

Izvorni znanstveni članak

UDK 519.876.5

355.415.2

Simulacija skladišnoga i distribucijskoga sustava*

Ratko Zelenika¹ i Drago Pupavac²

Sažetak

Suvremeni svijet obiluje modelima simulacije. Na tisuće kompanija za rješavanje svojih poslovnih problema koriste simulacijske modele. Vrlo značajan segment gospodarskih problema koji se mogu riješiti metodom simulacije su i problemi u mikrologističkim sustavima. Logistički simulacijski modeli trebaju se razvijati sa svrhom da vrednuju pojedinačni doprinos dodanoj vrijednosti neizravnih resursa logističkoga sustava, njihove mogućnosti i operativnost, kao i tokove logističkih subjekata između tvornica, skladišta i kupaca. Sukladno tome, u ovoj se znanstvenoj raspravi koncizno elaboriraju teorijska obilježja metode simulacije i područja primjene simulacijskih modela u logistici. Posebna pozornost se posvećuje simulacijskom modeliranju skladišnoga i distribucijskoga podsustava logističkog sustava, te daje prikaz računalnih aplikacija u funkciji simuliranja potražnje za proizvodima iz skladišta. Osim metode simulacije u ovoj znanstvenoj raspravi primjenjene su metoda indukcije i dedukcije, deskriptivna metoda i metoda informatičkog modeliranja.

JEL klasifikacija: C15

Ključne riječi: simulacijsko modeliranje, simulacija skladišnoga i distribucijskoga sustava

1. Uvod

Logistika se kao znanost i kao aktivnost oslanja na druge znanstvene i stručne discipline (teorija sustava, operacijska istraživanja, statistika i ekonometrija,

* Primljeno: 11.10.2004.; prihvaćeno: 6.05.2005.

¹ Redoviti profesor na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci, Ivana Filipovića 4, 51000 Rijeka, Hrvatska. Znanstveni interes: Špedicija, Logistika, Transport, Promet, Osiguranje, Metodologija znanstvenoistraživačkog rada. Tel.: ++ 385 51 355 137; e-mail: zelenika@efri.hr

² Viši predavač na Sveučilištu u Rijeci, Trpimirova 2, 51000 Rijeka, Hrvatska. Znanstveni interes: Logistika i Ekonomika prometa. Tel.: ++ 051 353 757; e-mail: drago.pupavac@ri.htnet.hr ili dpupavac@veleri.hr

D. Pupovac, R. Zelenika: Simulacija skladišnoga i distribucijskoga sustava
Zbornik rad. - Sveuč. u Rij., Ekon. fak., God. 23. Sv. 1 (2005), str. 101-112

ekonomske znanosti, informacijske znanosti, prometne znanosti...) s ciljem da brojnim gospodarskim, tehničkim, socijalnim i drugim sustavima pruži integralnu potporu u optimalizaciji njihovih planova. Da bi uspješno izvršila tu svoju zadaću logistika kao znanost i kao aktivnost sve više prihvaća metode simulacije. To je i razumljivo kada se ima na umu da logistički sustavi imaju sve odlike dinamičkih sustava, te da se za njih često ne može napraviti matematički model. Radi se o krajnje složenim sustavima koji zahtijevaju kontinuirano poboljšanje, odnosno sve veću primjenu matematičkoga modeliranja i metoda simulacije što i jest predmet istraživanja od značenja za ovu znanstvenu raspravu.

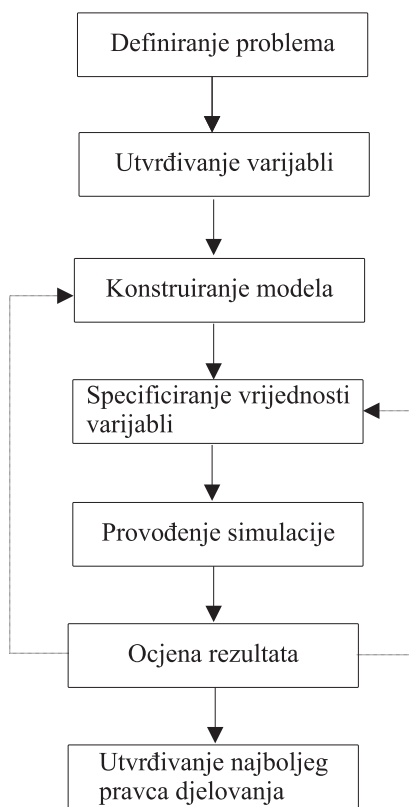
2. Teorijska obilježja metode simulacije

