



KAOS I NELINEARNA DINAMIKA – NOVI METODOLOŠKI PRISTUPI U DRUŠTVENIM I POLITOLOGIJSKIM ZNANOSTIMA

Aleksandar HALMI
Pravni fakultet, Zagreb

UDK: 303.732
Pregledni rad

Primljeno: 23. 4. 2001.

Sistemska teorija je u posljednjih 20 godina snažno napredovala. Kaos i teorija kompleksiteta kao i prateće metode istraživanja omogućuju nov način razumijevanja sistemske teorije i promiču sofisticirane matematičke metode za proučavanje kompleksnih socijalnih fenomena. Često nazivane pojmom "nelinearne dinamike", zbog toga jer tragaju za razumijevanjem socijalnih sustava koji se mijenjaju na način koji nije podložan linearnim uzročno-posljedičnim modelima bliskim istraživačima iz područja društvenih znanosti i politologije, ove teoretske perspektive nailaze na veliku primjenu u širokom opsegu disciplina. U članku se raspravlja o disciplinama nelinearne dinamike – kaosu i kompleksitetu – na način koji je razumljiv i relevantan za sve društvene istraživače. Članak daje pregled nekih temeljnih koncepata i metoda iz teorije kaosa i nelinearne dinamike koji mogu opskrbiti socijalne istraživače novim informacijama koje će ih potaknuti na više empirijskoga rada u području primjene sistemske teorije u društvenoj praksi.

✉ Aleksandar Halmi, Pravni fakultet, Studijski centar socijalnog rada, Nazorova 51, 10000 Zagreb, Hrvatska. E-mail: ahalmi@inet.hr

UVOD

Početakom XX. stoljeća fiziku su uzdrmale dvije nove teorije koje dominiraju njezinim razvojem sve do danas i s većim utjecajima na druga područja znanosti i primjene. To su: kvantna fizika, koja se odnosi na zbivanja na razini atoma, i teorija relativiteta, koja se odnosi na zbivanja pri vrlo velikim brzina-

ma. U tim okvirima je tijekom XX. stoljeća postignut golem napredak fundamentalnih znanosti i omogućena nova tehnološka revolucija koja ide u pravcu razvoja kompjutorske tehnologije, otkriće lasera, genetskoga koda i sl.

No, krajem XX. stoljeća na znanstvenu se pozornicu me-teorski uspinje nova znanstvena paradigma – teorija determinističkog kaosa. O čemu je zapravo riječ? Unatoč velikim naporima znanstvenika u istraživanjima zakonitosti prirode i velikim uspjesima na mnogim područjima, mnogi znanstveni problemi, pa čak i neki razmjerno jednostavni, ostajali su gotovo potpuno nerazjašnjeni. Osobito se to odnosilo na neke aspekte nepravilnih gibanja, kao što su na primjer klimatske pojave, turbulentne pojave u tekućinama, nelinearni učinci u elektroničkim krugovima, varijacije brojnosti pojedinih biljnih i životinjskih vrsta, nelinearna epidemiologija nekih zaraznih ili kroničnih nezaraznih bolesti, nelinearni socijalni, ekonomski ili politički fenomeni. Takve nepravilne pojave ostajale su za znanost velikim dijelom zagonetne sve do zadnje četvrtine XX. stoljeća. Tek u posljednja dva desetljeća znanstvenici su usmjerili svoju pozornost na zakonitosti takvih nepravilnih pojava. U području prirodnih znanosti istraživači su počeli otkrivati dotad neslućene zakonitosti takvih nelinearnih procesa i primjenjivati ih na mnoge različite probleme kao što su, na primjer, meteorološke i klimatske pojave, epidemiološke pojave, makroekonomski procesi, ekološki modeli i sl. Teorija determinističkoga kaosa povezana je s uporabom brojnih specijalno razrađenih stohastičkih i matematičkih metoda visokoga stupnja formalizacije i sofisticiranih kompjutorskih programa za analizu nelinearnih diferencijalnih jednačica koje mogu duboko prodrijeti u složenu matematičku strukturu tih pojava. I sad, kad su znanstvenici usmjerili pozornost na deterministički kaos, otkrivamo da je on posvuda oko nas i da tu vrijede neke nove, dosad nepoznate zakonitosti.

Bitna pitanja koja kaosolozi u vezi s time postavljaju mogu se izraziti u obliku temeljnih hipoteza:

1. Što je to što regularno, determinističko ponašanje odjednom pretvara u kaotično?
2. Koji faktori izazivaju tu tranziciju – u kvalitativnom i kvantitativnom smislu?
3. Koje vrste nelinearnih sustava pokazuju kaotična ponašanja? (Svi kaotični sustavi su nelinearni, ali nisu ujedno i svi nelinearni sustavi kaotični.)
4. Kako se ponašanje nelinearnih sustava mijenja ako neki dinamički parametri pokazuju takav sustav promjena?
5. Kako možemo dokazati da je neki sustav doista kaotičan te na koji način možemo izmjeriti, odnosno kvantificirati kaos?

6. Postoje li neke univerzalne osobine svojstvene svim nelinearnim sustavima?

7. Kako možemo objasniti i razumjeti tu univerzalnost?

8. Može li se fenomenologija kaosa uopće znanstveno i tehnički elaborirati?

9. Zašto se masovni socijalni pokreti, političke i znanstvene revolucije zbivaju iznenadno i što im je uzrok?

10. Koje su ontološke, epistemološke i metodološke implikacije fenomena kaosa u području političkih znanosti?

Na ta i slična pitanja pokušava odgovoriti teorija kaosa ili kaosologija, posebna disciplina koja se razvija unutar područja nelinearne dinamike. Tradicionalano, teorija kaosa utemeljena je na zakonima fundamentalne fizike, ali fenomenologija kaosa pokazuje neke univerzalne osobine, tako da se, uz izvjesne modifikacije, može objasniti i s aspekta društvenih i političkih znanosti. Povijesno gledajući, teorija kaosa proizlazi iz matematičkoga proučavanja nelinearne dinamike koja započinje pionirskim Poincareovim radom (1854.-1929.), nastavlja se otkrićem Feigenbaumovih brojeva (1978.), proširuje se Lorenzovim jednadžbama (1984.), a svoju konačnu znanstvenu verifikaciju i matematičku operacionalizaciju dobiva razradom Lyapunovih eksponenata. Kako bi se koncepti teorije kaosa i nelinearne dinamike mogli primijeniti u području društvenih i političkih znanosti, potrebno je da istraživači s tog područja ovladaju metodama i tehnikama visokoga stupnja matematičke i statističke formalizacije, jer se bez poznavanja metodologije strukturalnih diferencijalnih nelinearnih jednadžba fenomeni kaotične dinamike ne mogu u potpunosti shvatiti te svako daljnje izvođenje zaključaka ostaje u djelokrugu metafizike.

FENOMENOLOGIJA KAOSA

U posljednjih dvadeset godina fenomen kaosa i nelinearne dinamike prerastao je u pravu znanstvenu disciplinu koja nam može osigurati novo konceptualno i metodološko oruđe za razumijevanje iznenađujuće kompleksnoga ponašanja naoko jednostavnih struktura koje nazivamo tzv. disipativnim sustavima. Univerzalnost toga fenomena je istodobno intrigantna i zagonetna. Što je to što regularno, determinističko ponašanje iznenada pretvara u kaotično? Koji faktori izazivaju tu tranziciju – u kvalitativnom i kvantitativnom smislu? Teorija kaosa trebala bi biti utemeljena na zakonitostima fundamentalne fizike, ali taj fenomen pokazuje neke univerzalne osobine, tako da se može primijeniti i na široko područje društvenih znanosti i na mnoga druga disciplinarna područja (političke znanosti). No, da bismo shvatili što fenomen kaosa uopće znači, potreban je potpuno nov način "nelinearnoga" re-

DRUŠ. ISTRAŽ. ZAGREB
GOD. 11 (2002),
BR. 1 (57),
STR. 133-154

HALMI, A.:
KAOS I NELINEARNA...

