

# DINAMIKA PROCESA UČENJA UZ POMOĆ KIBERNETIČKIH SUSTAVA

## *Process Dynamics of Learning with Help of Cybernetic Systems*

prof. dr. sc. Ante Munitić

Pomorski fakultet Split  
E-mail: ante.munitic@pfst.hr

Pančo Ristov, dipl. ing.

Pomorski fakultet Split  
E-mail: panco.ristov@pfst.hr

mr. sc. Ivona Milić Beran

Sveučilište u Dubrovniku  
E-mail: ivona@unidu.hr

UDK 519.87:007

### Sažetak

*Sustav dinamičkog modeliranja, to jest sustavna dinamika, u razvijenim zemljama Zapada susreće se u simulaciji najsloženijih sustava prije 35 godina. Na Pomorskom fakultetu u Splitu prvi diplomski radovi modela pomorskih sustava i procesa pojavili su se prije dvadeset i pet godina pod mentorstvom prof. dr. sc. Ante Munitića, što znači da su do danas stečena dragocjena iskustva. Studenti su izradili više od stotine kontinuiranih simulacijskih modela iz pomorskih znanosti, i na njima su simulirali različite scenarije. Tema dinamika procesa učenja uz pomoć kibernetičkih sustava jedna je od glavnih niti koje povezuju uzročno-posljedične veze – krugove povratnog djelovanja i ponašanje kibernetičkih sustava upravljanja.*

*Temelj ovom radu je iskustvo stečeno u radu sa studentima, pa je opravdano pretpostaviti da bi se metodologija sustavne dinamike mogla primijeniti u visokoškolskom i u srednjoškolskom obrazovanju.*

*Proučavanje kibernetičkih sustava zbog njihove složenosti zahtijeva nove metode i alate. Jedna od novih učinkovitih metodologija je metodologija sustavne dinamike. Znanje učenika i studenta će se simuliranjem pomorskih sustava i procesa povećati u usporedbi s dosadašnjim tradicionalnim metodama učenja.*

*Ključne riječi: sustavna dinamika, učenje, uzročno-posljedična veza, krug povratnog djelovanja, virtualnost, simulacija.*

### Summary

*The application of system dynamics modeling, i.e. system dynamics in western developed countries started to be used for simulation most complex systems 35 years ago. The first degree essays of marine systems processes models mentored by Ante Munitić PhD appeared at the faculty of Split twenty five years ago meaning that the same precious experiences have been gained up to today. Students worked out more than a hundred continued simulated models from maritime science and various scenarios were simulated on them. The topic of process dynamics of learning cybernetic systems in one of the main threads connecting cause – result relationships loops and cybernetic system behavior of management.*

*The basis of this paper is the experience gained in the work with students hoping that methodology of system dynamics could be applied in higher and secondary school education.*

*Studying cybernetic systems because of their complexity requires new methods and implements. One of new efficient methodologies is methodology of system dynamics. Knowledge of pupils and students will be increased by simulation of maritime systems and processes compared to current traditional methods of learning.*

*Key words: system dynamics, cause – result relationship, loop, virtuality, simulations.*

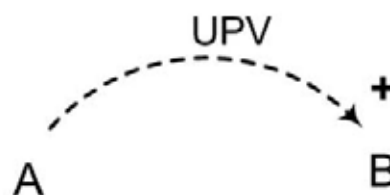
## UVOD / Introduction

U novije vrijeme najčešće se čuje riječ *promjena*, i ona se događa u svim porama ljudskog života. Neke promjene opasne su za ljudski život (klimatske promjene), a neke ga olakšavaju i/ili poboljšavaju (informacijska tehnologija). Većina promjena koje se događaju rezultat su namjernog ili nenamjernog ljudskog djelovanja. Jedna od tih promjena je novi dinamički pristup u učenju i proučavanju složenih pomorskih sustava koji postoje u realnom svijetu. Tradicionalni način učenja nailazi na određene prepreke koje usporavaju učenje. Da bi se proučila dinamika složenih pomorskih sustava, potrebno se koristiti metodologijom sustavne dinamike, koja pruža protokole, metode i alate da bi se poboljšalo proučavanje funkcioniranja pomorskih sustava. Proučavanje dinamike složenih sustava zahtijeva više od poznavanja tehničkih alata za izradbu matematičkih modela. Sustavna dinamika (SD) je interdisciplinarna znanost koja proučava ponašanje dinamike složenih sustava s povratnom vezom. Ona je razvila teoriju o nelinearnosti, ponašanju i djelovanju uzročno-posljedičnih veza (UPV) i krugova povratnih djelovanja (KPD). Potrebno je determinirati kvalitativne i kvantitativne modele, te uočiti dominirajuće KPD, kako bi se uočila nelinearna dinamika promatranih pomorskih sustava. Koristeći se novim spoznajama o dinamičkom ponašanju sustava koji izrađuje, modelar dolazi do novih znanja o dinamičkom karakteru istraživanih realiteta. Sustavna dinamika učinkovito determinira sljedeće modele istraživanih realiteta: mentalno verbalni model, strukturni model, matematički model i računalno simulacijski model. Simulacijski modeli služe modelaru da na njima istražuje dinamiku ponašanja nekoga realiteta bez opasnosti u svezi sa sustavom istraživanja. Eksperimenti moraju biti međusobno usklađeni jer predstavljaju isti realitet i pri tome pridonose novim spoznajama o dinamici ponašanja realiteta, pa je krajnji rezultat stjecanje novih znanja o karakteru promatranog realiteta i pripadajućeg SD modela. Za uspješno učenje dinamike ponašanja složenih sustava zahtijeva se upotreba: (a) protokola, metoda i alata za dizajniranje sustava dinamičkih modela, (b) kontinuiranih simulacijskih modela za testiranje, učenje i usavršavanje znanja i (c) metoda za stjecanje znanstvenih iskustva, to jest vještina postavljanja i obrane hipoteze za rješavanje postavljenog problema, borba protiv defenzivnih rutina, više načina prezentacije rezultata rada (mentalni model, strukturni, strukturni dijagram tokova, matematički i računalni model) i dr. Zbog svoje izrazite učinkovitosti i jednostavnosti, metodologija sustavske dinamike primjenjuje se u psihologiji, sociologiji, ekonomiji, inženjerstvu, medicini, dakle najčešće u najsloženijim znanstvenim disciplinama.

## OSNOVNI POJMOVI SUSTAVNE DINAMIKE / Basic concepts of system dynamics

Da bi se objasnio proces učenja sa sustavima u kojima dominiraju krugovi povratnog djelovanja, potrebno je pojasniti značenje osnovnih pojmova sustavne dinamike, to jest pojmova „uzročno-posljedičnih veza“ i „krugova povratnog djelovanja“. Dinamika procesa ovisi od utjecaja KPD-a, odnosno UPV-a. UPV determinira kvalitativnu dinamiku ponašanja posljedične varijable ovisno o dinamičkom ponašanju uzročne varijable. Kvalitativna dinamika ponašanja posljedičnih varijabla, ovisno o ponašanju uzročnih varijabla, razlikuje dvije različite skupine UPV-a.

