

Melanie Mitchell

Complexity – A Guided TourOxford University Press, Oxford and New York, 2009. 349 pp.
ISBN 978-0-19-512441-5. (150 K, Knjižara Algoritam, Zagreb).

“Redukcionizam je za razumijevanje najjednostavnija stvar na svijetu. To je jednostavno uvjerenje da se cjelina može razumjeti, ako poznamo njene dijelove, kao i svojstva njihovog zbroja. Nitko u svojoj lijevoj polutki mozga ne može odbaciti redukcionizam”. Ovo je citat izjave Douglasa Hofstadtera, jednog od pionira znanosti o kompleksnim sustavima. Tim citatom Melanie Mitchell, poslijediplomska studentica Hofstadtera, danas profesorica računalnih znanosti na Portland State University, Oregon, i vanjska suradnica Santa Fe Institute, New Mexico, USA, započinje svoju knjigu, prvu naslovnu obradu ove teme u dostupnoj literaturi. Knjiga je, po najavi same autorice, tek vodič u znanost kompleksnih sustava, i tumači zašto je redukcionizam na njih neprimjeren.

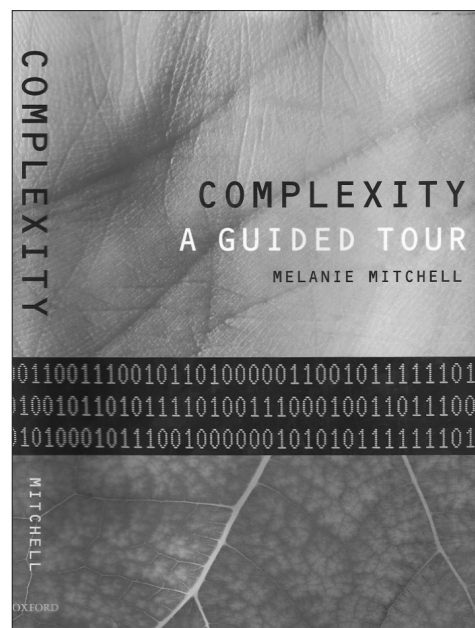
Na stranici 13, autorica predlaže dvije alternativne definicije kompleksnih sustava. Prva definicija glasi: “Kompleksni je sustav onaj u kojem velike mreže komponenata, bez centralizirane kontrole i jednostavnih pravila djelovanja stvaraju osnovu za kompleksno ponašanje, softiciranu obradu informacija i razvoj putem učenja i prilagodbe.” Druga, alternativna definicija je jednostavnija i kaže: “Kompleksni je sustav onaj koji pokazuje značajno nastajuće i samoorganizirajuće ponašanje.” Recenzentu je prva definicija razumljivija od druge.

Termin *kompleksni sustavi* upotrebljava se za interpretaciju pojava u znanosti o gospodarenju okolišem, u biološkoj ekologiji, u teoriji ekološke ekonomije, u fiziologiji i medicini. Ilya Prigogine pokušao je 1960-ih godina objasniti kompleksne sustave identifikacijom sastavnica i uspostaviti teoriju na osnovi malog broja fizikalnih koncepcija. Per Bak uveo je prije dvadesetak godina pojam samoorganizirajuće kritičnosti, služeći se konceptima dinamičkih sustava i faznih prijelaza. Kompleksnost je postala riječ svakodnevne upotrebe u znanostima. U političkom rječniku kompleksnost je krilatica koja zamjenjuje priznanje: ne razumijem. Kao i *održiv razvoj* znači svakome ono, što dotičnom treba, a da prihvatljivu i prihvaćenu, svima razumljivu definiciju, nisam nigdje nalazio. Stoga je pojava ove monografije 2009. godine označila prvi pokušaj obrade jedne teme od nepobitnog općeznanstvenog značenja.