zoniranja, nova terminologija i potpuno originalan metodološki pristup, jer "tamo gdje kaos počinje, klasična znanost prestaje" (Gleick, 1996.). Istraživači u području prirodnih znanosti već dugo zaviruju u zakone prirode, ali su zanemarivali nered u atmosferi, uzburkanome moru, čudesne mutacije virusa i genetske transformacije, fascinantne promjene bioloških populacija, potpuno neobjašnjivo nastajanje i nestajanje nekih masovnih zaraznih bolesti i sl. Nepravilna i nelinearna strana prirode i ljudskoga društva oduvijek je bila zagonetka za znanost. No, sedamdesetih godina ovoga stoljeća nekolicina znanstvenika u SAD-u i Europi počinju pronalaziti put kroz nered. Matematičari, fizičari, biolozi, kemičari, svi u potrazi za vezama između različitih vrsta nepravilnosti. Fiziolozi su pronašli začuđujući red u kaosu nastalom u ljudskome srcu, glavnom uzroku iznenadne, neobjašnjive smrti. Ekolozi su istraživali iznenadna uvećanja i smanjenja raznih bioloških populacija. Ekonomisti su uvidjeli da se velike ekonomske krize i depresije javljaju u pravilnim vremenskim razmacima. Politolozi su otkrili velike nepravilnosti u ispitivanjima javnoga mnijenja klasičnim metodama. Otvorili su se novi vidici koji su izravno vodili u nepoznati svijet prirode i društva. Desetljeće kasnije, fenomen kaosa postao je skraćenica za brzo rastući pokret koji mijenja tkivo znanstvene zajednice. Množe se konferencije i časopisi o kaosu. Razni fondovi izdaju sve veće iznose za istraživanje kaosa. U svakom većem sveučilišnom centru formiraju se posebne katedre za proučavanje kaosa. U Los Alamosu osnovan je Centar za nelinearna istraživanja, s prvenstvenim ciljem uvođenja reda u radu na kaosu. Slične ustanove pojavile su se na sveučilištima širom SAD-a. Kaos je stvorio posebne vrste grafičkih prikaza i spektara koji sadrže fantastični i profinjeni ustroj koji determinira složenost. Nova znanost rodila je i vlastiti jezik, elegantni žargon pun fraktala i bifurkacija, prekida i periodičnosti, difeomorfizama različitih vrsta i oblika. Za neke teoretičare kaos je više znanost o procesu, a ne o stanju, o postojanju više nego o bivanju. Sada kada postaje predmetom interesa mnogih znanstvenih disciplina, kaos je, čini se, posvuda. Kaos se očituje u ponašanju vremenskih prilika, neurona, srčanih ritmova, ekonomskih ciklusa, političkih procesa, masovnih socijalnih pokreta. Ponašanje bilo kojega medija pokorava se istim novootkrivenim zakonima. Kaos probija granice između znanstvenih disciplina. Budući da je riječ o znanosti o ukupnoj prirodi sustava, sjedinjava istraživače s različitih područja, nekoć posve razdvojenih. Kaos postavlja probleme koji odbacuju prihvaćene načine rada u znanosti. Postavlja snažne hipoteze o općem ponašanju složenosti koje isključuju svaki oblik determinizma i uzročno-posljedične povezanosti. Napušta se sklonost zna-

DRUŠ. ISTRAŽ. ZAGREB
GOD. 11 (2002),
BR. 1 (57),
STR. 133-154

HALMI, A.:
KAOS I NELINEARNA...

nosti k redukcijonizmu, apsolutizmu jedne paradigme, analizi sustava po sastavnim dijelovima. Protagonisti nove teorije vjeruju da tragaju za cjelinom. Najstrastveniji zagovornici nove znanosti idu tako daleko da kažu kako će se znanost dvadesetoga stoljeća pamtiti po svega tri stvari: teoriji relativiteta, kvantnoj mehanici i kaosu. Kaos će, tvrde ti znanstvenici, postati treća velika znanstvena revolucija stoljeća u prirodnim, ali i u društvenim znanostima. Informacijska tehnologija se već odavno suočava sa složenim i gotovo nerješivim problemima koji iznenada nastaju u informacijskim sustavima. Kao i prve dvije, kaos je raskinuo svaku vezu s tradicionalnim postavkama njutnovske fizike. Relativnost je uklonila njutnovsku iluziju apsolutnoga prostora i vremena, kvantna teorija uklonila je njutnovski san o upravljivom postupku mjerenja, a kaos ukida laplasovsku fantaziju o determinističkoj predvidljivosti. Od svih triju, jedino se revolucija u kaosu primjenjuje na univerzum koji vidimo i dotičemo, na čovjeka i njegovo okruženje. Svakodnevno iskustvo i realne perspektive svijeta postale su glavni predmeti istraživanja. Dugo je postojao osjećaj da je tradicionalna znanost odlutala daleko u metafiziku i imaginarne spekulacije. Hoće li se ovo pokazati plodnom herezom ili samo herezom, nitko ne zna. Ali neki istraživači koji su mislili da tradicionalna znanost može završiti u slijepoj ulici – sada u kaosu vide spas.

POIMANJE KAOSA I NELINEARNE DINAMIKE

Kaos je pojam koji se rabi u opisivanju prividno kompleksnoga ponašanja sustava za koji pretpostavljamo da su jednostavni. Kad se promatra uzročno-posljedično, kaotično se ponašanje zbiva iznenadno i slučajno, i to najčešće pod utjecajem okolinskih čimbenika. Tako složeni oblici ponašanja svojstveni su kompleksnim sustavima s mnogo stupnjeva slobode. Međutim, kaotično ponašanje primijećeno je nedavno i kod jednostavnih sustava s malenim brojem stupnjeva slobode koji su po prirodi deterministički. Problem razumijevanja kaosa ponovno u središte dovodi "paradigmatsku debatu" između probabilizma i determinizma i pokušava razbiti iluziju da je determinizam zajednička ontološka osnova i statističkih i funkcionalnih zakona. Ovdje se vraćamo na polazne Popperove pretpostavke o "Bijedi historicizma" (1996.). Popper historicizam drži pristupom društvenim znanostima koji pretpostavlja da je glavni cilj društvenih istraživanja povijesno predviđanje i koji pretpostavlja da se taj cilj može postići determinističkim otkrivanjem "ritmova" ili "obrazaca", "zakona" ili "trendova" koji leže u osnovi evolucije povijesti. Takve historicističke doktrine o metodi u biti su odgovorne za nezadovoljavajuće stanje teoretskih društvenih znanosti. Ključni element za razumijevanje novih trendova u znanosti svakako je pojam neli-

DRUŠ. ISTRAŽ. ZAGREB
GOD. 11 (2002),
BR. 1 (57),
STR. 133-154

HALMI, A.:
KAOS I NELINEARNA...

nearnosti, dok se disciplina koja se bavi proučavanjem nelinearnoga ponašanja naziva nelinearna dinamika. Prije nego što započnemo putovanje po novoj i čudnovatoj zemlji, potrebno je upoznati se s krajobrazom toga nepoznatog područja koje ćemo posjetiti. Riječ kaos je dio žargona koji se rabi prilikom opisivanja neobičnih oblika ponašanja nekih sustava. Kaos *per se* je zapravo samo jedan oblik ponašanja koji manifestiraju ti sustavi. Područje istraživanja koje puno preciznije opisuje takve oblike manifestnog ponašanja naziva se nelinearnom dinamikom. To specifično disciplinarno područje istražuje dinamična ponašanja /ponašanja koja se zbivaju u vremenskim nizovima/nelinearnih sustava. No što je to nelinearni sustav? Hilborn (1994.) smatra da su nelinearni sustavi takvi sustavi čije su vremenske evolucijske jednadžbe nelinearne, što znači da se dinamičke varijable koje opisuju osnovne osobine takvoga sustava (poziciju, akceleraciju, diseminaciju i sl.) pojavljuju u jednadžbama koje imaju nelinearni oblik.

Ako se parametar koji opisuje linearni sustav mijenja, mijenjat će se i frekvencija i amplituda rezultirajućih oscilacija, ali će kvantitativna priroda ponašanja sustava u biti ostati ista. Međutim, u nelinearnim sustavima i neznatne promjene parametara vode iznenadnim i dramatičnim promjenama i u kvalitativnomu i u kvantitativnomu smislu. Postavlja se logično pitanje zašto je nelinearnost toliko bitno svojstvo prirodnih i društvenih sustava? U sklopu toga valja napomenuti da je većina realnih sustava nelinearna, u većem ili manjem opsegu, te da klasični linearni odnosno deterministički sustavi u stvarnosti rijetko egzistiraju. Stoga se postavlja temeljno pitanje: Mogu li se socijalni sustavi koji su većinom nelinearni, proučavati klasičnim metodama linearne (multivarijatne) analize?