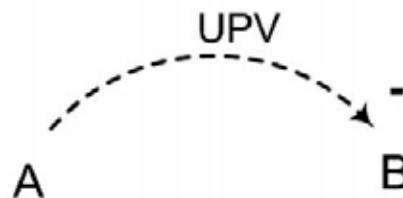
Prvu skupinu čini tzv. *pozitivni* UPV (+), koji simbolizira analognu dinamiku ponašanja uzročno-posljedičnih varijabla, to jest dinamički se ponašaju i uzrok i posljedica na jednak način: ako raste uzročna varijabla A i izaziva analogni porast posljedične varijable B, tada je kvalitativni dinamički karakter UPV *pozitivan* (+), što se može prikazati kao na slici 1.



Slika 1. Pozitivni UPV

Fig. 1. Positive cause – result variables (CRV)

Druga je skupina tzv. *negativni* UPV (-), koji simbolizira suprotnu dinamiku ponašanja uzročno-posljedičnih varijabla, to jest koje se ponašaju sa sljedećom logikom: ako raste uzročna varijabla A i izaziva smanjivanje posljedične varijable B, tada je kvalitativni dinamički karakter UPV *negativan* (-), što se može prikazati na slici 2.

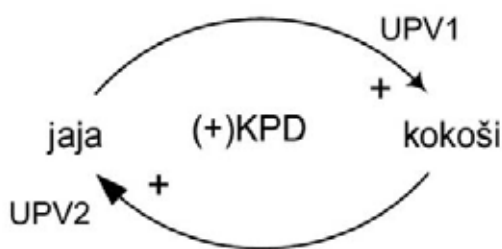


Slika 2. Negativni UPV

Fig. 2. Negative cause result variables (CRV)

Najjednostavniji KPD ima najmanje dvije međusobno povezane uzročno-posljedične veze. Pozitivni KPD upućuje na fizička povećanja ili smanjena stanja sustava, koja će izazvati dinamički karakter povećanja

promjena obiju varijabla ili smanjenja obiju varijabla, što se označava predznakom (+). Očito je da svi elementi u modelu (slika 3.), to jest UPV1 i UPV2 imaju pozitivan predznak dinamike ponašanja, što znači da promatrani krug povratnog djelovanja vodi k eksponencijalnom rastu.



Slika 3. Strukturni model sustava s pozitivnim krugom povratnog djelovanja

Fig. 3. Structural system model with positive loop

Negativni KPD predstavlja samoregulacijski krug, kojega je strukturni model prikazan na slici 4., i ima tri UPV pa za njih vrijede pravila: ako raste varijabla „akcija“, porast će i varijabla „stanje sustava“, što dokazuje da UPV ima pozitivan (+) predznak.

Ako raste varijabla „stanje sustava“ u odnosu prema očekivanom stanju (cilj, nominalno stanje), tada će se smanjiti diskrepancija, što upućuje na negativan (-) UPV.



Slika 4. Strukturni model sustava s negativnom povratnom vezom

Fig. 4. Structure system model with negative feedback

Strukturni model sustava s negativnom povratnom vezom upućuje na sljedeće ponašanje:

- ako je zadan cilj, to jest očekivano stanje, tad je diskrepancija razlika željenog stanja od stvarnog stanja sustava,
- što je stanje sustava bliže očekivanom stanju, to jest cilju, diskrepancija je manja,
- što je veća diskrepancija, to jest odstupanje od cilja

stanja sustava, to je veće akcijsko djelovanje za ostvarenje željenog stanja sustava. Analogno vrijedi i da se za veće akcijsko djelovanje i stanje sustava povećava.

Napomena: Ako je sustav bez negativne povratne veze, dobar menadžer morao bi kreirati takvu vezu kako bi se njome moglo upravljati i zadržavati željeno stanje dinamike sustava.

Ako u KPD-u postoje pozitivne i negativne UPV, tad se globalni predznak KPD-a određuje s pomoću pariteta zbroja negativnih predznaka u tom sustavu, kako slijedi:

- ako je paran broj negativnih predznaka unutar promatranog KPD-a, tada je globalni predznak povratne veze pozitivan (+),
- ako je neparan broj negativnih predznaka u KPD-u, tada je globalni predznak povratne veze negativan (-), što znači stabilizirajući ili samoregulirajući.

Sustavi s negativnom povratnom vezom nastoje postizati eksterno postavljene upravljačke ciljeve, to jest *željena stanja*. Sustavi s (-) predznakom KPD djeluju kao samoregulirajući elementi sustava. Za razliku od njih, sustavi s pozitivnom povratnom vezom izazivaju eksponencijalni rast (eksploziju) ili pad (imploziju) procesa.

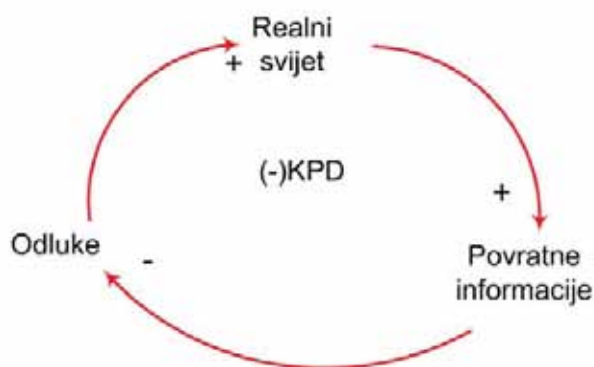
Uz svojstva pozitivnosti ili negativnosti UPV-a, to jest kruga povratnog djelovanja, KPD-i imaju nelinearan dinamički karakter, što čini sustav učenja veoma složenim. Nelinearnost nastaje kada neki uvjet ili neka akcija, ovisno o razini tog uvjeta ili intenzitetu akcije, ima različit utjecaj na ishod.

Gotovo svaki ljudski proces, pa tako i učenje, obilježavaju nelinearni UPV i KPD. Često prevladavaju pozitivni krugovi na račun negativnih, pa je potrebno aktivirati ili pojačati te negativne krugove djelovanja, kako bi se upravljalo s nelinearnim sustavom. Modeli koji zanemaruju nelinearnost, mogu poslužiti kao srednjoškolski edukacijski, jednostavni modeli. Realnom analizom mora se uzeti u obzir nelinearnost, to jest složenost procesa jer postoje metode koje su predviđene za rješavanje tih sustava.

### UČENJE UZ POMOĆ KRUGOVA POVRATNOG DJELOVANJA / *Learning by means of loops*

Proces učenja kod živih bića ima različite varijante, koje istražuju mnogobrojni znanstvenici. Međutim, ovaj je rad orijentiran na modele učenja koji se baziraju na KPD-u, to jest na kibernetike sustave. Učenje kao dinamički proces pod utjecajem je mnogobrojnih UPV-

a koji djeluju unutar sustava, odnosno njime dominiraju KPD-i. Da bi se proučila dinamika učenja bioloških sustava s povratnom vezom, potrebno je u prvim aproksimacijama pojednostavniti model istraživanja (tehnika linearizacije sustava). U istraživanju procesa učenja s povratnom vezom primijenjena su sva pravila koja slijede iz sustava dinamičke metodologije. Na slici 5. prikazan je jednostavan krug povratnog djelovanja od tri varijable.