Ova je monografija sinteza čitatelju dobro poznatih iznašuća iz fizike, biologije, termodinamike, informatologije i statistike, kojima se daje novi sadržaj u tumačenju fenomenologije kompleksnih sustava. Iako se specijalistima iz navedenih područja izlaganja autorice mogu činiti prepojednostavljenima ili čak trivijalnim, sintezu koju predlaže Melanie Mitchell, smatram uspješnom, ponajprije stoga što nam ukazuje na razloge zašto kompleksni sustavi izbjegavaju opisivanje u terminima klasične fizike makro-svijeta. Površnom je čitatelju fenomen samoorganiziranja materije, posebno nežive, u neskladu s drugim zakonom termodinamike. Put kojim ga vodi autorica svakako pridonosi razrješenju tih dvojbi.

Na osnovi napisa same autorice, knjiga je proizašla iz njezine doktorske disertacije, obranjene 1990. na Univ. of Michigan pod mentorstvom profesora Douglasa Hofstadtera, kao i jednog nedavnog, pozvanog predavanja održanog u Institutu za znanost o kompleksnim sustavima Santa Fe. Knjiga je podijeljena u pet odjeljaka s 19 poglavlja. Prvi je odjeljak pregled razvoja disciplina koje tvore osnovu za proučavanje kompleksnosti: informatologije, računarstva, dinamike i kaosa, te biološke evolucije. Sljedeća tri poglavlja sintetiziraju ove četiri discipline u disciplinu znanosti o kompleksnosti. Završno poglavlje knjige obrađuje potragu za općim načelima znanosti o kompleksnosti. Glavna je prednost izlaganja autorice, matematičara po sveučilišnom obrazovanju, da uvodjenjem čitatelja u ovu disciplinu izbjegava pretjeranu primjenu, kemičarima pokatkad nedostupnog, naprednog, matematičkog aparata i formulacija. Knjiga je pisana za obrazovane prirodoslovce – nematematičare.

Autorica vodi čitatelja od Aristotela, preko Galileja i Newtona do Laplacea, koji je zastupao tvrdnju da Newtonovi zakoni omogućava-



vaju predskazivanje svega, i to za sva vremena. Vodeći čitatatelja preko Heisenberga do teorije kaosa, ona ukazuje da savršeno predskazivanje nije moguće u praksi, ali ni u teoriji. Teorija kaosa postulira da beznačajno male pogreške u mjerenju početne pozicije i momenta istraživanog objekta mogu posljediti u ogromnim pogreškama u dugoročnim predskazivanjima. (Ovo poglavlje, posebno str. 22, trebali bi svakako ponovno i ponovno pročitati oni koji predskazuju katastrofične posljedice promjena klime!) Katotični su sustavi nelinearni, u kojima je cjelina različita od zbroja sastavnica. Jer, kaže autorica, linearnost je san redukcionista, nelinearnost je njihova noćna mora.

Poglavlje o informacijama (3., str. 40) ukazuje da su kompleksni sustavi često samoorganizirajući, a da se uređenje pojavljuje iz nereda. Iako se ta pojava, barem prividno, suprotstavlja entropijskom, drugom zakonu termodinamike, potrebno je razumjeti energetske vrijednosti informacije. Autorica se vraća na svima dobro poznat paradoks Maxwellovog demona, uz raspravu fizikalnog značenja pojmova energije, rada i entropije. Pojam nepovratnosti ključan je za razumijevanje termodinamike zatvorenih sustava i temeljito je obrađen u tom poglavlju. Ključnu ulogu u razrješenju paradoksa Maxwellovog demona imao je Leo Szilard, koji je ukazao na to da se manjkajuća energija nalazi u sadržaju informacije. Szilard je osim toga postulirao da brisanje postojeće informacije nužno povećava entropiju cjeline sustava. Veza između entropije i informacije postala je uskoro osnovicom informacijske teorije i ključnom idejom u proučavanju kompleksnih sustava. Ludwig Boltzmann zaslužan je za uspostavljanje discipline statističke mehanike, kojom je premoštena diskrepancija između klasične mehanike i statističke termodinamike. Za veliki broj diskretnih čestica nekog sustava statistika postaje tvrdim prirodnim zakonom. Zbog toga je poznavanje termodinamike osnovica za razumijevanje kompleksnih sustava – okoliša, ekologije, biologije, fiziologije i klimatologije. Iako su i informatolozi i fizičari dugo smatrali da je brak tih dviju disciplina više interesantan nego koristan, pojava kvantne informacijske teorije i fizike informacija posljednjih desetljeća mijenja tu sliku. Sve su to razlozi zbog kojih bi istraživači kompleksnih sustava trebali biti dobri poznavaoči termodinamike.

