioniraju na principima digitalnih računala ili Turingova stroja (Valerjev 1999), to ne isključuje mogućnost da vrše analognu¹³ ili "realnu" kompjutaciju (van Gelder 1999). Drugim riječima, kognitivni se sustavi mogu koristiti formama izračuna koje nisu nužno digitalne, ali ipak uključuju transformacije informacija unutar fizičkih procesa (MacLennan 2004) ili pak kombinirati analognu i digitalnu kompjutaciju, poput suvremenih primjera procesiranja u umjetnim neuronskim mrežama (Haensh, Gokmen i Puri 2019; Rasch et al. 2024) koje su bolje optimizirane u smislu niže latencije i smanjene potrošnje energije.

Opći prigovor koji bismo mogli uputiti dinamičkom pristupu u odnosu na kognitivistički okvir u kognitivnoj znanosti jest njegova sklonost pretjeranom redukcionizmu. Naime, dinamicizam često usmjerava istraživački fokus na neuroznanstvenu razinu te analizira dinamiku koja proizlazi iz detaljnih procesa, uključujući promjene na membranama, sinapsama, te aktivacije neurona i mreža tih stanica. Pri tome, međutim, često zanemaruje organizacijske razine kognitivnih sustava, odnosno razine analize koje je prvi sustavno opisao David Marr (1982). Prema Marru, svaki kognitivni sustav

dinamicizma (ponašanje kao proces u stvarnom vremenu, mozak-tijelo-okolina kao kompleksan sustav itd.), iako se ne koristi isključivo matematičkim jezikom teorije dinamičkih sustava nego primarno teorije vjerojatnosti.

¹³ Analoga računala koriste se tranzistorima čija su stanja kontinuirana, dakle, njihove vrijednosti nisu 0 ili 1 (ugašena ili upaljena sklopka) kao u digitalnih računala pa mogu izvršavati kompjutacije diferencijalnih jednadžbi, odnosno učinkovitije simulirati biološke sustave (Hardesty 2016).

sadrži barem tri razine analize: (1) kompjutacijsku razinu koja opisuje *što* sustav radi (npr. računa sumu niza brojeva); (2) algoritamsko/reprezentacijsku razinu koja opisuje *kako* sustav izvodi zadatak (npr. pomoću kojih koraka ili operacija); te (3) implementacijsku razinu koja opisuje *u čemu* je sustav fizički realiziran (npr. neuronske mreže u mozgu). Dinamicističko odbacivanje pojmova poput kompjutacije, mentalnih reprezentacija i algoritama zanemaruje dvije ključne razine analize, kompjutacijsku i algoritamsku, koje su temelj za gotovo sve discipline unutar kognitivne znanosti, osim za neuroznanost. Primjerice, kognitivna psihologija većim dijelom funkcionira na algoritamsko-reprezentacijskoj Marrovoj razini istražujući mentalne procese kao funkcionalne transformacije informacija. Opet se vraćamo na pitanje mora li to nužno biti tako. Može li se pretpostaviti da iz fluidnih dinamičkih procesa na temeljnoj (neuronskoj) razini izranjaju relativno stabilna mentalna stanja i transformacije koje se na višim razinama mogu formalizirati kao kompjutacijski procesi? Drugim riječima, je li moguća komplementarnost naizgled teško pomirljivih hipoteza dinamicizma i kognitivizma?

