

# Primjena simulacijskih modela u optimiranju skladišnih sustava

---

**Rigo, Bernard**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:446913>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-23**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Bernard Rigo**

**PRIMJENA SIMULACIJSKIH MODELA U OPTIMIRANJU  
SKLADIŠNIH SUSTAVA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2017.**

Zagreb, 25. travnja 2017.

Zavod: **Zavod za transportnu logistiku**  
Predmet: **Osnove simulacija u prometu i logistici**

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 4235**

Pristupnik: **Bernard Rigo (0135238276)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Primjena simulacijskih modela u optimiranju skladišnih sustava**

### **Opis zadatka:**

Opisati i objasniti prednosti i nedostatke primjene simulacijskih metoda u prometu i logistici. Prikazati primjenu simulacijskog modela na primjeru simulacije određenog skladišnog procesa, primjenom simulacijskog alata. Interpretirati i prikazati rezultate provedenog simulacijskog eksperimenta.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

doc. dr. sc. Ratko Stanković

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

### **PRIMJENA SIMULACIJSKIH MODELA U OPTIMIRANJU SKLADIŠNIH SUSTAVA**

**Application of Simulation Models in Optimisation of Warehouse Systems**

Mentor: Doc. dr. sc. Ratko Stanković

Student: Bernard Rigo, 0135238276

Zagreb, rujan 2017.

## **SAŽETAK**

Simulacijsko modeliranje jedna je od vodećih suvremenih metoda modeliranja uz pomoć računala. Ova metoda omogućuje opis, razumijevanje i kvantitativnu analizu složenih dinamičkih sustava u područjima proizvodnje, transporta, ekonomije, masovnog posluživanja, računarstva itd. Svojim značajkama i mogućnostima primjene, simulacijsko modeliranje pripada području operacijskog istraživanja, statistike i računalne znanosti. Posljednjih godina, simulacijsko modeliranje doživljava veliki razvoj zahvaljujući dostupnosti mikroračunala, računalne grafike, korištenje metoda umjetne inteligencije, te korištenju i primjeni objektno orijentiranog programiranja i paralelnih računala.

**KLJUČNE RIJEČI:** Simulacijsko modeliranje; transport; ekonomija; operacijsko istraživanje; statistika; računalna znanost

## **SUMMARY**

Simulation modeling is one of the main contemporary methods of modeling by computer. This method allows us to describe, understand and to do a quantitative analysis of complex dynamic systems in domain of production, transport, economics, massive serving, computing etc. With its features and application possibilities, simulation modeling belongs to domain of operational research, statistics and computer science. In recent years, simulation modeling is experiencing great developing thanks to availability microcomputers, computer graphics, using methods of artificial intelligence and using the object-oriented programming and paralel computers.

**KEY WORDS:** Simulation modeling; transport; economics; operational research; statistics; computer science

# SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Funkcije skladišta u logističkim sustavima.....	2
2.1. Elementi logističkog sustava .....	2
2.2. Skladište i njegova funkcija.....	2
2.3. Optimizacija skladišta .....	3
3. Pojam i primjena simulacijskih modela u logistici .....	5
3.1. Pojam modeliranja .....	5
3.2. Primjena simulacijskih modela.....	7
4. Simulacijske metode i alati .....	9
4.1. Metode modeliranja i rješavanja problema .....	9
4.1.1. Analitičke metode.....	9
4.1.2. Numeričke metode.....	9
4.1.3. Simulacijske metode.....	9
4.2. Podjela simulacijskih modela .....	10
4.2.1. Deterministički i stohastički modeli .....	10
4.2.2. Diskretni i kontinuirani modeli .....	12
4.3. Tipovi simulacijskog modela.....	14
4.3.1. Monte Carlo simulacija.....	14
4.3.2. Kontinuirana simulacija .....	17
4.3.3. Simulacija diskretnih događaja.....	21
4.3.4. Kombinirana diskretno-kontinuirana simulacija .....	23
4.4. Simulacijski alati .....	24
4.4.1. ExtendSim.....	24
4.4.2. FlexSim.....	26
4.4.3. Delmia Quest .....	28

4.4.4.	Arena Rockwell .....	29
4.4.5.	Usporedba simulacijskih alata .....	31
5.	Primjer simulacije skladišnog procesa .....	32
5.1.	Simulacijski eksperiment .....	32
5.2.	Postupak izvođenja simulacijskog eksperimenta .....	35
5.3.	Dobiveni rezultati simulacijskog eksperimenta .....	45
5.4.	Provedba simulacijskog eksperimenta s promjenjenim parametrima .....	47
5.4.1.	Rezultati nakon promjenjenih parametara .....	49
5.4.2.	Usporedba rezultata simulacijskih eksperimenata s inicijalnim i s promijenjenim parametrima .....	51
6.	Zaključak .....	52
	Literatura .....	53
	Popis slika .....	54
	Popis tablica .....	55

# 1. Uvod

Simulacija je eksperimentalna metoda koja omogućuje proučavanje stvarnog procesa pomoću njegovog modela na računalu, što je korisno za analizu i sprječavanje problema prije nego li se pojave. U današnje vrijeme postoje napredni alati za simuliranje logističkih procesa koji sa lakoćom dolaze do željenih rezultata korisnika. Pomoću takvih alata moguće je prikazati sve logističke procese, te cjelokupne sustave vezane za logistiku. Također, zbog razvoja informatike moguće je vizualizirati cijeli proces u 2D ili 3D formatu i izračunati točne vrijednosti za određeni dio procesa.

Tema ovog završnog rada je opisati primjenu simulacijskih modela u optimiranju skladišnih sustava, te prikazati postupak i rezultate na temelju primjera simulacije skladišnog procesa. Ovaj rad se sastoji od šest cjelina:

1. Uvod
2. Funkcije skladišta u logističkim sustavima
3. Pojam i primjena simulacijskih modela u logistici
4. Simulacijske metode i alati
5. Primjer simulacije skladišnog procesa
6. Zaključak

U drugoj cjelini će se definirati skladište i funkcije skladišta u logističkim sustavima. Treća cjelina će opisati pojam i primjenu simulacijskih modela u logistici. Nakon treće cjeline, četvrta cjelina će definirati neke od poznatijih simulacijskih metoda i alata, te usporediti međusobne performanse simulacijskih alata i njihove mogućnosti. U petoj cjelini na temelju primjera simulacije skladišnog procesa, biti će prikazan postupak rješenja i rezultati simulacije. Na kraju završnog rada, odnosno u šestoj cjelini se nalazi Zaključak u kojemu je sažeta misao cjelokupnog završnog rada.



## 2. Funkcije skladišta u logističkim sustavima

### 2.1. Elementi logističkog sustava

Logistički sustavi sastoje se od međusobno povezanih elemenata koji omogućuju postizanje cilja. Svaki od tih elemenata osim svoje uloge u sustavu ima i određene zadaće (funkcije) koje ga odvajaju od ostalog dijela sustava<sup>1</sup>. U ovom radu će se vršiti fokus prema samo jednom elementu logističkih sustava, a to je skladištenje. Logistički sustav sastoji se od sljedećih osnovnih elemenata:

- Transport
- Skladištenje
- Zalihe
- Prekrcajne Manipulacije
- Čimbenik-čovjek

### 2.2. Skladište i njegova funkcija

Za proizvodnju, razmjenu i potrošnju robe zbog vremenskih i prostornih razlika u aktivnostima potrebna su skladišta i skladištenje. Skladište predstavlja ograđeni ili neograđeni prostor, pokriveni ili nepokriveni prostor čija je svrha skladištenje robe. Skladišta uglavnom koriste proizvođači, uvoznici, izvoznici, trgovci na veliko, prometna poduzeća itd. Dizajnirana su na način da imaju rampe za ukrcaj i iskrcaj robe iz prometnih sredstava sa prostorom za razmještaj tereta i najčešće paletne regale za skladištenje robe. Najčešće su to skladišta koja imaju rampe za prihvat kamiona, ali u današnje vrijeme je sve veći broj skladišta gdje se iskrcaj može obavljati direktno sa zračne luke, morske luke ili željeznice.

---

<sup>1</sup> Ivaković, Č.: Nastavni materijali, Kolegij: Planiranje logističkih procesa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.

U pogledu logistike, skladištenje je nužno zlo. Skladištenje omogućuje proizvodnji postizanje ekonomije obujma iz drugog proizvodnog ciklusa<sup>2</sup>. Skladišta omogućuju poduzeću da održi ili poboljša uslugu kupcima. Kada bi prognoziranje bilo savršeno i kada bi proizvodnja bila trenutačna, potreba za skladištima i zalihama bi nestala. No u realnom svijetu prognoze griješe, a vrijeme proizvodnje varira, pa tako skladištenje povezuje ponudu i potražnju.

