

SIMULACIJSKI MODELI U PROCESIMA POSLOVNOG ODLUČIVANJA

Simulacijski modeli zauzimaju istaknuto mjesto u procesu donošenja poslovnih odluka. Da bi se simulacija kao metoda za pripremanje odluka mogla uspješno koristiti, potrebno je koncipirati i realizirati simulacijske modele i eksperimentirati s njima na elektroničkom računalu.

U radu je dat prikaz jednog konkretnog simulacijskog modela restorana za brzo usluživanje ("fast food" restaurant) i pripadajućeg simulacijskog programa (J. Willey software) koji omogućava eksperimentiranje s modelom na elektroničkom računalu.

Simulacija; model; odlučivanje; poslovanje

1. UVOD

Odluke oblikuju cjelokupni život, bilo da se radi o odlučivanju u životu pojedinca ili u životu društva. Uspješnost odlučivanja ovisi o tome u kojoj mjeri subjekt odlučivanja raspolaže informacijama, metodološkim i tehnološkim sredstvima, razumijevanjem problemske situacije i podrške koju uživa u toku provođenja odluke.

Jedan od mogućih pristupa, koji se može koristiti u procesu poslovnog odlučivanja, a i u prognoziranju rezultata poslovnih odluka zasniva se na modeliranju i izgradnji simulacijskih modela. Izgradnja i testiranje simulacijskih modela u današnje vrijeme nezamisliva je bez upotrebe elektroničkog računala¹⁾.

Osnovne postavke metode simulacije prikazat ćemo na konkretnom primjeru simulacijskog modela "fast-food" restorana. Ujedno će nam taj model poslužiti kao podloga za simulaciju predviđanja efekata poslovnih odluka.

U nastojanjima da se stvaraju uvjeti za povećanje efikasnosti poslovanja poslovnih sistema, trebali bi se upravljači, rukovodioci i donosioci poslovnih odluka upo-

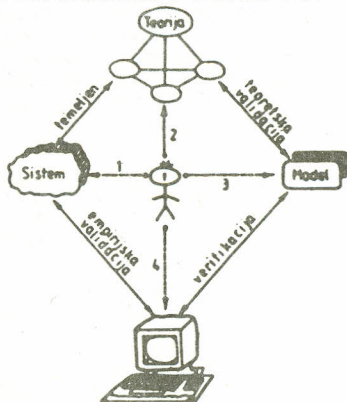
znati i s mogućnostima primjene simulacijskih modela, čiji će rezultati činiti podlogu za donošenje upravljačkih odluka.

1)

Ilustrirajmo to jednim zanimljivim primjerom. Prije nekoliko godina kompjutor se koristio za oblikovanje čipsa od krumpira. Analitičari tržišta jednog velikog proizvođača hrane otkrili su da se publici dopao njihov debeli sječen, reskavi čips od krumpira, ali da bi ga još više voljela kad bi bio još "reskovitiji". Stručnjaci dotične tvornice za razvoj proizvodnje koristili su jedan precizan simulacijski model reskavog čipsa od krumpira. Tada su dobili sliku čipsa od krumpira na video monitoru i jednostavnim promjenama parametara simulirali konfiguraciju reski. Na taj način ispitane su sve moguće varijante reskavih čipsova od krumpira, a da pri tome ni jedan jedini krumpir nije bio ni oljušten, ni isječen, ni ispržen. Predsjednik firme tim povodom je izjavio: "Mijenjali smo oblik kolutice ne bismo li neka-ko postigli određeni odnos između tvrdoće i krтости koji će dati potreban stepen hrskavosti za koji smo znali da je poželjan kod prženog čipsa." Nastanak hrskavijeg čipsa od krumpira samo je jedan od neuobičajnih primjera sve češćeg korištenja simulacijskih modela u industriji (6. 52).

2. MODELIRANJE I SIMULACIJA

Modeliranje i simulaciju možemo promatrati kao specijalni vid eksperimentalnog istraživanja. Izraz modeliranje i simulacija označava složenu aktivnost koja se može predstaviti slijedećom shemom (vidi sl. 1).



Sl. 1 Sistem, teorija, model i kompjutor
(modificirano prema (2 , 2)).

