

August TURINA

Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja, Zagreb

august.turina@mps.hr

Primjena metodologije systemske dinamike u analizi stanovništva

SAŽETAK

Cilj rada jest prikazati primjenu systemske dinamike i systemskog promišljanja, prednosti i eventualne nedostatke tog analitičkog pristupa, kako bi se pridonijelo poboljšanju analize kompleksnih sistema kao što je stanovništvo te poboljšalo učinkovito praćenje temeljnih uzroka migracija. Ta je metodologija odavno prisutna u interdisciplinarnim znanstvenim istraživanjima, međutim njen znanstveni doprinos nije dovoljno iskorišten u praksi analize u Hrvatskoj. Većina systemskih analiza fokusira se naime na kompleksnost detalja, a ne na dinamičku kompleksnost. Znanost o kompleksnosti bavi se prirodom nastajanja, inovacije, učenja i prilagodbe. Kompleksnost se promatra u pogledu broja komponenti sistema ili pak broja kombinacija koje se mora razmotriti kako bi se razmatrani problem mogao u cijelosti razumjeti te mogla donijeti određena odluka. Simulacije s tisućama varijabli i kompleksnih nizova detalja odvrćaju pozornost od uočavanja temeljnih obrazaca i ključnih međuodnosa. Systemsko promišljanje pruža holističku (cjelovitu) perspektivu promatranja svijeta.

KLJUČNE RIJEČI: kompleksnost, systemsko promišljanje, systemska dinamika, populacija, dinamički sistemi, povratna veza

1. OSNOVNI POJMOVI SYSTEMSKE DINAMIKE

Teorija kompleksnosti podrazumijeva proučavanje mnogih čimbenika i njihovih interakcija. Sudionici mogu biti atomi, ribe, ljudi, organizacije, narodi, etničke skupine ili cijela društva. Njihova interakcija može se sastojati od privlačenja, sukoba, komunikacija, trgovine, partnerstva itd. S obzirom na to da istraživanje velikog broja sudionika s promjenjivim uzorcima interakcija često nadilazi sposobnosti tradicionalnoga matematičkog pristupa rješavanju problema, primarni alat istraživanja teorije kompleksnosti jest kompjutorska simulacija. Svrha je utvrditi načine na koje agenti u sistemu međusobno reagiraju te potom promatrati obilježja koja su se pojavila na razini cjelokupnog društva (Axelrod, 1995: 3).

Kompleksnost kao pojam ne podrazumijeva »mnogo dijelova sistema u pokretu«, već to da se sistem sastoji od dijelova koji međusobno djeluju na mnogo načina

koji uvelike utječu na vjerojatnost ishoda i događaja. Kompleksnost stoga rezultira izvornim značajkama (*emergent properties*) – obilježjima koja sistem posjeduje kao cjelina, a njegovi ih dijelovi nemaju (Axelrod i Cohen, 2000: 15). Te značajke nastaju povezivanjem dijelova u funkcionalne cjeline i pojavljuju se samo kada sistem funkcionira. Zbog toga se cjelovitost sistema adekvatno pokazuje samo mrežom odnosa i interakcija dijelova. U tom kontekstu valja razlikovati upoznavanje i razumijevanje sistema (Tintor, 2009). Pridjev *kompleksan* definiran je kao težak za razdvajanje, raščlanjivanje ili rješavanje. Sva mjerenja počinju osjećajem, a osjećaj doživljen u mjerenju kompleksnosti jest osjećaj teškoće analize i sinteze zadane mreže aktivnosti. Teškoća podrazumijeva definiciju mrežne kompleksnosti te se može empirijski ispitati (Elmaghraby i Herroelen, 1980).

Iako postoje brojna pitanja vezana uz kompleksne sisteme, u smislu da mnoštvo neovisnih jedinica (agenata) djeluje jedna na drugu na mnoge različite načine, samo bogatstvo tih međudjelovanja dopušta sistemu kao cjelini da se podvrgne spontanom samoorganiziranju. Samoorganizacijski kompleksni sistemi prilagodljivi su, u smislu da ne reagiraju pasivno na događaje. Oni aktivno pokušavaju sve što se dogodi pretvoriti u svoju prednost (Waldrop, 1992: 11). Kompleksni se sistemi samoorganiziraju u odnosu na atraktor. Atraktor je niz točaka prema kojima gravitiraju komplicirane vremenske putanje koje polaze iz njegove okoline. To je znanstveno interesantan fenomen jer upućuje na to da se vremenska evolucija sistema dosljedno povlači prema prepoznatljivim (matematičkim) točkama (Kiel i Elliott, 1996: 26–27).

Iako ne postoji općeprihvaćena definicija kompleksnosti, ona se razumijeva kao stanje svemira, koji je ujedinjen, a ipak prebogat i previše raznolik da bi se shvatio na jednostavan uobičajeni mehanicistički ili linearni način. Odnosno, mnogi dijelovi svemira mogu se razumjeti na takav način, no veći i zamršenije povezan fenomen može se shvatiti samo načelima i uzorcima, dakle ne detaljno. Stoga se može reći da se znanost o kompleksnosti bavi prirodom nastajanja, inovacije, učenja i prilagodbe (Battram, 2001: 21).

Većina znanstvene literature predlaže učenje putem jednostavnih petlji balansirajuće povratne veze (*simple negative feedback loops*). Petlje su promatrane kao brze, linearne, balansirajuće povratne veze koje dovode do stabilne konvergencije (približavanja) ravnoteži (ekvilibrijumu) ili optimalnom ishodu. Jednostavan primjer: brza vizualna povratna veza onemogućuje da se pri punjenju čaše voda prelije preko ruba.

Stvarni svijet nije tako jednostavan, pa se u njemu nerijetko javlja veći broj petlji (*multiloop*), veći broj stanja (*multistate*) nelinearnoga karaktera sistema povratnih veza. Aktivnost nekog elementa dovodi do više od samo jedne povratne

petlje koja djeluje u sistemu. To znači da te petlje reagiraju na aktivnosti donosite-lja odluka kako na predviđeni tako i na nepredviđeni način, nagovještavajući da u takvu sistemu mogu, osim balansirajućih, postojati i potencirajuće povratne veze. Takve će veze sadržavati brojne stokove – varijable stanja (*stocks, state variable*) te mnoge nelinearnosti.

Prirodni, društveni, odnosno humani sistemi imaju visoku razinu dinamičke kompleksnosti. Ona nastaje stoga što su sistemi dinamički, usko povezani, vođeni povratnom vezom, nelinearni, povijesno ovisni, samoorganizirajući, prilagodljivi, kontraintuitivni, rezistentni na pravila (procedure) te obilježeni ustupanjima (Sterman, 2000: 22).

Većina sistemskih analiza fokusira se na kompleksnost detalja, a ne na dinamičku kompleksnost. Simulacije s tisućama varijabli i kompleksnih nizova detalja odvrću pozornost od uočavanja temeljnih obrazaca i ključnih međuodnosa. Zapravo, nažalost, za većinu ljudi sistemsko promišljanje predstavlja svladavanje kompleksnosti kompleksnošću, pri čemu se osmišljavaju sve kompleksniji problemi. No to je antiteza stvarnoga sistemskog promišljanja.

Zahtjevi obrazovanja sve više teže razvoju tzv. znanstvenih generalista te interdisciplinarnih temeljnih principa, što je upravo ono što *opća sistemska teorija* (*general systems theory*) želi postići. Ti zahtjevi nisu samo neki program ili pojednostavljena želja već teorijska struktura koja se stvarno razvija. U tom smislu čini se da opća sistemska teorija daje važan poticaj razvoju interdisciplinarne sinteze, odnosno integriranog obrazovanja (Bertalanffy, 2001: 51).

Do sada se jedinstvo znanosti svodilo na reduciranje svih znanosti na fiziku, konačno objašnjenje svih fenomena fizičkim događajima. Jedinstvo znanosti dobiva sve realističniji aspekt. Jedinstvena koncepcija svijeta ne može se temeljiti na potencijalno uzaludnim i sigurno nategnutim nadama za reduciranjem svih razina realnosti na razine fizičkoga, već radije na izomorfizmu zakonitosti (*isomorphism of laws*) u različitim područjima. Govoreći u formalnom stilu, primjerice promatrajući konceptualni sastav znanosti, to znači strukturalno jedinstvo primijenjenih shema. Govoreći pak materijalnim jezikom, to znači da svijet, primjerice svi promatrani događaji, pokazuje strukturalno jedinstvo, manifestirajući se kroz izomorfne trage reda u različitim razinama područja.