Poglavlje 4, stranice 56–70 naslovljeno *Computation* (Računarstvo) izlet je u osnovnu matematičku disciplinu. Njome se Mitchellova služi kao uvodom u poglavlje 12, u kojem obrađuje procesiranje informacija u živim sustavima, na primjerima imunskih sustava, kolonija mrava te biološkog metabolizma. Autorica vodi čitatelja kroz ideje Davida Hilberta, Kurta Gödela i Alana Turinga, velikih matematičara koji su obilježili kraj 19. i prvu polovicu 20. stoljeća. Znanstveniku, bez dovoljnog matematičkog ob-

razovanja, izlaganje autorice otvara pristupačan i širok vidokrug u razumijevanju važnog Turingovog rješenja za problem odlučivanja (*Entscheidungsproblem*): postoji li, ili ne postoji, konačni postupak u odlučivanju da li je neka tvrdnja istinita ili ne. Turingov je značaj u tome što je analizom pokazao da konačni postupak ne postoji. Njegov je značajan doprinos u tome što je 1940-ih godina prvi pokazao kako se računala mogu programirati, ali i da postoje granice u doseg onoga što se može izračunati. I Gödel i Turing imali su psihičkih problema, i obojica su svoje živote završili samoubojstvima. (Mislim da čitatelju Mitchellinih izlaganja ta opasnost ne prijeti!).

U godini u kojoj se slavi obljetnica rođenja i objave Darwinove teorije evolucije, poglavlje pod tim naslovom (5., stranice 71–80) napisano je s mnogo inspiracije i duhovitosti. Život i evolucija uzrokuju da živi sustavi postaju sve kompleksniji i kompliciraniji, umjesto neuređeniji i entropijski. Mitchellova dokazuje da je Charles Darwin svojom "blasfemičnom" teorijom evolucije tek formulator ideja, koje su se u njegovo doba publikacijama mnogih znanstvenika već počele oblikovati. Posebno je u tom slijedu interesantan Darwinov djed, Erasmus Darwin, znanstvenik i pjesnik, koji je osnovne ideje evolucije objavio u obliku poezije (citirano u knjizi). Anglikanska crkva nije tu poeziju razumjela, te ju je kao i katolička crkva u Francuskoj jednostavno ignorirala. Mitchellova kreditira Jean-Baptista Lamarcka, kao Darwinovog prethodnika, koji je neke elemente evolucije dobro shvatio, ali kojem je manjkalo Darwinovo iskustvo prirodoslovca istraživača. Darwinova iznašaća, osnova njegove teorije, opisana su u knjizi i u ovoj prigodi ih ne treba ponavljati. Interesantno je da su rezultati Gregora Mendela u istraživanjima naslijeđivanja smatrani suprotstavljenima Darwinovoj teoriji. Darwin je bio zagovornik kontinuiteta, dok je Mendel zastupao varijaciju u vrstama kao skokovite promjene. Mitchellova citira Darwinovu maksimu: "Natura non facit saltum" (priroda ne čini skokove), čime je odbacivao teoriju mutacija. Razlog sukoba bio je u manjku konceptijskog okvira i matematičkog aparata, koji bi pokazao usklađenje njihovih ideja. Mitchellova opisuje kako su Ronald Fisher, J. B. S. Haldane i Sewall Wright, iako međusobno suprotstavljeni, postali 1930-ih godina osnivačima matematičke biologije, nazvane *Modernom sintezom*. U to vrijeme uloga gena u naslijeđivanju bila je nepoznata, te je pokušaj sinteze Mendelove i Darwinove teorije bio značajan korak u biologskoj znanosti. Moderna je sinteza doživjela 1960-ih i 1970-ih godina tešku kritiku paleontologa Stephen Jay Goulda i Nilesa Eldredgea, koji su ustvrdili da paleontološki nalazi osporavaju teoriju postupnosti te da prvenstvo prirodne selekcije i malih varijacija u genima nisu u skladu s paleontološkim nalazima. Ipak, i Gould i Eldredge odlučno prihvaćaju osnove Darwinove teorije i to osobito sljedeća načela: da se evolucija događala u zadnjih 4 milijarde godina i da traje; da sve postojeće vrste potječu od istovjetnog pretka; da je prirodna selekcija odigrala važnu ulogu u evoluciji; i konačno, da ne postoji "inteligentna" sila koja bi upravljala evolucijom i oblikovanjem organizama. Navođenjem ovih podataka, Mitchellova se jasno opredjeljuje u današnjim, posebno američkim, političkim (ili filozofskim?) raspravama o "inteligentnom dizajnu".