FILOZOFSKE PRETPOSTAVKE NOVE PARADIGME

Ontološke i epistemološke pretpostavke razvoja nove paradigme u društvenim znanostima nalazimo u radu britanskoga filozofa Roya Bhaskara (1989.) koji zastupa realističku ontologiju i modificiran znanstveni naturalizam u području epistemologije. Bhaskarov pristup možemo ubrojiti u tzv. "teorije srednjega dometa" koje se kreću između "tvrdih" pozitivističkih makroteorija i "mekih" postmodernističkih mikroteorija koje, u načelu, odbijaju bilo kakav oblik kvantitativne analize u području društvenih znanosti. Ravnajući se prema tom "srednjem kursu", Bhaskar razvija teoriju kritičkoga realizma preko tzv. disipativnoga sustavnog pristupa koja se temelji na aksiomu determinističkoga kaosa. Bhaskarov kritički realizam započinje na imanentnoj kritici tradicionalne metodologije istraživanja čiji su statistički izvodi potpuno neprimjereni društvenoj stvarnosti. Kao što je Kant odbacio Humeov empirizam, a Popper historicizam kao metodu društvenih znanosti,

kritički realizam odbacuje klasičnu eksperimentalnu metodologiju koja se temelji na uzročno-posljedičnim konstelacijama i neutemeljenim prognostičkim modelima koji se na osnovi tih odnosa izvode. Kauzalna objašnjenja izvedena iz empirijske evidencije su nužna, ali nedovoljna za identifikaciju sustava koji se razvijaju po načelima nelinearne dinamike. Stoga se Bhaskar ne slaže s prognostičkim rezultatima eksperimentalnih istraživanja i drži da ona ne mogu biti konačni arbitar u verifikaciji znanstvenih hipoteza, pružajući ontološki okvir koji ukazuje na ograničenja prediktivnih modela, posebno kad je riječ o tzv. "otvorenim" sustavima.

Takav dinamički realizam sposoban je potkrijepiti posebnosti i pluralizam društvenoga života, pružajući racionalne kanone znanstvenoga objašnjenja i razumijevanja. Naturalizam koji Bhaskar zastupa zahtijeva da istraživači s područja društvenih znanosti rabe načelo metodološkoga pluralizma kada proučavaju institucionalni život disipativnih socijalnih sustava u njihovoj perspektivi. S tim u vezi postavljaju se dva ključna pitanja: 1. Može li se paradigma determinističkoga kaosa primijeniti na istraživanja u području društvenih i političkih znanosti? i 2. Mogu li se konkretni matematički modeli barem s ograničenom vrijednošću primijeniti na te discipline i omogućiti im bogatu heurističku osnovu?

Odgovor na prvo pitanje možemo pronaći u međusobnoj usporedbi različitih modela i strategija istraživanja koje funkcioniraju na točno određenim razinama ontološkoga realiteta, reprezentirajući institucionalne strukture. Tako Harvey i Reed (2000.) prvo identificiraju šest karakterističnih modela aktualnih u metodologiji društvenih istraživanja. To su: a) prediktivni modeli koji se razvijaju po uzoru na metode klasične mehanike, b) statistički modeli koji se široko primjenjuju u društvenim i političkim znanostima, c) ikonološki modeli koji su razvijeni u području matematičke teorije kaosa, d) strukturalni modeli koji su vrlo popularni u socijalnoj antropologiji i politologiji, e) idealno-tipski modeli koji se rabe u komparativnoj ekonomiji i sociologiji, f) povijesni modeli koji se uglavnom usmjeruju na ideografske deskripcije vremenskoga slijeda određenih konkretnih događaja. U drugoj fazi autori razvijaju svojevrstan metateorijski okvir koji odražava ontološke strukture različitih institucionalnih političkih struktura koje egzistiraju u realnome svijetu (od najnerazvijenijih do visokorazvijenih struktura). Konačno, u trećoj fazi autori dovode u međusobnu korelaciju strateške modele i ontološke razine te preko specifične matrice ispituju učinkovitost pojedinih modela na odgovarajućoj ontološkoj razini. Ispitivanjem međusobne povezanosti utvrdili su da klasični prediktivni i statistički modeli najbolje pristaju na najnižim razinama ontološkoga realiteta (npr. razne biotičke i ekološke strukture), ikonološki i strukturalni modeli dobro funkcioniraju na srednjoj

razini (npr. organizacijske i institucionalne strukture), dok idealno-tipski i povijesni modeli mogu iznimno dobro poslužiti analizi najviših razina ontološkoga realiteta kao što su, na primjer, društvene i politološke strukture.

Ako želimo pronaći odgovor na drugo pitanje, možemo konstatirati da poznavanje matematike kaotičnih sustava omogućuje razumijevanje biti teorije kompleksiteta socijalnih fenomena. Bez poznavanja kompleksnih sustava nelinearnih strukturalnih jednadžba nije moguće identificirati niti interpretirati kaotično ponašanje nekoga političkoga sustava. Bolje rečeno, nemoguće je prepoznati i izdvojiti kaotično ponašanje od nekih drugih manifestnih oblika ponašanja koji su slični kaosu. Stoga je prije svake daljnje rasprave o primjeni matematičkih metoda u analizi determinističkoga kaosa potrebno postaviti preliminarno pitanje: zašto je potrebno kvantificirati kaos? Jedan odgovor leži u nastojanjima kvantitativne specifikacije neuobičajenih oblika ponašanja sustava i njihova identificiranja ili razdvajanja od kaotičnoga ponašanja. Zato su nam potrebne kvantitativne metode visokoga stupnja matematičke i statističke formalizacije, kako bismo pouzdano i valjano otkrili genuino kaotično ponašanje određenih socijalnih i političkih sustava. Drugi razlog kvantificiranja kaotičnoga ponašanja je mogućnost anticipiranja budućega scenarija pretvorbe regularnoga ponašanja u kaotično koje je analogno kvantitativnim i kvalitativnim (univerzalnim) osobinama koje opisuju sustavna ponašanja i promjene unutar kaotičnoga režima kao parametre sustava u tranziciji (dinamičke varijable). Ova dva razloga dostatna su za izvođenje zaključka zašto postoji potreba za kvantifikacijom kaotičnoga ponašanja, ali dodatna argumentacija svakako može dobro doći:

1. kvantifikacija može pomoći pri razdvajanju kaotičnoga od ostalih oblika stihijskoga ponašanja nekoga političkoga sustava;
2. kvantifikacija može pomoći pri određivanju broja varijabla koje su uključene u dinamiku političkoga sustava;
3. kvantifikacija može pomoći u izradi taksonomskih klasifikacija dinamičkih političkih fenomena;
4. promjene u kvantitativnim parametrima ili kvantifikatorima mogu biti povezane s relevantnim modifikacijama u dinamičkom ponašanju političkih fenomena.

METODE KVANTIFIKACIJE KAOSA

Kako i u kojoj mjeri možemo dokazati da se neki socijalni ili politički sustav upravlja po kaotičnoj dinamici? Kada regularno i determinističko ponašanje nekoga sustava postaje kaotično? Kako razlikovati stihijske od kaotičnih oblika ponašanja? U ovom dijelu raspravljat ćemo o nekoliko načina ili metoda koje daju kvantitativan odgovor na postavljena pitanja. No, prije nego se upustimo u raspravu, potrebno je dati detaljni-

je odgovore na postavljena pitanja. Jedan odgovor leži u nastojanjima, odnosno mogućnostima kvantitativne specifikacije eradičkih od kaotičnih ponašanja sustava. Kao što ćemo vidjeti, kaotična dinamika proizvodi jednu vrstu "slučajnoga" gubitka informacija u sustavima osjetljivim na inicijalne uvjete, što može objasniti kompleksne oblike ponašanja takvih sustava. Stoga želimo raspolagati kvantitativnim metodama koje nam mogu pouzdano razdvojiti genuino kaotično ponašanje od ostalih stihijskih oblika ponašanja. Drugi razlog je što neke od tih kvantitativnih metoda mogu točno procijeniti broj aktivnih stupnjeva slobode sustava. Treći razlog kvantificiranja kaotičnoga ponašanja je mogućnost anticipiranja univerzalnoga scenarija povezanosti i metamorfoze regularnoga ponašanja u kaotično koje je analogno kvantitativnim i kvalitativnim univerzalnim osobinama koje opisuju sustavna ponašanja i promjene unutar kaotičnoga režima pomoću dinamičkih varijabla.