Posljedica postojanosti općih sistemskih obilježja jest pojava strukturalnih sličnosti ili izomorfizam na različitim razinama. Postoji podudarnost u principima koja upravlja ponašanjem entitetima koji su istinski znatno različiti. Primjerice zakonitost eksponencijalnog rasta primjenjuje se na neke bakterijske stanice, populacije nekih bakterija, populacije životinja i ljudi te na napredak znanstvenog istraživanja koji se mjeri brojem publikacija u području genetike, odnosno znanosti općenito.

Entiteti o kojima je riječ, kao što su bakterije, životinje, ljudi, knjige i tako dalje, sasvim su različiti, kao što su to i prateći uzročni mehanizmi. Matematički je zakon isti, odnosno postoje sistemi jednadžbi koji opisuju suparništvo životinja i biljaka u prirodi. No čini se da se isti sistem jednadžbi primjenjuje i u području fizikalne kemije i u ekonomiji. Do te podudarnosti dolazi zbog činjenice da se promatrani entiteti mogu u određenom pogledu smatrati sistemima, zapravo kompleksnim elementima koji interaktivno djeluju. Činjenica da se spomenuta područja, a također i mnoga ostala, odnose na sisteme, dovodi do sukladnosti, odnosno podudarnosti u općim principima, pa čak i u posebnim zakonima kada se uvjeti razmatranog fenomena također podudaraju (Bertalanffy, 2001: 33).

Stokovi, tokovi, kašnjenja i petlje povratne veze čine ključne komponente metodologije sistemske dinamike. Stokovi su akumulacije neke stavke unutar sistema, od određene točke u vremenu. Na primjer stok gotove robe ili novca tijekom vremena može rasti ili padati. Tokovi su stopa po kojoj se akumulacije (ili smanjenja) događaju.

Koraci uključeni u modeliranje sistemskom dinamikom jesu (Brown i dr., 2009):

- a) prikazivanje hijerarhije strukture sistema pomoću dijagrama uzročne petlje
- b) određivanje stokova, tokova i kašnjenja unutar sistema
- c) simuliranje ponašanja sistema u različitim uvjetima uvođenjem vanjskih šokova u sistem
- d) uporaba rezultata simulacije kako bi se shvatili međuodnosi komponenti sistema kroz neki vremenski tijek.

Svrha pristupa sistemske dinamike jest prikazati i izložiti u glavnim crtama uvide u održive i neodržive uvjete rada u prirodnim i društvenim sistemima te da korisnik iskusi način na koji se ti uvjeti održivosti mijenjaju kao odgovor na različite predložene strategije i implicirane odluke. Dakle tako ne samo da se iznova stvara povijest već se i omogućuju različite analize scenarija.

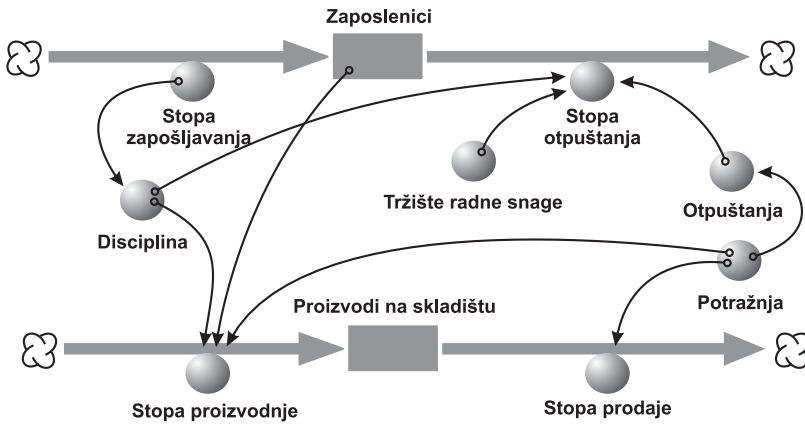
Iako bi neki tradicionalni instrumenti analize mogli obuhvatiti elemente razvoja i temeljnu uzročnu strukturu, takvi pristupi često ne odgovaraju kompleksnosti te strukture i obično ne objašnjavaju kako ona stvara promatranu dinamiku. Alati i instrumenti sistemske dinamike mogu se dakle upotrijebiti na sljedeće načine:

1. Sistemska dinamika nudi nekoliko grafičkih načina za predstavljanje strukture, od kojih su svi usredotočeni na procese integracije (akumulacije), što uzrokuje da se sistemi ponašaju dinamički, te na uzročne odnose koji utvr-

đuju konkretan način na koji se takvi sistemi ponašaju. Strukturalne mape poput one na Slici 1 predstavljaju okvir za prikaz i prezentaciju strukture sistema. Osim toga one omogućuju učinkovitu navigaciju unutar takvih struktura.

2. Sistemska dinamika nudi razne načine predstavljanja razvoja sistema, tj. ponašanja sistema tijekom nekog razdoblja putem simulacije. Simulacija se može razvijati na različite načine ako se početni uvjeti ili primijenjene intervencije tijekom simulacije promijene. Simulacijska metoda tako navodi na moguće putanje postojećeg stanja sistema uslijed iniciranja promjena.
3. Sistemska dinamika nudi analizu ponašanja sistema. Dopušta povezivanje promatranog ponašanja s temeljnom strukturom sistema. Implikacije su trostruke:
 - a) Mogućnost utvrđivanja temeljne komponente strukture sistema koja u bilo koje vrijeme upravlja promatranim ponašanjem. To omogućuje utvrđivanje temeljnih strukturalnih uzroka tog ponašanja.
 - b) Mogućnost međusobnog povezivanja različitih aspekata razvoja sistema, od kojih je svaki okarakteriziran dinamičkim ponašanjem određenog svojstva sistema, čime se omogućuje da se uđe u trag podrijetlu određenog razvoja u prošlosti ili, suprotno tomu, utvrđivanje što dovodi do sadašnjeg stanja sistema, odnosno problema.
 - c) Mogućnost isticanja pristupačnih interventnih točki u strukturi sistema – onih koje se mogu upotrijebiti kao utjecajne točke za promjenu ponašanja sistema. To omogućuje da se stvori polazna osnova za donošenje odluka te ujednačena strategija sistemskog upravljanja.

Slika 1: Primjer strukturalne mape sistemske dinamike (alat iThink™)



Sistemska dinamika nudi brojne alate modeliranja i simulacija, od kojih su jedni usmjereni prema analizi sistema, a drugi prema širenju znanja, odnosno obogaćivanju tezaurusa. Vensim™, iThink™ i Powersim™ neki su od programskih paketa dostupni analitičarima. Ti su alati jednostavni za uporabu, a rabe se pretežito u raznim poslovnim, društvenim i prirodnim projektima.

Stokovi (*stocks*) i tokovi (*flows*) središnji su pojmovi u metodologiji sistemske dinamike. Oni su ključ razumijevanja poslovanja poduzeća kao sistema. Polazeći od pretpostavke sukladnosti teorijskih postavki znanosti poslovne analize, potrebno je osvrnuti se na konceptualne i na matematičke definicije stokova i tokova, dijagramske alate za grafičko prikazivanje mreža stokova i tokova te ilustraciju pojedinih slučajeva uporabe stokova i tokova. Razvijanje sposobnosti za prepoznavanjem, prikazivanjem i tumačenjem mreža stoka i toka sistema ključna je vještina poslovne analize.

Stokovi i tokovi zajedno s povratnom vezom dva su središnja pojma teorije dinamičkih sistema. Stokovi su akumulacije, označuju stanje sistema i generiraju informacije na kojima se temelje odluke i postupci u poduzeću. Stokovi sistemima daju inerciju i opskrbljuju ih memorijom. Oni utječu na kašnjenja kroz akumuliranje razlike između priljeva u proces i odljeva iz njega. Razdvajanjem (*decoupling*) stope toka, stokovi postaju izvor neravnoteže dinamike u sistemima.

Stokovi su akumulacije, odnosno stanja sistema. Tokovi su stope po kojima se ta stanja sistema mijenjaju.