Komplementarnost dviju hipoteza u kognitivnoj znanosti, dinamičke i kompjutacijsko-reprezentacijske, ovisi o tome može li se koordinacija koju teoretičari dinamičkih sustava nalaze u interakciji neuronskih populacija, u usklađenosti udova prilikom kretanja te u ponašanju usmjerenom na ostvarenje ciljeva također tumačiti kao oblik kompjutacije unutar kognitivnog sustava ili je isključivo riječ o spontanom, neupravljanom samouređivanju fizičke prirode. Komplementarni pristupi, koji pokušavaju integrirati kognitivističku i dinamičku perspektivu, prihvaćaju da kognitivni sustav može imati i reprezentacijsko-kompjutijske i dinamičke karakteristike (Clark 1997; Beer 2000). Takve hibridne modele opisali su Churchland i Grush (1999) po kojima konekcionistički modeli (koji su u osnovi kompjutacijski) mogu pokazivati dinamička svojstva osobito kad uključuju povratne projekcije, vremenska ograničenja za širenje signala, mehanizme za dodavanje jedinica i veza te druge značajke koje nalikuju dinamičkoj samoorganizaciji. S druge strane, isti autori ističu da dinamički modeli mogu biti opremljeni s reprezentacijskim resursima radi preciznijeg objašnjenja kognitivnih procesa. Primjerice, određene postavke parametara u dinamičkom sustavu mogu se tretirati kao kompjutacijski ulaz, a rezultirajući atraktori kao izlaz, pri čemu i ulaz i izlaz mogu nositi reprezentacijski sadržaj. Teorija dinamičkih sustava trebala bi, u tom smislu, s lakoćom obuhvatiti slučajeve u kojima izlazna vrijednost sustava nije statičko kompjutacijsko stanje, nego dinamički obrazac ponašanja, primjerice, zatvorena putanja u faznom prostoru ili kompleksno vremenski ovisno ponašanje (Kelso 1995). Drugi pristup uključuje integraciju dinamičkih podsustava unutar većeg

kognitivnog sustava, gdje ti podsustavi služe kao emulatori vanjskih domena poput okoline zadatka (Clark 1997; Beer 2000). Takva integracija dinamičkih i kompjutacijskih modela omogućuje razvoj teorijskog okvira u kojem bi se dinamičke karakteristike sustava (poput fleksibilnosti, adaptacije i samoorganizacije) mogle kombinirati s računalnim obradama koje omogućuju planiranje, predviđanje i simboličku manipulaciju (Tenenbaum et al. 2011). Time bi se otvorila mogućnost jedinstvene teorije kognicije koja uključuje višerazinske opise – od fizikalne dinamike do apstraktnih kompjutacijskih procesa.

5. Zaključak

Iz tema kojima smo se do sada bavili možemo zaključiti da postkognitivizam, u svojoj dinamicističkoj inačici, predstavlja pokušaj prevladavanja klasičnog kognitivizma, ali ne i napuštanja okvira same kognitivne znanosti. Kritička orijentacija dinamičkog pristupa traži da hipoteze o mentalnim procesima budu biološki plauzibilne te da teorijska načela kognitivne znanosti budu koherentna s načelima prirodnih znanosti. Klasični kognitivizam, usmjeren na proučavanje i modeliranje kognicije “višeg reda” (poput formalnog logičkog zaključivanja), naišao je na ograničenje kada je pokušao sve mentalne procese koji upravljaju inteligentnim ponašanjem svesti na manipulaciju diskretnih, lokalnih i amodalnih simbola prema unaprijed programiranim algoritmima. Već je konekcionizam, iako ostajući unutar kompjutacijsko-reprezentacijske paradigme, pokazao da se prepoznavanje obrazaca, što je temelj percepcije i učenja, odvija u dinamičnoj, paralelnoj aktivnosti kroz rekurzivnu propagaciju signala u mrežama koje distribuiraju reprezentacije preko subsimboličkih čvorova (neurona). Metafora tradicionalnog digitalnog serijskog računala pokazala se neprikladnom i u kognitivnim arhitekturama koje modeliraju probabilističko zaključivanje, računanje statističke vjerojatnosti događaja, odnosno prediktivno kodiranje, tj. selekciju ulaznih signala u skladu s postojećim ali obnovljivim modelom svijeta u kojem kognitivni agent mora učinkovito funkcionirati. Kompjucija u stvarnom svijetu mora biti aktivna a ne samo reaktivna te se odvija u organizmu koji traži podražaje a ne čeka naredbe izvana kako bi pokrenuo produkcije, tj. procesiranje informacija.