Slika 5. Strukturni model učenja s KPD-om  
Fig. 5. Structural learning model with loop

KPD na slici 5. pojavljuje se u mnogim pojavnim oblicima u društvenim znanostima. George Richardson (1991.) i njegov povijesni koncept KPD-a u društvenim znanostima pokazuje kako su početkom 1940. godine vodeći znanstvenici u ekonomiji, psihologiji, sociologiji, antropologiji i drugim znanstvenim područjima i poljima prepoznavali koncept KPD-a, koji je već bio dobro razvijen u fizici i inženjerstvu, i to ne samo u teoriji servomehanizama već i pri donošenju ljudskih odluka u društvenim sustavima. Na primjer, 1961. Forrester u *Industrial Dynamics* ustvrdio je da se sve odluke (uključujući i učenje) mogu smjestiti u kontekst KPD-a. Znanstvenici koji su proučavali djelovanje KPD-a slijedili su Johna Deweyja, koji je u počecima 20. stoljeća prepoznao karakter KPD-a pri učenju, i on je opisao učenje kao infinitivni ciklus interaktivnosti, promatranja, refleksija i akcija (Schenon, 1992.). Učenje s KPD-om počelo se primjenjivati i u socijalnim i u menadžerskim znanostima. Eksplicitno učenje s KPD-om kao proces pojavilo se kao praktični alat za upravljanje, kao što je upravljanje potpunom kvalitetom (*Total Quality Management - TQM*), gdje se još naziva *Shewhart-Deming PDCA ciklus (Plan-Do-Check-Akt / Planiraj-učini-provjeri-djeluj ciklus)*. PDCA ciklus vodi do poboljšanja procesa učenja i do poboljšanja kvalitete dinamike ponašanja (Shiba, Graham, and Walden, 1993.).

KPD prikazan na slici 5. objašnjava tipičnu temeljnu vrstu procesa učenja. On je negativnog predznaka, to jest samoregulatorni. Drugim riječima, KPD s negativnim predznakom unosi smirujuću stabilnost u procesu učenja. Za strukturni model učenja s jednim KPD-om (slika 5.) uspoređujemo ciljno stanje sa stvarnim stanjem svijeta na temelju povratnih informacija, to jest riječ je o nizu otkrića, izbora i odluka. Za različite diskrepancije poduzimaju se različite odluke. Nove odluke ovise o povratnim informacijama o stanju stvarnog svijeta, koje će se donositi sve dok se ne dosegne ciljno stanje.

Proces donošenja odluka u procesu učenja s KPD-om prikazan je na slici 6.



Slika 6. Proces donošenja odluka  
Fig. 6. Process of making a decision

KPD na slici 5. predočava bitan nerazjašnjen aspekt u procesu učenja. Povratne informacije o realnom svijetu nisu jedini ulaz u procesu donošenja odluka. Diskusije su rezultat primjene pravila o donošenju odluka ili političkih informacija uočeni u stanju realnoga svijeta. Političke su informacije uvjetovane institucionalnim strukturama, organizacijskim strukturama i kulturnim normama. Kad modelari analiziraju diskrepanciju, čine to koristeći se svojom stručnošću, točnije implicitnim, nesvjesnim mentalnim modelima izgrađenima na temelju prethodnog iskustva što su ga tijekom zajedničkog rada međusobno podijelili. Prema tome, preporučljivo je napraviti mentalni model realnog sustava u skladu s pravilima sustavne dinamike, to jest detaljno urediti sve elemente sustava.

Svaki je model imaginacija nekoga sustava ili procesa, gdje teorijski modelar ima mogućnost dizajniranja neograničenog broja modela. Bit stvaranja modela je simplifikacija. Različite teorije objašnjavaju mentalno verbalne modele kao: kolekciju rutina, standardne procedure, skup mogućih akcija, kognitivne mape domena, topologije za razvrstavanje iskustva, logičke strukture za interpretacije jezika ili attribute o osobama koje ćemo susresti u svakodnevnom životu. Koncept mentalno verbalnog modela je bitan element u sustavnoj dinamici od samog početka razvoja. J. Forrester (1961.) naglašava da se sve diskusije temelje na modelima, obično na mentalno-verbalnim modelima. U sustavnoj dinamici termin „mentalno verbalni model“ uključuje imaginaciju, katkad u početku nejasnu i



maglovitu, te njegovu verbalnu usmenu ili tekstualnu prezentaciju.

Dinamiku ponašanja sustava učenja determiniraju ponašanja oko mreža uzroka i učinaka, i oni nam pokazuju kako sustav funkcionira unutar definiranih granica modela (koje su varijable uključene, a koje isključene), adekvatnoga vremenskog intervala, oblikovanja ili artikulacije problema.



Slika 7. Strukturni model jednosmjerne uzročno-posljedične sprege

Fig. 7. Structural model of single cause result relationship

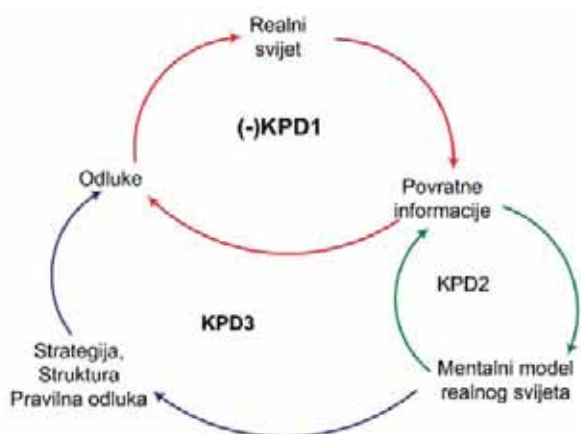
Za vrijeme modeliranja stječu se nova znanja o promatranom sustavu, to jest o njegovoj strukturi, povezanosti unutar sebe i s okolinom, te i o drugim bitnim odlikama sustava.

Dokle god mentalno-verbalni model ostaje nepromijenjen, KPD prikazan na slici 7. naziva se *jednosmjerni krug povratnog djelovanja procesa učenja* (*single-loop learning*), to jest takvo učenje uključuje korak praćenja ili otkrivanja kojim se stanje realnog sustava uspoređuje sa željenim stanjem. Ako je stvarno stanje ispod očekivanoga, otkriva se razlog, radi se izbor korektivne akcije i poduzima akcija. Poduzeta akcija utječe na stanje realnog sustava i vodi k sljedećem krugu otkrića, izbora i akcija. Sudionici u jednosmjernoj petlji učenja kontroliraju i uče. Otkrivaju posljedice svojih akcija i modificiraju svoje ponašanje prema onome što otkriju. Jednosmjerna petlja učenja nije rezultat dubokih promjena u mentalno-verbalnom modelu - naše razumijevanje interakcijskih veza strukture sustava, granice sustava koje smo odredili, relevantne vremenske intervale koje promatramo - ciljevi i vrijednosti. Ovaj model učenja je jednostavan iz

razloga što sudionici ni u kojem smislu ne propituju ono što rade. Tijekom modeliranja otkrivamo i nove UPV koji su na početku nevidljivi. Nevidljive UPV potrebno je otkriti detaljnom razradom modela, širokim znanjem, sposobnošću povezivanja činjenica i znanja iz različitih disciplina u novu cjelinu, te sposobnošću apstrakcije.