Jedinice mjere u mrežama stokova i tokova pomažu razlikovati stokove od tokova. Stokovi su obično količine, na primjer paketi robe na zalihi, zaposlenici ili novac na računu. Pripadajući tokovi moraju biti izraženi istim jedinicama po

razdoblju, na primjer stopa po kojoj se paketi robe dodaju zalihama tjedno, stopa zapošljavanja ljudi mjesečno ili stopa izdataka s računa u kunama po satu. Odabir razdoblja proizvoljan je. Može se odabrati bilo kakav sistem mjerenja, uz uvjet da se tome ostane dosljedan.

Stokovi obilježavaju stanje sistema. Kako bi se utvrdili ključni stokovi u nekom sistemu, potrebno je »zamrznuti prizor«, točnije, uzeti u obzir kakvo je stanje zatečeno u samom trenutku provođenja sistemske analize.

2. METODOLOGIJA SISTEMSKE DINAMIKE

Osnovnu ideju sistemske dinamike (*system dynamics*), izvorno nazvanu industrijska dinamika (*industrial dynamics*) začeo je Jay Forrester kroz svoj rad na MIT-u (Massachusetts Institute of Technology) (Forrester, 1961). On je razvio teoriju informacijske povratne veze i kontrole kao način vrednovanja poduzeća i ostalih organizacijskih i društvenih sistema. To je uključivalo i razvoj metodologije analitičkog modeliranja, što je bio ključan doprinos poslovnoj analizi.

Metodologija sistemske dinamike pridonosi učenju o kompleksnim sistemima kroz kontinuirane simulacije kojima se istražuju obilježja kompleksnih dinamičkih sistema s povratnom vezom. Sistem s povratnom vezom zatvoreni je krug uzroka i posljedica, pri čemu uzrok izaziva posljedice kojima neposredno utječe na samoga sebe (Pejić-Bach, 2002). Sistemska je dinamika fundamentalno interdisciplinarna metodologija (Sterman, 2000: 4) te stoga ključna u analizi društvenih sistema i kretanja unutar njih.

Zbog rastuće kompleksnosti društvenih i bioloških sistema, metodologija sistemske dinamike pridonosi daljnjem razumijevanju teorije nelinearne dinamike i povratne kontrole (*feedback control*) razvijene u matematici, fizici i inženjerstvu. S obzirom na primjenu tih alata na spoznaju ponašanja čovjeka te također fizičkih i tehničkih sistema, sistemska dinamika primjenjuje se i u psihologiji, ekonomiji i ostalim društvenim znanostima. Primjena sistemske dinamike u ekonomiji kao društvenoj znanosti vidi se u informatičkoj sferi kroz modeliranje poslovnih sistema (Pejić-Bach, 2002) i primjeni na znanosti poslovne analize (Turina, 2006).

Osnovne su postavke metodologije jednostavne. Smatra se da se svaka situacija može promatrati kao kompleksna, no uglavnom u obliku stokova, odnosno elemenata, i tokova, gdje su tokovi odnosi između elemenata. Svi se utjecajni elementi moraju uključiti unutar određenih granica. Vezni elementi mogu formirati petlje, iz čega proizlazi važnost analize povratne veze.

Sistemska dinamika stavlja naglasak na strukturu i procese koji se odvijaju unutar te strukture, pretpostavljajući da je to najbolji način da se dinamičko ponašanje

u stvarnom svijetu adekvatno okarakterizira. Sistemska dinamika promatra ponašanje sistema uzrokovanog njegovom strukturom, dakle smatra se teorijom strukture sistema i dinamičkog ponašanja. Struktura ne uključuje samo fizičke aspekte industrijskog pogona, odnosno proizvodnih procesa, već se, što je vrlo važno, odnosi na smjernice (pravila, procedure) i tradicije, kako one opipljive tako i neopipljive, koje dominiraju procesom poslovnog odlučivanja ili odlučivanja općenito (Flood i Jackson, 2002: 62). Sistemska dinamika uobičajeno se može primijeniti gdje god se problemi mogu izraziti kao varijabilno ponašanje kroz vrijeme. Može se aplicirati na mnoga područja, među kojima su medicina, pravo, urbana i globalna istraživanja, kretanja stanovništva, populacije, istraživanja okoliša, informacijske znanosti, literatura, povijest, ekonomija, financije, kemija i fizika.

Općenito promatrajući, sistemska dinamika pretpostavlja da se određena situacija može analizirati iz vanjske objektivne perspektive, odnosno gledišta, te da se strukture i dinamički procesi stvarnog svijeta mogu ponovno kreirati kroz sistemske dijagrame i matematičke modele. U tom smislu od vitalnog je interesa razumjeti kako se generativni mehanizmi modela sistemske dinamike mogu upotrijebiti u svrhu predstavljanja, predviđanja te, do neke mjere, objašnjavanja dijela realnosti, te kako se takva informacija može iskoristiti, odnosno kako ona može pridonijeti adekvatnim kontrolnim mehanizmima.

S obzirom na to da se strukturalne promjene mogu prikazati u obliku modela te da se *inputi* (perturbacije unutar modela) mogu kontrolirati kao da postoji određena sposobnost upravljanja stvarnom situacijom, ideje i planove moguće je na taj način ispitati kako bi se simulirao budući ishod koji bi iz takvih zbivanja mogao proizaći. Takav pristup naziva se anticipirajuća kontrola (*feedforward control*). Ako je željeni ishod koji će potaknuti simulirani uspjeh postignut, sljedeći je korak realizacija predloženih rješenja u stvarnom svijetu. U suprotnome će se predložena rješenja odbaciti.

Smatra se da struktura sistema posjeduje četiri ključna obilježja od središnje važnosti za svaku sistemskodinamičku analizu (Flood i Jackson, 2002: 63–64): red (raspored, slojevitost) (*order*), smjer povratne veze (*direction of feedback*), nelinearnost (*non-linearity*) i višestrukost petlje (*loop multiplicity*).

Cjelokupni fokus primjene metodologije sistemske dinamike oslanja se dakle na model. Modeliranje se kao dio postupka učenja ponavlja i trajni je proces oblikovanja hipoteza, testiranja i preispitivanja formalnih i mentalnih modela. Eksperimenti provedeni u virtualnom svijetu prenose informacije za stvaranje i provođenje eksperimenata u stvarnome svijetu; iskustvo iz stvarnog svijeta zatim dovodi do izmjena i poboljšanja u virtualnom svijetu i u mentalnim sklopovima sudionika.

Sistemska dinamika traži endogena objašnjenja pojava. Pojam *endogen* znači koji nastaje iznutra. Endogena teorija stvara dinamiku sistema kroz interakciju varijabli i faktora koji se nalaze u modelu. Specificiranjem strukture sistema i pravila interakcije (pravila odlučivanja u sistemu) mogu se istražiti obrasci ponašanja koji su stvorili ta pravila i tu strukturu te kako se ponašanje može promijeniti ako se promijene pravila i struktura. Težište u sistemske dinamici na endogenim objašnjenjima ne znači da se egzogene varijable nikada ne bi smjele uključivati u modele, ali bi broj egzogenih unosa trebao biti malen. Sve što bi moglo biti egzogeni unos moralo bi se pomno ispitati kako bi se vidjelo postoje li neke važne povratne informacije iz endogenih elemenata za ono što bi moglo predstavljati endogeni unos. Ako takve informacije postoje, granica modela mora se proširiti, a varijabla se oblikovati endogeno. Petlja povratne veze osnovna je komponenta kompleksne strukture povratne veze i kao takva čini osnovnu jedinicu analize i komunikacije ponašanja sistema. Endogena perspektiva dinamičnog sistema njegova je najznačajnija pojedinačna osobina.

U kompleksnom sistemu uzrok poteškoće može biti vremenski udaljen od simptoma, ili može biti u sasvim različitom i udaljenom dijelu sistema. Uzroci se, zapravo, obično ne nalaze u prethodnim događajima, već u strukturi i politici sistema. Još gore, kompleksni sistem mnogo više obmanjuje nego što tek prikriva uzroke. U kompleksnom sistemu, kada se traži uzrok koji se vremenski i prostorno nalazi blizu simptoma, obično se pronalazi ono što djeluje kao uvjerljiv uzrok. No to obično nije uzrok.