Uloga skladišta u logističkim procesima iako okarakterizirana kao nužno zlo ima važnu ulogu. Skladišta više nisu kao nekad mjesta uskladištenja robe, već ona danas predstavljaju određene proizvodne procese posebno pri finalizaciji proizvoda ili oplemenjivanja proizvoda. Još jedna važna uloga skladišta je pružanje sigurnosti u slučaju prekida rada pogona, prekida isporuke dobavljača ili zastoja u prometu.

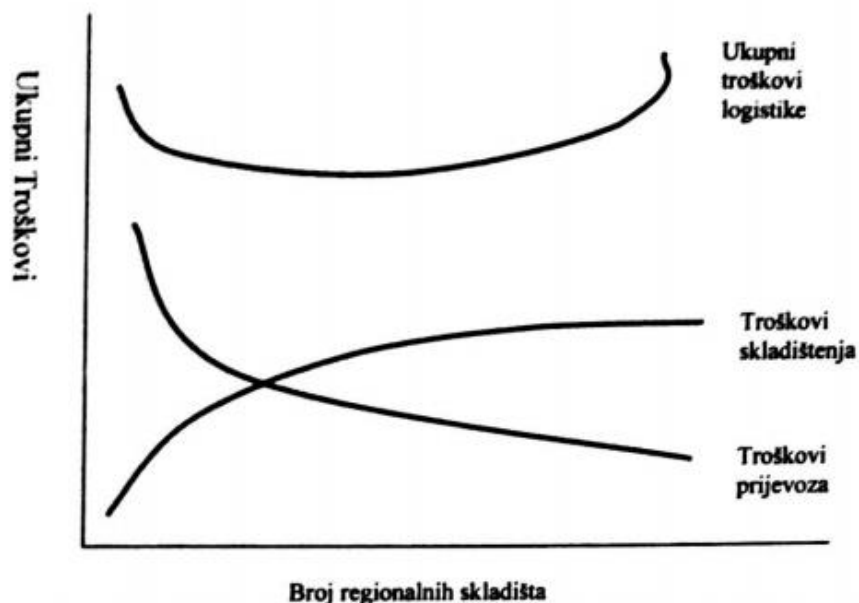
### 2.3. Optimizacija skladišta

Teoretski gledano, postojanje više skladišta i što su bliže tržištima znači veću razinu usluge kupcima budući da im roba može biti brže dostavljena. Skladišta su skupa i dobici od više skladišta, te bolje usluge kupcima moraju se odvagnuti u odnosu na više troškove. Kako se broj skladišta povećava, troškovi prijevoza i troškovi nedostatka robe na skladištu imaju tendenciju pada, ali troškovi držanja zaliha i skladištenja rastu. Optimizacija troškova postiže se optimiziranjem broja skladišta i unaprijeđenjem učinkovitosti skladištenja.

Prema slici 1. vidi se kretanje skladišnih troškova, troškova prijevoza i ukupnih logističkih troškova u zavisnosti o broju regionalnih skladišta. Ukoliko postoji mali broj regionalnih skladišta, troškovi prijevoza biti će vrlo visoki, a samim time i ukupni logistički troškovi. Ukoliko postoji velik broj regionalnih skladišta, troškovi prijevoza biti će osjetno niži, dok će ukupni troškovi logistike biti i dalje visoki zbog visokih troškova skladištenja. Optimalno je naći sredinu, odnosno optimalan broj regionalnih skladišta jer na taj će način troškovi prijevoza biti najniži, isto kao i ukupni logistički troškovi.

---

<sup>2</sup> Bloomberg, D.J., Le May, S., Hanna, J.B.: Logistika, Mate d.o.o., Zagreb, 2006.



Slika 1. Odnos ukupnih logističkih troškova, troškova skladištenja i troškova prijevoza

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

Čimbenici koji bi se trebali razmotriti prilikom optimizacije skladišta su:

- Razina zahtijevane usluge kupcima
- Broj kupaca, njihovu lokaciju i kupovne navike
- Količinu i vrstu elektronske razmjene podataka koja je prisutna između proizvođača i kupca

Povećanje učinkovitosti skladišta nužno je u procesu smanjivanja troškova, a neka od područja su:

- Unapređenje točnosti prognoziranja
- Smanjenje i uklanjanje uskih grla u poslovnim prostorima
- Unapređenje pakiranja proizvoda
- Postavljanje ciljeva unapređenja
- Smanjivanje udaljenosti kretanja unutar skladišta
- Stalno traženje mogućnosti smanjenja praznog hoda
- Poboljšanje ukupne iskoristivosti volumena skladišta<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Bloomberg, D.J., Le May, S., Hanna, J.B.: Logistika, Mate d.o.o., Zagreb, 2006.

## 3. Pojam i primjena simulacijskih modela u logistici

### 3.1. Pojam modeliranja

Model je formalni apstraktni prikaz sustava. Model prikazuje strukturu sustava, komponente sustava i njihovo međudjelovanje.<sup>4</sup> Modeliranje je proces blisko vezan za način ljudskog razmišljanja i rješavanja problema. Istraživanje prirode i razvoj tehnologije doveli su do stvaranja opipljivijih i formalnijih vrsta modela i to zbog potrebe da se omogući opisivanje složenih fenomena da se oni mogu preciznije opisivati i rješavati da se omogući duže trajanje modela i da modeli mogu postati sredstvo za komunikaciju većeg broja ljudi koji se bave nekim fenomenom.

Model može biti mentalni (npr. predviđanje posljedica akcije), materijalni (npr. struktura molekule), matematički (npr. gravitacijsko privlačenje prikazano matematičkom formulom), konceptni (aktivnosti u projektu) ili računalni (program za simulaciju nekog događaja sa zadanim vrijednostima).

U ovom završnom radu će se vršiti fokus prema konceptnom modelu i računalnom modelu. Konceptni modeli se stvaraju na temelju predodžbe o strukturi i logici rada sustava ili problema koji se modelira, te se prikazuju u obliku čije je značenje precizno definirano, npr. kao dijagram koji se koristi točno definiranim simbolima. Takav prikaz omogućuje da se modeli vizualiziraju, da se mogu prikazati složeni modeli, da se njima može baratati, te da služe kao sredstvo za komunikaciju među ljudima koji njima rade. Sama izgradnja konceptnog modela dovodi do boljeg razumijevanja problema koji se rješava. Konceptni modeli su modeli su osnova za izradu računalnih modela, a danas se oni mogu izravno razvijati i upotrebljavati na računalima.

---

<sup>4</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

Računalni modeli su prikaz konceptnih modela u obliku računalnog programa. U tom obliku modeli postaju sredstvo kojim se može analizirati rad modela u različitim vanjskim uvjetima i različitim unutrašnjim parametrima, te tako dobiti uvid u razumijevanje sustava koji model opisuje i mogućnost predviđanja njegovog ponašanja. Računalni modeli se koriste programskim jezicima kao svojim sredstvom za izražavanje, te su s toga blisko vezani za razvoj računalnih znanosti.

Proces izrade modela nema nema striktnih pravila, već veliko značenje ima zdrav razum, sposobnost apstrakcije, sistematičnost i iskustvo. S toga je modeliranje prije svega umijeće, a ne znanost. Dugo iskustvo velikog broja ljudi koji su se time bavili dovelo je do nekih općih preporuka pri izradi modela, a to su:<sup>5</sup>

- Granica sustava s okolinom mora biti odabrana tako da sustav, odnosno njegov model, obuhvaća samo fenomene od interesa. Okolina sustava se modelira tako da se ne opisuju detalji fenomena i uzročna veza među njima, već se daje samo njihov sažeti prikaz.
- Modeli ne smiju biti suviše složeni ni detaljni, već trebaju sadržavati samo relevantne elemente sustava.
- Model ne smije ni suviše pojednostaviti problem, npr. izbacivanjem važnih varijabli potrebnih za adekvatan opis sustava ili suviše velikim stupanjem agregiranja komponenti sustava
- Model je razumno rastaviti na više dobro definiranih i jednostavnijih modula sa točno određenom funkcijom, koje je lakše izgraditi i provjeriti.
- U razvoju modela preporučuje se korištenje neke od provjerenih metoda za razvoj algoritama i programa. Pri tome je moguće razumijeti model i njegove module u svim fazama razvoja modela
- Potrebna je provjera logičke i kvantitativne ispravnosti modela i to kako pojedinačnih modula, tako i cijelog modela. Kod modela koji uključuju slučajne varijable, to znači i primjenu odgovarajućih statističkih tehnika.