Ponovno usmjeravanje fokusa na inteligentno ponašanje, ali ovaj put shvaćeno kao koordinirana interakcija mozga, tijela i okoline, dogodilo se potaknuto istraživanjima u fizici i biologiji, posebice kroz primjenu matematičke teorije dinamičkih sustava. Dinamička hipoteza u kognitivnoj znanosti dio je šireg nastojanja da se pronađu novi fizikalni zakoni koji bi objasnili procese u sustavima koji pokazuju nelinearno pa čak i kaotično

ponašanje. Prema dinamičkom pristupu, kognitivno procesiranje nije ograničeno na izmjenu psihičkih stanja ili kompjutacijske procedure, neurološku aktivnost pa čak niti na djelovanje organizma, nego nastaje kao rezultat međusobnog uvjetovanja i utjecaja samoorganizirajućih elemenata koji spontano formiraju strukture na mikrorazini i makrorazini. Re-rezentacije, prema takvom shvaćanju, nisu statične mentalne slike, već su periodi relativne stabilizacije koja se formira kroz integrativne i segregativne tendencije sustava.

Dinamicizam nije samo kognitivna teorija i predstavlja pokušaj tumačenja psiholoških fenomena matematičkim alatima koji su dokazali svoju učinkovitost u prirodnim znanostima, čime se nastoji premostiti eksplanatorni jaz između psihologijskog i fizikalnog područja. Dinamički pristup kogniciji temelji se na teoriji dinamičkih sustava, grani čiste matematike, ali za razliku od klasičnih simboličkih pristupa koristi se geometrijskim pojmovima poput vektora, lokacija u faznom prostoru i atraktora. Teorija dinamičkih sustava, kao i kognitivizam, nastoji matematički modelirati inteligentno ponašanje, odnosno dati točan opis i predviđanja mentalnih fenomena. Dinamicizam tvrdi da to nastoji učiniti u obuhvatnijem horizontu, s obzirom na to da je kognicija utjelovljena i situirana i, zapravo, dio evoluirajućeg sustava iz kojeg je samo artificijelno možemo izdvojiti.

Ipak, dinamičkoj hipotezi mogu se uputiti dva osnovna prigovora, a oba se tiču slabe razlučivosti. Prvi se odnosi na slabu razlučivost inteligentnog ponašanja od ostalih oblika ponašanja, posebno ako napustimo tradicionalni kognitivni vokabular. Drugi prigovor odnosi se na problem definiranja granica promatranog fenomena, osobito ako sustav uključuje velik broj elemenata koji se simultano razvijaju u međusobnoj interakciji, što može otežati identifikaciju specifičnih kognitivnih procesa. Dinamicizam stoga nužno zahtijeva dopunu određenim oblicima kompjutacijsko-reprezentacijskih teorija, osobito ako želi objasniti anticipacijsko ponašanje koje podrazumijeva oblikovanje predodžbi te prepoznati reguliranu, kontroliranu i upravljenu narav organskih procesa koji su istodobno pravilni i kompjutacijski robusni (Kitano 2002). Ti procesi predstavljaju poseban oblik samoorganizacije unutar kojeg se odvijaju i mentalne operacije koje omogućuju fleksibilno i prilagodljivo ponašanje u složenim, promjenjivim uvjetima.