Modeli sistemske dinamike pomažu kod praćenja uzoraka ponašanja dinamičnog sistema do strukture njegove povratne veze. Modeli su formalni, koriste se diferencijalnim jednadžbama, tj. strogo su kvantitativni. Sistemska dinamika promatra strukturu povratne veze kao intrinzičnu u stvarnim sistemima. Kao takva povratna je veza struktura koja omogućuje da se sistem prilagodi tijekom vremena. Osim toga modeli sistemske dinamike stalni su, oni ne oblikuju zasebne događaje, već razmatraju odvojene događaje i odluke dok se kreću po površini osnovne plime politike, pritisaka i dinamičnog uzorka. Izgradnja uzročnog modela iterativan je proces u kojemu modelar kvantitativno formulira odnose povratne veze između elemenata danog sistema koje može identificirati. Tipični model bogat povratnim vezama može se sastojati od nekoliko desetaka do nekoliko stotina jednadžbi. Model prolazi kroz različite faze širenja i sužavanja dok se ne utvrdi minimalna struktura povratne veze u smislu broja diferencijalnih jednadžbi koji može simulirati unaprijed definirani referentni način sistemskog problema koji se proučava. Testiranje ponašanja modela s obzirom na povijesne podatke i provjeru njegove izdržljivost može biti uzaludno (Senge, 1994: 414–434).

Ukratko, modeli sistemske dinamike temelje se na povratnoj vezi, s vremenom oblikuju ukupne sistemske probleme, a model uzročnih odnosa znači da je modelar spoznao proces.

3. PRIMJENA NA PODRUČJU ANALIZE STANOVNIŠTVA

Većina demografskih modela, kao što su oni Ujedinjenih naroda, u obzir uzima pretežito egzogene varijable kao što su podaci o ukupnoj fertilitetu, rođenjima, smrtnosti i migracijama kako bi se dobila adekvatna distribucija starosti stanovništva te ukupna populacija. Ti su modeli ključni alat vladinim agencijama i poduzećima pri lakšem razumijevanju demografskih trendova u kratkom roku, pa ih primjenjuju primjerice u predviđanju populacije školske dobi ili broja ljudi koji ulaze u radno sposobno stanovništvo.

Gledano dugoročno, rođenja i očekivani životni vijek ne bi trebalo promatrati kao egzogene inpute. Čimbenici kao što su prehrana, pristup zdravstvenoj skrbi, materijalni standard života, zagađenost okoline te naseljavanje ovise o veličini i bogatstvu populacije, čime se stvara znatan broj povratnih veza. Unatoč tomu praktično svi demografski modeli isključuju te ključne petlje. Službene projekcije predviđaju da će trend prema nižoj fertilitetu biti nastavljen sve dok ukupna fertilitet ne padne dovoljno nisko te tako ukupnu svjetsku populaciju dovede u svojevrsnu ravnotežu. Predviđeni UN-ov scenarij glede fertiliteta primjerice pretpostavlja postizanje te ravnoteže do 2055. godine s ukupnom svjetskom populacijom od jedanaest milijardi (Sterman, 2000).

Forrester u svojoj knjizi *World Dynamics* (1971) i Meadows (1972, 1974), u Sterman (2000) razvili su prve integrirane modele svjetske populacije, globalnoga gospodarstva, prirodnih resursa i fizičke okoline. Ti su modeli oblikovani kako bi istražili učinke na rast stanovništva i gospodarstva s dosežanjem kapaciteta nosivosti (iskoristivosti dostupnih resursa) zemlje. Forresterov model predstavlja populaciju kao jedinstveni stok. Meadows pak elaborira i razvija Forresterov model dijeleći svjetsku populaciju na četiri kohorte (starosne dobi 0–14, 15–44, 45–64 te više od 65 godina). Meadows je upozorio na učinkovitost tako definirane starosne skale stanovništva koja zadovoljavajuće precizno uspijeva analizirati svjetsku populaciju, gdje su mnoge različite populacije agregirane zajedno te gdje postoje zamjetna mogućnost pogreške u mjerenju te nesigurnosti u pogledu parametara (Sterman, 2000).

Meadows je tražio način na koji bi modelirao demografsku tranziciju. Demografska tranzicija opisuje obrazac promjene u stopama rasta populacije s rastom industrijalizacije nacije. U tradicionalnim su društvima prije pojave zamjetnoga

ekonomskog razvoja podaci o stopama nataliteta i mortaliteta (mjereni na tisuću ljudi) bili nesuvisli, nepouzdana i varijabilni. U takvim je društvima prosječni životni vijek bio nizak, žene su rađale više djece kako bi osigurale da barem nekolicina preživi te potom uzdržava roditelje u starijoj dobi. Rast stanovništva, općenito gledano, bio je slab (Sterman, 2000).

Prema teoriji demografske tranzicije, životni vijek osjetno raste s industrijalizacijom društva te uvođenjem modernih sanitarnih, javnih zdravstvenih sustava te zdravstvene njege. Smrtnost opada. No, konzekventno, i sama stopa nataliteta opada. Očekivano dulji životni vijek i niži mortalitet novorođenčadi pretpostavlja da će više djece preživjeti do punoljetnosti, što dovodi do toga da žene više ne moraju rađati više djece, već obitelj mogu svesti na željenu veličinu. Željena veličina obitelji pak opada s rastom troškova odgoja djece, kao i doprinos djece općoj ekonomskoj dobrobiti obitelji. Troškovi odgoja djece rastu, a doprinos opada u industrijskim društvima zato što djeca ulaze u radno sposobno stanovništvo mnogo kasnije nego u tradicionalnim poljoprivrednim društvima te ih roditelji moraju uzdržavati dulje i nerijetko s više novca. Pad u stopi nataliteta veoma je polagan, s obzirom na to da su norme glede veličine obitelji, doba ženidbe te ostale determinante fertiliteta snažno ukorijenjene u tradicionalnoj kulturi, vjerskim normama i ostalim društvenim čimbenicima; fertilitet nije isključivo posljedica maksimiziranja ekonomske korisnosti parova. Konzekventno, tijekom demografske tranzicije rast populacije znatno akcelerira, jer stope smrtnosti opadaju dok stope nataliteta ostaju visoke. Na kraju, prema toj teoriji, fertilitet opada do razine ravnoteže sa stopom mortaliteta te populacija doseže svoju ravnotežu.

Dakle, analizirajući stanovništvo kao kompleksan sistem, iz opisane teorije demografske tranzicije već se može zamijetiti postojanost skupa povratnih veza koje utječu na njegovo napredovanje ili nazadovanje u odnosu na varijable koje se uzimaju u obzir, odnosno na njega aktivno djeluju. Kako bi se stanovništvo kao sistem moglo modelirati i slikovito prikazati upravo radi što učinkovitijeg razumijevanja djelovanja sistema, primjena metodologije sistemske dinamike dolazi do punog izražaja. Za razliku od nekih drugih koncepata modeliranja, znanstvena koncepcija povratne veze, koja je u središtu modeliranja sistemske dinamike, znatno je starija (Richardson, 1991). Temeljna je koncepcija povratne veze njezina struktura petlje, ili pojam kružne uzročnosti. Tradicionalna znanost utemeljuje uzročnost na način (Babbie, 1998: 75): 1) da uzrok prethodi posljedici u vremenu, 2) da postoji empirijska povezanost između njih te 3) da odnos nije rezultat neke treće varijable. Samo one odnose koji zadovoljavaju sva tri kriterija tradicionalni pogled priznaje kao uzročne odnose.

Ta stroga razlika i odvojenost uzroka i posljedice dobro su služile znanosti do-
 kle god su se proučavali relativno jednostavni (i linearni) sistemi odnosa. U kom-
 pleksnim sistemima uzrok i posljedica često nisu usko povezani ni u vremenu ni u
 prostoru. Struktura kompleksnog sistema nije jednostavna petlja povratne veze gdje
 jedno stanje sistema dominira ponašanjem. Kompleksni sistem posjeduje mnogo-
 struke interakcijske petlje povratne veze. Njegove unutrašnje veličine protoka na-
 laze se pod kontrolom nelinearnih odnosa. Kompleksni sistem jest sistem višega
 reda, što znači da postoje mnoga stanja (ili razine) sistema. Obično se sastoji od
 potencirajuće petlje povratne veze koja opisuje procese rasta i balansirajuće, cilju
 usmjerene petlje.