---

<sup>5</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

## 3.2. Primjena simulacijskih modela

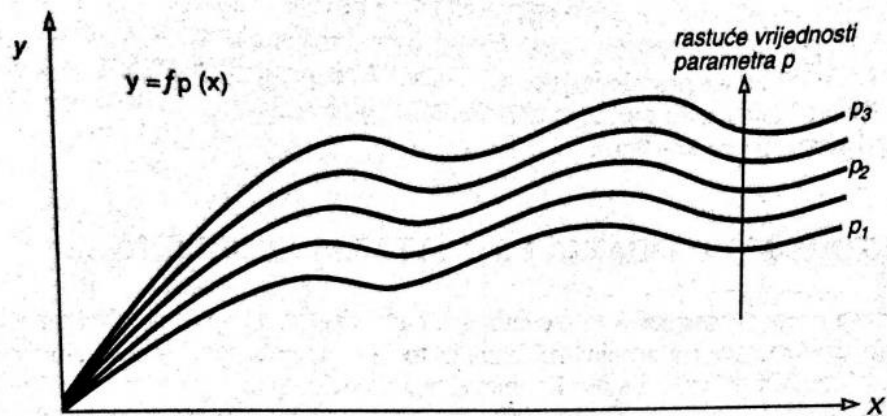
Simulacijski modeli su modeli dinamičkih sustava, odnosno sustava koji se mijenjaju u vremenu. Njihove tipične primjene su u područjima inženjerstva i ekonomije. To su na primjer, modeli repova čekanja, proizvodnih procesa, skladištenja i prometa.

Simulacijski modeli moraju omogućiti ispravan prikaz i efikasno izvođenje pomaka vremena. Također je bitno omogućavanje istovremenog odvijanja aktivnosti, te opisivanje procesa koji konkuriraju za iste resurse (strojevi, blagajne ili financijska sredstva). Ti su zahtjevi znatan problem za modeliranje, zbog čega su se simulacijski modeli razvili u posebnu kategoriju modela. Razvijeni su i specifični alati za konceptualno modeliranje i specifični programski jezici kao adekvatna sredstva za posebne zahtjeve simulacijskog modeliranja.

Kod primjene simulacijskog modeliranja ne može se dobiti rješenje u analitičkom obliku, u kojem su zavisne varijable funkcije nezavisnih varijabli (slika 2.), već se rješenje problema dobiva eksperimentiranjem modelom sustava. Prema tome, simulacijski eksperimenti daju kao rezultat skup točaka, tj. vrijednosti zavisnih varijabli za pojedine vrijednosti nezavisnih varijabli (slika 3.). Zbog slučajnog karaktera varijebli modela dobiva se čak i više različitih vrijednosti zavisnih varijabli za istu vrijednost nezavisnih varijabli, odnosno eksperimenti daju određeni uzorak vrijednosti zavisnih varijabli (slika 4.). Pri tome planiranje i analiza simulacijskih eksperimenata zahtijevaju statički pristup.<sup>6</sup>

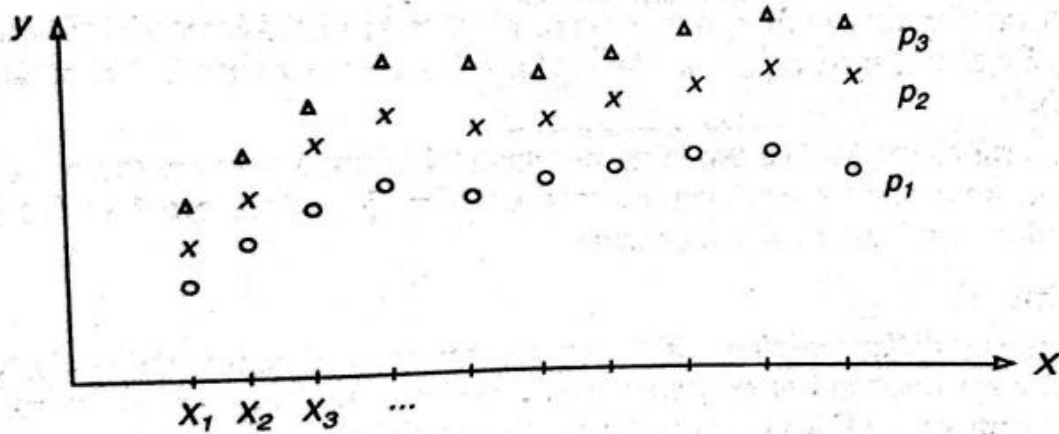
---

<sup>6</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.



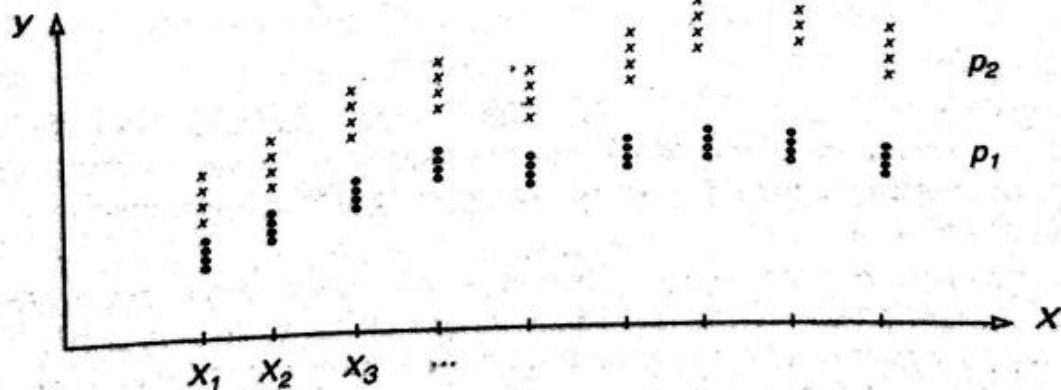
Slika 2. Analitičko rješenje

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.



Slika 3. Numeričko rješenje determinističkog problema

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.



Slika 4. Numeričko rješenje sustava sa slučajnim varijablama

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

## 4. Simulacijske metode i alati

### 4.1. Metode modeliranja i rješavanja problema

Prema rastućoj složenosti sustava, odnosno prema problemu koji se modelira, postoje sljedeće metode modeliranja i rješavanja problema:<sup>7</sup>

#### 4.1.1. Analitičke metode

Modeli su u analitičkom obliku (npr. sustavi algebarskih ili diferencijalnih jednadžbi), pa su i rješenja u analitičkom obliku (funkcijske veze zavisnih o nezavisnim varijablama). To su modeli problema koji se svode na matematički tretman pomoću metoda algebre, matematičke analize, teorije vjerojatnosti i sl. Primjer takvih problema su jednostavni problemi njihala i repova čekanja.

#### 4.1.2. Numeričke metode

Modeli su u analitičkom obliku, ali se zbog nemogućnosti nalaženja analitičkog rješenja rješavaju numeričkim postupcima (npr. nalaženjem parova vrijednosti nezavisnih i zavisnih varijabli koji zadovoljavaju zadane jednadžbe modela). Primjer problema koji se rješavaju numeričkim metodama (najčešće različitim iterativnim postupcima) složeniji su problemi repova čekanja, difuzije, vremenske prognoze itd.

#### 4.1.3. Simulacijske metode

Zbog nemogućnosti prikaza složenih dinamičkih sustava u analitičkom obliku, modeli su zadani u proceduralnom obliku kojim se prikazuje način rada sustava. Problem se rješava numerički, provođenjem eksperimenata modelom koji oponašaju razvoj sustava u vremenu. Primjer sustava koji se modeliraju i analiziraju simulacijskim modeliranjem su diskretni sustavi sa povratnom vezom, npr. iskorištavanje resursa na Zemlji i dinamika promjene populacija, biljaka i životinja.

---

<sup>7</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

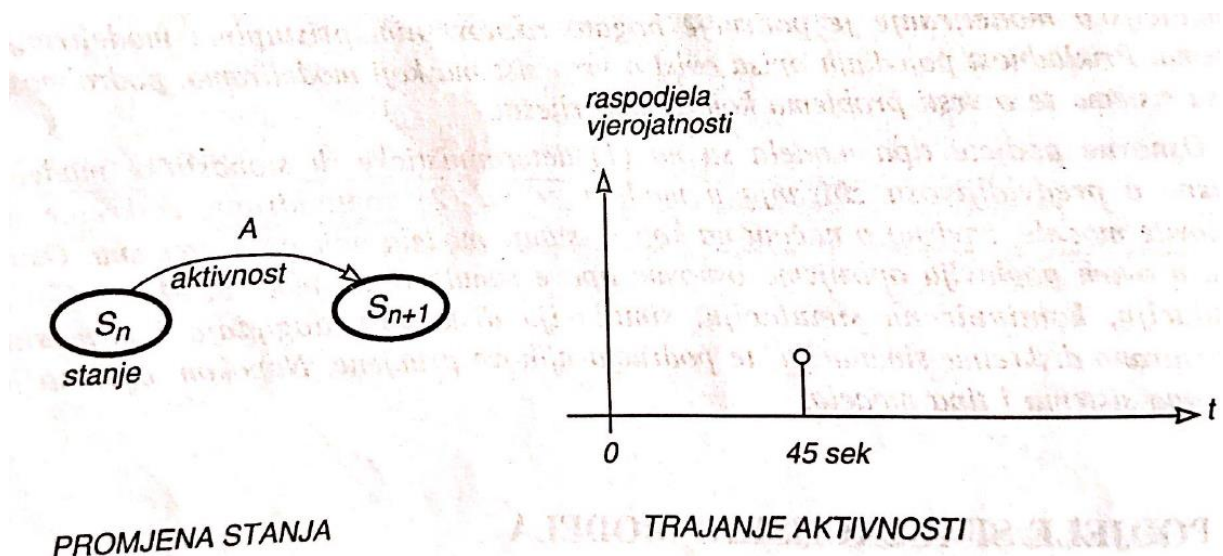


## 4.2. Podjela simulacijskih modela

Postoje dva osnovna tipa podjele simulacijskih modela, jedan prema vrsti varijable u modelu (deterministički i stohastički), a drugi prema načinu na koji se stanjem modela mijenja u vremenu (diskretni i kontinuirani).