Dakako, takve univerzalne osobine već su ranije otkrivene u djelima nekih autora. Promatrajući dramatičan porast stanovništva onoga vremena, istaknuti ekonomist i teolog Robert Thomas Malthus formulirao je svoj poznati zakon stanovništva u djelu *Esej o stanovništvu* (1798.). Malthus polazi od teze da sve živo teži razmnožavanju iznad mogućnosti koje pružaju proizvodi prehrane. Kao dio živućeg svijeta, i stanovništvo teži povećanju preko granica sredstava za život, ali te granice djeluju na samo prirodno množenje stanovništva tako da porast stanovništva stalno drže na toj maksimalnoj razini. Kad se ničim ne bi ograničavalo, stanovništvo bi raslo geometrijskom progresijom i udvostručavalo bi se svakih dvadeset i pet godina. Nasuprot tome, proizvodnja hrane raste znatno sporije. Dakle, prema Malthusovu mišljenju, stanovništvo raste geometrijskom progresijom, a sredstva prehrane aritmetičkom progresijom. Kako geometrijska progresija dovodi do mnogo bržega povećanja nego aritmetička progresija, to će stanovništvo rasti mnogo brže nego proizvodnja hrane, pa će oskudica hrane nužno morati regulirati veličinu stanovništva.

Mnogo godina kasnije, Feigenbaum (1978.) je razvio jednostavni matematički model koji se temelji na prethodnom načelu. Feigenbaum je u tom zakonu otkrio neke univerzalne kvantitativne osobine i ugradio ih u numerički proračun koji je postao izvorni temelj za suvremeno proučavanje determinističkoga kaosa. Zbog svoje matematičke jednostavnosti, ovaj model postao je koristan test za "kaotične" hipoteze. Model se može predstaviti na sljedeći način. Zamislimo određenu biološku populaciju čiji su članovi rođeni i uginuli za vrijeme jedne sezone (jedne godine). Želimo znati koliki je godišnji prirast ($N1$) u odnosu na startni broj ($N0$). Ta jednostavna situacija algebarski se može ovako izraziti: $N1 = AN0$, gdje A

predstavlja numeričku vrijednost koja ovisi o okolinskim faktorima (količini hrane, meteorološkim uvjetima i sl.). Ako je $A > 1$, broj članova populacije će rasti, a ako je $A < 1$, taj će broj opadati. Ako je $A = 1$, populacija će rasti i u sljedećoj godini. U prvom slučaju to vodi Malthusovoj populacijskoj eksploziji, a u drugom slučaju ta tendencija vodi potpunom izumiranju populacije. Prema navedenom Malthusovu zakonu poznato je da, ako neka biološka vrsta prebrzo raste, nema dosta resursa za prehranu novih (rastućih) članova populacije. Na taj način populacijski rast biva ograničen. Taj limitirajući faktor može se ugraditi u model na taj način da će on biti nebitan za male vrijednosti N , ali taj moment postaje relevantan u slučaju porasta vrijednosti N . Sada Feigenbaum uvodi novu veličinu N^2 što vodi novoj relaciji:

$$N1 = AN0 - BN0^2$$

Ako je $B \ll A$, tada drugi član jednadžbe neće biti toliko relevantan sve dok N enormno ne naraste. Predznak minus znači tendenciju prema smanjenju populacije. Istu jednadžbu možemo primijeniti kako bismo vidjeli promjene u sljedećim sezonama (godinama):

$$N2 = AN1 - BN1^2, N3 = AN2 - BN2^2 \text{ itd.}$$

Za potrebe naše analize valja spomenutu jednadžbu transformirati uvođenjem novoga parametra $X_n = N_n/N^{\text{MAX}}$ koji dio populacije prikazuje kao frakciju u odnosu na maksimalno moguću populaciju koja se izražava simbolom N^{MAX} (X se nalazi u području od 0 do 1). Uvođenjem novoga parametra/varijable dolazi i do sustavne transformacije jednadžbe koja glasi:

$$X_{n+1} = AX_n(1 - X_n) = f_A(X_n),$$

gdje je X_n populacija prikazana kao frakcija u odnosu na maksimalno moguću populaciju u N -toj godini. Funkcija f_A naziva se "iterativnom funkcijom" zbog toga što pronalazimo populacijske frakcije X u pojedinim dijelovima sezone/godine pomoću iteracije ili ponavljanja matematičkih operacija iz navedene jednadžbe. Funkcija ima oblik parabole.

Grafička i ikonološka analiza kaosa

Matematičke temelje teorije kaosa i jedinstvene osobine te nove znanosti otkrili su istraživači koji su se bavili proučavanjem dinamike nelinearnih sustava. Pojmovi kao što su periodičnost, atraktori, ovisnost o početnim uvjetima – su termini koji nisu uobičajeni u društvenim znanostima. Međutim, suvremena mikrokompjutorska tehnologija i grafički programi mogu pomoći u boljem razumijevanju i istraživanju matematike kaosa i nelinearne dinamike (CND). Grafički *softwarei* omogućuju vizualno prikazivanje značenja nelinearne dinamike i tako olakšavaju grafičku analizu kaosa. Grafički prikazi omogućuju da razvijemo nelinearne vremenske serije i da ih

tada grafički istražimo, pri čemu je novcima potrebno minimalno znanje iz deskriptivne statistike. Grafičkim istraživanjem fenomena CND počinjemo shvaćati kako naoko jednostavni disipativni sustavi mogu razviti vrlo kompleksne oblike ponašanja, što ima posebnu važnost za društvene znanosti i povijesni razvitak društvenih sustava koji napreduju od jednostavnih do vrlo složenih ontoloških struktura. Kao što je poznato, nelinearni sustavi mogu, tijekom vremena, razviti vrlo širok dijapazon ponašanja koje se može klasificirati u tri odvojena entiteta i tako grafički posebno istraživati. Ti tipovi ponašanja su: 1. ekvilibrij ili stabilno stanje, 2. periodično ponašanje ili stanje stabilnih cikličkih oscilacija, i 3. kaotično ponašanje. Najčešće rabljena matematička formula za ta tri bihevioralna režima je nelinearna diferencijalna jednadžba prvoga reda, utemeljena na logističkoj karti (mapi) koja glasi:

$$X_{t+1} = k_x(1 - X_t),$$

gdje je istraživana varijabla vrijednost X . Parametar ili granična vrijednost u formuli je konstanta k . Predznak t predstavlja oznaku za vrijeme ili sadašnju vrijednost varijable X . Podznak $t+1$ predstavlja vremensko razdoblje varijable X . Prema tome, različiti tipovi ponašanja odražavaju dinamiku nelinearnih sustava. Kaotično ponašanje u režimu ponašanja cjelokupnoga nelinearnog sustava pobuđuje najveću pozornost. Ono se zbiva unutar točno definiranih matematičkih parametara. Pojavljuje se nenadano, bez ikakvoga uzroka i nikada se ne vraća na polazište za vrijeme svoje temporalne evolucije. Grafički se takvi oblici slučajnoga ponašanja mogu vrlo dobro predstaviti i objasniti, pa stoga grafička analiza kaotične dinamike ima izvanredno značenje u metodologiji kvantifikacije kaosa i nelinearne dinamike.

Prema tome, mogućnost grafičke prezentacije i sposobnost istraživača da interpretativno poveže grafičke oblike kaosa u društvenim strukturama i procesima bit je istraživanja fenomenologije kaosa. Složenost nelinearnih jednadžba i njima svojstvene teškoće u razumijevanju nelinearne dinamike navele su istraživače da otkriju nove analitičke postupke koji su po prirodi grafički i čija je bit istraživanje dinamičkih kretanja vremenskih nizova koje generiraju prikupljeni podaci. Analitičari su se tako usmjerili na istraživanja "morfologije" kaosa (Abraham i Shaw, 1982.) koja su započela Feigenbaumovim brojevima koji se mogu grafički predstaviti u obliku različitih iterativnih i logističkih krivulja. Grafičke ilustracije podataka rezultiraju određenim geometrijskim strukturama koje su Abraham i Shaw nazvali "geometrijom kaotičnog ponašanja". Zato se grafički pristup, uz matematički, često primjenjuje u istraživanju fenomenologije kaosa.