Na prikazanoj shemi mogu se osim glavnog autora modela (modelara), uočiti slijedeća četiri ključna elementa:

- 1) realni sistem,
- 2) teorija,
- 3) model,
- 4) kompjutor.

Iz prikazane sheme može se izvesti više relacija, ali ću se u početku osvrnuti samo na dvije glavne: **modeliranje i simuliranje**. Modeliranje predstavlja relaciju između realnog sistema i modela, a simulacija relaciju između modela i kompjutora. Od više mogućih definicija modeliranja i simulacije, najprikladnija bi za ovo razmatranje bila ona koja pod modeliranjem i simuliranjem razumijeva izgrađivanje dinamičkog modela sistema i eksperimentiranje s modelom, realiziranim kao kompjutorski program uz pomoć kojeg se odvija proces simulacije.

U istraživanju obično polazimo od **realnog sistema** bez obzira na to da li taj sistem u promatranom trenutku egzistira ili se njegovo postojanje planira u skorijoj budućnosti, a koji je predmet istraživanja.

Teorija²⁾ je neophodan element u povezivanju realnog sistema i modela, a njome se model predviđa, objašnjava i povezuje s realnim sistemom na koji se odnosi. Teorija i konceptijski model se sjedinjuju u kompjutorskom programu. Provođenje eksperimenata na bazi kompjutorskog programa, kojim se imitiraju zbivanja u realnom sistemu i koji predstavlja procesni model nekog realnog procesa, traži izvođenje velikog broja aritmetičkih i logičkih operacija, koje se mogu brzo i sigurno izvesti samo primjenom **elektroničkog računala**.

Model je najčešće pojednostavnjeni prikaz strukture i/ili procesa realnog sistema u matematičkom ili nekom drugom obliku, s namjerom da se istraživanje provede, ne na samom realnom sistemu koji je predmet istraživanja već na njegovom modelu. Eksperiment s realnim sistemom nije uvijek moguć zbog opravdanih razloga kao što su npr: nepostojanje, neraspoloživost, opasnost (rizik), prevelika cijena i sl.

U nekim slučajevima to je neizvodljivo, bilo zato što se radi o sistemima s izuzetno složenom strukturom (npr. čovjekov mozak, zvijezde) ili zato što bi takav eksperiment bio preskup (npr. eksperimentiranje cjelokupnom proizvodnjom) odnosno zbog toga što sistema uopće nema ili ga treba tek projektirati (npr. lociranje novih pogona, izbor novog proizvodnog programa, organizacijske promjene i sl.). Tada je simulacija jedno od mogućih sredstava koja se vrlo uspješno primjenjuje za projektiranje sistema.

2)

Teorija (grč. *theoria*) ima više tumačenja. Tako ona može označavati logičko uopćavanje iskustva, prakse, čistu spoznaju odnosno znanstvene temeljne pojmove neke discipline. Tako npr. postoje dobro razrađene teorije kao što su: teorija informacija, teorija igara, teorija programiranja, teorija repova i dr. Međutim ovdje pod teorijom podrazumijevamo sistem rukovodećih ideja u ovoj ili onoj oblasti znanja i sistematsko izlaganje tih ideja (1, 1340).

Ponekad treba simulirati uvjete pod kojima dolazi do enormnog povećanja entropije sistema. Naravno, razaranja realnog sistema nije poželjno te odgovor na ovakvo pitanje može dati samo simulacija (npr. ponašanje montažne kuće pod nailaskom potresa različitog intenziteta).

Vrijeme također može biti odlučujući razlog da se pribjegne simulaciji. Pri simulaciji realno vrijeme rada sistema moguće je komprimirati tako da se u nekoliko jedinica kompjutorskog vremena može simulirati višegodišnji proces, odnosno može se znatno produžiti kod sistema kod kojih se proces odvija u vrlo kratkom vremenskom intervalu i čije praćenje nije moguće pri stvarnom odvijanju procesa (npr. simulacija migracija stanovništva, simulacija ponašanja čestica atoma, evolucija galaksije, mikrosimulacija procesora računala i sl.).

Osnovni zahtjev što ga mora ispuniti svaki model jest taj da bude vjerodostojna reprezentacija strukture i procesa objektnog sistema, barem što se tiče relevantnih aspekata.