Pojam simulacija često se koristi kao sinonim za bilo koji model. Simulacija je pokušaj kopiranja svojstava, izgleda i značajki realnoga sustava. Simulacije se koriste da opišu i analiziraju ponašanje sustava, odgovore na pitanja "što će se dogoditi-ako ..." i pomažu u dizajniranju realnog sustava. Glavni razlog uporabe simulacije jest prevelika složenost i stohastičnost realnih sustava. Ideja simulacije temelji se na: 1) oponašanju realnih problemskih situacija matematički, 2) proučavanju osobina i operativnih značajki eksperimentiranjem i 3) donošenju zaključaka i sprovođenju odluka temeljem rezultata simulacije. Razvoj validnog simulacijskog modela uključuje tri temeljna entiteta: 1) realni sustav koji se promatra, 2) teorijski model promatranoga sustava, 3) računalno podržani model. Aktivnost izvođenja teorijskoga modela iz realnog sustava predstavlja simulacijsko modeliranje, dok aktivnost prevođenja teorijskoga modela u računalno podržani model predstavlja simulacijsko programiranje. Čini se primjerenim napraviti razliku između deskriptivnih modela koji uključuju simulacijske modele i normativnih ili optimalizacijskih modela. Kada se govori o simulacijskim modelima potrebno je razlikovati determinističke simulacijske modele i stohastičke simulacijske modele. Deterministički simulacijski modeli opisuju dinamičko ponašanje sustava pretpostavljajući da u sustavu ne postoje slučajni procesi. Stohastički simulacijski modeli opisuju dinamičko ponašanje sustava kod kojih se uočavaju slučajni procesi. Stohastički simulacijski modeli često se nazivaju Monte Carlo simulacijama [8,463]. Slučajni brojevi predstavljaju temelj simulacije. Radi se o seriji brojeva (od 01, 0,2,..., 98,99,00) koji će biti izabrani slučajno u procesu u kojemu svaki slučajni broj ima jednake šanse da bude izabran. Slučajni brojevi se izabiru da simuliraju slučajne varijable za različite distribucije vjerojatnosti - normalna, binomna, Poissonova (...).

Postupak simulacije [2] u rješavanju problema nekog realnog sustava obuhvaća slijedeće faze (cf. shemu 1).

D. Pupovac, R. Zelenika: Simulacija skladišnoga i distribucijskoga sustava
Zbornik rad. - Sveuč. u Rij., Ekon. fak., God. 23. Sv. 1 (2005), str. 101-112

Shema 1: Proces simulacije



Izvor: Autori

Simulacija je najpogodnija metoda ako problemska situacija koja se rješava ima slijedeće značajke [2,259]: 1) dinamičnost, što znači da se pojava u kojoj se javlja problem mijenja s vremenom, 2) postojanje složenih međusobnih ovisnosti i veza između elemenata problema, 3) stohastičnost značajki nekih ili svih elemenata problema. Prednosti simulacije su: 1) simulacija je relativno izravna i fleksibilna, 2) može se koristiti za rješavanje iznimno složenih realnih situacija koje se ne mogu riješiti uobičajenim operacijsko upravljačkim modelima, 3) simulacijski modeli dozvoljavaju uključivanje različitih komplikacija iz realnog sustava, primjerice simulacija ne zahtijeva standardnu distribuciju, već može koristiti distribuciju vjerojatnosti kako je definira korisnik, 4) učinci promjene poslovne politike za koje bi realno trebalo čekati više mjeseci ili godina mogu se sagledati u kratkom roku, 5) simulacija dozvoljava pitanja tipa "što-ako", 6) simulacija ne ometa rad realnoga sustava, tako da se eksperimentiranje ne provodi na stvarnom sustavu, nego na modelu, 7) simulacija može razmatrati međutjecaje pojedinih varijabli, te odrediti