Primjerice model stanovništva mogao bi predstavljati neto stopu rađanja koja
 ovisi o stanovništvu i frakcionalnoj stopi rađanja; frakcionalna stopa rađanja pak
 može se oblikovati kao funkcija hrane po glavi stanovnika. Slika 2 prikazuje struk-
 turu i jednadžbu modela. Neto stopa rađanja akumulira se u stoku stanovništva.
 Pomoćne varijable *frakcionalna stopa rađanja* i *hrana po glavi stanovnika* nisu ni
 stokovi ni tokovi. One su funkcije stokova (i egzogeni unosi, u ovom slučaju hra-
 na). Stanovništvo sudjeluje u dvije povratne petlje: potencirajućoj petlji (više ljudi,
 više rađanja, više ljudi) i balansirajućoj petlji (više ljudi, manje hrane po osobi, niža
 frakcionalna neto stopa rađanja, manje rađanja). Uključivanje pomoćnih varijabli
 razlikuje dvije petlje i dopušta nedvosmisleno dodjeljivanje veze i polariteta petlji.

Slika 2 prikazuje jednostavni model stanovništva s pomoćnim varijablama.
 Frakcionalna stopa rađanja i hrana po stanovniku nisu ni stokovi ni tokovi, već
 posredni pojmovi dodani modelu kako bi ga razjasnili. Pomoćne varijable uvijek
 se mogu ukloniti, a model je moguće svesti na set jednadžbi koje se sastoje samo
 od njihovih tokova. Supstitucijom jednadžbe *hrana po stanovniku* u jednadžbu za
frakcionalnu stopu rađanja te supstitucijom rezultata u jednadžbu za *neto stopu*
rađanja mogu se ukloniti pomoćne varijable. Tako se model reducira na jedan, koji
 sadržava samo *neto stopu rađanja* i *stanovništvo*.

Formulom se to iskazuje ovako:

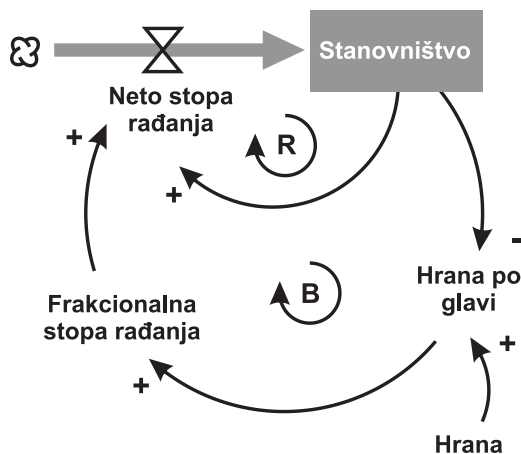
$$\text{stanovništvo} = \text{INTEGRAL}(\text{neto stopa rađanja}, \text{stanovništvo } t_0)$$

$$\text{neto stopa rađanja} = \text{stanovništvo} \times \text{frakcionalna stopa rađanja}$$

$$\text{frakcionalna stopa rađanja} = f(\text{hrana po stanovniku})$$

$$\text{hrana po stanovniku} = \text{hrana} / \text{stanovništvo}$$

Slika 2: Prikaz pomoćnih varijabli



Postupak stvaranja modela reduciranog oblika supstitucijom posrednih varijabli u njihove stope općenit je i može se provesti na bilo kojemu modelu. No uporaba pomoćnih varijabli presudna je za učinkovito modeliranje. U idealnom slučaju svaka jednadžba u modelima trebala bi predstavljati jednu ključnu postavku. Ne bi se smjelo štedjeti na broju jednadžbi pisanjem dužih jednadžbi koje se sastoje od višestrukih pojmova. Takve duge jednadžbe mnogima, pa i samim modelarima i analitičarima, mogu biti nečitke i nerazumljive. Konačno, jednadžbe s višestrukim komponentama teško se mogu promijeniti ako se primjerice korisnik modela ne složiti s nekom od postavki.

Povratna veza jedan je od najvažnijih pojmova sistemske dinamike. No mentalni modeli često ne uključuju ključne povratne veze koje određuju dinamiku sistema. U sistemske dinamici rabi se nekoliko dijagramskih alata kako bi se prikazala struktura sistema, uključujući osim stokova i tokova i dijagrame uzročne petlje (*causal loop diagrams*). Dijagrami uzročne petlje prilagođeni su tako da dobro prikazuju međuovisnosti i procese povratnih veza, a učinkovito se upotrebljavaju na početku projekta modeliranja kako bi se obuhvatili mentalni modeli – korisnika i modelara. Također se rabe u priopćavanju rezultata završenog procesa modeliranja.

Dijagrami uzročne petlje, pored prikaza stoka i toka, važno su sredstvo za prikazivanje strukture povratne veze sistema. Osnovne namjene dijagrama uzročne petlje kao instrumenta metodologije sistemske dinamike jesu:

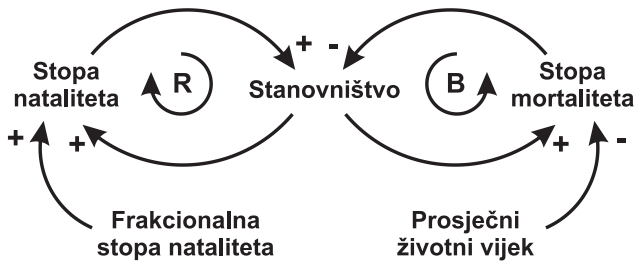
1. priopćavanje važnih povratnih veza za koje se vjeruje da su odgovorne za analizirani problem

2. brzo i učinkovito prikazivanje hipoteza o uzrocima dinamike
3. utvrđivanje mentalnih modela pojedinaca ili grupe.

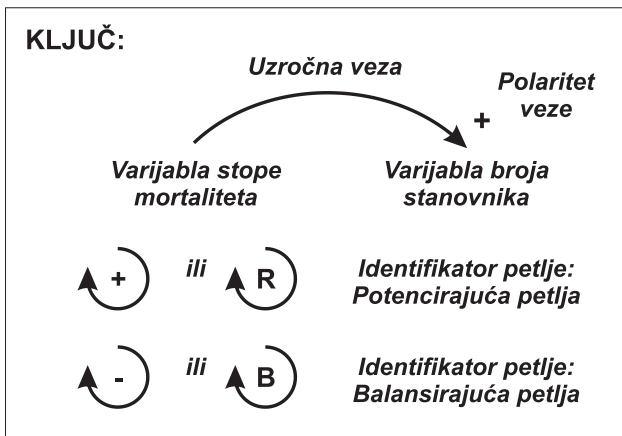
Pravila prikazivanja (crtanja) uzročnih dijagrama jednostavna su, ali trebaju se vjerno slijediti. Uzročni dijagram sastoji se od varijabli povezanih strelicama koje obilježavaju uzročna djelovanja među varijablama. Važne petlje povratne veze također su označene na dijagramu. Slika 3 prikazuje primjer i ključ njihova označivanja.

Slika 3: Označivanje dijagrama uzročne petlje

PRIMJER:



KLJUČ:



Varijable su povezane uzročnim vezama (*causal links*), koje su prikazane strelicama. U primjeru na Slici 3 stopa nataliteta određena je i brojem stanovnika i frakcionalnom stopom nataliteta. Svakoj uzročnoj vezi dodijeljen je polaritet, bilo

pozitivan (+), bilo negativan (-), da bi se pokazalo kako se zavisna varijabla mijenja kada se nezavisna varijabla mijenja. Važne petlje istaknute su identifikatorom petlje (*loop identifier*), koji pokazuje je li petlja potencirajuća ili balansirajuća povratna veza. Identifikator petlje kruži u istom smjeru kao i petlja na koju se odnosi. U primjeru potencirajuća povratna veza koja povezuje rođenja i stanovništvo ide u smjeru kazaljke na satu, baš kao i njen identifikator; balansirajuća petlja stope smrtnosti ide u smjeru suprotnome od kazaljke na satu, zajedno sa svojim identifikatorom.

Potencirajuća veza znači da ako se uzrok poveća, rezultat se povećava iznad onoga što bi inače bio, a ako se uzrok smanji, rezultat se smanjuje ispod onoga što bi inače bio. U primjeru na Slici 3 porast frakcionalne stope nataliteta znači da će stopa nataliteta (u broju ljudi godišnje) narasti iznad onoga što bi inače bila, a smanjenje frakcionalne stope nataliteta znači da će stopa nataliteta pasti ispod onoga što bi inače bila. Odnosno, ako se prosječni fertilitet poveća, stopa nataliteta, s obzirom na broj stanovnika, porast će; ako fertilitet padne, smanjit će se broj rođenja. Ako je uzrok stopa toka koji se akumulira u stok, onda je također istinito da uzrok povećava stok. U primjeru broj porođaja povećava broj stanovnika.