### 4.2.1. Deterministički i stohastički modeli

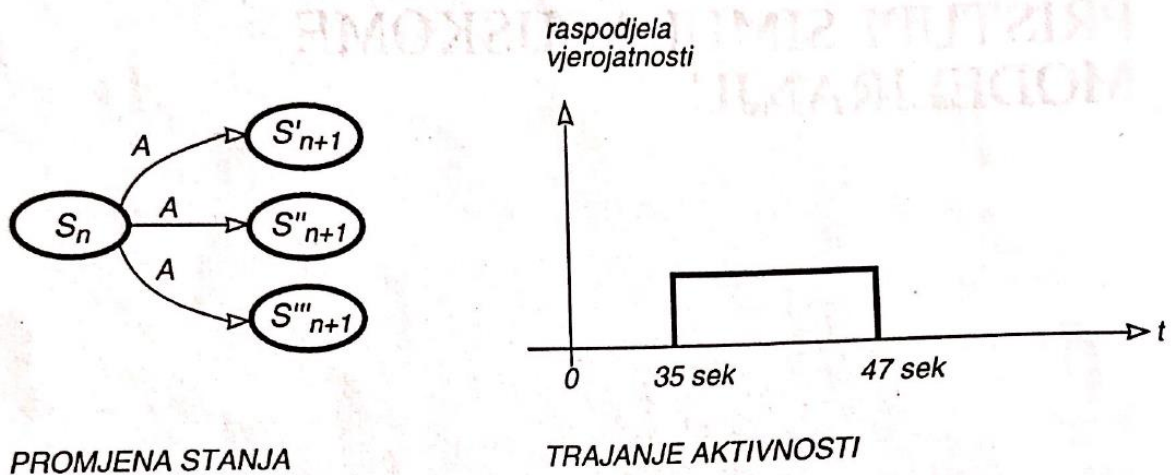
Deterministički modeli su oni čije je ponašanje potpuno predvidivo, odnosno u kojima je novo stanje sustava u potpunosti određeno prethodnim stanjem. Na slici 5. je prikazan deterministički model u kojem se stanje sustava  $S_n$  promijenilo pod utjecajem aktivnosti A u stanje  $S_{n+1}$ . Na istoj slici (slika 5.) je također prikazana aktivnost A sa determinističkim trajanjem od 42 sekunde, kao na primjer trajanje obrade na automatiziranom stroju.



Slika 5. Deterministički model

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

Stohastički modeli su oni čije se ponašanje ne može unaprijed predvidjeti, ali se mogu odrediti vjerojatnosti promjena stanja sustava. Dakle, stohastičke modele karakterizira slučajno ponašanje, odnosno postojanje slučajnih varijabli u sustavu. Na slici 6. je prikazan stohastički model u kojem se stanje sustava  $S_n$  može promijeniti u jedno od stanja  $S_{n+1}'$ ,  $S_{n+1}''$  ili  $S_{n+1}'''$  pod utjecajem aktivnosti A. Tako neki stroj može nakon izvođenja operacije ostati ili u ispravnom stanju ili se pokvariti, pri čemu svako od tih stanja ima neku vjerojatnost (zavistno o vrsti i starosti stroja). Drugi je izvor slučajnosti, prikazan na istoj slici, aktivnost sa slučajnim trajanjem, tj. trajanjem koje se određuje iz uniformne razdiobe vjerojatnosti. Primjer rakve aktivnosti je točenje goriva na benzinskoj crpci, gdje se mjerenjem određenog uzroka točenja goriva vozilima dobivaju podaci iz kojih se može odrediti razdioba vjerojatnosti trajanja te aktivnosti.

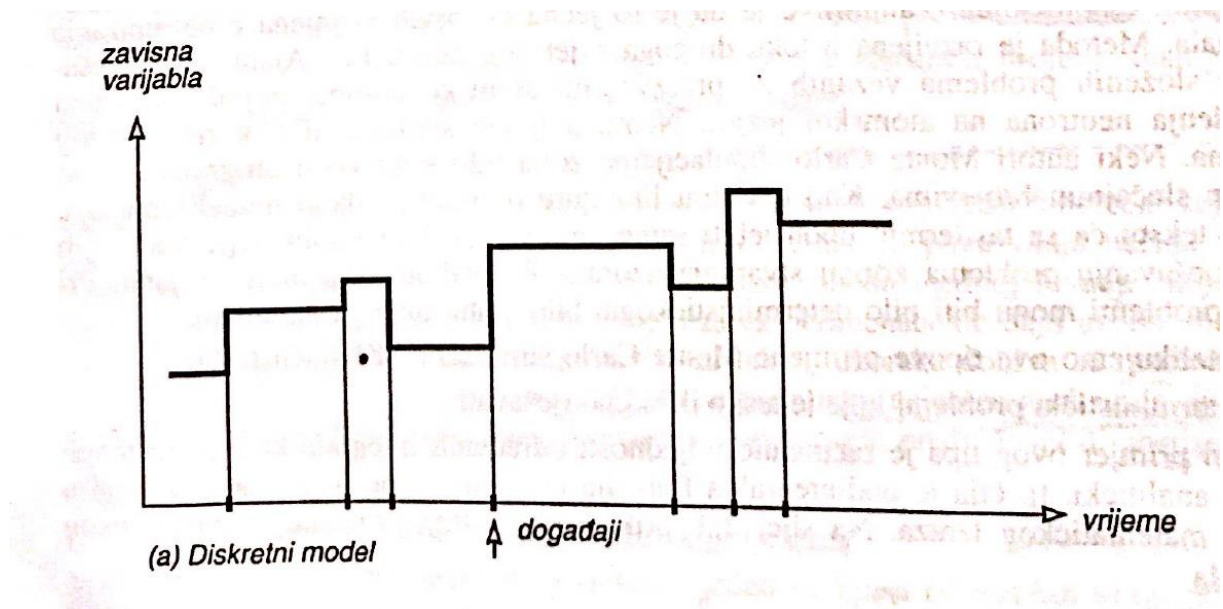


Slika 6. Stohastički model

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

#### 4.2.2. Diskretni i kontinuirani modeli

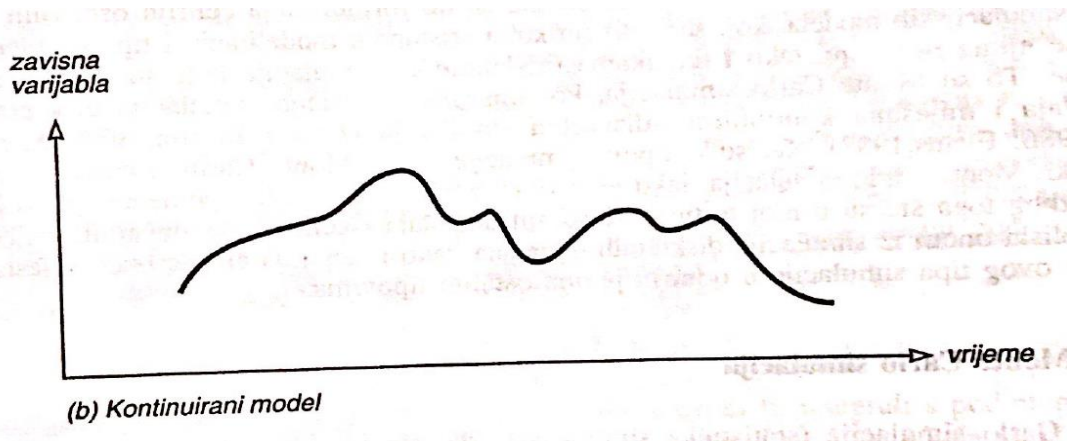
U diskretnim modelima stanje sustava mijenja se samo u nekim vremenskim točkama. Takve promjene se još nazivaju i događaji. Diskretna (diskontinuirana) promjena stanja prikazana je na slici 7. Tako model prodavaonice sa samoposluživanjem može sadržavati varijable koje opisuju broj posjetitelja u repovima pred blagajnama, a taj broj može se mijenjati samo u trenutku dolaska posjetitelja u rep i u trenutku početka posluživanja na blagajni. Isto tako, cijelo posluživanje na blagajni karakterizira se samo trenutkom početka i završetka posluživanja.