Za čitatelja je posebno vrijedno 7. poglavlje, stranice 94–111, naslovljeno "Definiranje i mjerenje kompleksnosti". Na kraju tog poglavlja, a na osnovi prethodno opisane analize, autorica kaže: "Raznolikost predloženih mjera pokazuje da pojam kompleksnosti, koju pokušavamo dokučiti, ima niz različitih interaktivnih dimenzija, koje se, vjerojatno, ne mogu obuhvatiti jedinstvenom mjernom skalom". U poglavlju autorica navodi niz mogućih mjera: kompleksnost kao veličina; kompleksnost kao entropija; kompleksnost kao algoritmički sadržaj informacije; kompleksnost kao dubina logike; kompleksnost kao termodinamička dubina (*thermodynamic depth*); kompleksnost kao računalni kapacitet; statistička kompleksnost; kompleksnost kao fraktalna dimenzija; kompleksnost kao hijerarhijski stupanj. Ovaj je recenzent nešto shvatio, nešto nije. Čini se da ni autorica ne zna koju mjeru i kada treba upotrijebiti. Ali dobili smo dobru informaciju o kompleksnosti problema.

U sljedeća tri odjeljka Melanie Mitchell pokazuje svoje preokupacije kao profesorica računalnih znanosti. Opisuje život i evoluciju

u računalima. Raspravlja o velikim naredbama računalstva, i konačno o umreženom razmišljanju (*network thinking*). Ova zadnja kategorija, dobro poznata znanstvenicima iz područja računalnih znanosti, manje je poznata prirodoslovcima (skoro nepoznata ovom recenzentu). Za raspravu o kompleksnim sustavima upotrebljiva je definicija umreženog razmišljanja: ono se usredotočuje na odnose među vrstama (entitetima) umjesto na pojedinačne entitete. Iako se autorica u ovoj knjizi ne bavi problemima ekologije i okoliša, umreženo razmišljanje nameće se kao teorijska osnovica okolišnom managementu. Jer krajnji redukcionizam doveo je sve discipline kojima su predmetom proučavanja kompleksni sustavi u slijepu ulicu. Mrežno razmišljanje, ono što se naziva i multidisciplinarnom interakcijom, doveli su James Brown i Brian Enquist, oba biologzi, uz pomoć i Geoffreya Westa, teorijskog fizičara i matematičara, do interpretacije metaboličke teorije, koja je inicirala i u biologiji i u fizici nove uzbudljive teme rasprave, ali i pobudila nove kontroverze među disciplinama. Čitatelj treba ući u sam tekst knjige da prihvati autoričine opise i dokaze kako su kompleksni sustavi teško razumljivi unutar strukture zasebnih disciplina.