U stvarnim procesima na učenje djeluje veći broj KPD-a unutar sustava i između sustava i relevantne okoline, koji međusobno učinkovito, ciklički i interakcijski djeluju jedan na drugoga, i time mijenjaju prethodno znanje o stanju realnog svijeta (slika 8.). Da bi se uočili i proučili svi hipotetski UPV i KPD, dizajnira se mentalno-verbalni model realnog svijeta. Mentalno-verbalni model je "subjektivan pogled na svijet u kojem živimo [...] model koji stvara okvir za kognitivne procese u našem umu". Mentalno-verbalni model determinira način našeg razmišljanja, a zatim i našega djelovanja. Mentalno-verbalni modeli su strukture, to jest imaginacije koje ljudski mozak neprekidno konstruira, kako bi bio u stanju povezati niz činjenica s kojima se čovjek susreće, a potom na osnovi toga djeluje. Takvi modeli omogućuju razumijevanje fizičkog svijeta, komunikaciju među ljudima i planiranje akcija. Stvarno ponašanje osobe sukladno je "teoriji-u-upotrebi" koju obilježava: ostvarivanje jednostrane kontrole, potiskivanje negativnih osjećaja, inzistiranje na racionalnosti pod kojom ljudi razumijevaju definiranje jasnih ciljeva i procjenjivanje vlastitog ponašanja u odnosu prema dostizanju ili nedostizanju tih ciljeva (C. Argyris).

Na slici 8. povratne informacije o realnom svijetu ne mijenjaju samo odluke unutar konteksta postojećih okvira i pravila odluke nego i podržavaju preinake na mentalno-verbalnom modelu. Promjene unutar mentalno-verbalnog modela odnose se na promjene u strukturi sustava, kreiranje različitih pravila odluke i nove strategije, a to vodi do poboljšanja mentalno-verbalnog modela, to jest preoblikovanja problema ili prilike. Iste informacije procesirane i interpretirane u skladu s različitim pravilima odluka plod su različitih odluka. Promjene u strukturi sustava izazivaju obrasce ponašanja (prepravljavanje odluka), a to izaziva i promjene u ponašanju sustava.



Slika 8. Strukturni model učenja s više krugova povratnoga djelovanja

Fig. 8. Structural learning model with a number of loops

Pri uvođenju promjena možemo očekivati probleme čak i onda kad raspoložemo sjajnoosmišljenim strategijama. Kako bi se ti problemi prevladali, moramo izmijeniti mehanizme povratnih veza i učenja tako da sudionici kontinuirano razvijaju svoje vještine, znanje i razumijevanje. Novi mehanizmi osiguravaju točnost povratnih informacija o problemima ili napretku razvoja modela. Prihvaćanje novih mehanizama za učenje uvijek vodi prema promjeni tradicionalnog sustava povratne veze, koji je uvijek orijentiran prema održavanju *statusa quo*.

Razvojsustavnog mišljenja je dvostruki krug povratnog djelovanja procesa učenja (*double loop learning*) u kojemu sudionici analiziraju zašto je stanje realnog svijeta različito od ciljnoga ili željenog, i čine to koristeći se svojom stručnošću, točnije - implicitnim, nesvjesnim mentalno-verbalnim modelima izgrađenima na temelju prethodnog iskustva koje su tijekom zajedničkog rada međusobno podijelili. Drugim riječima, učenje s većim brojem KPD-a događa se kada posljedice akcije vode do preispitivanja mentalno-verbalnog modela, to jest preispitivanja pretpostavka koje se nalaze u temelju tog modela. Sudionici imaju recept kako funkcionira realni sustav. Razlozi koji su doveli do toga da je stanje realnog sustava različit od ciljnoga bit će utvrđeni nesvjesnim zajedničkim mentalno-verbalnim modelima. Kao posljedica toga, njihovi će izbori i akcije, također, ovisiti o zajedničkim mentalno-verbalnim modelima.

U mentalno-verbalnim procesima modelar posjeduje različite koncepte, a time postavlja hipotetske nove odnose između elemenata procesa. Koncepti koje osoba nosi nisu realan svijet, a zaključci koje stvara na osnovi njih zaključci su formulirani s pomoću modela. U

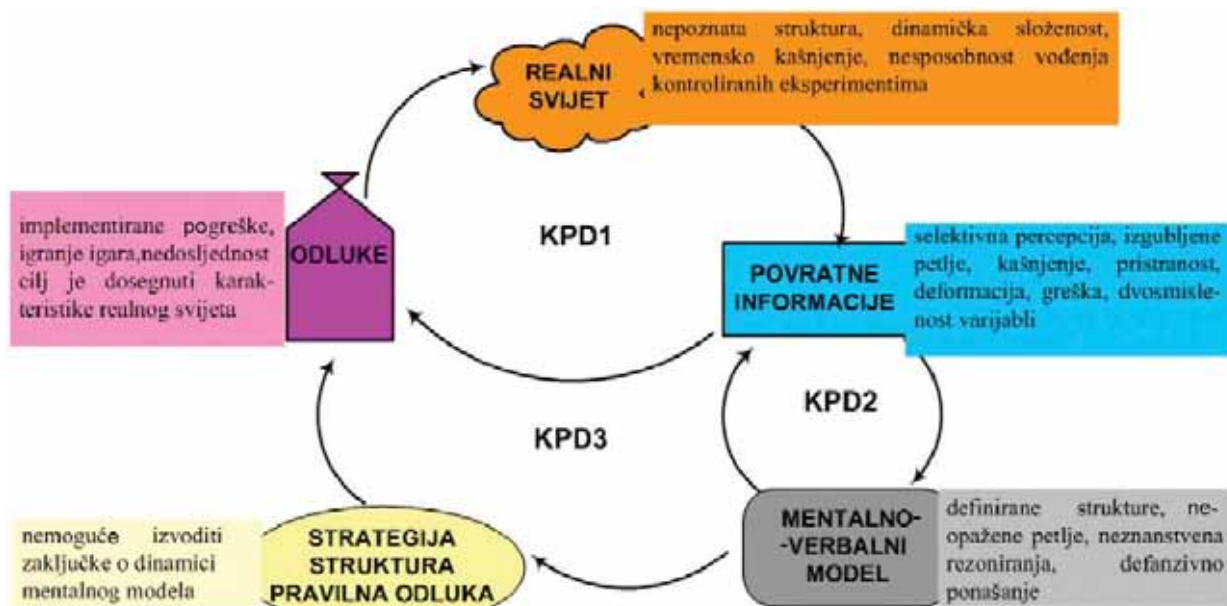
skladu s time, UPV koji izlazi iz „realnog svijeta“ mijenja stanje „povratnih informacija“, a to stimulira promjene u stanju mentalnog modela.

Mnoštvo znanstvenika dokazalo je da „pogrešni“ mentalno-verbalni model obično izaziva pogreške u procesu apstrahiranja, što posljedično dovodi do pogrešnih odluka i do neprimjerenih akcija. Cijeli proces postaje krug koji se ciklički ponavlja i uzrokuje ponavljanje i povećanje pogrešaka. Tako stečena uvjerenja i postavke koriste se kao filtar podataka što smo ih spremni razmotriti u sljedećoj situaciji na koju nailazimo u procesu učenja. Ovakav tip učenja je veoma spor, usprkos enormnom značenju problema i odlučnih dokaza dobivenih s pomoću kontroliranih eksperimenata koji se izvode godinama.

UPV iz realnog svijeta također može stimulirati promjene u mentalnom modelu. Takvo učenje uključuje nova shvaćanja i inovira novi model u odnosu prema stanju prije toga, te vodi k novim ciljevima i novim pravilima za diskusije, umjesto novih odluka.