D. Pupovac, R. Zelenika: Simulacija skladišnog i distribucijskog sustava
Zbornik rad. - Sveuč. u Rij., Ekon. fak., God. 23. Sv. 1 (2005), str. 101-112

njihovu važnost. Nedostatci simulacije su: 1) simulacijski modeli mogu biti vrlo skupi ili mogu biti potrebni mjeseci da se razvije prikladan model, 2) metoda pokušaja i pogrešaka može proizvesti različita rješenja kod brojnih ponavljanja, odnosno metoda ne generira optimalna rješenja problema kao kod linearnoga programiranja, 3) menadžer mora generirati sve uvjete i ograničenja za rješenja koja želi istražiti, simulacijski modeli ne daju odgovore bez odgovarajućih realnih inputa, 4) svaki simulacijski model je jedinstven, te se ne može primjeniti za rješavanje nekog drugog problema.

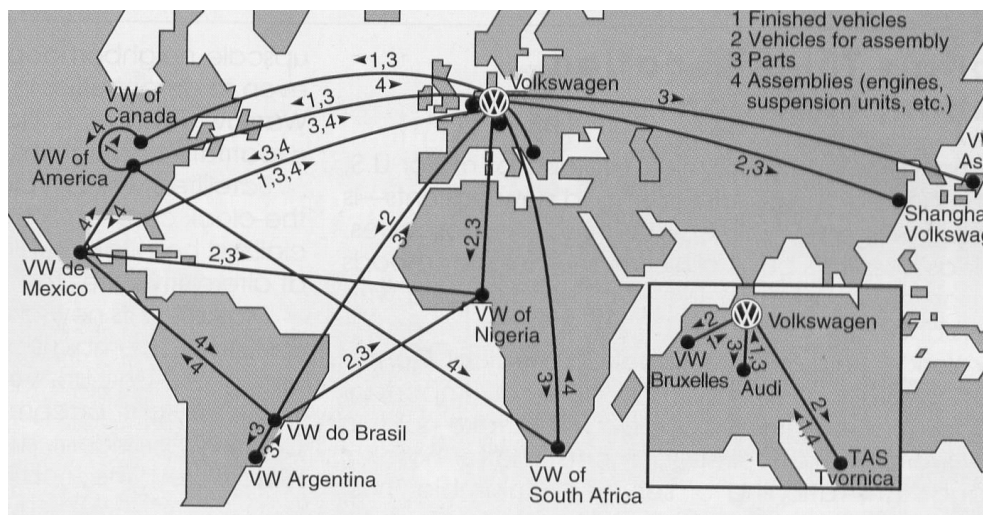
3. Područja primjene simulacijskih metoda u logistici

Logistički i transportni sustavi izgrađeni su kao mreže sačinjene od jednoga ili više terminala, skladišta/distribucijskih centara ili prometnih središta međusobno povezanih transportnim relacijama. Da bi te mreže funkcionirale, logistički sustavi koriste brojne resurse koji se mogu svrstati u dvije osnovne skupine: izravne i neizravne resurse. *Izravne resurse* logističkoga sustava čine prijevozna sredstva, sredstava integralnog transporta i ljudi, a služe za fizičku otpremu roba s jedne zemljopisne lokacije na drugu. *Neizravne resurse* logističkog sustava čine skladišta, terminali, robnotransportni centri, robnodistribucijski centri (...), a služe za obavljanje logističkih djelatnosti (pakiranje, raspakiranje, signiranje, vaganje, paletiziranje, punjenje i pražnjenje kontejnera, sortiranje, tramakanje ...) u vezi s transportom robe. Primarni cilj logističkih i transportnih poduzeća je skladištenje, distribucija i transport roba različite veličine, sadržaja i gabarita od ishodišta do odredišta, u zahtjevano vrijeme, u traženoj količini i po prihvatljivim troškovima. Sukladno tome, temeljna zadaća logističkoga menadžmenta jest omogućiti efikasnu uporabu te dvije vrste resursa kako bi se sve logističke djelatnosti odvijale nesmetano i uz što niže troškove na cjelokupnoj logističkoj mreži.