Balansirajuća veza znači da ako se uzrok poveća, rezultat se smanjuje ispod onoga što bi inače bio, a ako se uzrok smanji, rezultat se povećava iznad onoga što bi inače bio. U primjeru rast prosječnog životnog vijeka stanovništva znači da će stopa mortaliteta (u broju ljudi godišnje) pasti ispod onoga što bi inače bila, a pad prosječnog trajanja života da će stopa mortaliteta narasti iznad onoga što bi inače bila. Odnosno, ako se očekivana duljina života poveća, broj umrlih će pasti; a ako se očekivana duljina života smanji, stopa mortaliteta će narasti.

Polariteti veza opisuju strukturu sistema. Ne opisuju ponašanje varijable, odnosno opisuju što bi se dogodilo ako bi došlo do promjene. To znači da ne opisuju što se uistinu događa. Frakcionalna stopa nataliteta mogla bi se povećati; mogla bi se i smanjiti – uzročni dijagram ne govori što će se dogoditi. Umjesto toga on govori što *bi* se dogodilo kada bi se varijabla promijenila. Treba obratiti pozornost na izraz *iznad/ispod onoga što bi inače bilo* u definiciji polariteta veze. Porast u varijabli uzroka ne mora nužno značiti da će se rezultat uistinu povećati. Dva su razloga za to.

Prvo, varijabla često ima više od jedne ulazne informacije. Kako bi se odredilo što se zapravo događa, mora se znati kako se svi ulazni podaci mijenjaju. U primjeru broja stanovnika stopa nataliteta ovisi i o frakcionalnoj stopi nataliteta i o broju stanovnika (odnosno, stopa nataliteta = frakcionalna stopa nataliteta x broj stanovnika). Ne može se utvrditi hoće li porast u frakcionalnoj stopi nataliteta uistinu prouzročiti povećanje stope nataliteta; treba utvrditi raste li broj stanovnika ili pada. Dovoljno velik pad u broju stanovnika mogao bi uzrokovati da stopa natalite-

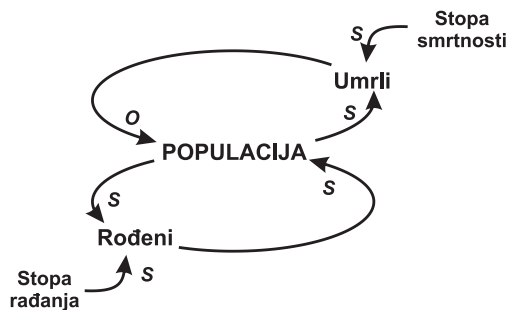
ta padne, čak i ako frakcionalna stopa nataliteta poraste. Kada se ocjenjuje polaritet pojedinih veza, može se pretpostaviti da su sve ostale varijable konstantne. Kada se ocjenjuje stvarno ponašanje sistema, sve varijable međusobno djeluju simultano (sve ostalo nije jednako) i obično je potrebna računalna simulacija da se prati ponašanje sistema te utvrdi koje su petlje dominantne.

Drugo, i još važnije, dijagrami uzročne petlje ne prave razliku između stokova i tokova, odnosno akumulacije resursa u sistemu i stope promjene koja mijenja te resurse. U primjeru stanovništva broj stanovnika je stok – on akumulira stopu nataliteta minus stopu mortaliteta. Porast u stopi nataliteta povećat će broj stanovnika, ali smanjenje u stopi nataliteta ne smanjuje broj stanovnika. Broj rođenih može samo povećati broj stanovnika i nikada ga ne može smanjiti. Pozitivna veza između broja rođenih i broja stanovnika znači da stopa nataliteta povećava broj stanovnika. Tako porast u stopi nataliteta povećava broj stanovnika iznad onoga što bi inače bio, a pad u stopi nataliteta smanjuje broj stanovnika ispod onoga što bi inače bio.

Slično tome negativni polaritet veze između stope smrtnosti i broja stanovnika pokazuje da stopa smrtnosti smanjuje broj stanovnika. Pad u stopi smrtnosti ne povećava broj stanovnika. Pad u broju umrlih znači da manje ljudi umire, a više ih ostaje na životu: broj stanovnika veći je nego što bi inače bio. Naime ne može se utvrditi hoće li broj stanovnika rasti ili padati: broj stanovnika smanjit će se čak i ako stopa nataliteta raste, tj. ako stopa mortaliteta premašuje broj rođenih. Kako bi se znalo povećava li se neki stok ili se smanjuje, mora se znati njegova neto stopa promjene (u ovom slučaju broj rođenih minus broj umrlih). No uvijek je istina da ako stopa nataliteta poraste, broj stanovnika porast će iznad onoga što bi inače bio kada ne bi bilo promjene u broju rođenih, čak i ako broj stanovnika nastavi padati. Broj stanovnika smanjivat će se sporijim tempom nego inače.

Kompleksnost sistema obilježava povezanost tih tehnika. Kao ilustracija može se razmotriti nešto drugačiji prikaz dijagrama uzročne petlje na Slici 4, u sklopu kojeg treba raspoznati koje su od prisutnih varijabli stokovi, a koje tokovi.

Slika 4: Stokovi i tokovi u dijagramu uzročne petlje



Dijagram na Slici 4 ima tri stoka i dva toka. Stokovi su populacija, (godišnja) stopa rađanja i (godišnja) stopa smrtnosti; tokovi su broj rođenih (godišnje) i broj umrlih (godišnje), koji zasebno povećavaju i smanjuju stok populacije. Kao i kod kamatne stope, usprkos stopi koja je povezana s pojmovima godišnja stopa rađanja i godišnja stopa smrtnosti, riječ je o stokovima, a ne o tokovima. U ovom se slučaju riječ stopa ne odnosi na stopu kroz vrijeme, već na odnos s obzirom na ukupnu populaciju – godišnja stopa rađanja jest broj rođenih na tisuću stanovnika godišnje, a isto to vrijedi i za godišnju stopu smrtnosti. Ti se odnosi mogu izraziti sljedećim jednadžbama:

$$\text{rođeni na godinu} = \text{populacija} \times \text{godišnja stopa rađanja} / 1000$$

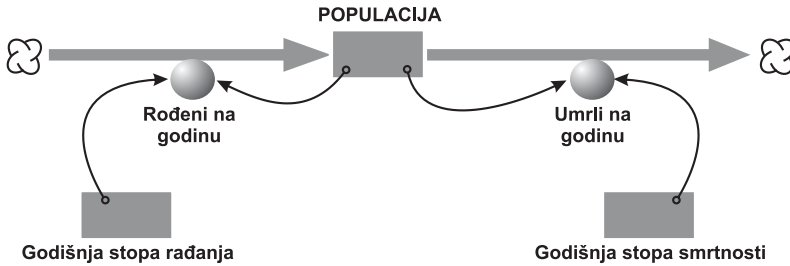
$$\text{umrli na godinu} = \text{populacija} \times \text{godišnja stopa smrtnosti} / 1000$$

Dvije petlje povratne veze na dijagramu uzročne petlje na Slici 4 uključene su u dijagram stoka i toka kao kombinacija tokova i zavojitih strelica: od rođenih na godinu prema populaciji putem toka, i natrag putem zavojite strelice; isto vrijedi i za populaciju i umrle na godinu. Dva popratna elementa, specificirajući godišnju stopu rađanja i godišnju stopu smrtnosti, jasna su na oba dijagrama. Simbol S na dijagramu uzročne petlje od *rođeni na godinu* prema *populaciji*, koji pokazuje da kako se broj *rođenih na godinu* povećava, tako se povećava i *populacija*, prikazan je time što su *rođeni na godinu* priljev u *populaciju*. Također, simbol O od *umrlih na godinu* prema *populaciji*, koji pokazuje da kako se broj *umrlih na godinu* povećava, tako se smanjuje *populacija*, pokazan je na cijevnom dijagramu prikazom *umrli na godinu* kao odljev iz *populacije*. Simboli S na dijagramu uzročne petlje od *godišnje stope rađanja* prema *rođenima na godinu* i od *godišnje stope smrtnosti* prema *umrlima na godinu* nisu jasno prikazani na cijevnom dijagramu, ali se na njih implicira pripadajućim jednadžbama.