Slika 7. Diskretni model

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

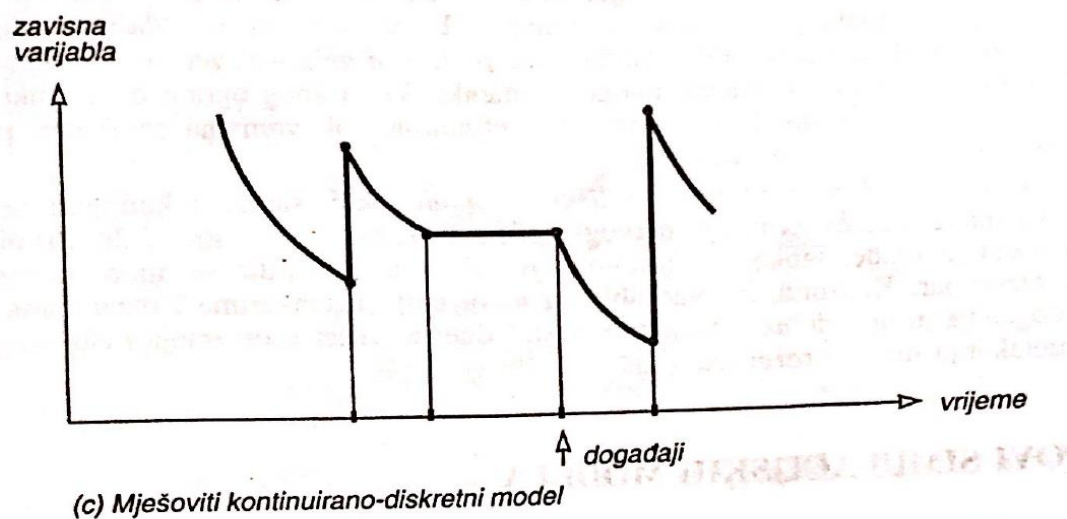
Kod kontinuiranih modela, varijable stanja mijenjaju se kontinuirano u vremenu, kao što je prikazano na slici 8. Primjer kontinuirane promjene je let aviona čiji se položaj i brzina mijenjaju kontinuirano u vremenu. Treba imati na umu da se na digitalnim računalima ne mogu izvoditi kontinuirane promjene veličina, već se one moraju aproksimirati brojevima od konačno mnogo znamenki. Već i zbog ograničenja u ukupnom vremenu izvođenja simulacije mora se zamjeniti kontinuirani tok vremena sa pomakom vremena u malim odsječcima.



Slika 8. Kontinuirani model

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

Unatoč diskretnim i kontinuiranim modelima, mogući su i mješani kontinuirano-diskretni koji sadrže i kontinuirane i diskretne varijable. Promjena stanja takvog modela prikazana je na slici 9. Primjer takvog modela je model tankera s naftom koji dolaze u luku gdje se njihov sadržaj pretače u rezervoar. Kontinuirane varijable su razine nafte u tankerima i spremniku, a diskretni događaji su na primjer dolazak tankera u luku i dnevno vrijeme otvaranja i zatvaranja procesa pretakanja nafte u spremnik.



Slika 9. Mješoviti kontinuirano-diskretni model

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

### 4.3. Vrste simulacija

Prikazane podjele simulacijskih modela dovele su do formiranja četiri osnovnih tipova simulacijskih modela, koji se razlikuju kako po pristupu modeliranja i tipu problema koji se njima rješavaju, tako i tehnikama modeliranja i simulacije koje su za njih razvijene, a to su:

- Monte Carlo simulacija
- Kontinuirana simulacija
- Simulacija diskretnih događaja
- Mješana kontinuirano-diskretna simulacija.

Svi ovi tipovi simulacije, osim Monte Carlo simulacije, su dinamički. Monte Carlo simulacija, unatoč tome što je statička tehnika simulacije, bitno ju je spomenuti u ovome završnome radu zbog toga što su u njoj generiranje slučajnih vrijednosti i slučajni događaji bliski sa simulacijom diskretnih događaja.

#### 4.3.1. Monte Carlo simulacija

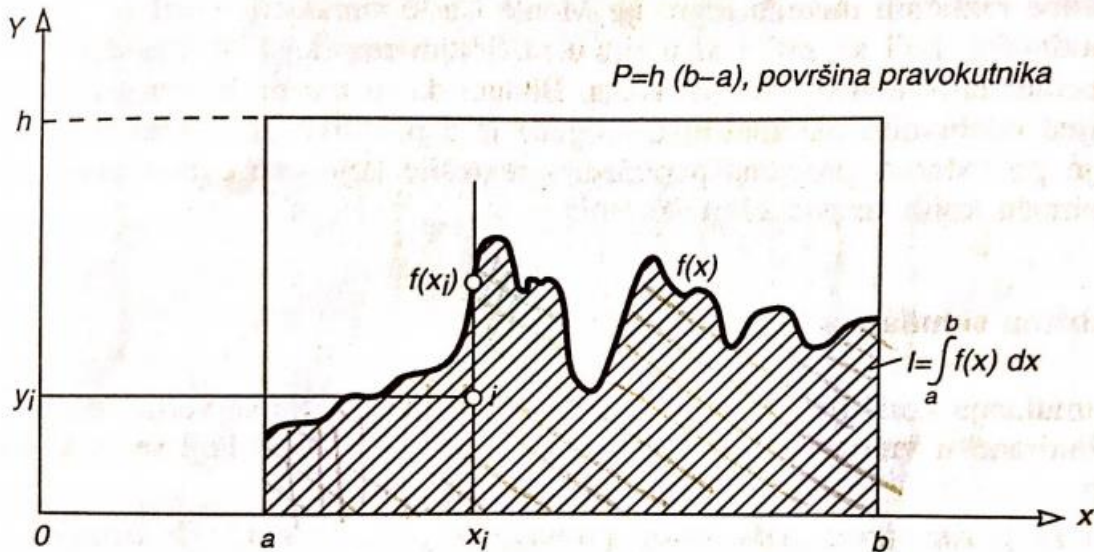
Monte Carlo simulacija, kao što joj i ime govori, povezana je sa slučajnim događajima. Metoda je razvijena u tijeku drugog svjetskog rata u Los Alamosu za rješavanje složenih problema vezanih za proizvodnju atomske bombe, poput proračuna raspršenja neutrona u atomskoj jezgri. Neki autori Monte Carlo simulacijama nazivaju bilo koju vrstu programa koji se koriste slučajnim brojevima. Pri tome, problemi mogu biti i determinističkoga i stohastičkoga karaktera. Razlikuju se sljedeći tipovi primjene Monte Carlo simulacije<sup>8</sup>:

---

<sup>8</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

#### 4.3.1.1. Deterministički problemi koje je teško ili skupo rješavati

Tipičan primjer ovog tipa je računanje vrijednosti određenih integrala koji se ne mogu riješiti analitički, tj. čija je podintegralna funkcija takva da se ne može naći rješenje u obliku matematičkog izraza. Na slici 10. je prikazan primjer računanja jednostrukog integrala.



Slika 10. Računanje određenog integrala Monte Carlo simulacijom

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

Monte Carlo simulacija pristupa tako da se generira niz slučajnih točaka jednake vjerojatnosti unutar pravokutnika slike 10., te da se za svaku točku ispita da li je pala unutar površine koja odgovara vrijednosti integrala. Ako je generirano  $n$  točaka od kojih je  $m$  palo unutar podintegralne površine, tada je približna vjerojatnost jednaka prema formuli (1):

$$I \approx \frac{m}{n} P = \frac{m}{n} h(b-a) \quad (1)$$

Najčešće se ovom metodom rješavaju višestruki integrali, odnosno integrali s podintegralnom funkcijom koja se 'slabo ponaša' koja ima diskontinuitete i koja se klasičnim numeričkim metodama teško rješava ili zahtijeva korištenje previše vremena za računanje<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.



#### *4.3.1.2. Složeni fenomeni koji nisu dovoljno poznati*

Druga vrsta problema koji se rješavaju Monte Carlo simulacijom su događaji koji nisu dovoljno poznati da bi se mogli precizno opisati. Umjesto poznavanja načina međudjelovanja elemenata poznate su samo vjerojatnosti ishoda međudjelovanja, koje se u Monte Carlo simulaciji koriste za izvođenje niza eksperimenata što daju uzroke mogućih stanja zavisnih varijabli. Statičkom analizom takvih uzoraka dobiva se razdioba vjerojatnosti zavisnih varijabli od interesa. Ovim se pristupom najčešće analiziraju društveni ili ekonomski fenomeni poput rasta populacija, ekonomskih predviđanja ili analize rizika odlučivanja.