U relevantnoj literaturi, uz postkognitivističku kritiku, nailazimo i na teorijske pristupe koji nastoje pomiriti simboličke i konekcionističke modele s teorijom dinamičkih sustava i utjelovljene kognicije (Clark 1997), ali i na pokušaje da se unutar dinamičkog okvira objasni pojava reprezentacija (Schöner 2008). Novi smjer kognitivne znanosti stoga ne vidimo isključivo u sukobu ili nadopunjavanju različitih “-izama”, već u sustavnom gledištu na

kogniciju kao produkt razgranate¹⁴ evolucije organizama koji aktivno djeluju u za njih smisljenoj prirodnoj i društvenoj okolini, u svrhu samoodržanja i adaptacije. U tom okviru kompjutacija, u različitim oblicima i na različitim razinama, nije odvojeni proces koji se odvija isključivo u digitalnim uređajima ili simboličkim sustavima, već je fenomen koji inherentno pripada živim organizmima i njihovoj biološkoj osnovi (Freeman i Skarda 1990; Tenenbaum et al. 2011). Iz svega rečenog postaje jasno da bi primarna zadaća postkognitivističke kritike trebala biti s različitih polazišta raščistiti polje susreta računalne i prirodne znanosti i time omogućiti kooperativno istraživanje svih komplementarnih aspekata kognicije. Takav pristup trebao bi biti oslobođen disciplinarnih predrasuda i metodološkog ekskluzivizma, jer samo interdisciplinarni naponi mogu osigurati dublje razumijevanje kompleksne prirode uma i njegovih funkcija.

Zaključno, integracija dinamičkog i kompjutacijskog pristupa otvara mogućnost razvoja teorijskog okvira koji može obuhvatiti cijeli raspon kognitivnih fenomena, od bioloških oscilacija i neuronske aktivnosti do simboličke manipulacije i inteligentnog ponašanja. Smatramo da budućnost kognitivne znanosti leži upravo u takvom pluralističkom modelu, koji priznaje komplementarnost različitih teorijskih perspektiva te time osigurava dublje razumijevanje prirode uma.

Reference

- Abel, D. L. 2012. "Is life unique?", *Life*, 2(1), 106–134.
- Anderson, J. R., D. Bothell, M. D. Byrne, S. Douglass, C. Lebiere i Y. Qin. 2004. "An integrated theory of the mind", *Psychological Review*, 111(4), 1036–1060.
- Bechtel, W. i A. Abrahamsen. 2002. *Connectionism and the Mind: Parallel Processing, Dynamics, and Evolution in Networks (2nd ed.)* (Oxford: Blackwell Publishers).
- Barbieri, M. 2008. "Biosemiotics: a new understanding of life", *Naturwissenschaften*, 95(7), 577–599.
- Beer, R. D. 2000. "Dynamical approaches to cognitive science", *Trends in Cognitive Sciences*, 4(3), 91–99.
- Bressler, S. L. i J. A. S. Kelso. 2001. "Cortical coordination dynamics and cognition", *Trends in Cognitive Sciences*, 5(1), 26–36.
- Churchland, P. M. 1989. *A Neurocomputational Perspective: The Nature of Mind and the Structure of Science* (Cambridge: MIT Press).

¹⁴ Oblike inteligentnog ponašanja u prirodi uočavamo među organizmima koji se razlikuju po anatomskim i fiziološkim svojstvima te vrsti staništa u kojem uspješno obitavaju do te mjere (usp. pčelu, hobotnicu i čovjeka) da o pravocrtnom evolucijskom razvoju kognitivnog procesiranja ne može biti govora.