Kao opće pravilo svi će priljevi na dijagramu stoka i toka biti povezani simbolom S na odgovarajućem dijagramu uzročne petlje; slično tome svi će odljevi biti povezani simbolom O . Ostali odnosi S ili O neće biti jasno prikazani na dijagramima stoka i toka, pa o njima valja zaključiti iz konteksta, ili će biti određeni upućivanjem na osnovne jednadžbe.

Slika 5 ilustrira kako se dijagram uzročne petlje sa Slike 5 može prikazati kao dijagram stokova i tokova (cijevni dijagram). Zavojite strelice na slici 5 upućuju na kvantitativne odnose. Primjerice zavojite strelice od *godišnje stope rađanja* i *populacije* prema *rođenima na godinu* upućuju na to da broj *rođenih na godinu* određuju i *populacija* i *godišnja stopa rađanja*, kako je specificirano gore iskazanom jednadžbom.

Slika 5: Prikaz uzročnog dijagrama dijagramom stokova i tokova

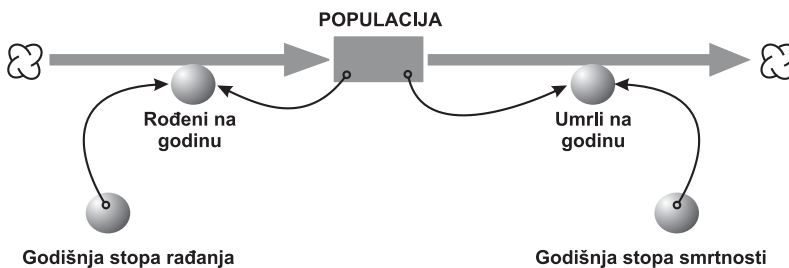


Jedna značajka dijagrama stoka i toka na Slici 5 jest ta da stokovi koji predstavljaju godišnju stopu rađanja i godišnju stopu smrtnosti nisu izričito povezani s pripadajućim tokovima. Prema običaju, za dijagrame stokova i tokova rabi se drugi prikaz, koji je označen krugom i nazvan konverterom ili dodatkom, označujući varijable koje mogu biti ili stokovi ili tokovi, no nužno ih se ne mora izričito prepoznati kao takve, što pokazuje Slika 6.

Iako su sve varijable nužno ili stokovi ili tokovi, cijevni dijagrami upotrebljavaju tri simbola: kutiju za stokove, prikaz cijevi i slavina za tokove i krug za dodatke. Kad je stok ili tok najjasnije prikazan i kad je dodatak stvar procjene, općenito je dobro broj stokova koji su jasno prepoznatljivi održavati na minimumu, a ostatak označiti kao dodatke. Tokovi koji se trebaju jasno izraziti kao tokovi određeni su izabranim stokovima; svi ostali tokovi poprimaju oblik dodataka.

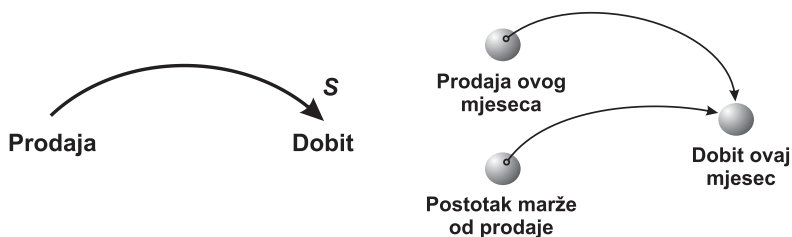
Dijagrami stokova i tokova nužno su strukturalno isti kao i odgovarajući dijagrami uzročne petlje, pa će prikazivati sve iste petlje povratne veze i sadržavati sve iste varijable. No te dvije vrste dijagrama vizualno su različite i imaju druga dva važna obilježja po kojima se razlikuju.

Slika 6: Dijagram stokova i tokova prikazom konvertera ili dodataka



Prvo, dijagrami stokova i tokova obično sadržavaju više varijabli od odgovarajućih dijagrama uzročne petlje. Razlog tome jest taj da, dok se dijagrami uzročne petlje usredotočuju na uzročno-posljedične odnose među glavnim varijablama, kao na Slici 7 (lijevo), dijagrami stokova i tokova moraju odrediti način na koji svaka veza zapravo djeluje, pa će tako uključivati nužne dodatne varijable, kao što je marža prikazana na Slici 7 (desno), iz koje se vidi da se *dobit ovog mjeseca* izračunava i iz *prodaje ovog mjeseca* i *postotka marže od prodaje*. Drugo, dijagrami stokova i tokova mnogo su određeniji u pogledu naziva varijabli. Na primjer na dijagramu uzročne petlje na Slici 4 populacijski rast nazvan je samo *rođeni*, dok ih dijagram stoka i toka naziva *rođeni na godinu*, naglašavajući vremensku prirodu toka. Time se upućuje i na strogost, koja je uvjet pri modeliranju.

Slika 7: Osnovna razlika u prikazu dijagrama stokova i tokova i dijagrama uzročne petlje



Radi učinkovitog postupanja s dijagramima uzročne petlje potrebno je pratiti pravila postupanja, što podrazumijeva pravilan odabir naziva varijabli, prikaz te dodjeljivanje polariteta veza, odnosno petlji. Valja istaknuti da se dijagramima pristupa u koracima izbjegavajući izradu jednog jedinstvenog, a potom i nerazumljivog dijagrama. U izradi dijagrama ključna je iteracija kako bi se postiglo učenje o kompleksnom problemu koji se razmatra.

Svaka veza u dijagramu mora prezentirati uzročne odnose među varijablama (one u koje se vjeruje). Model sistemske dinamike mora oponašati strukturu stvarnog sistema dovoljno dobro da se model ponaša na isti način kao stvarni sistem. Ponašanje ne uključuje samo repliciranje prošlog iskustva nego i reagiranje na okolnosti i strategije (procedure, pravila) koje su potpuno nove. Uzajamni odnosi (korelacije) varijabli odražavaju prijašnje ponašanje sistema. Korelacije ne prikazuju strukturu sistema. Ako se okolnosti promijene, odnosno ako dosad neaktivne petlje povratne veze postanu dominantne, ako se isprobaju nove strategije (pravila), prethodno pouzdane korelacije među varijablama mogle bi se prekinuti. Modeli i uzročni dijagrami moraju obuhvaćati samo one korelacije za koje se vjeruje da pri-

kazuju temeljnu uzročnu strukturu sistema. Korelacije među varijablama proizaći će iz ponašanja modela kada ga se simulira.

Dijagrami uzročnih petlji stvoreni su kako bi priopćili središnju strukturu povratne veze dinamične hipoteze. Njihova zadaća nije da opisuju modele na detaljnom stupnju jednadžbi. Previše detalja otežava sagledavanje cjelokupne strukture petlje povratne veze i načina na koji različite petlje komuniciraju. S druge strane, premalo detalja otežava auditoriju spoznati logiku te procijeniti uvjerljivost i stvarnost predloženog modela.

Kratkoročna memorija može sadržavati 7 ± 2 bloka informacija istodobno, što upućuje na znatna ograničenja u učinkovitosti veličine i kompleksnosti uzročnog prikaza. Predstavljanje cjelokupnoga kompleksnog uzročnog prikaza odjednom, otežava sagledavanje petlje, razumijevanje koje su petlje važne ili načina na koji one stvaraju dinamiku. Treba se oduprijeti kušnji da se sve identificirane petlje postave u jedan opsežan dijagram. Iako dojmljiv zbog svoje veličine, takav dijagram nije učinkovit u komunikaciji s auditorijem kojem se prezentira. Veliki dijagram može biti savršeno razumljiv modelaru, odnosno analitičaru koji ga je sastavio, ali ljudima s kojima nastoji komunicirati potpuno je nerazumljiv i beznačajan.

Model treba graditi postupno, u fazama, s nizom manjih dijagrama uzročnih petlji. Svaki dijagram trebao bi odgovarati jednome dijelu dinamičke priče koja se prikazuje. Tek mali broj ljudi može razumjeti kompleksan uzročni dijagram; većina je sposobna usvojiti ga dio po dio. Poželjno je izraditi poseban dijagram za svaku važnu petlju. Ti dijagrami mogu sadržavati dovoljno detalja da bi pokazali kako proces zapravo funkcionira. Dijagram se potom razdijeli na jednostavniji, razrađeni prikaz da bi se pokazalo kako ti detalji međusobno komuniciraju. U prezentaciji dijagrama potrebno ga je postupno povećavati, dakle dio po dio, sastavljajući komade dijagrama.