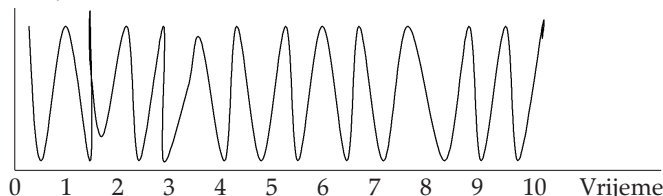
Spektralna analiza dinamičkih serija

Spektralna analiza dinamičkih sustava jedna je od metoda za istraživanje dinamičkih vremenskih serija koja ujedno služi za vrednovanje svojstva ili karakteristika distribucije frekvencija, ali se bitno razlikuje od klasične analize vremenskih serija (analize trenda i regresijske analize). Pojam koji svakako treba objasniti u ovom kontekstu je spektralna distribucija frekvencija. Snaga spektralne distribucije frekvencija, označena s $F(\omega)$ empirijska je mjera koja opisuje način na koji su raspoređene oscilacije u vremenskim nizovima u odnosu na cijelu distribuciju frekvencija. Može se reći da je taj kvantifikator najčešće rabljen postupak kada se istražuju periodične komponente vremenskih serija. Pretpostavimo da imamo jedan stabilan (linearni) stohastički proces. Spektralna distribucija frekvencija bit će progresivna i monotona s graničnim intervalom $(0, \pi)$. Funkcija se može diferencirati s obzirom na parametar ω na $(0, \pi)$. Derivacija se označava s $f(\omega) = df(\omega)/d\omega$. Formula predstavlja funkciju spektralne gustoće koja se odosi na spektralni prostor varijabla. Kada imamo stabilne trendove s autokovarijančanom funkcijom $\gamma(k)$, tada se može izraziti odnos između autokovarijančane funkcije i spektralne distribucije frekvencija kao: $\gamma(k) = \int_0^\pi \cos \omega k f(\omega) d\omega$. Fizičko značenje spektra je da parametri $f(\omega) d\omega$ predstavljaju udio varijance u komponentama koje imaju frekvencije u opsegu $(\omega, \omega + d\omega)$. Kada se grafički prikaže spektar, može se vizualizirati cijelo područje ispod krivulje koje predstavlja ta jednadžba. Empirijsko istraživanje spektra kao procesa uključuje istraživanje grafika funkcije spektralne gustoće u rasponu od 0 do π . Ako posumnjamo u prisutnost kaotičnih procesa, provodimo detaljnu analizu vremenskih serija. Poremećaj ili "šum" u periodičkim vremenskim nizovima javlja se u obliku pogrešaka mjerenja koje mogu biti slučajne ili sustavne. Prisutnost "pogreške" ili "suma" u nelinearnoj dinamici može imati katastrofalne učinke.

Najpoznatiji sustavi jednadžba kojima se može verificirati kaotična dinamika su Lorenzove i Rösslerove jednadžbe i njima pripadajući spektar. Kad se jednadžbe numerički integri-
raju, pojavljuje se ekstremno složena dinamika vremenskih serija. Lorenzov sustav jednadžba pretežno se rabi za izradu prognostičkih meteoroloških modela, a Rösslerove jednadžbe učinkovito se primjenjuju u epidemiološkim modelima istraživanja prevalencije i incidencije masovnih zaraznih bolesti. Spektralna analiza je korisna metoda za deskripciju vremenskih serija u kojima je prisutna kaotična dinamika, međutim, za analizu takvih vremenskih serija potrebno je poznavati puno sofisticiranije metode istraživanja, kao što su korelacijski integral i Lyapunovi eksponenti.

Vremenski nizovi dinamičkih varijabla

Ključno teoretsko i metodološko oruđe koje se rabi za kvantifikaciju kaotičnoga ponašanja je pojam vremenskih serija ili nizova podataka određenoga sustava. Moguće je pretpostaviti da imamo niz vrijednosti vremenskih nizova $x(t_0)$, $x(t_1)$, $x(t_2)$, tako da je $t_0 < t_1$. To može biti serija slučajnih vremenskih vrijednosti neke varijable koja je odvojena pravilnim vremenskim sekvencijama:



Teško je da se takvim nizom slučajnih vrijednosti jedne varijable mogu dosta obuhvatiti sve osobine koje želimo opisati. Međutim, ako je uzorkovanje izvedeno prikladnim vremenskim intervalima i ako su sekvencije rabljene optimalno, dosta se mogu rekonstruirati bitne osobine dinamike u faznom prostoru. Što mislimo pod pojmom "bitnih osobina"? Pojam bitnih osobina znači otkrivanje neobičnih oblika ponašanja (bifurkacija) u vremenskim serijama podataka. Na taj način možemo otkriti je li neko ponašanje kaotično i u kojoj je mjeri kaotično. Analizu vremenskih nizova korisno je utemeljiti na kontinuiranim vremenskim trajektorijama koje se mogu simbolički izraziti kao $x(t)$ vrijednosti, gdje vektor predstavlja čitav niz dinamičkih varijabla određenoga sustava. U ovom tipu analize vrijednost x raspoloživa je za bilo koju vrijednost temporalnoga parametra t . Međutim, pravi eksperiment uvijek uključuje diskretni vremenski uzorak varijabla i numerički proračun koji se mora primijeniti kod većine nelinearnih sustava. Najveći je problem odabrati prikladan vremenski interval između uzoraka varijabla, jer ne možemo znati kada i u kojem trenutku će se pokazati neobično ponašanje. U kvantitativnom opisivanju fenomena kaosa rabe se obično dva kvantifikatora. Jedan je više matematički, a drugi geometrijski. Prvi deskriptor opisuje stupanj divergencije ili konvergencije dviju trajektorija i naziva se Lyapunovim eksponentom. Drugi tip deskripcija ističe više geometrijsku prirodu trajektorija u faznom prostoru. Pritom se promatra razvoj sustava u dužem razdoblju, uz istodobno istraživanje geometrije rezultata tj. trajektorija u faznom prostoru. Unutar geometrijskoga pristupa susrećemo se s vrlo važnim konceptom fraktala, a cijelo područje istraživanja ovog tipa naziva se fraktalnom geometrijom. Navedeni deskriptori nisu, međutim, inkompatibilni i za očekivati je da će biti u međusobnom odnosu. Kako bi se kaotično ponašanje moglo primjereno opisati, nužno je rabiti četiri kvantifikatora kaosa: 1. Lyapunove eksponente, 2. Kolmo-

gorovu entropiju, 3. fraktalne dimenzije i 4. korelacijske dimenzije (integrale). U geometrijskom smislu prvo se primjenjuju jednodimenzionalni, a potom se analiza proširuje na višedimenzionalne prostore. Analiza se uglavnom ograničuje na disipativne sustave, dakle sustave koji su osjetljivi na inicijalne uvjete. Naravno takve je tranzicije sustava vrlo teško pratiti i grafički i matematički. Zato se provodi longitudinalna analiza pojedinačnih disipativnih sustava.

Mjerenje kaosa metodom Lyapunovih eksponenata

Još jedna od ključnih metoda za kvantifikaciju kaotičnoga ponašanja je uvođenje novoga kvantifikatora poznatoga pod nazivom Lyapunovi eksponenti. Uvođenje te metode prate dva razloga. Prvo želimo razviti moćan i pouzdan kvantitativan test za mjerenje kaotičnoga ponašanja koji će biti u stanju razgraničiti genuino kaotično ponašanje od bilo kojega drugog oblika stihijskog ponašanja uvjetovanog slučajnim faktorima. Drugo, potrebna nam je kvantitativna mjera za određivanje stupnja kaotičnosti nekoga sustava kako bismo mogli pratiti kretanje kaotične dinamike i njezine promjene koje prate promjene parametara sustava. Lyapunovi eksponenti su sustavne dinamične mjere prosječnoga opsega ili stupnja konvergencije ili divergencije bliskih točaka u vektorskom prostoru. Lyapunovi eksponenti su generalizirane karakteristične (*eigen*) vrijednosti cijeloga atraktora pomoću kojih procjenjujemo stupanj kontrakcije ili ekspanzije putanja ili trajektorija u čitavoj atraktornoj orbiti (Wiggins, 1990.). Osim toga, ovaj se deskriptor ili kvantifikator rabi za određivanje stupnja bifurkacije bliskih trajektorija u jednoj točki ili pak u cijelom faznom prostoru. U unidimenzionalnom prostoru postoje tri alternativne varijante Lyapunova svojstvenog eksponenta (λ): kad su Lyapunovi eksponenti manji od nule ($\lambda < 0$), putanja je stabilna ili periodična, kad su jednaki nuli ($\lambda = 0$), putanja je granično stabilna, a kad su veći od nule ($\lambda > 0$), putanja je kaotična. Pozitivna vrijednost Lyapunova eksponenta ukazuje na orbitalnu divergenciju vremenskoga niza kada svako predviđanje budućih događaja postaje ekstremno teško. Kako dolazimo do prosječne stope divergencije ili Lyapunova eksponenta? Neka je X_0 inicijalna točka, a X susjedna inicijalna točka. Neka je $X_0(t)$ putanja ili trajektorija koja nastaje iz prve inicijalne točke, a $X(t)$ trajektorija koja nastaje iz druge točke. Uvodimo novu varijablu $x = X - X_0$ koja mjeri udaljenost trajektorije od fiksne točke. Valja napomenuti da se za određivanje prirode fiksnih točaka uvodi matematički pojam pod nazivom Taylorov niz ekspanzije funkcije $f(x)$ za X vrijednost koja se nalazi u blizini fiksne točke X_0 tako da $f(x) = f_0 + (X - X_0) df/dx$. Ako se zanemare sve derivacije višega reda, tada je $x = df(x)/dx|_{X_0}$ čije rješenje je u sljedećoj formuli:

$$X(t) = X(0)e^{\lambda t}$$

gdje je $\lambda = df(x)/dx|_{x_0}$ što predstavlja Lyapunov eksponent. Pozitivna vrijednost Lyapunova eksponenta ukazuje na orbitalnu divergenciju u vremenskom nizu kada svako predviđanje budućih događaja postaje krajnje neizvjesno. Negativni Lyapunovi eksponenti ukazuju na to da su tranzicije sustava relativno stabilne ili periodične. Kada je vrijednost lambda jednaka nuli, tada su orbite na granici stabilnoga kretanja. Lyapunov eksponent ili spektar često se rabi za opis i klasifikaciju nelinearne dinamike u višefaznim ili multivarijantnim prostorima.

EMPIRIJSKA ISTRAŽIVANJA KAOSA I NELINEARNE DINAMIKE

Brojna empirijska istraživanja determinističkog kaosa i nelinearne dinamike potvrđuju tezu da je doista riječ o "novoj znanstvenoj paradigmi". Edward Lorenz, meteorolog Tehnološkog instituta u Massachusettsu, 1961. je otkrio uzmenirujuću činjenicu. Shvatio je da gomilanje podataka o varijablama, poput brzine vjetrova, tlaka zraka, vlage, temperature i Sunčevih pjega neće povećati točnost dugoročne vremenske prognoze. Uvjero se da će, koliko god podataka meteorolog prikupio, vremenska prognoza gotovo uvijek biti netočna. Razlog je, zaključio je, u tome što su dinamički sustavi poput vremena sastavljeni od previše međusobno povezanih varijabla ili međudjelujućih elemenata koji su krajnje osjetljivi na inicijalne uvjete. Lorenzov je uvid značio da u nekom smislu još uvijek vrijedi stara pretpostavka: složeni su dinamički sustavi uistinu određeni svojim uzrocima. Kad bismo znali sve uzroke, mogli bismo predvidjeti njihovu budućnost. No, utjecaji su na takav sustav, otkrio je Lorenz, zapravo beskonačni. Kako je jedan fizičar primijetio, takvi su sustavi osjetljivi toliko da na njih može utjecati i nešto beznačajno. Tu finu ovisnost o početnim uvjetima istraživači kaosa nazvali su "leptirovim učinkom" ili spoznajom da će leptir koji je danas uznemirio zrak u Amazoniji sljedeći mjesec izazvati olujne oblake iznad Zagreba. Stoga prirodom dominira kaos, no to nije površinski kaos koji se teorijski može svesti u red prikupljanjem dosta podataka, već je prirodni kaos dubok – možemo imati dosta empirijskih podataka, ali nikada nećemo u potpunosti spoznati nelinearnu prirodu dinamičkih sustava. Da se zaustavio na leptirovu učinku, predodžbi predvidljivosti koja se pretvara u čistu slučajnost, Lorenz bi donio tek još jednu lošu vijest. Ali on je u svojem modelu vremenskih prilika uočio više slučajnih događaja. Prepoznao je fini geometrijski ustroj, red prerušen u nered. Istraživači su nakon Lorenzova otkrića spremno prionuli ispitivanju svakovrsnih dinamičkih sustava u prirodnim znanostima, od elektronskih krugova do ljudskoga mozga, i otkrili nove zakonitosti. Taj ih je rad doveo do promije-

njenoga pogleda na stvarnost. Začudnom su se velikom brzinom pomaknuli od svojega tradicionalnoga determinističkog modela proučavanja prirode kao reda prema proučavanju prirode kao kaosa, iako se nisu odmah složili kako ga definirati.

Philip Holmes, matematičar govori o složenim, aperiodičkim putanjama dinamičkih sustava, Hao Bai-Lin, kineski fizičar naglašava da je tu riječ o jednoj vrsti reda bez periodičnosti. Bruce Stewart, primijenjeni matematičar, ističe prividno, slučajno ponavljano ponašanje jednostavnoga determinističkog (mehaničkog) sustava. Roderick Jense, teorijski fizičar koji je istraživao mogućnosti kvantnoga kaosa, definira kaos kao nepravilno i nepredvidivo ponašanje determinističkih, nelinearnih dinamičkih sustava. James Crutchfield govori o dinamici s pozitivnom, ali konačnom metričkom entropijom ili, prevedeno iz matematičkog jezika: o ponašanju koje dovodi do gubitka informacije, ali nije posve nepredvidivo. I konačno, Ford, samoproglašeni evangelist kaosa, govori o dinamici koja je napokon oslobođena okova determinizma, reda i prediktivnosti.

U području društvenih znanosti teorija determinističkog kaosa isprva se počela primjenjivati u politologiji, i to u sklopu vrlo osjetljive građe – ispitivanja senzibiliteta javnoga mnijenja u tijeku predizbornih kampanja. Iako je pojam "javno mnijenje", kao termin u širokoj znanstvenoj, političkoj i publicističkoj uporabi, nastao u tradiciji europske političko-filozofske misli, razvoj istraživanja javnoga mnijenja neodvojivo je povezan s područjem Sjedinjenih Američkih Država. Iako su počeci istraživanja javnoga mnijenja zabilježeni još u XIX. stoljeću, a povezani su s razvojem američkoga istraživačkog novinarstva, pravi zamah znanstvenoga istraživanja javnoga mnijenja datira od početka šezdesetih godina kad se ta vrsta empirijskih nalaza počela ekstenzivno primjenjivati u predizbornim kampanjama i drugim oblicima političkoga marketinga. U ovom kontekstu spominjemo poznato istraživanje Browna i McBurnetta (1992.) o tzv. "teoriji nelinearne politike", kad su pokušali ispitati povezanost socijalne dinamike i nelineranih političkih interakcija u tijeku predizbornih kampanja u SAD-u, služeći se analizom vremenskih nizova koje su sjajno grafički predstavili. Slično takvo istraživanje poduzeo je McBurnett (1990.), istražujući dinamiku javnoga mnijenja na predsjedničkoj nominaciji 1984. godine. Koristeći se podacima Instituta za nacionalne izbore iz tzv. "rolling thunder" ankete, McBurnett je grafički demonstrirao vremenske nizove koje odlikuje kaotična dinamika. Služeći se složenim analitičkim procedurama, kao što su Lyapunovi eksponenti i korelacijski integrali, ovaj istraživač je dokazao prisutnost kaotičnoga ponašanja u tijeku predizborne kampanje 1984.