Često logistički simulacijski modeli uključuju zemljopisnu kartu prikazujući fizičke relacije između proizvodnih pogona, terminala/prometnih središta, skladišta/distribucijskih centara i kupaca. Takav pristup implicira potrebu pojedinačnoga modeliranja pojedinih aktivnosti na logističkoj mreži. Ti pojedini modeli se potom kao submodeli integriraju u logističku mrežu kao cjelinu višega ranga koja je geografski određena. Tako oni koju su zaduženi za oblikovanje logističke mreže ili korisnici usluga logističkoga sustava mogu sagledati potrebno kretanje transportnih subjekata po mreži na zemljopisnoj karti ili pratiti odvijanje pojedinih operacija na razini proizvodnih pogona ili skladišta. Tipičan primjer globalne logističke mreže predstavlja logistička mreža renomirane svjetske kompanije Volkswagen (cf. zemljovid 1).

D. Pupovac, R. Zelenika: Simulacija skladišnog i distribucijskoga sustava
Zbornik rad. - Sveuč. u Rij., Ekon. fak., God. 23. Sv. 1 (2005), str. 101-112

Zemljovid 1: Logistička mreža kompanije Volkswagen



Izvor: The Economist, prema: Heizer, J., Render, B.: Operations Management, sedmo izdanje, Prentice Hall, Ney Jersey, 2004., p. 311.

Općenito problemi logističkog sustava prikladni za rješavanje pomoću metoda simulacije mogu se svrstati u tri skupine [1,573]: 1) *oblikovanje novih rješenja* – oblikovanje mreža, planiranje terminala i prometnih središta, planiranje voznoga parka, planiranje ruta, nisko tarifni transportni moduli; 2) *vrednovanje alternativnih rješenja* – alternativni transportni moduli, moguće intermodalne kombinacije, različite vrste servisa isporuke; 3) *poboljšavanje i redizajniranje izvršenja postojećih operacija*.

Simulacijski modeli u logistici, s obzirom na cilj krajnje primjene, mogu se podijeliti u četiri skupine: 1) modeli s ciljem strategijskog planiranja, 2) modeli s ciljem taktičkog planiranja, 3) modeli s ciljem kontrole logističke mreže/transporta, 4) modeli za određivanje rasporeda i otpreme. Simulacijski modeli koji se istražuju u nastavku ove znanstvene rasprave mogu se definirati kao deskriptivni modeli koji omogućuju logističkim menadžerima da analiziraju i proučavaju dinamičko ponašanje logističkog sustava i njegovih najvažnijih podsustava. Osnovna područja primjene simulacijskih metoda u logistici su: 1) simulacija skladišnih i distribucijskih sustava, 2) simulacija transportnih centara, 3) simulacija transporta u transportnim i logističkim mrežama 4) simulacija rada na robnim rampama u transportnim središtima.

D. Pupovac, R. Zelenika: Simulacija skladišnoga i distribucijskoga sustava
Zbornik rad. - Sveuč. u Rij., Ekon. fak., God. 23. Sv. 1 (2005), str. 101-112

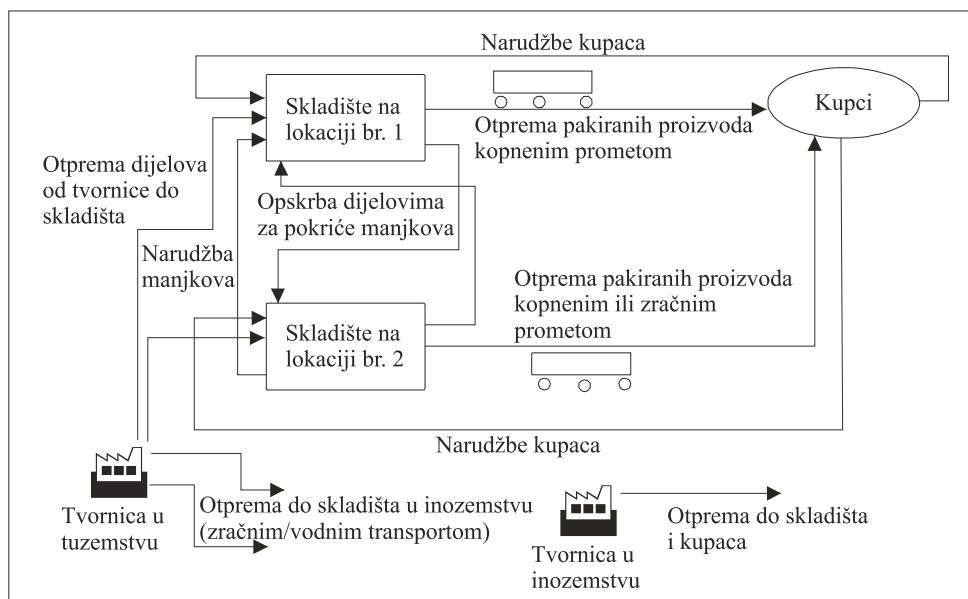
4. Simulacija skladišnoga i distribucijskoga sustava kao podsustava logističkog sustava³