Modeliranje kompjutoriziranih simulacijskih modela možemo promatrati također kroz relacijske ovisnosti između glavnog aktera, tj. kreatora modela odnosno čovjeka koji provodi modeliranje i definira preslikavanje objektnog sistema u model i ostala četiri navedena elementa. Navedene relacijske ovisnosti često se označavaju kao:

- 1) **sistemska identifikacija,**
- 2) **sistemska prezentacija,**
- 3) **dizajniranje modela,**
- 4) **programiranje modela.**

Sistemska identifikacija predstavlja relacijsku ovisnost između autora modela i realnog sistema te njegove aktivne okolice od koje on preuzima strukturu i odnose koji egzistiraju te samo ponašanje realnog sistema. Ovo ostvaruje pomoću opservacija i zaključivanja, mjerenja, na temelju pretpostavki, pomoću aproksimacija ili kombiniranjem navedenih postupaka.

Sistemska prezentacija označava relacijsku ovisnost između kreatora modela i teorije. Teorija može biti deskriptivna, korištena za istraživanje i prognoziranje, odnosno može biti normativna. Različite vrste teorija daju različite vrste modela.

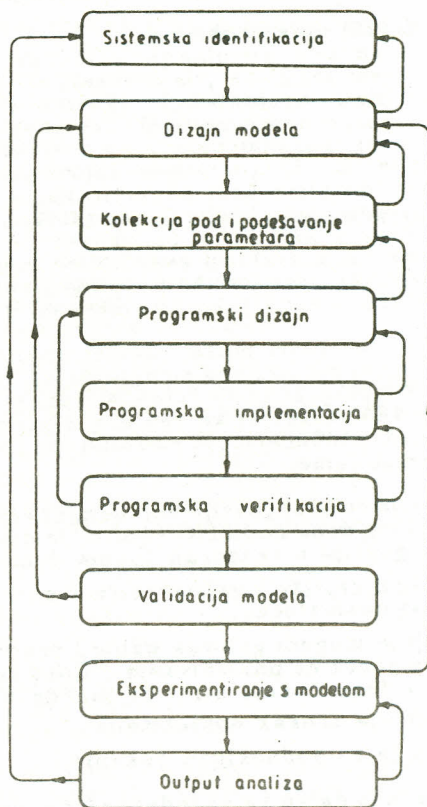
Na osnovi svojeg znanja, intuicije, teorije i modela koje koristi, autor modela dizajnira simulacijski model na način kakav je pogodan za realizaciju na elektroničkom računaru. Pri tom mora modelar uzeti u obzir i uvjete u prostoru modela, što znači da mora voditi računa o raspoloživom kompjutorskom sistemu i njegovim hardverskim i softverskim karakteristikama. To se neposredno reflektira na programiranje modela.

Na temelju simulacijskog modela potrebno je pristupiti izradi programskog rješenja, tj. riješiti niz specifičnih problema, od izbora elektroničkih računala, programskog jezika (opće ili posebne namjene) do strukturiranja i organizacije podataka, programiranja, testiranja i izrade dokumentacije.

Funkcija preslikavanja objektnog sistema u sam model te modela u simulacijski program mora biti zadovoljavajuće dobro izvedena, što znači da model (simulacijski program) mora što vjernije oponašati sistem koji se istražuje. Prema tome, u proces modeliranja potrebno je ugraditi povratnu vezu (feedback) koja će omogućiti postepeno "dotjerivanje" (tuning) modela. Iterativni postupci u procesu modeliranja pomoću elektroničkog računala to omogućavaju.

Izgradnja kompjutoriziranih simulacijskih modela objedinjuje elemente nauke i vještine. Najznačajniji autori s područja simulacije upravo to naglašavaju u svojim radovima ističući da osnovni problem simulacije potječe odatle što je kreiranje modela više nalik radu umjetnika nego znanstvenika. Ovo treba imati u vidu pri identifikaciji koraka koji se općenito izvode u procesu izgradnje simulacijskih modela.

Svaka konkretna situacija determinira broj koraka i redoslijed njihovog izvođenja. Egzaktog puta u izgradnji simulacijskih modela nema, budući da nema ni generalno primjenljive teorije simulacije³⁾. Unatoč toga, ipak je moguće općenito naznačiti faze cjelokupnog postupka. Iskustvo je pokazalo da se izgradnja simulacijskog modela može promatrati kao postupak koji ima devet faza (vidi sl. 2). Značajan aspekt kompjuterski bazirane simulacije okrece se oko aktivnosti modela, dizajna programa, implementacije, verifikacije, validacije, eksperimentiranja s modelom i analize rezultata.