#### *4.3.1.3. Statistički problemi koji nemaju analitičkog rješenja*

Ovi problemi su jedna klasa od širokih klasa problema kod koje se koristi Monte Carlo simulacija. Njima na primjer pripadaju procjene kritičnih vrijednosti ili snaga testiranja novih hipoteza. U rješavanju problema također se koristi generiranje slučajnih brojeva i varijabli.

Kod usporedbe različitih metoda regresije, Monte Carlo simulacija služi za generiranje ulaznih podataka, koji se zatim analiziraju različitim regresijskim metodama što daju procjene parametara regresije tih podataka. Budući da su ulazni podaci generirani s nekim unaprijed odabranim parametrima, moguće je uspoređivati kvalitetu različitih metoda regresije po točnosti procjena parametara regresije koje one daju s poznatim parametrima pomoću kojih su podaci generirani<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

### 4.3.2. Kontinuirana simulacija

Kontinuirana simulacija koristi se za dinamičke probleme kod kojih se varijable stanja mijenjaju kontinuirano u vremenu. Dvije su osnovne vrste problema koji se rješavaju ovom metodom.

U prvoj vrsti su razmjerno jednostavni problemi koji su opisani vrlo detaljno i kod kojih su promjene 'glatke', te se prirodno opisuju diferencijalnim jednažbama. To su tipično problemi u području fizike, biologije i inženjerstva.

U drugoj vrsti su problemi koji nastaju opisom veoma složenih sustava u agregiranom obliku u kojem se niz elemenata sustava reducira na manji broj komponenti, te u kojima se promjene u sustavu aproksimiraju konstantnim brzinama promjene. To su najčešće problemi iz područja ekonomije i društvenih znanosti. Postoje tri osnovna tipa kontinuiranih simulacijskih modela, a to su<sup>11</sup>:

#### 4.3.2.1. Sustavi običnih diferencijalnih jednažbi

To su jednažbe s jednom nezavisnom varijablom ( $x$ ) po kojoj se deriviraju zavisne varijable ( $y_i$ ) čija je brzina promjene ( $dy_i/dx$ ) opisana u odnosu prema nezavisnoj varijabli.

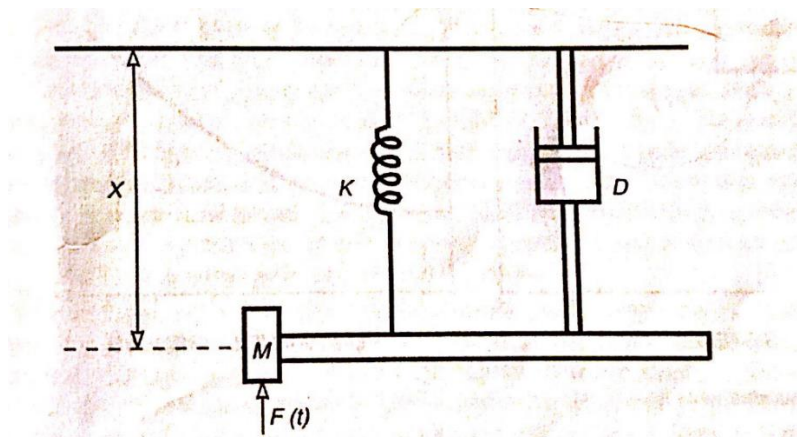
Primjer problema koji dovodi do običnih diferencijalnih jednažbi može biti automobilski kotač prikazan na slici 11. Na kotač mase  $M$  djeluje sila  $F(t)$  koja se mijenja u vremenu. Kotač visi na opruzi čija je sila proporcionalna njezinom produženju ili skraćanju, a udarce sile  $F$  apsorbira pneumatski mehanizam čija je sila prigušivanja proporcionalna ubrzanju mase kotača  $M$ . Jednažba gibanja kotača opisana je linearnom diferencijalnom jednažbom (2):

$$M = \frac{d^2}{dt^2} + D \frac{dx}{dt} + Kx = KF(t) \quad (2)$$

---

<sup>11</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.



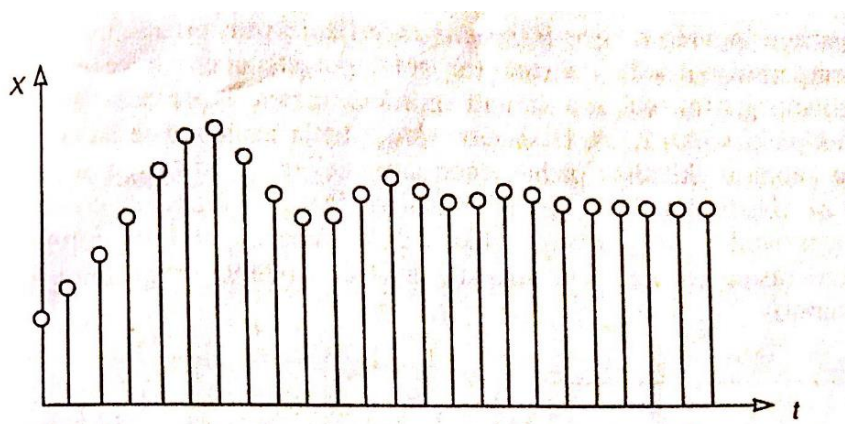


Slika 11. Model kotača

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

Ovakav model može se riješiti analitički, no to je dosta rijetko kod stvarnih problema. Analogno tome se uvođenjem realnih karakteristika u model automobilskog kotača, na primjer jednažbi koje se u pravilu ne mogu riješiti analitički. U takvom slučaju preostaju numerički postupci rješavanja (numeričke metode koje određuju razvoj varijabli u vremenu su metode kontinuirane simulacije)

Rješavanje problema kontinuiranom simulacijom izvodi se pomakom vremena za zadani vremenski interval i rješavanja statističkog sustava jednažbi u točkama pomaka vremena. Na slici 12. je prikazan primjer rezultata simulacije opisanog modela automobilskog kotača.<sup>12</sup>



Slika 12. Rješenje dinamike gibanja kotača

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

<sup>12</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

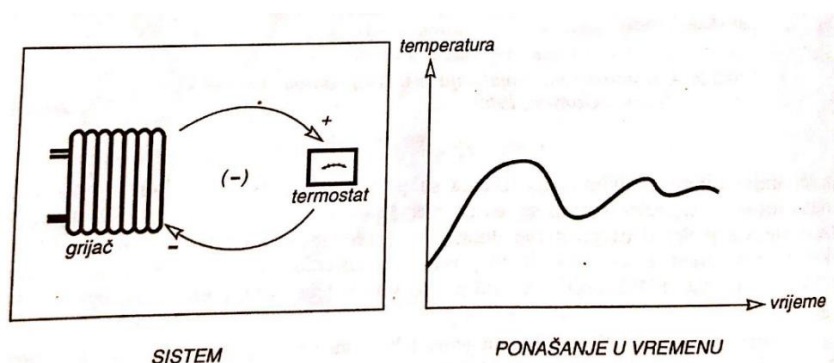
#### 4.3.2.2. Sustavi parcijalnih diferencijalnih jednadžbi

Parcijalne diferencijalne jednadžbe sadrže više od jedne nezavisne varijable ( $x_j$ ) po kojima se deriviraju zavisne varijable. Tipični primjeri problema koji se mogu opisati parcijalnim diferencijalnim jednadžbama su problemi aerodinamike, hidrodinamike i meteorologije. U meteorologiji, se na primjer, opisuju promjene pritiska i temperature (zavisne varijable) u tri prostorne dimenzije i vremenu (nezavisne varijable)<sup>13</sup>.

#### 4.3.2.3. Sustavska dinamika

Sustavska dinamika je simulacija sustava sa povratnom vezom, odnosno sustava u kojima postoji veza između izlaza i ulaza sustava. Povratna veza može biti pozitivna (kada se pojačava rad sustava) ili negativna (kada se rad sustava zagušuje ili stabilizira).

Primjer negativne povratne veze u sustavu skladištenja je kada razina robe (izlazna varijabla) u skladištu padne ispod željene granice, tada logističar (ulazna varijabla) naručuje novu robu za skladište koja će povećati zalihe. Još jedan primjer je i sa termostatom, kada na primjer temperatura (izlazna varijabla) poraste preko neke granice u prostoriji, tada termostat isključuje grijanje (ulazna varijabla), a kada temperatura padne ispod neke granice u prostoriji, tada termostat ponovno uključuje grijanje (slika 13.).