- Churchland, P. S. i R. Grush. 1999. "Computation and the brain", u R. A. Wilson i F. C. Keil (ur.), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences* (Cambridge: MIT Press), 155–158.
- Clark, A. 1997. *Being There: Putting Brain, Body, and World Together Again* (Cambridge: MIT Press).
- Clark, A. 1999. "An embodied cognitive science?", *Trends in Cognitive Sciences*, 3(9), 345–351.
- Clark, A. 2013. "Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science", *Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 181–204.
- Corning, P. A. 2002. "The re-emergence of 'emergence': a venerable concept in search of a theory", *Complexity*, 7(6), 18–30.
- Chemero, A. 2009. *Radical Embodied Cognitive Science* (Cambridge: MIT Press).
- Davies, P. C. W. 1999. *The Fifth Miracle: The Search for the Origin and Meaning of Life* (New York: Simon & Schuster).
- Dawson, M. R. W. 2013. *Mind, Body, World: Foundations of Cognitive Science* (Edmonton: Athabasca University Press).
- Edelman, G. M. 2006. *Second Nature: Brain Science and Human Knowledge* (New Haven: Yale University Press).
- Eliasmith, C. 1996. "The third contender: a critical examination of the dynamicist theory of cognition", *Philosophical Psychology*, 9(4), 441–463.
- Fodor, J. A. 1975. *The Language of Thought* (Cambridge: Harvard University Press).
- Fodor, J. A. i Z. W. Pylyshyn. 1988. "Connectionism and cognitive architecture: a critical analysis", *Cognition*, 28(1–2), 3–71.
- Freeman, W. J. 2000. *How Brains Make Up Their Minds* (New York: Columbia University Press).
- Freeman, W. J. 2006. "Consciousness, intentionality, and causality", u S. Pockett, W. P. Banks i S. Gallagher (ur.), *Does Consciousness Cause Behavior?* (Cambridge: MIT Press), 73–105.
- Freeman, W. J. i C. A. Skarda. 1990. "Representations: who needs them?", u J. L. McGaugh, N. M. Weinberger i G. Lynch (ur.), *Brain Organization and Memory: Cells, Systems, and Circuits* (New York: Guilford Press), 375–380.
- Fuchs, A. i J. A. S. Kelso. 2018. "Coordination dynamics and synergetics: from finger movements to brain patterns and ballet dancing", u S. C. Müller, P. J. Plath, G. Radons i A. Fuchs (ur.), *Complexity and Synergetics* (Dordrecht: Springer), 301–316.
- Gleick, J. 1987. *Chaos: Making a New Science* (New York: Viking Books).
- Gomila, A. i P. Calvo. 2008. "Directions for an embodied cognitive science: toward an integrated approach", u P. Calvo i A. Gomila (ur.), *Handbook of Cognitive Science: An Embodied Approach* (Amsterdam, Boston: Elsevier Science), 1–25.
- Haensch, W., T. Gokmen i R. Puri. 2019. "The next generation of deep learning hardware: analog computing", *Proceedings of the IEEE*, 107(1), 108–122.

- Haken, H. 1983. *Synergetics: An Introduction* (Dordrecht: Springer).
- Haken, H. 2006. "Synergetics of brain function", *International Journal of Psychophysiology*, 60(2), 110–124.
- Haken, H., J. A. S. Kelso i H. Bunz. 1985. "A theoretical model of phase transitions in human hand movements", *Biological Cybernetics*, 51(1), 347–356.
- Hardesty, L. 2016. "Analog computing returns: new analog compiler could help enable simulation of whole organs and even organisms". *MIT News*, <https://news.mit.edu/2016/analog-computing-organs-organisms-0620> [pristupljeno 15. rujna 2025.].
- Haugeland, J. 1985. *Artificial Intelligence: The Very Idea* (Cambridge: MIT Press).
- Heras-Escribano, M. 2021. "Pragmatism, enactivism, and ecological psychology: towards a unified approach to post-cognitivism", *Synthese*, 198(1), 337–363.
- Hodges, A. 1983. *Alan Turing: The Enigma* (London: Burnett Books).
- Husserl, E. 2007. *Ideje za čistu fenomenologiju i fenomenologijsku filozofiju*. Preveo Ž. Pavić (Zagreb: Naklada Breza).
- Kelso, J. A. S. 1995. *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior* (Cambridge: MIT Press).
- Kelso, J. A. S. 2002. "The complementary nature of coordination dynamics: self-organization and agency", *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*, 5(4), 364–371.
- Kelso, J. A. S. 2008. "An essay on understanding the mind", *Ecological Psychology*, 20(2), 180–208.
- Kitano, H. 2002. "Computational systems biology", *Nature*, 420(6912), 206–210.
- MacLennan, B. J. 2004. "Natural computation and non-Turing models of computation", *Theoretical Computer Science*, 317(1–3), 115–145.
- Marr, D. 1982. *Vision: A Computational Investigation Into the Human Representation and Processing of Visual Information* (New York: Henry Holt and Co).
- Mayr, E. 1992. "The Idea of teleology", *Journal of the History of Ideas*, 53(1), 117–135.
- McClelland, J. L., M. B. Botvinick, D. Noelle, T. T. Rogers, M. Seidenberg i L. Smith. 2010. "Letting structure emerge: connectionist and dynamic systems approaches to cognition", *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 348–356.
- Miller, G. A. 2003. "The cognitive revolution: a historical perspective", *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 141–144.
- Mitchell, M. 2009. *Complexity: A Guided Tour* (Oxford, New York: Oxford University Press).
- Murray, J. D. 2003. *Mathematical Biology II: Spatial Models and Biomedical Applications* (Dordrecht: Springer).
- Newell, A. 1980. "Physical symbol systems", *Cognitive Science*, 4(2), 135–183.
- Newell, A. 1990. *Unified Theories of Cognition* (Cambridge, London: Harvard University Press).