Sl. 2 Faze u izgradnji simulacijskih modela (2, 8)

3)

Generalno pravilo slijedi iz stare filozofske poslovice tzv. 'Occam's razor' koja glasi: "Nistavno je multiplicirati entitete bez potrebe" (2, 3).

3. KONKRETAN PRIMJER SIMULACIJSKOG MODELA

3.1. Kratki opis problema

Suštinu i smisao simulacije prikazat ćemo na jednom jednostavnom primjeru posluživanja u "fast-food" restoranu. Problem posluživanja sastoji se u tome što u restoran za vrijeme radnog vremena dolazi spontano različit broj gostiju koji različito vrijeme angažiraju poslužitelje. Da bi gosti bili dobro posluženi, restoran mora imati dovoljan broj poslužitelja, a problem se svodi na utvrđivanje tog broja i organizacije njihovog rada. Premali broj poslužitelja uzrokovat će povremeno dugo čekanje na posluživanje i eventualno negodovanje gostiju, dok će prevelik broj doduše doprinjeti zadovoljstvu gostiju ali uz znatno slabije iskorištenje poslužitelja.

Iako se taj problem može riješiti analitički, ovdje ćemo prikazati rješenje pomoću kompjutoriziranog simulacijskog modela. Za projektiranje simulacijskog modela potrebno je istražiti karakteristike realnog sistema, a to znači da u ovom konkretnom slučaju moramo raspolagati sa slijedećim informacijama:

- 1) Koji je to broj gostiju koji namjeravamo u toku jednog radnog dana poslužiti i kakva je distribucija dolazaka gostiju u restoran tokom dana;
- 2) Koliko najviše i najmanje vremena može gost zadržati poslužioaca;
- 3) Koji je mogući gubitak uslijed predugog čekanja nekog gosta na posluživanje; Gost koji vidi da će morati dugo čekati otići će možda u drugi restoran.
- 4) Koliki je trošak poslužitelja;
- 5) Što je to podnošljivo čekanje;

Pretpostavimo da su za navedeni slučaj odgovori slijedeći:

1) Broj gostiju se kreće od 240 do 250 po danu. Prosječno vrijeme između dolazaka gostiju iznosi 2 minute. Gosti se pojavljuju tokom čitavog radnog dana jednoliko. Radno vrijeme traje 8 sati.

2) Prosječno vrijeme posluživanja iznosi 3 minute.

3) Ako bi gost trebao čekati i suviše dugo, on odlazi. Gubitak koji je takav gost prouzročio restoranu neka iznosi 5 000 dinara.

- 4) Dnevni trošak jednog poslužitelja neka iznosi
12 000 dinara.

5) Pretpostavimo da se gost prilikom donošenja odluke o odustajanju od čekanja na posluživanje rukovodi informacijom o veličini "repa" (broj gostiju ispred njega), tj. pretpostavimo da ne želimo da gost čeka duže od 10 minuta na posluživanje.

3.2. Simulacijski model riješen kao simulacijski program

Za rješavanje navedenog problema koristit ćemo gotov simulacijski program pod nazivom **FASTFOOD**.

Taj program izradio je A. Thesen (Thesen, 1978) u programskom jeziku FORTRAN.

Ulazne varijable modela su slijedeće:

- generator slučajnih brojeva (sjeme),
- prosječno vrijeme između dolazaka gostiju,
- prosječno vrijeme posluživanja,
- broj poslužiloca (servera),
- interval vremena u kojem se žele pogledati međurezultati simulacije (dužina repova),
- ukupno vrijeme trajanja simulacije.

Pretpostavimo da smo sistemskom analizom ustanovili da su vrijednosti ulaznih podataka slijedeće:

- | | |
|---------------------------------|--------|
| a) Random generator seed | 234567 |
| b) Interarrival time | 2' |
| c) Service time | 3' |
| d) Number of servers | 2 - 5 |
| e) Bar chart interval | 120' |
| f) Duration of simulation | 480' |

U konkretnom primjeru treba upozoriti na dva slučajna procesa i to: dolazak gostiju i trajanje posluživanja. Te slučajne procese simulirat ćemo pomoću generatora slučajnih brojeva na elektroničkom računalu. Program **FASTFOOD** koristi vlastiti generator slučajnih brojeva baziran na multiplikativnoj kongruentnoj metodi.