U zadnjem, 19. poglavlju Melanie Mitchell se zalaže za razvitak nove discipline – znanosti (u pluralu) o kompleksnosti (*Sciences of Complexity*). Umjesto *laudatio ad finem*, autorica navodi prigovore koje je znanstveni novinar John Horgan objavio 1995. u časopisu *Scientific American* pod naslovom "Da li je kompleksnost prevara?" (*Is Complexity a Sham?*). Horganova kritika izražena je u njegovoj sumnji da će (1) u području istraživanja kompleksnosti ikada biti pronađena bilo kakva korisna opća načela ili zakonitosti, i (2) da je predominacija računalnog modeliranja učinila kompleksnost znanosti lišenu bilo kakvih činjenica (*a fact-free science*). Horgan naziva tu znanost pop-znanosti, tvrdi da termin *kompleksnost* nema sadržaja, a da je trajanje te znanosti podržavano samo zbog javnog publiciteta. U svojoj sljedećoj knjizi Horgan naziva kompleksnost "svršetkom znanosti". On odriče teoriji kaosa, kompleksnosti, i istraživanjima umjetnog života bilo kakav doprinos u rasvjetljavanju misterija prirode, ništa ni blizu onome, što je pridonijela Darwinova teorija evolucije, ili kvantna mehanika. Ekologinja i entomologinja Deborah Gordon u svojoj kritici kaže da su ideje o kompleksnosti, samoorganizaciji i nastajanju, kada je cjelina veća nego zbroj svih njezinih komponenata, postale modni izrazi, tek nadomjestci za metaforu kontrole. Dapače, kaže Deborah Gordon, nada da bi neka nova opća načela mogla opisati kompleksne dinamičke sustave, koje pronalazimo u prirodi, nosi sa sobom poznatu opasnost da se svjesno zanemaruje sve što ne odgovara pretpostavljenom modelu.

Melania Mitchell ukazuje na djelo Norberta Wienera, koji je rekao (str. 296) da "...se znanost o kompleksnim sustavima, uključujući tu one u biologiji ali i u inženjerstvu, ne smije fokusirati na koncepte iz fizike – masu, energiju i silu – nego na one kao što su povratna veza, kontrola, informacija, komunikacija i svrhovitost." Norbert Wiener smatra se osnivačem discipline kibernetike, kojoj još i danas manjka rigorozni matematički okvir (str. 298). Prigovine usprkos svojim nastojanjima nije uspio stvoriti ni koherentni vokabular kompleksnih sustava, čak niti nešto nalik na opću teoriju, koja bi opisivala kompleksnost u prirodi (str. 298). Kompleksnost je još uvijek fragmentirani subjekt promatranja, više nego objedinjena cjelina. Autorica zaključuje da se stanje u znanosti o kompleksnim sustavima svodi na jednostavnu tvrdnju: Mi ne znamo! (str. 301). Ono na što se čeka jeste jedan novi Isaac Newton, koji bi pronašao višu matematiku (*calculus*) kompleksnosti, matematički jezik koji bi zahvatio izvore i dinamiku samoorganizacije, nastajanja i prilagođavanja kompleksnih sustava.

Tekstu je pridodano 20 stranica anotacije, odnosno 303 bilješke. Bibliografija sadrži na 11 stranica 290 referencija, koje sežu sve do 2008. godine. To je za čitatelja od posebne vrijednosti ako želi provjeravati tvrdnje u originalnoj literaturi. Na kraju je još i iscrpan indeks imena i natuknica.

Ova je monografija vrijedna pažnje i čitanja za sve one koji se bave kompleksnim sustavima u biologiji organizama, ekonomiji, ekologiji i u znanosti o okolišu. Klasični redukcionizam u tim disciplinama naprosto više ne prolazi.

Velimir Pravdić