Teorija determinističkoga kaosa intenzivno se primjenjuje i u području ekonomskih znanosti. Istraživači Brian Berry i Heya Kim (Berry i Kim, 1993.) u svojoj poznatoj studiji pod naslovom *Longitudinalni valovi od 1790-1990* otkrili su, uz najmjenična (periodična ili ciklička) makroekonomska kretanja, i granične kaotične obrasce koje uvjetuju nepoznati rezidualni faktori. Od prve industrijske revolucije 1785. do danas otkrivene su četiri Kondratovljeve cikličke strukture. Prema mišljenju istraživača, sada se nalazimo u četvrtom ciklusu koji odgovara fazi depresije. Kondratovljevi ciklusi podijeljeni su na četiri faze: 1. faza oporavka ili stabilizacije, 2. faza prosperiteta, 3. faza recesije i 4. faza depresije. Analizom longitudinalnih kretanja navedenih ciklusa istraživači su otkrili da je faza depresije započela između 1930. i 1940. godine prošloga stoljeća. Stabilizacija i prosperitet mogu se registrirati oko 1970. godine, kada makroekonomski sustav ulazi u fazu recesije. Velika ekonomska depresija 90-ih vjerojatno je započela između 1989. i 1990. Kondratovljeva teorija očigledno pomaže strateškoj razvojnoj politici i ekonomskom planiranju, jer se mnogi ekonomisti i analitičari oslanjaju na tu paradigmu. Kako ekonomski stručnjaci objašnjavaju kaotičnu dinamiku koja se može otkriti u Kondratovljevim ciklusima? Uz makroekonomske varijable koje u svakom slučaju imaju velik utjecaj, očite su i mnoge promjene u societalnoj evoluciji, vezane uz paradigmatске transformacije koje dovode do restrukturiranja i transformacije cijeloga socijalnog sustava, dovodeći do burnih promjena i u ekonomskoj sferi. Dinamika te evolucije može se interpretirati pomoću poznate disipativne strukturalne teorije (Nicolis i Prigogine, 1989.) na sljedeći način. Kretanje sustava izvan stanja ekvilibrija koje je združeno s ireverzibilnim procesima povećava količinu entropije, odnosno disipacije. Nestabilnost pokrenuta neekvilibrijskom dinamikom vodi daljnjoj disipaciji i entropiji, što dovodi do novih fluktuacija i poremećaja, ali i pozitivnih promjena usmjerenih pozitivnoj reorganizaciji cijeloga gospodarskog života. Svaka nova faza organizacijske strukturacije vodi daljnjoj potencijalnoj evoluciji. Fluktuacije ili poremećaji u gospodarskoj sferi pojavljuju se slučajno u određenoj kritičnoj točki koju kaosolozi nazivaju "bifurkacijska točka". U toj točki dolazi do "nukleacije" ili dijeljenja (grananja) "jezgre" ponašanja sustava u dvije regije: stabilnu i nestabilnu. U blizini bifurkacijske točke dolazi do amplifikacije fluktuacije, što dovodi do daljnjih lokalnih i globalne bifurkacije cijeloga sustava.

Teorijom kaosa bave se i sociolozi. Što su anomalije koje izazivaju znanstvene revolucije? Možemo li te anomalije tumačiti kao determinističke kaotične transfere koje dovode u fokus novu paradigmu? Kuhnove (Kuhn, 1961.) zamisli o načinu rada znanstvenika i događanju revolucija izazvale su pod-

jednako neprijateljstva i divljenja kad ih je prvi put objavio 1962. godine u svojoj poznatoj studiji *Struktura znanstvene revolucije*. On je zadao oštar udarac tradicionalnom shvaćanju da znanost napreduje nadograđivanjem znanja, dodavanjem svakog novog otkrića prethodnome, s pojavom novih teorija kad ih nove eksperimentalne činjenice zahtijevaju. Razorio je shvaćanje znanosti kao urednoga procesa postavljanja pitanja i pronalaženja odgovora na njih. Naglasio je kontrast između gomile onoga što znanstvenici rade, obrađujući priznate, razumljive probleme unutar svojih disciplina, i iznimnog, neortodoksnog rada potrebnog za nastanak znanstvene revolucije. Ne slučajno, znanstvenici više nisu bili toliko savršeni racionalisti. Suvremena sociološka metodologija ima danas na raspolaganju širok arsenal različitih metoda i tehnika istraživanja i zahvaćanja kompleksnih društvenih pojava i procesa. Složena biopsihosocijalna struktura čovjeka zahtijeva, uz fenomenološki, i strukturalni pristup i dinamičku analizu longitudinalnih životnih putanja ili "trajektorija" koje nisu niti linearne niti determinističke (npr. praćenje pojedinih profesionalnih, obiteljskih i delinkventnih "karijera" koje se provode genealoškim istraživanjima u sklopu studije slučaja i sl.).

Teorija determinističkoga kaosa sve se više rabi i u mnogim drugim aplikativnim društvenim znanostima, a osobito u socijalnom radu. U svom poznatom *case study*-istraživanju Fischer i Bloom (1993.) rabili su, uz bazične nacрте u studiji slučaja i multiple nacрте s promjenjivim intenzitetom, kad su, na temelju longitudinalnih praćenja vremenskih nizova, primijetili "neobične atraktore" u subjektovu ponašanju nakon uvođenja sustava planiranih intervencija. Primjenom specijalnih analitičkih postupaka (Lyapunovi eksponenti) navedeni istraživači dokazali su prisutnost kaotičnih režima u tijeku opservacijskoga i intervencijskih razdoblja ($A/B^1B^2B^3$). Obiteljski terapeuti Maturana, Varela i Olson (1987.) razvili su poznati "ciklupleksni model" obiteljske terapije koji je utemeljen na nelinearnoj kibernetičkoj epistemologiji u okviru obiteljskoga sustavnog pristupa u tijeku liječenja alkoholizma pojedinih članova obitelji.

Teorija kaosa može u mnogočemu osvijetliti i skupne procese. Jedna skupina, tzv. "brief" terapeuta na čelu s Kauffmanom (1995.) primijetila je da terapeutske skupine prolaze kroz vrlo burne i dramatične epizode na početku terapijskoga procesa. Te promjene u inicijalnoj fazi dovode skupinu na "rub" kaosa u medijalnoj fazi kada je skupni sustav spreman za intervencijski tretman. To je, zapravo, ona "točka napetosti" u kojoj je moguće izvesti brze i učinkovite transformacije cijele terapeutske skupine (skupni pristup PTSD-sindromu).

Teorija determinističkoga kaosa i znanost o nelinearnoj dinamici sve više se u posljednje vrijeme rabe u kompleks-

nom metodom pristupu u socijalnom radu koji se naziva "organizacijom zajednice" ili *community-based approach*. Posebno su taj popularni pristup razvili Germaine i Gitterman (1981.). Cilj je pružanje stručne pomoći zajednici u tijeku kriznih ili katastrofičnih događaja koji mogu pokrenuti kaotičnu dinamiku, dovodeći cijeli sustav zajednice do potpune reorganizacije i transformacije. U svojem poznatom "life modelu" istraživači su posebnim tehnikama osnaživanja i pokretanja socijalnih akcija u zajednici i za zajednicu pospješili procese njezina organiziranja i ojačali socijalnu mrežu uvođenjem suzaštitnih i samozaštitnih (suportnih) skupina. U tijeku longitudinalnih praćenja istraživači su došli do zaključka da je lokalna zajednica upravo onaj kompleksni disipativni sustav koji autokatalizom povećava svoju internu strukturaciju, a time i stupanj samoorganiziranosti i spremnosti obrane od rizika koji dolaze iz okružja.

Kao što vidimo, znanost o determinističkom kaosu sve više utječe na brojne sociologijske i psihologijske teorije. Istraživači s tog područja razvili su modele koji povezuju teoriju kompleksiteta s kognitivno-konstruktivističkom paradigmatom u društvenim znanostima, posebno u području razvojne psihologije. Međutim, svi ti elaboracijski modeli još su uvijek u eksperimentalnoj fazi proučavanja, pa se postavlja logično pitanje: Mogu li ostali modeli koji podržavaju ideju nelinearne dinamike dati društvenoj znanosti neke jedinstvene osobine? Mnogi teoretičari iz područja društvenih i politologijskih znanosti drže da je ideja nelinearne dinamike pogodan model za istraživanje i evaluaciju prakse u tim disciplinama, jer nudi brojne mogućnosti dubljega razumijevanja načina na koji se socijalni i politički sustavi razvijaju i mijenjaju u skladu s kaotičnim režimom. Osim toga, takva perspektiva ima veliku vrijednost za istraživače i praktičare, jer se pomoću nje mogu razviti specifične metode i tehnike kvantifikacije i mjerenja kaosa u području društvenih i politologijskih znanosti, ali i u mnogim aplikativnim disciplinama.