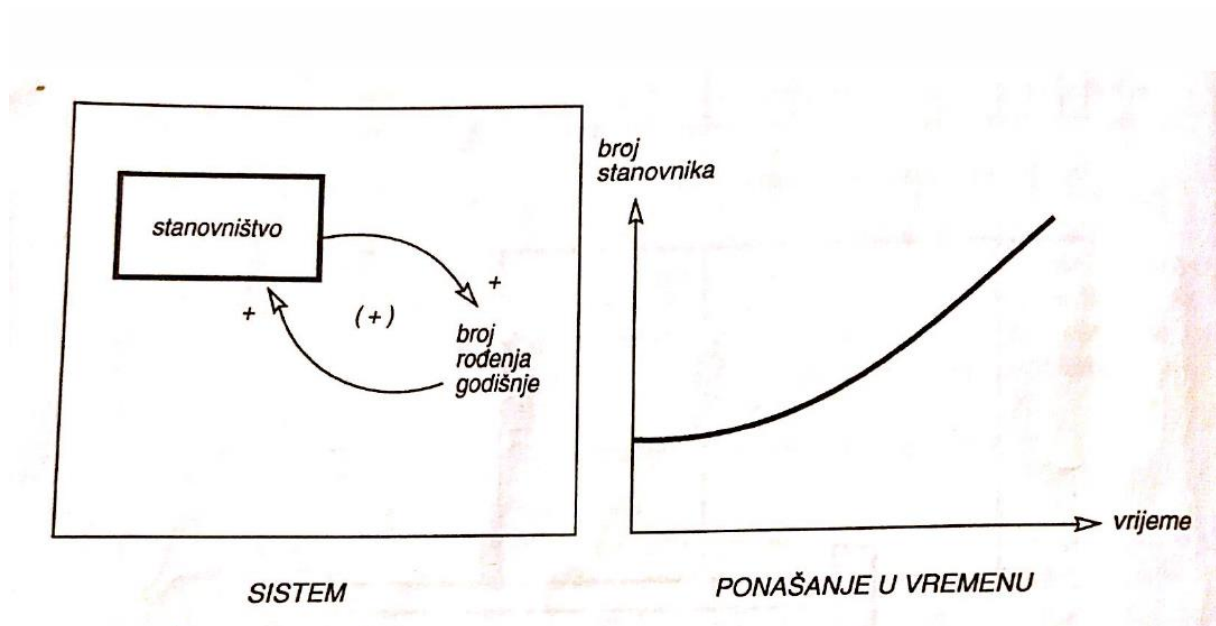


Slika 13. Negativna povratna veza

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

<sup>13</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

Primjer pozitivne povratne veze je na primjer porast broja stanovnika zbog rađanja (slika 14.). Kada ne bi bilo smrtnosti, broj stanovnika bi brzo rastao (ovdje se ne uzimaju u obzir nikakva druga ograničenja za rast broja stanovnika).



Slika 14. Pozitivna povratna veza

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

Modeli sa povratnom vezom se koriste za modeliranje inženjerskih sustava, te bioloških, ekonomskih i društvenih fenomena. Sustavska dinamika prikazuje sustave kao povezane upravljačke petlje<sup>14</sup>.

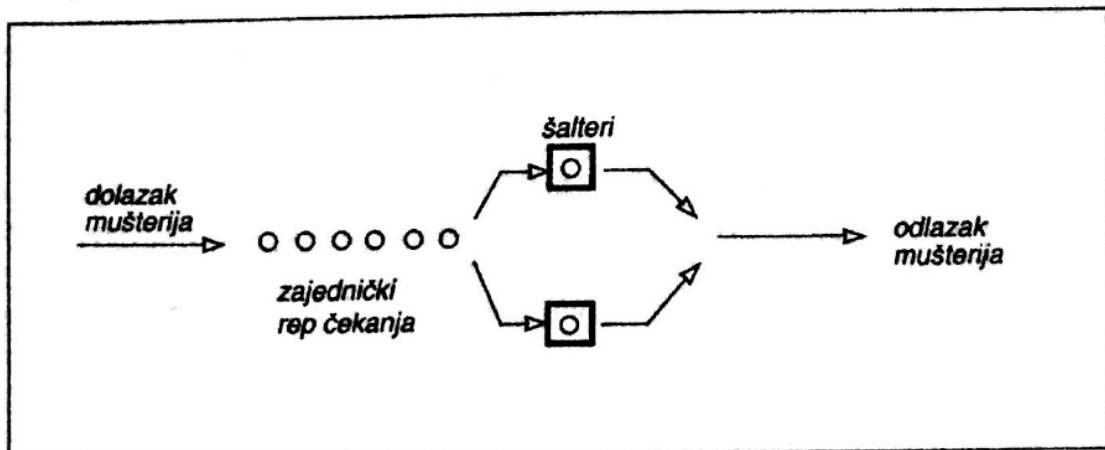
<sup>14</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

### 4.3.3. Simulacija diskretnih događaja

Simulacija diskretnih događaja ima mjesto među veoma detaljnim modelima kontinuiranih simulacija jednostavnih sustava i jako agregiranim modelima sustavske dinamike složenih sustava. Ta metoda omogućuje kombinaciju opisa detalja sustava i složenih međudjelovanja u njemu.

Simulacija diskretnih događaja uključuje modele koji su strukturirane kolekcije objekata. Međudjelovanje objekata u aktivnostima sustava uzrokuje promjene stanja sustava. Te promjene stanja, zvane događaji, dešavaju se u diskretnim (diskontinuiranim) vremenskim trenucima. Ovom se metodom najčešće opisuju sustavi u repovima, odnosno sustavi u kojima dinamički objekti sustava traže posluživanje od ograničene kolekcije resursa (statičkih objekata). Posljedica ograničenja raspoložive količine resursa je stvaranje repova čekanja pred resursima.

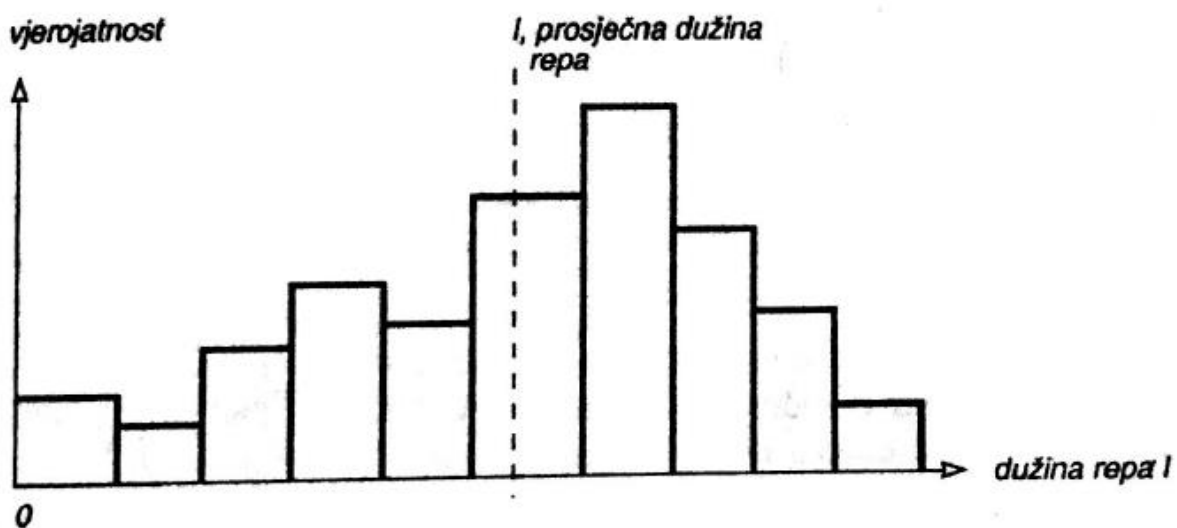
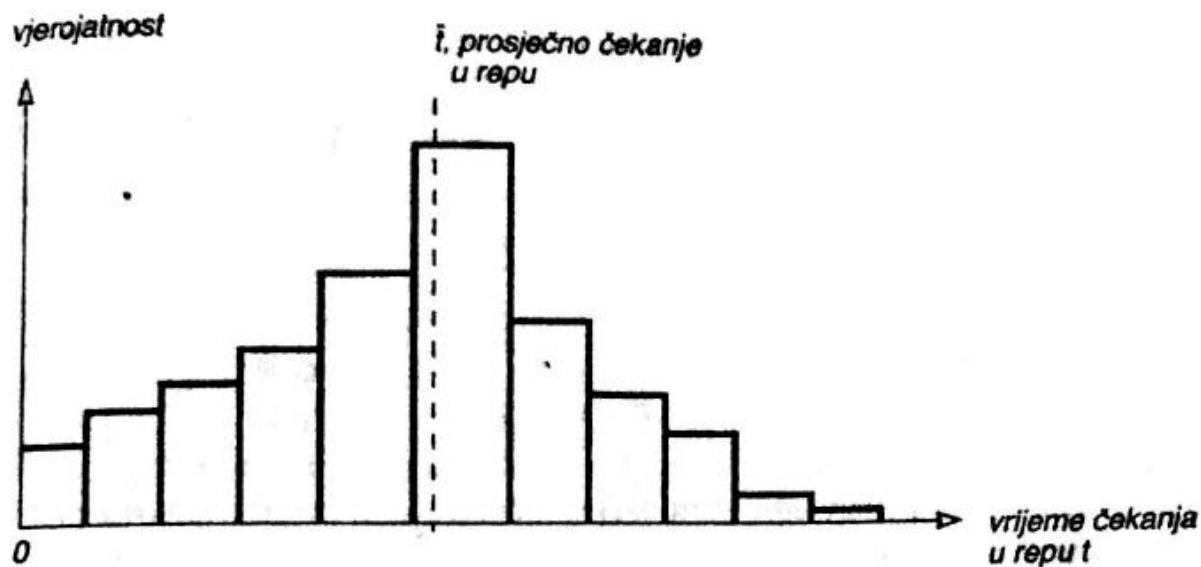
Primjeri primjena simulacije diskretnih događaja su modeli prodavaonica sa samoposluživanjem, aerodromskih zgrada, računalnih mreža, transportnih sustava i proizvodnih procesa. Slika 15. prikazuje primjer jednostavnog sustava sa zajedničkim repom pred dva šaltera u banci, a slika 16. prikazuje primjer vrste izlaznih rezultata simulacije.<sup>15</sup>



Slika 15. Rep posjetitelja u banci

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

<sup>15</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.