- Newell, A. i H. A. Simon. 1972. *Human Problem Solving* (Englewood Cliffs: Prentice-Hall).
- Patočka, J. 2016. *The Natural World as a Philosophical Problem* (Evanston: Northwestern University Press).
- Pylyshyn, Z. W. 1984. *Computation and Cognition* (Cambridge: MIT Press).
- Rasch, M. J., F. Carta, O. Fagbohunge i T. Gokmen. 2024. "Fast and robust analog in-memory deep neural network training", *Nature Communications*, 15(1), 7133.
- Rovee, C. K. i D. T. Rovee. 1969. "Conjugate reinforcement of infant exploratory behavior", *Journal of Experimental Child Psychology*, 8(1), 33–39.
- Roy, J.-M., J. Petitot, B. Pachoud i F. J. Varela. 1999. "Beyond the gap: an introduction to naturalizing phenomenology", u J. Petitot, F. J. Varela, B. Pachoud i J.-M. Roy (ur.), *Naturalizing Phenomenology: Issues in Contemporary Phenomenology and Cognitive Science* (Stanford: Stanford University Press), 1–80.
- Rumelhart, D. E., J. L. McClelland, PDP Research Group. 1986. *Parallel Distributed Processing, Volume 1: Explorations in the Microstructure of Cognition* (Cambridge: MIT Press).
- Rumelhart, D. E. 1998. "The architecture of mind: a connectionist approach", u P. Thagard (ur.), *Mind Readings: Introductory Selections on Cognitive Science* (Cambridge: MIT Press), 207–238.
- Schöner, G. 2008. "Dynamical systems approach to cognition", u R. Sun (ur.), *The Cambridge Handbook of Computational Psychology* (New York: Cambridge University Press), 101–126.
- Schrödinger, E. 1992. *What is Life? With Mind and Matter, and Autobiographical Sketches* (Cambridge: Cambridge University Press).
- Searle, J. R. 1980. "Minds, brains, and programs", *Behavioral and Brain Sciences*, 3(3), 417–457.
- Searle, J. 1984. *Minds, Brains, and Science* (Cambridge: Harvard University Press).
- Short, T. L. 2007. *Peirce's Theory of Signs* (New York: Cambridge University Press).
- Smith, L. B. i E. Thelen. 2003. "Development as a dynamic system", *Trends in Cognitive Sciences*, 7(8), 343–348.
- Smolensky, P. 1991. "The constituent structure of connectionist mental states: a reply to Fodor and Pylyshyn", u T. Horgan i J. Tienson (ur.), *Connectionism and the Philosophy of Mind: Studies in Cognitive Systems, vol 9* (Dordrecht: Springer), 281–308.
- Strogatz, S. H. 1994. *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering* (Cambridge: Perseus Books).
- Sun, R. 2014. "The CLARION cognitive architecture: toward a comprehensive theory of the mind", u S. Chipman (ur.), *The Oxford Handbook of Cognitive Science*, <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199842193.013.11> [pristupljeno 27. rujna 2025.].