Terminologija je slijedeća:

$$a_{i+1} = b \times a_i \pmod{m}$$

a_{i+1} = ostatak kada se produkt $b \times a_i$ podijeli s m

a_0 = startna vrijednost sjemena, koja je pozitivna i obično cjelobrojna.

Kao što se može vidjeti u predloženom modelu eksperimentirat ćemo s brojem poslužitelja (2 do 5) i promatrati izlazne rezultate. Pregled izlaznih rezultata jednog simulacijskog eksperimenta s grafičkim prikazom međurezultata dužine " repova" u određenim intervalima i sumarnim prikazom statističkih podataka o gostima i poslužiocima dat je na slici 3.

```

# Enter random number generator seed.
                                (odd+ve Integer):      234567
# Enter mean interarrival time   :      2.00
# Enter mean service time       :      3.00
# Enter number servers          :      3
# Enter bar chart interval      :      120
# Enter duration of simulation  :      480
    
```

```

SNAPSHOT OF QUEUES AT TIME      120
CUST Q 1 0 --->
SERVER 1 1 *->
    
```

```

SNAPSHOT OF QUEUES AT TIME      240
CUST Q 1 0 ---->
SERVER 1 0 -->
    
```

```

SNAPSHOT OF QUEUES AT TIME      360
CUST Q 1 0 ---->
SERVER 1 1 *->
    
```

```

SUMMARY REPORT AT TIME = 480
FILE      IN      OUT      NOW      AVG      AVG      MAX
          STAY    LENGTH LENGTH
CUST Q   50      50      0       2.04    0.21    4
SERVER  237    236     1       3.14    1.55    3
    
```

Sl. 3. Izlazna lista simulacijskog eksperimenta ("fast-food" restoran)

Slika 3 prikazuje izlazne rezultate sistema posluživanja s tri poslužioca. Grafički prikaz međurezultata duljine "repova" daje se za definirani interval vremena (120) minuta a sumarni statistički rezultati slijede na kraju simulacije (480) minuta. U ovom slučaju jedna zvijezdica (*) reprezentira jednu osobu (gosta). Ako je dužina "repa" veća od 60, skala se automatski prilagođava, tako da jedna zvijezdica (*) reprezentira dvije osobe. Sumarno se daju na kraju izvještaja tabele koje prikazuju podatke o gostima i poslužiocima.

Iz dobivenih rezultata može se uočiti slijedeće:

A) CUST Q FILE - customer queue :

- a) 50 gostiju je čekalo na posluživanje nakon ulaska.
- b) 50 gostiju je napustilo "fast-food" restoran.
- c) Trenutno nema ni jednog gosta koji se poslužuje.
- d) Prosječna dužina "repa" čekanja iznosi 0.21 osoba.
- f) Maksimalna dužina "repa" iznosi 4 osobe.

B) SERVER FILE - service :

- a) 237 gostiju je ušlo u restoran s time da 187 gostiju nije uopće čekalo na posluživanje.
- b) 236 gostiju je napustilo restoran.
- c) 1 gost se trenutno poslužuje.
- d) Prosječan broj gostiju u restoranu je 1.55.
Ovaj pokazatelj omogućava izračunavanje postotka iskorištenja poslužitelja ($1.55 / 3 * 100 = 51.67\%$) koji iznosi 51.67 % za svakog poslužioca.
- f) Maksimalan broj poslužitelja u simulacijskom eksperimentu je 3.

3.3. Komparativna analiza rezultata simulacije

U predloženom simulacijskom modelu eksperimentalno smo s brojem poslužitelja (2 do 5) i proveli komparativnu analizu. Pregled rezultata po nekim kriterijima za četiri simulacijska eksperimenta dat je u tabeli 1.