Analiza statičkog modela sklona je prisiliti analitičare da obuhvate stvarno ponašanje sistema i ocijene utjecaj varijabilnosti na uspješnost sistema. Statičkim alatima i modelima ne može se analizirati dinamika. Nedostaci statičkih modela u provođenju dinamičke analize mogu se kategorizirati na sljedeće načine. Prvo, statički modeli ne mogu razmotriti varijabilnost, nasumičnost i sposobnost procesa da reagiraju na promjenu. Statički modeli procesa ne pružaju dovoljno informacija za otkrivanje detaljnih nedostataka u hijerarhijskim procesima i troškova uključenih u ispravljanje takvih nedostataka. Drugo, učinak varijabilnosti i nasumičnosti na različite razine hijerarhije i popratni utjecaj na okolne procese ne mogu se odrediti kroz statičke modele. Treće, statički modeli procesa nemaju sposobnost ocjenjivanja utjecaja procesa reinženjeringa prije implementacije (dokaz o konceptu). Podaci koje pružaju statički modeli procesa možda nisu novost u prirodi. Statički

modeli ne mogu predvidjeti ponašanje sistema. U predviđanju ponašanja sistema u različitim uvjetima mora se moći uvesti varijabilnost u okolinu i u svaki proces. Kako bi se identificirala uska grla, trendovi i alokacija resursa, nužna je dinamička analiza uspješnosti poslovnog procesa.

Dakle što je veća kompleksnost i varijabilnost procesa, veće su poteškoće u predviđanju ponašanja sistema pomoću modela statičkog procesa. Što je veća kompleksnost i varijabilnost procesa, manja je vrijednost statičkog modeliranja u primjeni strategija reinženjeringa procesa. Što je kompleksnost procesa veća, a varijabilnost manja, veća je i vrijednost simulacije u primjeni strategija reinženjeringa. Kompleksnost i nasumičnost procesa povećavaju opseg varijabilnosti u simulacijskim modelima i smanjuju vrijednost simulacije u predviđanju ponašanja sistema.

4. ZAKLJUČAK

Metodologija sistemske dinamike posjeduje snažan alat kojim se učinkovito može prikazati struktura povratne veze kompleksnih sistema kao što je stanovništvo. S obzirom na postojeće analitičke i statističke metode praćenja i analize stanovništva i migracija, cilj ovoga rada jest prikazati primjenu sistemske dinamike u analizi stanovništva te analizirati prednosti i nedostatke metode posebice u odnosu na ostale metode koje se rabe u istu svrhu. Uporaba te metodologije ključna je za praćenja populacije i migracijskih kretanja, posebno u pogledu analize uzroka migracija.

Uzročni dijagrami znatno pridonose u ranijim fazama projekta modeliranja sistema, kada je potrebno istaknuti i prikazati mentalne modele ljudi. Osim toga su korisni u prikazivanju rezultata modeliranja nematematičkim, odnosno netehničkim pristupom. Svaka promjena strategije, svaka promjena ponašanja i svaka izmjena zastoja ili petlje povratne veze izazivaju posljedice u strukturi stanovništva. Neke su posljedice predviđene i namjerne, a neke neočekivane i neplanirane. Simulacija kao instrument općenito, a posebice sistemska dinamika, idealna je metodologija u istrazi namjernih i nenamjernih posljedica. Modeliranje utemeljeno na instrumentariju sistemske dinamike s ciljem izgradnje i praćenja stanovništva i migracija učinkovit je pristup za prepoznavanje i rješavanje uzroka sistemske kompleksnosti i njegovih integracijskih elemenata.

LITERATURA

- AXELROD, Robert (1995). *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books.
- AXELROD, Robert i COHEN, Michael D. (2000). *Harnessing Complexity: Organizational Implications of a Scientific Frontier*. New York: Basic Books.
- BABBIE, Earl R. (1998). *The Practice of Social Research*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Co.
- BATTRAM, Arthur (2001). *Navigating Complexity: The Essential Guide to Complexity Theory in Business and Management*. London: The Industrial Society.
- BERTALANFFY, Ludwig von (2001). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. Reprint rev. izd. iz 1976. New York: George Braziller.
- BROWN, Timothy C., SARAOGU, Hakan, YOBACCIO, Elizabeth i LOUTON, David (2009). *Using System Dynamics to Illustrate the Interrelationships of Business Policies*, <http://www.abe.villanova.edu/proc2000/n082.pdf> (pristupljeno 10.03.2009.)
- ELMAGHRABY, Salah E. i HERROELEN, Willy S. (1980). »On the Measurement of Complexity in Activity Networks«, *European Journal of Operational Research*, god. 5, br. 4, str. 223–234.
- FLOOD, Robert L. i JACKSON, C. Michael (1991). *Creative Problem Solving: Total System Intervention*. Baffins Lane, Chichester: Wiley.
- FORRESTER, Jay W. (1961). *Industrial Dynamics*. Waltham, MA: Pegasus Communications.
- KIEL, Douglas L. i ELLIOTT, Euel W. (eds) (1997). *Chaos Theory in the Social Sciences: Foundations and Applications*. Ann Arbor, Mich.: The University of Michigan Press.
- PEJIĆ-BACH, Mirjana (2002). *Modeliranje i simulacija upravljanja sredstvima u poslovanju metodom sistemske dinamike* (doktorska disertacija). Zagreb: Ekonomski fakultet.
- RICHARDSON, George P. (1991). *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- SENGE, Peter M. (1994). *The Fifth Discipline Fieldbook: Strategies and Tools for Building a Learning Organization*. London: Nicholas Brealey Publishing.
- STERMAN, John D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modelling for a Complex World*. Boston: McGraw-Hill/Irwin.
- TINTOR, Janko (2009). *Poslovna analiza: koncepcija, metodologija, metode*. Zagreb: Masmmedia – Poslovni dnevnik.
- TURINA, August (2006). *Sistemska dinamika u funkciji poslovne analize* (doktorska disertacija). Zagreb: Ekonomski fakultet.
- WALDROP, Mitchell M. (1992). *Complexity: the Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. New York: Simon & Schuster.

August TURINA

Application of System Dynamics Methodology in Population Analysis

SUMMARY

The goal of this work is to present the application of system dynamics and system thinking, as well as the advantages and possible defects of this analytic approach, in order to improve the analysis of complex systems such as population and, thereby, to monitor more effectively the underlying causes of migrations. This methodology has long been present in interdisciplinary scientific circles, but its scientific contribution has not been sufficiently applied in analysis practice in Croatia. Namely, the major part of system analysis is focused on detailed complexity rather than on dynamic complexity. Generally, the science of complexity deals with emergence, innovation, learning and adaptation. Complexity is viewed according to the number of system components, or through a number of combinations that must be continually analyzed in order to understand and consequently provide adequate decisions. Simulations containing thousands of variables and complex arrays of details distract overall attention from the basic cause patterns and key inter-relations emerging and prevailing within an analyzed population. Systems thinking offers a holistic and integral perspective for observation of the world.

KEY WORDS: complexity, systems thinking, system dynamics, population, dynamic systems, feedback

August TURINA

Application de la méthodologie de la dynamique systémique dans l'analyse de la population

RÉSUMÉ

Cette recherche s'est donné pour objectif de présenter l'application de la dynamique et de la réflexion systémiques, de même que les avantages et éventuels inconvénients de cette approche analytique, afin d'améliorer l'analyse de systèmes complexes tels que l'est une population et d'augmenter l'efficacité du suivi des causes fondamentales de la migration. Présente depuis longtemps dans les domaines scientifiques interdisciplinaires, cette méthodologie et sa contribution scientifique restent peu exploitées dans la pratique de l'analyse en Croatie. En effet, la majorité des analyses systémiques se concentre sur la complexité des détails, au détriment de la complexité de la dynamique. La science de la complexité traite de la nature de l'origine, de l'innovation, de l'examen et de l'adaptation. La complexité est considérée sous l'angle du nombre de composantes renfermées dans le système, voire du nombre de combinaisons à étudier afin d'appréhender le problème étudié dans son intégralité et d'en tirer une conclusion adéquate. Les simulations comprenant des milliers de variables et des séries complexes de détails distraient des modèles de base et des interactions clés. L'étude systémique offre une perspective holistique (d'ensemble) à l'observation du monde.

MOTS CLÉS : complexité, étude systémique, dynamique systémique, population, systèmes dynamiques, feedback