Da bi se kreirao primjeren simulacijski model logističkoga sustava ili njegovih važnijih podsustava, potrebno je utvrditi: 1) predmet simulacijskoga modeliranja, 2) cilj modela simulacije, 3) subjekte, resurse i kritičke procese kojima je potrebno posvetiti posebnu pozornost, 4) "što-ako" scenario, 5) posebne ulazne podatke i 6) output za statističku analizu.

4.1. Predmet simulacijskoga modeliranja skladišno/distribucijskoga podsustava logističkog sustava

Glavnina proizvodnih, trgovinskih i uslužnih poduzeća želi kreirati vlastiti logistički sustav. Na shemi 2 zorno je predložen jedan takav logistički sustav [1].

Shema 2: Tijek narudžbi i proizvoda između tvornica i kupaca posredstvom skladišta



Izvor: Modificirali autori prema: Banks, J.: Handbook of Simulation – Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice – Wiley Interscience and Engineering & Management Press, USA, 1998., p. 577

³ Cf. više: 1) Harington, J., Tumay, K.: Simulation Modeling Methods, McGraw-Hill Companies, Inc., New York, 2002., 2) Čerić, V., *Simulacijsko modeliranje*, Školska knjiga, Zagreb, 1993., 3) Manivannan, M.: Simulation of Logistics and Transportation Systems, u Handbook of Simulation – Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice (ur. Banks, J.): – Wiley Interscience and Engineering & Management Press, USA, 1998.

D. Pupovac, R. Zelenika: Simulacija skladišnoga i distribucijskoga sustava
Zbornik rad. - Sveuč. u Rij., Ekon. fak., God. 23. Sv. 1 (2005), str. 101-112

Na shemi 2 zorno je predložen tijek narudžbi od kupaca do tvornice, te tijek proizvoda i dijelova od tvornice preko skladišta do kupaca u logističkom sustavu jedne kompanije. Predmet simulacije mogu biti svi sudjelujući subjekti, resursi i aktivnosti unutar logističkog sustava. U ovom slučaju predmet simulacije mogu biti: obrada narudžbi u skladištu (ručno, EDI), operacije na terminalima u proizvodnim pogonima, skladištima ili kod kupaca, pakiranje i paletiziranje pošiljaka, raspakiranje, odabir vrste transporta, rješavanje manjkova, tijek dijelova, tijek gotovih proizvoda, narudžbe kupaca, lokacija kupaca, odabir vanjskih transportnih tvrtki, izravna otprema pošiljaka od proizvodnih pogona do kupaca.

4.2. Cilj simulacijskoga modeliranja skladišno/distribucijskog podsustava logističkog sustava

Temeljni cilj simulacijskog modeliranja jest povećanje efikasnosti odvijanja logističkih aktivnosti i to temeljem: 1) vrednovanja strateških odluka – lokacija i realokacija skladišta, oblikovanje skladišnih/distribucijskih sustava, 2) analiza mogućih načina transporta; 3) testiranje taktičkih solucija – politika upravljanja zalihama, razina servisa isporuke, politika "guranja" između skladišta, politika "vučenja" između kupaca i proizvodnih pogona; 4) identificiranje problema u izvršavanju logističkih aktivnosti – promjene u načinima transporta, promjena parametara skladišnoga poslovanja, promjena u dijelovima i gotovim proizvodima, fluktuacije potražnje.

4.3. Subjekti i resursi skladišno/distribucijskoga podsustava logističkoga sustava

Svi statistički i dinamički subjekti, kao i izravni i neizravni resursi logističkoga sustava trebaju biti u cjelosti ili djelomično zastupljeni u simulacijskom modelu, već u ovisnosti o stupnju složenosti simulacijskog modela. Stupanj zahtjevanosti složenosti logističkog modela izravno je ovisan o postavljenim ciljevima. Subjekti skladišno/distribucijskoga podsustava logističkoga sustava mogu se svrstati u dvije osnovne skupine: proizvodima povezani subjekti i informacijski-orijentirani subjekti. Resurse skladišno/distribucijskoga podsustava logističkoga sustava čine: vozila, zrakoplovi, brodovi, funkcionalni infrastrukturni objekti i suvremena mehanizacija za horizontalno, vertikalno i koso manipuliranje sa svim vrstama roba koje se skladište/distribuiraju, brojom opremom, hardverima, softverima (...).