- Šimić, N., P. Valerjev i M. Nikolić Ivanišević. 2020. *Mozak i um: od električnih potencijala do svjesnog bića* (Zadar: Sveučilište u Zadru).
- Thagard, P. 2005. *Mind: Introduction to Cognitive Science* (Cambridge: MIT Press).
- Tenenbaum, J. B. 2018. "Computational models of cognition: part 1", *Brains, Minds and Machines Summer Course 2018*, [Video] Massachusetts Institute of Technology, <https://cbmm.mit.edu/video/computational-models-cognition-part-1-10734> [pristupljeno 13. siječnja 2025.].
- Tenenbaum, J. B., C. Kemp, T. L. Griffiths i N. D. Goodman. 2011. "How to grow a mind: statistics, structure, and abstraction", *Science*, 331(6022), 1279–1285.
- Thelen, E. 1992. "Development as a dynamic system", *Current Directions in Psychological Science*, 1(6), 189–193.
- Thelen, E. i E. Bates. 2003. "Connectionism and dynamic systems: are they really different?" *Developmental Science*, 6(1), 378–391.
- Thelen, E. i L. B. Smith. 1994. *A Dynamical Systems Approach to the Development of Cognition and Action* (Cambridge: MIT Press).
- Thompson, E. 2007. *Mind in Life: Biology, Phenomenology, and the Sciences of Mind* (Cambridge: Harvard University Press).
- Turing, A. M. 1936–1937. "On computable numbers with an application to the Entscheidungsproblem", *Proceedings of the London Mathematical Society*, 2(42), 230–265.
- Turing, A. M. 1950. "Computing machinery and intelligence", *Mind*, 59 (236), 433–460.
- Turing, A. M. 1952. "The chemical basis of morphogenesis", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 237(641), 37–72.
- Valerjev, P. 1999. "Kakvi su ljudi kompjutori: neka otvorena pitanja kompjutacijskog pristupa u suvremenoj kognitivnoj znanosti", *Suvremena psihologija*, 2(1–2), 127–152.
- van Gelder, T. 1998. "The dynamical hypothesis in cognitive science", *Behavioral and Brain Sciences*, 21(5), 615–628; rasprave 629–665.
- van Gelder, T. 1999. "Dynamic approaches to cognition", u R. A. Wilson i F. C. Keil (ur.), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences* (Cambridge: MIT Press), 244–246.
- van Gelder, T. i R. F. Port. 1995. "It's about time: an overview of the dynamical approach to cognition", u R. F. Port i T. van Gelder (ur.), *Mind as Motion: Explorations in the Dynamics of Cognition* (Cambridge: MIT Press), 1–43.
- Varela, F. J. 1992. "Autopoiesis and a biology of intentionality", u B. McMullin (ur.), *Proceedings of the Workshop "Autopoiesis and Perception"* (Dublin: Dublin City University Press), 4–14.
- Villalobos, M. i J. Dewhurst. 2017. "Why post-cognitivism does not (necessarily) entail anti-computationalism", *Adaptive Behavior*, 25(3), 117–128.
- Vranić, V. 1967. "Diferencijalne jednadžbe", *Tehnička enciklopedija*, 2. svezak (Zagreb: JLZ), 265–273.

Wiener, N. 1948. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine* (Cambridge: MIT Press).

Wilson, R. A. i L. Foglia. 2017. "Embodied cognition", u E. N. Zalta (ur.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/embodied-cognition/> [pristupljeno 02. veljače 2025.].