Danas, brzina promjena procesa i složenost u sustavima značajno je zastupljena. Uz to, kašnjenje u učenju s KPD-om za mnoge neodložne probleme i dalje ostaje predugačko. U većini problema nije moguće izvršiti eksperimente i izmjeriti kašnjenje između uzroka i posljedica. Promjena stanja procesa se ubrzava kroz društvo, a učenje s KPD-ima i nadalje ostaje sporo, pa je proces neravnomjeran i neadekvatan.

Slika 9. pokazuje glavne načine uz koje svaka uzročno-posljedična veza u učenju s KPD-ima može biti pogrešna. U prepoznavanju i uočavanju UPV-a mogu se dogoditi pogreške zbog: dinamičke složenosti, nepotpune informacije o stanju u realnom svijetu, složene, nejasne i nepotpune varijable, lošega znanstvenog razmišljanja, defenzivnog ponašanja i drugih problema za efektivne grupne procese, implementirane pogreške, mnoštva percepcija o UPV-ima i ometanja mogućnosti za razumijevanje strukture i dinamike složenih sustava. U daljnjem tekstu dan je kratak opis najvećih problema koji se pojavljuju tijekom učenja s KPD-om.



Slika 9. Strukturni model učenja s KPD-om u realnom svijetu

Fig. 9. Structural learning model with loop in real world

a) **Dinamička složenost** - za uspješno učenje dinamičke složenosti sustava preporučuje se korištenje jednostavnim negativnim KPD-ima kao što su prikazani na slici 9. Implicitno, opaženi KPD-i su brzi, linearni, negativnog karaktera, proizvode stabilno stjecanje znanja, uravnotežen ili optimalni ishod. Iz sustavne dinamike poznato je da, ovisno o predznaku KPD-a, donose se odgovarajuće akcije, koje mogu biti i predvidive i nepredvidive, to jest KPD-i mogu biti pozitivnoga ili, štoviše, negativnog predznaka, i oni sadržavaju puno informacija u stogovima (stanja varijabla) i puno nelinearnosti. Dinamička složenost proizlazi iz: dinamičnosti sustava, dobre povezanosti sustava, reguliranja sustava s pomoću povratnih petlja, nelinearnosti sustava, samoorganiziranosti sustava, adaptivnosti sustava itd. Većina ljudi misli da se pojam složenosti odnosi na broj podsustava ili komponenata sustava, ili na broj kombinacija od kojih se jedna može promatrati u postupku odlučivanja. Problemi imaju visoku razinu kombinirajuće složenosti (detaljna složenost – *detail complexity*). Problemi se mogu procijeniti na temelju: (a) njihova stupnja važnosti i (b) moguće kompleksnosti njihovih rješenja. Kompleksnost ovisi o broju međusobno spojenih varijabla i interesa uključenih u vjerojatno rješenje problema. Dinamička složenost ne samo da usporava učenje s KPD-ima nego i reducira stečeno učenje za svaki ciklus. U mnogim slučajevima, kontrolirani su eksperimenti zabrinjavajuće skupi ili nemoralni. Mnoge poduzete akcije izazivaju nepovratne konzekvecije. Poduzete akcije ne mogu se dobro stupnjevat i s tekućim događajem. Postojeće višestruko interakcijsko djelovanje KPD-a znači da je jako teško održavati sve aspekte sustava konstantnim kad izaberemo varijablu od interesa i promatramo njezino djelovanje. Mnoge se varijable mijenjaju istovremeno,

pa tako zbunjuju pri interpretaciji ponašanja sustava i reduciraju efekte svakog ciklusa učenju s KPD-ima. Objektivno promatranje realnog svijeta glavni je preduvjet za proces učenja.

b) **Ograničene informacije** – za učenje moramo se koristiti raspoloživim ograničenim i nepotpunim informacijama. Za donošenje ispravnih odluka potrebno je pratiti odgovarajuća mjerenja procesa koji proizvode distorziju, kašnjenje, pristranost, pogreške i druge nesavršenosti, određeno znanje, druge nepoznanice što se ne mogu spoznati. Osjećaj i izbor informacija o sustavu ovisi o mogućem iskustvu.

c) **Pomiješanost i dvosmislenost varijabla** - bez obzira na veliku količinu primljenih informacija događaju se dvosmislenosti promatranih varijabla. To proizlazi iz promjena stanja sustava, odnosa prema drugim varijablama, kao rezultat vlastitih odluka koje su nerazumljive u vezi sa simulacijskim promjenama u računalu. Određeni broj varijabla koje djeluju na sustav mogu uništiti raspoložive podatke za upravljanje (vođenje) izlaznih alternativnih teorija i računalne interpretacije.

Učenje s višestrukim krugovima povratnog djelovanja treba zastupati u svim znanstvenim područjima jer ono uključuje kreaciju, stvara inovaciju ili donosi novo otkriće.

### UČENJE S KPD-OM U VIRTUALNOJ STVARNOSTI / Learning with loop in virtual reality

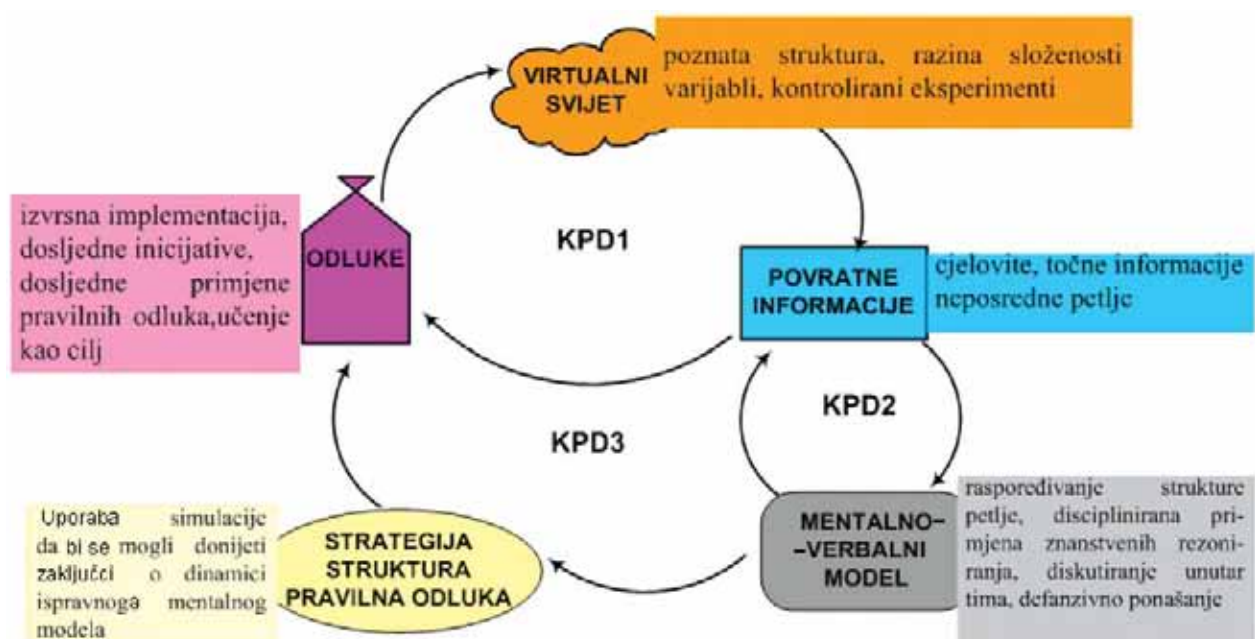
Zavrijeme učenja s kompleksnim sustavima suočavamo se s velikim problemima jer oni često proizvode neočekivane protuintuitivne rezultate, velik broj UPV-a i KPD-a,

osjetljivost na neke promjene, a iznenađujuću neosjetljivost na mnoge druge promjene itd. Svaki UPV u KPD-u od kojega bismo mogli nešto naučiti, može biti oslabljen ili uništen od različitih struktura. Neki od njih imaju fizičke ili institucionalne osobine - elemente dinamičke složenosti koje smanjuju mogućnosti za kontrolirane eksperimente. Neki su posljedica naše kulture, skupine procesa, vještina i upita. Ipak, drugi su granice i nemogućnosti ljudskog znanja, posebno kvalitete strukturnog dijagrama mentalno-verbalnog modela i nesposobnosti da ispravno donosimo zaključke o dinamici složenih nelinearnih sustava.