4.4. Podatci potrebni za simulacijsko modeliranje skladišno/distribucijskog podsustava logističkog sustava

Simulacijski modeli koji se razvijaju u okviru ovoga podsustava logističkoga sustava imaju za zadaću vrednovati lokaciju skladišta/distribucijskoga centra i načine transporta između proizvodnih pogona, skladišta i kupaca. Podatci potrebni za takve simulacijske modele jesu: broj proizvodnih pogona, broj i lokacija skladišta, broj kupaca, potražnja kupaca od skladišta, broj dijelova koji se proizvode u različitim proizvodnim pogonima, cijena materijala, vrijeme transporta između proizvodnih

D. Pupovac, R. Zelenika: Simulacija skladišnog i distribucijskog sustava
Zbornik rad. - Sveuč. u Rij., Ekon. fak., God. 23. Sv. 1 (2005), str. 101-112

pogona i skladišta, vrijeme transporta između skladišta i kupaca. Važno je napomenuti da su potražnja kupaca, vrijeme transporta, itd. stohastični po svojoj prirodi i da se različito kreću u proteklom razdoblju. Sukladno tome, ovi podaci korespondiraju generiranoj distribuciji vjerojatnosti koja se temelji na tjednim, mjesečnim, tromjesečnim, polugodišnjim (...) informacijama.

4.5. Output simulacijskoga modela skladišno/distribucijskoga podsustava logističkog sustava

Odgovori koje simulacijski modeli trebaju ponuditi logističkim menadžerima da bi oni uspješno upravljali skladišno/distribucijskim podsustavom logističkog sustava mogu se sažeti na slijedeći način: 1) prosječna iskorištenost kapaciteta skladišta, prosječna iskorištenost uporabljenih prijevoznih sredstava, prosječna iskorištenost sredstava mehanizacije i drugih resursa unutar skladišta; 2) razina zaliha – razina zaliha u proizvodnim pogonima, razina zaliha u skladištima, 3) zastoji u transportu – zastoji između proizvodnih pogona i skladišta, zastoji između skladišta i kupaca; 4) narudžbe kupaca – prosječno vrijeme čekanja u skladištu, broj čekanja u skladištu.

5. Računalne aplikacije u funkciji upravljanja potražnjom unutar logističkoga sustava

Simulacija se definira i kao računalni model koji replicira realne životne situacije, dozvoljavajući korisniku da procjenjuje potencijalni output u ovisnosti od poduzetih akcija. Simulacija je snažno oružje u rukama menadžera koje im pomaže da ocjene učinke poslovnih odluka na uspješnost poduzeća u turbulentnom okružju. U nekim slučajevima scenario budućnosti može se matematički modelirati bez simulacije, međutim u mnogim situacijama to pomoću matematičkih formula nije moguće, te menadžerima preostaje ili da "iskustveno pogađaju" ili da se koriste metodom simulacije. Dobra računalna simulacija je najeftiniji način da se testiraju različite poslovne akcije i identificiraju najučinkovitije odluke. Da je tome tako potvrđuje i podatak da su troškovi simulacije frontalnog sudara u Fordu 1985. godine iznosili 60 000 USD, 1998. oko 200 USD, a da trenutačno iznose manje od 10 USD. Fordovo novo super računalo izvodi simulaciju za svega nekoliko minuta [6,749].

Prema funkciji u logističkom sustavu razlikuju se [9,71]: 1) skladišta za izdavanje, 2) skladišta za pretovar i 3) skladišta za razdiobu robe. Kako se skladišta za izdavanje najčešće nalaze uz proizvodne pogone ili trgovinska poduzeća, jer služe za uskladištenje gotovih proizvoda namijenjenih distribuciji kupcima u nastavku ove znanstvene rasprave razmatra se jedan takav primjer. Primjena simulacije na računalu prikazuje se na jednostavnom primjeru procjene dnevne potražnje za proizvodima sa skladišta.