Kriteriji:	Broj poslužitelja			
	2	3	4	5
1. Broj ulazaka gostiju	242	237	252	244
2. Broj gostiju bez čekanja	66	187	230	241
3. Prosj. duljina repa	2.89	.21	.07	.01
4. Prosj. vrijeme usluž.	3.20	3.14	3.19	3.15
5. Prosj. broj gostiju	1.61	1.55	1.67	1.60
6. Maks. duljina "repa"	12	4	4	1
7. Prosj. iskorištenje poslužitelja u %	80.5	51.7	41.7	32.0

Tab. 1 Pregled rezultata simulacijskih eksperimenata

Iz navedene tabele mogu se izvesti slijedeći zaključci:

1. Simulacijski model dosta dobro odražava stvarno odnosno pretpostavljeno stanje "fast-food" restorana. Npr. prosječno simulirano vrijeme usluživanja se kreće od 3.14 do 3.20 minuta, a stvarno prosječno vrijeme usluživanja iznosi 3 minute, što je neznatna razlika.

2. Za posluživanje cca 240 gostiju restorana uz navedene uvjete često nisu dovoljna 2 poslužioaca.

4. ZAKLJUČAK

Donošenje poslovnih odluka predstavlja složen zadatak koji je danas gotovo nemoguće dobro obavljati bez primjene simulacijskog modeliranja odlučivanja i izgradnje odgovarajućih simulacijskih modela.

Simulacijski modeli daju odgovore koje često ne možemo dobiti primjenom drugih metoda i modela znanstvenog odlučivanja, tako da ponekad simulacija ostaje posljednje rješenje (zadnja metoda).

Osim pogodnosti koje pruža simulacija treba imati u vidu i neke utjecajne faktore simulacije (stručni kadar za provođenje simulacije, kvaliteta ulaznih podataka, vrijeme trajanja i troškove simulacije, valjanost modela i simulacijskog programa, vrednovanje rezultata simulacije i dr.). Ukoliko se ne vodi računa o ovim faktorima, simulacija neće dati upotrebljive rezultate.

Ilustrirani simulacijski model " fast - food " restorana ima za cilj da pokaže kako je moguće koncipirati simulacijski model s fleksibilnom strukturom i eksperimentiranjem s modelom na elektroničkom računalu, brzo i točno ispitati posljedice pojedinih odluka. U konkretnom slučaju može se zaključiti da rad "fast- food" restorana sa samo 2 poslužitelja nije dobro rješenje, jer će gubitak uslijed odustajanja gostiju biti znatno veći od troškova upošljavanja još jednog poslužitelja.

U simulacijskom modelu je registrirana najveća duljina "repa" (12) i ako uvažimo pretpostavku da će gost napustiti restoran u slučaju duljeg čekanja (od 10 min.) proizlazi da će biti polučen znatno veći dnevni gubitak (najmanje $9 \times 5\,000 = 45\,000$) nego što iznosi dnevni trošak angažiranja jednog poslužitelja.

Ukoliko se želi povećati promet " fast - food " restorana obogaćivanjem ponude, treba djelovati na kvantitativne i kvalitativne faktore, tj. utjecati na povećanje broja poslužitelja odnosno smanjenje prosječnog vremena posluživanja. Uspjeh simulacijskog eksperimentiranja ima za rezultat, primjenom rezultata simulacijskih modela u praksi, donošenje odgovarajućih i pravilnih odluka.

L I T E R A T U R A

1. **B. Klaić**, Rječnik stranih riječi, Nakladni zavod MH, Zagreb, 1985.
2. **W. Kreutzer**, System simulation: programming styles and languages, Addison-Wesley, 1986.
3. **D. Radošević**, Primjena simulacijskih modela u upravljanju udruženim radom, u knjizi: Organizacijski i informatički kadrovi u procesu reforme visokog obrazovanja, Fakultet organizacije i informatike, Varaždin, 1982., str. 83 - 95.
4. **A. Thesen**, Computer Methods for Operations Research, Academic Press, 1978.
5. **R. J. Willis**, Computer models for business decision, John Wiley & Sons, 1987.
6. Pregled, (časopis) br. 240, 1987/88, Ambasada SAD, Beograd.

Primljeno: 1988-09-14

Varga M., Simulation models in business decision-making processes

This work adresses the problem of simulation-model applications to business decision making. The need for simulation-model applications is substantiated and the process of modelling and simulation is described. By way of illustration, simulation model of " fast - food " restaurant is presented. The simulation model, implemented in the FORTRAN programming language, (Microsoft) has been modified on a VAX computer.