Ako želimo povećati efektivno znanje, moramo se koristiti protokolima i alatima virtualnog svijeta. Virtualni svjetovi kreiraju nove UPV-e, to jest KPD-e s novim osobinama. Virtualni svjetovi (termin je Schonov, 1983.) su formalni (prividni) modeli, simulacije, ili „mikrosvjetovi“ (Papert, 1980.), u kojima donositelj odluka može revidirati odluke – stvarajući vještine upravljanja eksperimentima i igrama. Oni mogu biti fizički modeli, pravila igre ili računalne simulacije. U sustavima koji imaju visoku dinamičku složenost, računalne su simulacije uobičajeno potrebne, kao što je igra distribucije piva (*The Beer Distribution Game* – Serman, 1989.) i održavanje igre (*Maintenance Game*) i sl. Mnogi od alata sustavne dinamike dizajnirani su kako bi pomogli da se razviju korisni, pouzdani i učinkoviti modeli, koji će poslužiti kao modeli virtualnoga svijeta i pomoći u učenju i oblikovanju politike. Gotovi su modeli laboratoriji za učenje i stjecanje iskustva. Efektivno učenje uključuje kontinuirano eksperimentiranje i u virtualnom i realnom

svijetu. KPD-i u oba svijeta informiraju o razvoju mentalnog modela, formalnog modela i dizajn su eksperimenata za sljedeću interakciju. Složena stvarnost pojednostavnjuje se dizajniranjem mentalno-verbalnih modela u kojima su podaci klasificirani po točno definiranim pravilima. Mentalno-verbalni model pohranjuje se u bazu modela, pa se njime koristi za razumijevanje budućih situacija. Popunjavajući model detaljima budućih situacija uči se o stanju sustava koji se promatra.

Virtualni svijet ima nekoliko virtualnosti. Prvo, time se osiguravaju jeftini niskobudžetni laboratoriji za učenje, to jest računalni kabineti i sofisticirana informacijska tehnologija. Laboratoriji za učenje su praktična polja u kojima menadžeri stječu praktična iskustva. U laboratorijima za učenje obavljaju se eksperimenti u kojima se stapaju refleksija i diskusija, pri čemu se rabe svi alati sustavnog razmišljanja. Virtualni svijet dopušta vrijeme i prostor za komprimiranje i brisanje. Poduzete akcije mogu se ponoviti u jednakim ili različitim uvjetima. Jedna akcija može zaustaviti djelovanje, da bi se zadržalo trenutno stanje. Poznate su diskusije kako su neke akcije opasne, neostvarive ili neetične u realnom sustavu, pa te iste akcije mogu biti ostvarene u virtualnome svijetu. Kontrolirani eksperimenti postaju mogući a vremensko kašnjenje u učenju s KPD-om se dramatično smanjuje. U realnom svijetu kao cilj učenja naglašava se mnogo neopozivih akcija i potreba za održavanje visokih performansa pojedinih preventivnih eksperimenata s neispitanim mogućnostima („if it ain't broke, don't fix it“ - ako se ne slomi, ne treba popraviti.).



Slika 10. Strukturni model učenja s KPD-om u virtualnome svijetu

Fig. 10. Structural learning model with loop in virtual world



U virtualnome svijetu mogu se isprobati različite strategije s pretpostavkom da vode prema lošim performansama ili čak katastrofi. Često u sustav postavljamo ekstremne uvjete s kojima otkrivamo više o njegovoj strukturi i dinamici, pa zatim provodimo ugađanje kako bi se zadovoljila strategija. Virtualni je svijet jedini praktični način da se doživi katastrofa kao realno događanje. Primjer, pilot zrakoplova provodi velik dio vremena u simulatoru leta u ekstremnim uvjetima, kao što su kvar motora ili eksplozivne dekompresije, a isto tako i studenti brodogradarstva provode znatno vrijeme u kabinetu u kojemu se simuliraju različiti događaji, kao eksplozija u karteru dizelskog motora i slično.

Povećavana sofisticiranost softvera također je dovela do razvoja „složenih igara“, „simulatora leta“ ili „mikrosvjeta upravljanja“ koji omogućuju osobama da rade s dinamičkim modelima na pregledan način, bez potrebe izravnog bavljenja temeljnim matematičkim funkcijama.

Cilj softverskim pomagalima je postići razumijevanje sustava u kojemu se djeluje i kojim se upravlja, učenje na poukama o načinu unapređenja sustava ili izbjegavanja problema inherentnih sustava, uviđanje strukture sustava. Temeljna poruka koja se provlači kroz modele i igre je da struktura determinira ponašanje sustava i da ljudi, uz pomoć modela i igara, mogu bolje razumjeti ponašanje promatranoga sustava i, po potrebi, uspješno intervenirati.

Virtualni svjetovi za učenje i trening su svakidašnjica u vojsci i trgovačkoj mornarici, treniranju pilota, opasnim planiranim operacijama i u mnogo drugih vremenski ograničenih zbivanja gdje ljudi rade u interakciji sa složenim tehničkim sustavima. Također, virtualni svjetovi običajeni su u profesijama kao što su arhitektura i inženjerstvo, koje su pogodne za uporabu fizičkih modela (Schon, 1983.). Uporaba virtualnog svijeta u menadžerskim zadacima, gdje se simulacija događa u minutama, satima ili se dinamika produžava tijekom više godina ili desetljeća, više je aktualna ili malo više prilagođena. Za takvo učenje koristi se menadžerskim simulatorima baziranim na računalnome modelu. S pomoću definirane strategije, a zatim donijetih odluka baziranih na tim strategijama, simulator pomaže menadžeru prepoznati dugoročne posljedice odluka.

Virtualni su svjetovi učinkoviti kad se virtualnošću bave ljudi koje to zanima, pa Dewey te ljude naziva „ljudi koji razmišljaju osmišljeno“, a Schon (1992.) te ljude naziva „ljudi koji razmišljaju sa situacijom“. Iako su simulacijski modeli i virtualni svjetovi potrebni za učinkovito učenje o dinamici složenih sustava, oni nisu dostatni da se svladaju napukline u našim mentalno-verbalnim modelima, vještinama znanstvenoga zaključivanja i timskom radu.

Virtualni svijet omogućava upravljane eksperimentima, ne zahtijevajući od sudionika da aplicira načela znanstvenih metoda. Uz to, mnogim sudionicima u projektima sustavne dinamike nedostaje iskustva o znanstvenim metodama i informiranost o zamkama u dizajnu i interpretaciji eksperimenata.