Dnevna potražnja za gotovim proizvodima sa skladišta u proteklih 200 dana predočena je tablicom 1.

D. Pupovac, R. Zelenika: Simulacija skladišnoga i distribucijskoga sustava
Zbornik rad. - Sveuč. u Rij., Ekon. fak., God. 23. Sv. 1 (2005), str. 101-112

Tablica 1: Potražnja za gotovim proizvodima sa skladišta (u 000 kom.)

Potražnja	Frekvencija
0	10
1	20
2	40
3	60
4	40
5	30
200 dana	

Temeljem podataka iz tablice 1 potrebno je procijeniti potražnju za gotovim proizvodima sa skladišta tijekom narednih 10 dana. Da bi se napravila simulacija za ovaj poslovni problem proračunska tablica Excel predstavlja vrlo zahvalan alat (cf. tablicu 2).

Tablica 2: Excel u funkcije simulacije potražnje za proizvodima iz skladišta

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data and formulas:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1									
2	Vjerojatnosti	Interval vjerojatnosti	Kumulativne vjerojatnosti	Potražnja		Dan	Slučajni brojevi	Simulirana potražnja	
3	0,05	0	0,05	0		1	0,302336	2	
4	0,1	0,05	0,15	1		2	0,453299	3	
5	0,2	0,15	0,35	2		3	0,055971	1	
6	0,3	0,35	0,65	3		4	0,906225	5	
7	0,2	0,65	0,85	4		5	0,249002	2	
8	0,15	0,85	1	5		6	0,655335	4	
9						7	0,255482	2	
10						8	0,295436	2	
11						9	0,683603	4	
12						10	0,877693	5	
13							Prosjeak	3	
14	Rezultati (tablica frekvencija)					Upisane formule:			
15	Potražnja	Apsolutna frekvencija	Relativna frekvencija	Kum. %		H3:H12 RAND()			
16	0	0	0	0		I3:I12 =VLOOKUP(H3;C3:E8;3;TRUE)			
17	1	1	10	10		C16:C21 =FREQUENCY(I3:I12;B16:B21)			
18	2	4	40	50		D16:D21 (=C16/C22;=C17/C22;=C18/C22;...			
19	3	1	10	60		E16:E21 (=D16;=D17+E16;=D18+E17...			
20	4	2	20	80		I13 =AVERAGE(I3:I12)			
21	5	2	20	100		C22 =SUM(C16:C21)			
22		10							
23									

Izvor: Autori

D. Pupovac, R. Zelenika: Simulacija skladišnoga i distribucijskoga sustava
Zbornik rad. - Sveuč. u Rij., Ekon. fak., God. 23. Sv. 1 (2005), str. 101-112

Temeljem podataka iz tablice 2 razvidno je da je kumulativna vjerojatnost izračunana u stupcu D. Takav pristup smanjuje mogućnost pogreške i koristan je za veće simulacije koje uključuje veće razine potražnje. Funkcija VLOOKUP u stupcu I pregledava slučajne brojeve (generirane u koloni H) definirane pregledom tablice C3:E8. Funkcija VLOOKUP pretražuje adresni niz D3:D8 dok ne nađe prvo polje koje sadrži vrijednost veću od slučajnog broja. Tada ide u prethodni red i uzima vrijednost iz kolone E u tablicu. Primjerice, drugi slučajni broj u tablici je 0,453. Excel pretražuje prema dolje u stupcu D dok ne nađe 0,65. Potom u prethodni red u polje I4 učitava vrijednost kolone E koja je 3. Pritiskom na tipku F9 obavlja se novo preračunavanje temeljem generiranja novoga niza slučajnih brojeva. Prosječna dnevna simulirana (očekivana) potražnja za naredno razdoblje iznosi 3 000 komada, što je za 900 komada manje od prosječne dnevne potražnje tijekom prethodnih 200 dana izračunane pomoću aritmetičke sredine. Ispravnost modela procjenjuje se uočavanjem realnosti simulacije (neznanstveno) ili na znanstveno utemeljen način (statistička analiza).