ZAKLJUČAK

Brojne studije koje su napisane o teoriji determinističkoga kaosa čine uvjerljivim tezu da je, doista, riječ o "novoj znanosti" koja se opisuje kao paradigma determinističkoga kaosa ili kaosologija. Međutim, mnoge analize sadržaja literature koje govore o teoretskim perspektivama kaosa i nelinearne dinamike još uvijek ne daju dosta jaku empirijsku osnovu na temelju koje bi se pouzdano i argumentirano mogla verificirati ta teza. U ovome članku ipak se jasno nazire referentni okvir nove znanstvene paradigme, iako se u sklopu znanosti o nelinearnoj dinamici još uvijek ne može govoriti o postojanju jedne koherentne i konzistentne teorije determinističkoga kaosa ko-

ja bi se mogla svesti pod zajednički naziv "kaosologija", ili znanstvene subdiscipline u okviru znanosti o nelinearnoj dinamici koja se bavi proučavanjem neobičnih i nepredvidivih oblika ponašanja naoko jednostavnih (disipativnih) sustava. Posebno, takva znanstvena disciplina nije do danas razvijena u području društvenih i politologijskih znanosti. Postoje, doduše, neka parcijalna i fragmentarna istraživanja u području politologije, ekonomskih znanosti, sociologije i socijalnog rada, ali u kontekstu "postmoderne" i poststrukturalizma, i to na razini metateorijskih koncepcija. Potrebno je napomenuti da te koncepcije leže na jednoj drugoj razini od genuinih znanstvenih pristupa koji se razvijaju u području nelinearne dinamike. To, naime, nisu znanstvene, nego "paraznastvene" koncepcije. U njima se ne razvijaju temeljni pojmovi i istraživačke metode kaosologije, već se raspravlja o tome kako se odvija geneza znanstvenoga razvoja nove paradigme te kako znanost o determinističkom kaosu može uopće dospjeti do pouzdanih rezultata. Međutim, čitatelju treba biti jasno da je znanost o determinističkom kaosu nemoguće shvatiti izvan širokoga referentnog okvira znanstvenih i metateorijskih koncepcija ili paradigma. Glavne teorijske paradigme koje osnivaju znanost o determinističkom kaosu u sklopu prirodnih znanosti svakako su kvantna teorija i teorija relativiteta, a u okviru društvenih znanosti dominira suvremena systemska teorija koja se razvija u različitim pravcima. Izloženi su pristupni primjeri umnožavajućih pokušaja da se fenomen kaosa što bolje razumije, da ga se što preciznije upozna te da se razviju metode i tehnike optimalne racionalizacije kada se suočimo s kompleksnim problemima iz toga djelokruga.

LITERATURA

- Abraham, R., Shaw, C. (1982.). *Dynamics: The Geometry of Behavior. Vols. 1-4*, Santa Cruz, CA: Aerial Press.
- Berry, B. J. L., Kim, H. M. (1993.). Are Long Waves Driven by Techno-Economic Transformations? Evidence for the US and UK *Technological Forecasting and Social Change* 44: 111-35.
- Brown, T., McBurnett, M. (1992.). Political Life on a Lattice: Emergent Elites and Some Consequences for Political Stability. *Proceeding of the ECAL '93, European Conference on Artificial Life*. Brussels, Belgium.
- Bhaskar, R. (1989.). *The Possibility of Naturalism: A Philosophical Critique of the Contemporary Human Sciences*. New York: Harvester Wheatsheaf.
- Feigenbaum, M. J. (1978.). Quantitative Universality for a Class of Non-linear Transformations. *Journal of Statistical Physics* 19: 25-52.
- Fischer, J., Bloom, M. (1993.). *Evaluating Practice: Guidelines for the Accountable Professional*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Germain, C. B., Gitterman, A. (1979.). *Social Work Practice: People and Environments – an Ecological Approach*. New York, Columbia University Press.
- Germain, C. B., Gitterman, A. (1981.). *The Life Model of Social Work Practice*. New York: Columbia University Press.

DRUŠ. ISTRAŽ. ZAGREB
GOD. 11 (2002),
BR. 1 (57),
STR. 133-154

HALMI, A.:
KAOS I NELINEARNA...

- Gleick, J. (1996.). *Kaos. Rađanje nove znanosti*. Izvori. Zagreb.
- Harvey, D. (2000.). *The Condition of Postmodernity*. Oxford: Basil Blackwell.
- Hilborn, C. R. (1994.). *Chaos and Nonlinear Dynamics. An Introduction for Scientists and Engineers*. New York. Oxford University Press.
- Kauffman, S. A. (1993.). *The Origins of Order: Self-organizations and Selection in Evolution*. New York: Oxford University Press.
- Kauffman, S. A. (1995.). *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-organization and Complexity*. New York: Oxford University Press.
- Kondratiev, N. D. (1984.). *The Long Wave Cycle*. New York: Richardson and Snyder.
- Kuhn, T. S. (1961.). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, T. S. (1970.). *The Structure of Scientific Revolutions*. 2nd ed. Chicago: University of Chicago Press.
- Lorenz, E. N. (1984.). The Local Structure of a Chaotic Attractor in Four Dimensions. *Physica* 13D, 90-104.
- Malthus, T. R. (1798.). *An Essay on Population*. Everyman's Library, London.
- Maturana, H. R., Varela, F. J., Olson, D. H. (1987.). *The Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding*. Boston: New Science Library.
- McBurnett, M. (1990.). *Competition and the Dynamics of Presidential Nominating Campaigns*. PhD. diss., Washington University, St. Louis, MO.
- Nicolis, G., Prigogine, I. (1989.). *Exploring Complexity: An Introduction*. New York: W. H. Freeman.
- Olson, D. H. (1989.). Circumplex Model of Family Systems VII: Family Assessment and Intervention. U: D. H. Olson, C. S. Russell, D. H. Sprenkle (eds.), *Circumplex Model: Systemic Assessment and Treatment of Families*. New York: Haworth Press.
- Popper, K. R. (1996.). *Bijeda historicizma*. KruZak, Zagreb.
- Wiggins, S. (1990.). *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos*. New York: Springer-Verlag.

Chaos and Nonlinear Dynamics – New Methodological Approaches in Social and Political Sciences

Aleksandar HALMI
Faculty of Law, Zagreb

Systems theory has greatly advanced during the past two decades. Chaos and complexity theory and their accompanying research methods provide a new way of understanding systems theory and advancing more sophisticated mathematical methods for studying complex social phenomena. Often termed "nonlinear dynamics" because they seek to understand social systems that change

DRUŠ. ISTRAŽ. ZAGREB
GOD. 11 (2002),
BR. 1 (57),
STR. 133-154

HALMI, A.:
KAOS I Nelinearna...

in ways not amenable to the linear cause and effect models familiar to social and political scientists, these theoretical perspectives are thought to have application across a wide range of social science disciplines. This article discusses the disciplines of nonlinear dynamics – chaos and complexity – in a way that is understandable and relevant to all social science researchers and practitioners. The article presents an overview of some basic concepts and methods from chaos theory and nonlinear dynamics. The author hopes that this article will provide social researchers with new information that will inspire new and more empirical work on the applications of systems theory in social practice.

Chaos und unlineare Dynamik. Neue methodologische Ansätze in den Gesellschafts- und politologischen Wissenschaften

Aleksandar HALMI
Juristische Fakultät, Zagreb

Die sog. System-Theorie hat in den letzten 20 Jahren einen starken Aufschwung erfahren. Die Chaos- und Komplexitäts-Theorie mitsamt den einhergehenden Forschungsmethoden ermöglichen eine neue Art und Weise des Verständnisses der System-Theorie und propagieren sophistische mathematische Methoden zur Untersuchung komplexer sozialer Phänomene. Diese Theorien werden oft unter dem Begriff der "unlinearen Dynamik" zusammengefasst, da sie sich um ein Verständnis von Gesellschaftssystemen bemühen, deren Wandel sich nicht mit den linearen Kausalitäts-Modellen decken, mit denen Gesellschaftswissenschaftler und Politologen vertraut sind. Des Weiteren finden solche Theorien eine weit verbreitete Anwendung in einer Vielzahl wissenschaftlicher Disziplinen. Der Artikel erörtert Disziplinen der unlinearen Dynamik – Chaos und Komplexität –, und zwar auf eine Art und Weise, die für alle Gesellschaftswissenschaftler verständlich und relevant ist. Der Leser erhält eine Übersicht über einige grundlegende Konzeptionen und Methoden aus dem Bereich der Chaos-Theorie und der unlinearen Dynamik, die dem Forscher wiederum neue Informationen vermitteln, welche zu verstärkter empirischer Arbeit bei der Anwendung der System-Theorie in der gesellschaftlichen Praxis anregen können.