Ljudi često ne planiraju dostatno vremena kako bi objasnili rezultate simulacije, identificirali diskrepanciju između realnoga i ciljnog stanja, definirali hipoteze o diskrepanciji i načinu dokazivanja hipoteze, te osmišljavanju eksperimenta kako bi napravili razliku između računalnih alternativa. Efektivno se učenje koristi sustavnom dinamikom, koja vrlo često omogućava treniranje u znanstvenim metodama. Protokoli kojima se koristi pri simulaciji dobro su strukturirani s odgovarajućim procedurama, kao što je držanje laboratorijskih *notebooka*, eksplicitno formulirane hipoteze i dobra objašnjenja postavljenih hipoteza skupini polaznika ili pojedincima kojima je to potrebno.

Defenzivna rutina (obrasci ponašanja kojima se koriste ljudi u organizaciji kako bi zaštitili sebe i druge od neugodnosti i napetosti) i grupno mišljenje događaju se u laboratoriju za učenje upravo kao da je u realnoj organizaciji. Doista, protokoli za učinkovito učenje u virtualnim svjetovima, kao što je javno testiranje hipoteza, odgovornost i usporedba različitih strategija, mogu uključivati i obrambene reakcije koje sprečavaju učenje (Isaacs and Senge, 1992.). Upotreba sustavne dinamike stimulira učenje u organizaciji, koja vrlo često zahtijeva određen broj članova tima koji utroše vrijeme na pronalaženju osobnoga defenzivnog ponašanja. Koncept učenje u organizaciji zahtijeva aktivno kreiranje promjene, otvorenu komunikaciju članova, osnaženo osoblje koje se odgovorno koristi delegiranom moći i spremno je na suradnju s kolegama na svim hijerarhijskim razinama.

Učenje u virtualnim svjetovima može se ubrzati kad proces modeliranja pomaže ljudima da nauče kako prezentirati jednostavno složene strukture i da razumiju njihove implikacije. Da bi sudionici naučili dinamičku složenost sustava, moraju imati pouzdanje i voditi računa da model adekvatno prezentira problem. Oni moraju vjerovati da model dovoljno oponaša relevantni dio realnoga svijeta i nastojati uočiti kako se virtualni svijet odnosi prema realnomu.

U praksi, učinkovito učenje s pomoću modela je najbolje, a možda i jedino, kada donositelj odluke aktivno sudjeluje u razvoju modela. Pritom, modeliranje uključuje sudionike u postojeći mentalni model, uključuje jasne izlaze (problem strukturiranja), izbor granice modela, vremenski horizont (trajanje), označavanje uzročnih petlja u strukturi relevantnog sustava.

Uz razvoj tehnike u sustavnoj dinamici, razvijaju se mnogi alati i protokoli za grupno modeliranje, koji uključuju dijagrame uzročno-posljedičnih petlja (*Causal Loop Diagrams*), planske strukturne dijagrame (*Policy Structure Diagrams*), alate bazirane na računalu i različite strukturne probleme i metode softverskih sustava.

### SIMULACIJA I UČENJE S KPD-OM / *Simulation and learning with loop*

Pod pojmom „simulacija“ podrazumijeva se imitiranje ponašanja realiteta različite prirode. Od niza definicija simulacije navest će se samo neke koje su bliske metodologiji sustavne dinamike: „Simulacija je prezentiranje dinamike ponašanja sustava koji se pomiče od stanja do stanja prema dobro definiranim operacijskim pravilima“ (Pritsker i Pegden: *Introduction to Simulation and Slam*, Halsted Press, 1979.). „Simulacija je u užem smislu eksperimentiranje s apstraktnim modelom u vremenu“ (Kleijnen: *Statistical Techniques in Simulation*, Part I, Marcel Dekker, New York, 1974.). Ipak, pod pojmom „simulacija“ potrebno je, u širem smislu, podrazumijevati više aktivnosti, od eksperimentiranja na realnom sustavu pa do analize eksperimentalnih rezultata, što znači: modeliranje promatranog realiteta, računalnoga programiranja i eksperimentiranje s pomoću modela.

Za analizu realnih sustava nije dostatan samo mentalno-verbalni model jer neke prostorne i privremene granice teže k velikim ograničenjima. Nadalje dinamički su oskudni, ispušteni su određeni UPV-i, vremenska su kašnjenja, akumulacije i nelinearnosti. Iz tog razloga, golema virtualnost kod većine izabranih protokola i alata kojima se koristi, potiče ljude da identificiraju elemente dinamičke složenosti - normalno, ne odustajući od mentalnog modela. Međutim, većina problema strukturnih metoda pridonose kvalitativnim modelima koji pokazuju odnose UPV-a, izuzevši parametre, funkcionalne forme, vanjske ulaze, početne uvjete potrebne za potpunu specifikaciju i test modela. Bez obzira na formu modela ili rabljene tehnike, rezultat izbora i proces mapiranja ne može biti veći nego skup uzročnih atributa, početnih hipoteza oko strukture sustava, koje se zatim moraju testirati.

Simulacija je proces u kojemu se upotrebljava *jedan ili više* modela za analizu odziva modeliranog sustava uz promjenu ulaznih veličina. U postavljanju i razradi simulacijskih modela najteže je ispravno definirati matematičke modele i logički primijeniti različita znanja iz gotovo svih područja znanosti (ovisno o problemu koji se obrađuje).

Simulacija je jedini praktični način za testiranje modela. Kompleksnost mentalnih modela, zahtijeva beskrajno velike sposobnosti za razumijevanje njihove implikacije. Tipični konceptualni modeli sadržavaju složene i velike dijagrame UPV-a, pa je teško takve modele mentalno simulirati. Bez simulacije, čak i najbolji konceptualni modeli mogu biti jedino testirani i unaprijeđeni pouzdajući se u znanje UPV-a iz realnoga svijeta. Kao što se vidi, dinamička složenost daje neprikladne, neadekvatne, spore i dvosmislene povratne veze, s vremenskim kašnjenjem, zatim loše odluke, defenzivne reakcije i troškove za eksperimente. U takvim prilikama simulacija postaje jedini vjerodostojan način da se testiraju hipoteze i procjene djelovanja određene varijable/la.

Neke škole dokazuju da formalno modeliranje može osigurati najbolju kvantitativnu preciznost unutar definiranog problema, ali ne mogu voditi prema izvornim i novim koncepcijama. U protivnome, testiranje modela kroz simulaciju često dovodi do radikalnih promjena u načinu razumijevanja realiteta. Brzina simulacije pojačava učenje povratnih petlja. Diskrepancija između formalnih i mentalnih modela stimulira poboljšanja, uključujući promjene u temeljnim pretpostavkama, kao što su granice modela, vremenski horizont (interval) i dinamičke hipoteze (Forrester, 1985. i Homer, 1996. ).

Simulacijski model u obliku jednostavnoga poslovnog simulatora omogućava subjektu koji donosi odluke da analizira različite poslovne scenarije. Posljedice pojedinih scenarija mogu se razgledati u nerizičnoj okolini prije nego se poduzmu stvarne poslovne aktivnosti.