6. Zaključak

Metoda simulacije koja se pojavila u znanosti u drugoj polovici prošloga stoljeća vrlo se uspješno primjenjuje i u logistici, omogućavajući pri tom kvantitativnu analizu logističkih procesa. Simulacija u logistici omogućuje simulaciju i analizu upravljanja transportom i skladištenjem materijala, dijelova i gotovih proizvoda od dobavljača preko poduzeća do kupaca. Simulacija omogućuje identifikaciju potrebnih resursa za što brže sortiranje i transport dobara između dviju lokacija. Temeljni cilj simulacijskog modeliranja jest povećanje efikasnosti odvijanja logističkih aktivnosti. Računala predstavljaju kritični alat u simuliranju složenih logističkih problema. Računala mogu generirati slučajne brojeve, simulirati tisuće vremenskih razdoblja u nekoliko sekundi ili minuta, te osigurati logističkim menadžerima izlazne podatke za donošenje ispravnih poslovnih odluka. Premda se na tržištu mogu naći brojni računalni simulacijski programi (SIMPLE ++, AUTOMOD, ARENA, LINDO, CPLEX ...), proračunska tablica Excel predstavlja nezaobilazan alat u razvijanju simulacija na brz i jednostavan način.

D. Pupovac, R. Zelenika: Simulacija skladišnoga i distribucijskoga sustava
Zbornik rad. - Sveuč. u Rij., Ekon. fak., God. 23. Sv. 1 (2005), str. 101-112

Literatura

- Banks, J. (ur.), (1998), *Handbook of Simulation – Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice* – Willey Interscience and Engineering & Management Press, USA
- Barković, D., et.al., (1986), *Odlučivanje u marketingu*, Informator
- Čerić, V., (1993), *Simulacijsko modeliranje*, Zagreb: Školska knjiga
- Evans, J. R., Olson, L. D., (2002), *Introduction to Simulation and Risk Analysis*, drugo izdanje, New Jersey: Practice Hall
- Harington, J., Tumay, K., (2002), *Simulation Modeling Methods*, New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hartvogsen, D.: SimQuick, (2001), *Process Simulation with Excel-Updated Version*, New Jersey: Practice Hall
- Heizer, J., Render, B., (2004), *Operations Management*, sedmo izdanje, New Jersey: Practice Hall
- Render, B., Stair, M. R., Hanna, M., (2003), *Managerial Decision Modeling with Spreadsheets*, New Jersey: Practice Hall
- Shapiro, J., (2001), *Modeling the Supply Chain*, Duxbury Thomson Learning, USA
- Šamanović, J., (1999), *Logistički i distribucijski sustavi*, Sveučilište u Splitu, Split: Ekonomski fakultet

D. Pupovac, R. Zelenika: Simulacija skladišnog i distribucijskog sustava
Zbornik rad. - Sveuč. u Rij., Ekon. fak., God. 23. Sv. 1 (2005), str. 101-112

Simulation of warehousing and distribution systems

Ratko Zelenika¹ and Drago Pupavac²

Abstract

The modern world abounds in simulation models. Thousands of organizations use simulation models to solve business problems. Problems in micro logistics systems are a very important segment of the business problems that can be solved by a simulation method. In most cases logistics simulation models should be developed with a purpose to evaluate the performance of individual value-adding indirect resources of logistics system, their possibilities and operational advantages as well as the flow of logistics entities between the plants, warehouses, and customers. Accordingly, this scientific paper elaborates concisely the theoretical characteristics of simulation models and the domains in which the simulation approach is best suited in logistics. Special attention is paid to simulation modeling of warehousing and distribution subsystems of logistic system and there is an example of spreadsheet application in the function of simulated demand for goods from warehouse. Apart from simulation model induction and deduction methods, the description method and a method of information modeling are applied.

JEL Classification: a15

Key words: simulation modeling, simulation of warehousing and distribution systems

¹ Full Professor at the Faculty of Economics, University of Rijeka, Ivana Filipovića 4, 51000 Rijeka, Croatia. Scientific affiliation: Forwarding, Logistics, Transport, Traffic, Insurance, Scientific Research Methodology. Tel.: ++ 385 51 355 137; e-mail: zelenika@efri.hr

² Senior Lecturer at the Polytechnics of Rijeka, Trpimirova 2, 51000 Rijeka, Croatia. Scientific affiliation: Logistics and Economics of Transport. Tel.: ++ 051 353 757; e-mail: drago.pupavac@ri.htnet.hr ili dpupavac@veleri.hr