Je li moguće učinkovito učenje bez simulacije? Na Pomorskom fakultetu u Splitu izvršeno je više eksperimenata uživo (prof. dr. sc. A. Munitić), i rezultat je bio nova spoznaja da jedino metoda učenja s KPD-om daje zadovoljavajuće rezultate. Pri tome, mogu poslužiti metode strukturiranja problema (*problem structuring methods*), tehnike izlaganja i druge kvalitativne sustavne metode koje su nadvladale nedostatke u učenju. Ako se intuicija djelomično razvija, sustavno se mišljenje mora uključiti u srednjoškolsko obrazovanje, pa se moraju naučiti i prepoznavati alati sustavnog razmišljanja (alati za idejno rješavanje problema, alat za dinamičko razmišljanje, alati za strukturalno razmišljanje i alati bazirani na računalu) (Senge, 1990.). Tek tada će biti moguće da se u intuiciji dostatno dobro prepozna dinamička kompleksnost kibernetičkih sustava učenja.

Kad je eksperimentiranje u realnom sustavu skupo, opasno ili nemoguće, ili se za složeni sustav ne može napraviti matematički model, simulacija postaje glavni, možda i jedini način razumijevanja kako se

ponaša složeni sustav. Alternativa je učenje napamet temeljeno na autoritetu nastavnika i udžbenika. Metode koje otupljuju kreativnost i sprječavaju razvoj vještina znanstvenog razmišljanja potrebne za učenje o složenosti, uz primjenu saznanja kvalitete učenja kibernetičkih sustava s povratnom vezom, moraju se obogatiti metodološkim aparatom i filozofijom sustavne dinamike, što je nepobitno podržano rezultatima testiranja studenata na Pomorskom fakultetu u Splitu u razdoblju od 1998. do 2009. godine.

### ZAKLJUČAK / Conclusion

Cijelo područje znanosti o učenju danas je obilježeno traženjem najprikladnijih modela učenja, a posebno za proučavanje dinamičnosti složenih sustava. Prevladavanje prepreka za učenje zahtijeva sintezu mnogih metoda i disciplina, počevši od matematike, računalnih znanosti do psiholoških i organizacijskih znanosti. Teorijska znanja moraju se integrirati sa znanjima koja se steknu u praksi u organizaciji. Pokazalo se da je korištenje metodologijom sustavne dinamike najbolji način za proučavanje dinamike složenih sustava. Metodologija sustavne dinamike omogućuje da se prevladaju barijere koje se pojavljuju u klasičnom načinu učenja. Ona omogućuje dizajn mentalno-verbalnog modela u kojemu se uviđaju svi UPV-i i KPD-i. Sam proces dizajna omogućuje učenje o svim elementima promatranog sustava. Suvremeni je napredak u interaktivnom modeliranju alata za prezentaciju UPV-a, strukturi sustava i simulacijskih softvera koji omogućuju da se svatko angažira u procesu modeliranja. Takvim načinom uspostavlja se laboratorij za učenje u kojemu se dizajniraju mentalno-verbalni modeli, a time se uči i stječe kvalitetno znanje o promatranim sustavima. Tvrtke, fakulteti i škole sve više rabe metodologiju sustavne dinamike; time se stvaraju zbirke modela za intervenciju, kojima se omogućava rast aktivnih istraživanja. Potrebno je dalje istraživati i provjeravati korisnost uporabe protokola, metoda i alata sustavne dinamike te procjenjivati utjecaj na pojedinca ili skupine koje na ovaj način uče. Uz to, treba učiti druge kako da se koriste alatima i metodama sustavne dinamike za proučavanje kompleksnih sustava koji nikad prije nisu bili tako složeni.

### LITERATURA / References

1. J. W. Forrester: *Principles of Systems*, MIT Press Cambridge, Massachusetts, and London, England, Second Preliminary Edition, Ninth printing, 1980, Copyright 1968 by Jay W. Forrester
2. J. W. Forrester: *Industrial Dynamics*, MIT Press Cambridge, Massachusetts, Student's Edition, Tenth printing, February 1980 Copyright 1961 by Massachusetts Institute of Technology
3. J. W. Forrester: *World Dynamics*, Wright-Allen Press, INC. Cambridge Massachusetts, Second Edition, Copyright 1971, 1973, Wright-Allen Press. Inc.
4. J. W. Forrester: *Urban Dynamics*, MIT, Cambridge, Massachusetts, and London, England, Seventh printing 1984, Copyright 1969 by MIT.
5. J. W. Forrester: The model versus a modeling „process“, *System dynamics Review* 1(1),133-134.,1985
6. J. Deželjin: *Teorija sistema i informatizacija privrede i društva*, Narodne novine, Zagreb, 1987.
7. J. W. Forrester: *Collected Papers of Jay W. Forrester*, Wright-Allen Press, Inc., Cambridge, Massachusetts, Copyright 1975 by Wright-Allen Press, Inc.
8. Nancy Roberts, David Andersen, Ralph Deal, Michael Garet, William Shaffer: *Introduction to Computer Simulation, A System Dynamics Modeling Approach*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, Menlo Park, California, London, Amsterdam, Don Mills, Ontario, Sydney, Copyright 1983 by Lesley College
9. Ralph D. Stacey: *Strateški menadžment i organizacijska dinamika*, Mate, Zagreb, 1997.
10. A. Munitić, P. Ristov: *Sistemska dinamika*, Pomorski fakultet Split, Split, 2009.
11. V. Čerić: *Simulacijsko modeliranje*, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
12. J. M. Garcia: *Theory and Practical Exercises of System Dynamics*, Cambridge, Massachusetts, 2003
13. R. G. Coyle: *Management system dynamics*, John Wiley, New York, 1977
14. *Massachusetts Institute of Technology. People. Jay W. Forrester.* [online]. Dostupno na: <http://sysdyn.mit.edu/people/jay-forrester.html>
15. *System Dynamics Review, System Thinking in Education*, volume 9, 1993
16. *System Dynamics Review*, Special Issue, Exploring the Next Great Frontier: System Dynamics at 50, J.D. Sterman
17. G. P. Richardson: Problems with causal-loop diagrams, *System Dynamics Review* 2:158 - 170, 1986

18. G. P. Richardson: *Feedback thought in social science*, University of Pennsylvania Press, 1991
19. R. G. Coyle: *Management System Dynamics*, Wiley, London, 1977
20. R. G. Coyle: *System Dynamics Modelling: A Practical Approach*, Chapman & Hall, London, 1996
21. D. Schon: *The theory of inquiry: Dewey's legacy to education*. Curriculum Inquiry. 22(2),119-139, 1992
22. C. Argyris: *Strategy, Change and Defensive Routines*, Boston, 1985
23. C. Argyris, D. Schon: *Organizational Learning II*, Reading, MA: Addison-Wesley, 1996
24. S. Papert: *Mindstorms*, New York: Basic Books, 1980
25. J. Stermen: Modeling managerial behavior: *Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment*, Management Science 35(3),321-339, 1989
26. W. Isaacs, P.Sange: Overcoming limits to learning in computer-based learning environments, European Journal of Operational Research 59(1), 183-196,1992
27. J. Homer: Why we iterate: Scientific modeling in theory and practice, System Dynamics Review 12(1),1-19, 1996
28. Pritsker and Pegden: *Introduction to Simulation and Slam*, Halsted Press, 1979
29. Kleijnen: *Statistical Techniques in Simulation Part I*, Marcel Dekker, New York, 1974

---

Rukopis primljen: 14. 4. 2009.