Slika 16. Oblik nekih rezultata simulacija repa u banci

Izvor: Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

#### 4.3.4. Kombinirana diskretno-kontinuirana simulacija

Za neke vrste sustava, ni kontinuirana simulacija, ni simulacija diskretnih događaja ne mogu u potpunosti opisati način rada sustava. To su sustavi koji sadrže i procese koji teku kontinuirano i događaje koji dovode do diskontinuiteta u razvoju sustava. Da bi se takvi sustavi modelirali i simulirani, razvijena je kombinirana simulacija koja omogućuje integriranje kontinuiranih i diskretnih elemenata sustava.

Veza među diskretnim i kontinuiranim pristupom postiže se sa dva tipa događaja. Vremenski događaji su događaji koje planira upravljanje događajima, kakvo postoji i u simulaciji diskretnih događaja. Oni mogu trenutačno promijeniti stanje kontinuirane varijable. Događaji stanja su događaji koje aktivira upravljanje pomakom malih vremenskih intervala karakteristično za kontinuirane simulacije. Ti se događaji mogu aktivirati kada kontinuirane varijable zadovolje neke uvjete, na primjer kada vrijednost kontinuirane varijable pređe neku graničnu razinu ili kada vrijednost jedne kontinuirane varijable premaši vrijednost druge kontinuirane varijable. Takvi događaji mogu aktivirati događaje diskretnog dijela modela. Diskretne i kontinuirane varijable mogu međudjelovati na tri načina<sup>16</sup>:

- Diskretni događaj može aktivirati promjenu stanja kontinuirane varijable (na primjer posipanje nekog područja sredstvima protiv komaraca smanjuje populaciju komaraca praktično trenutačno)
- Diskretni događaj može uzrokovati promjenu načina razvoja kontinuirane varijable (na primjer zagađenje ekosustava nekim sredstvom može promijeniti relacije među populacijama različitih vrsta)
- Ako vrijednost kontinuirane varijable prijeđe neki prag, to može uzrokovati dešavanje ili planiranje diskretnih događaja (na primjer u kemijskom procesu koncentracija neke komponente padne ispod neke razine, kemijski proces završava i pokreće se proces čišćenja i održavanja postrojenja).

---

<sup>16</sup> Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

## 4.4. Simulacijski alati

Posljednjih godina prevladava buran razvoj različitih tipova simulacijskog softwera, tako da danas postoji niz različitih simulacijskih alata. Dio tih alata je zastario, a dio se modernizirao i prilagodio novim zahtjevima modelara i korisnika simulacije. Neki simulacijski alati koji se danas koriste su:

- ExtendSim
- FlexSim
- Delmia Quest
- Arena Rockwell

### 4.4.1. ExtendSim

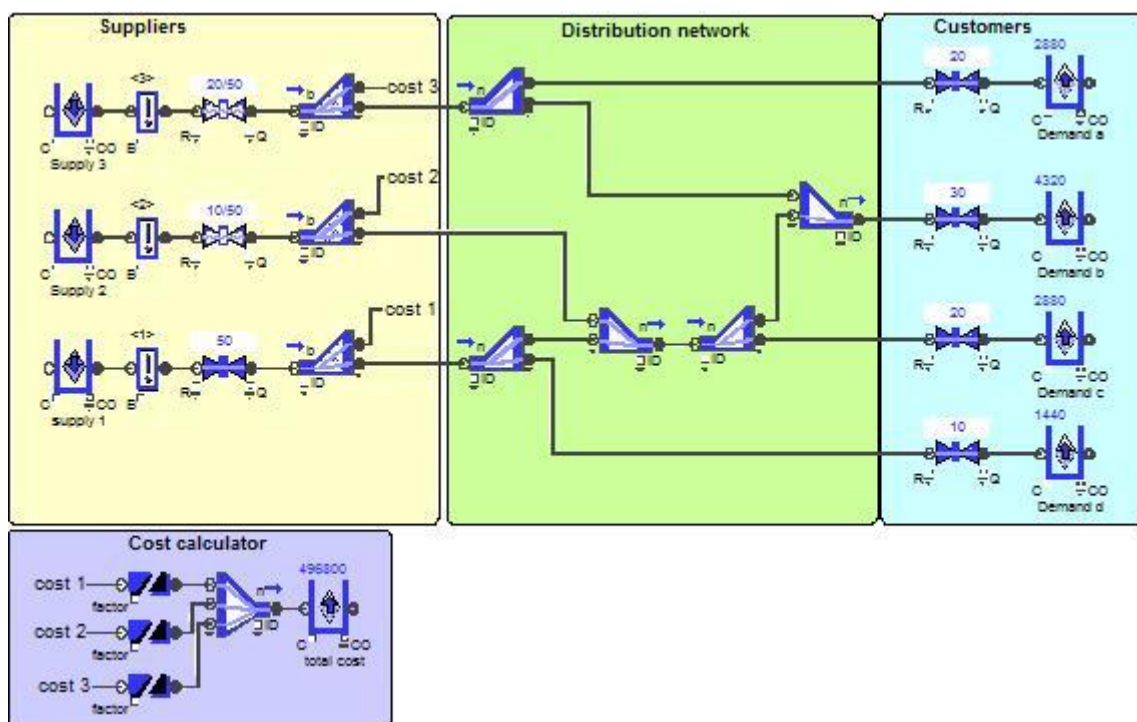
ExtendSim je alat za izradu simulacijskih modela i simuliranje operacijskih procesa. Jednostavan za korištenje, ali iznimno efikasan alat za simuliranje procesa. Pomaže razumijevanju složenih sustava i daje brzo pouzdane rezultate simuliranja. S ExtendSim može se<sup>17</sup>:

- -predvidjeti tijek i rezultate pojedinih akcija
- pretpostaviti i potaknuti kreativno razmišljanje
- -vizualizirajte procese logičnom ili u virtualnom okruženju
- -identificirati problematična područja prije provedbe
- -istražite potencijalne učinke izmjena
- -potvrdi da li su sve varijable poznate
- -optimizirati poslovanje
- -procijeniti ideje i identificirati neučinkovitosti
- -razumjeti zašto promatrani čin odvija
- -predvidjeti u cjelovitosti provedivost svojih planova

---

<sup>17</sup> [https://www.extendsim.com/prods\\_overview.html](https://www.extendsim.com/prods_overview.html) (pristupano 19.7.2017.)

ExtendSim daje cijeli skup blokova koji omogućuju izgradnju modela veoma brzo. Omogućuje simulirajaciju bilo kojeg sustava ili procesa koji ima svoju zastupljenost u logističkim procesima. Ima prilagodljivo grafičko sučelje koje prikazuje odnose blokova u modeliranom sustavu. Podržava nelimitiranu dekompoziciju pri izradi modela što ga čini lako razumljivim. Brza integracija sustava s bazom podataka i dinamičkim sučeljem omogućuje podešavanje postavki dok se simulacija izvodi. Vizualno okruženje nudi 2D i 3D animacije realnog modela za poboljšanu prezentaciju. ExtendSIM je kompatibilan sa mnogim platformama, što dodatno pojednostavljuje njegovu primjenu i korištenje gotovih primjera u drugim aplikacijama. Za primjer moguće je uzeti podlogu nacrt infrastrukture izrađene u AutoCad-u i implementirati ga u ExtendSim-u.



Slika 17. Prikaz izrade simulacijskog modela u ExtendSim simulacijskom alatu

Izvor: <http://simulationsoftware.blogspot.hr/2010/10/bias-blocks-use-in-optimization.html> (pristupljeno 19.7.2017.)



#### 4.4.2. FlexSim

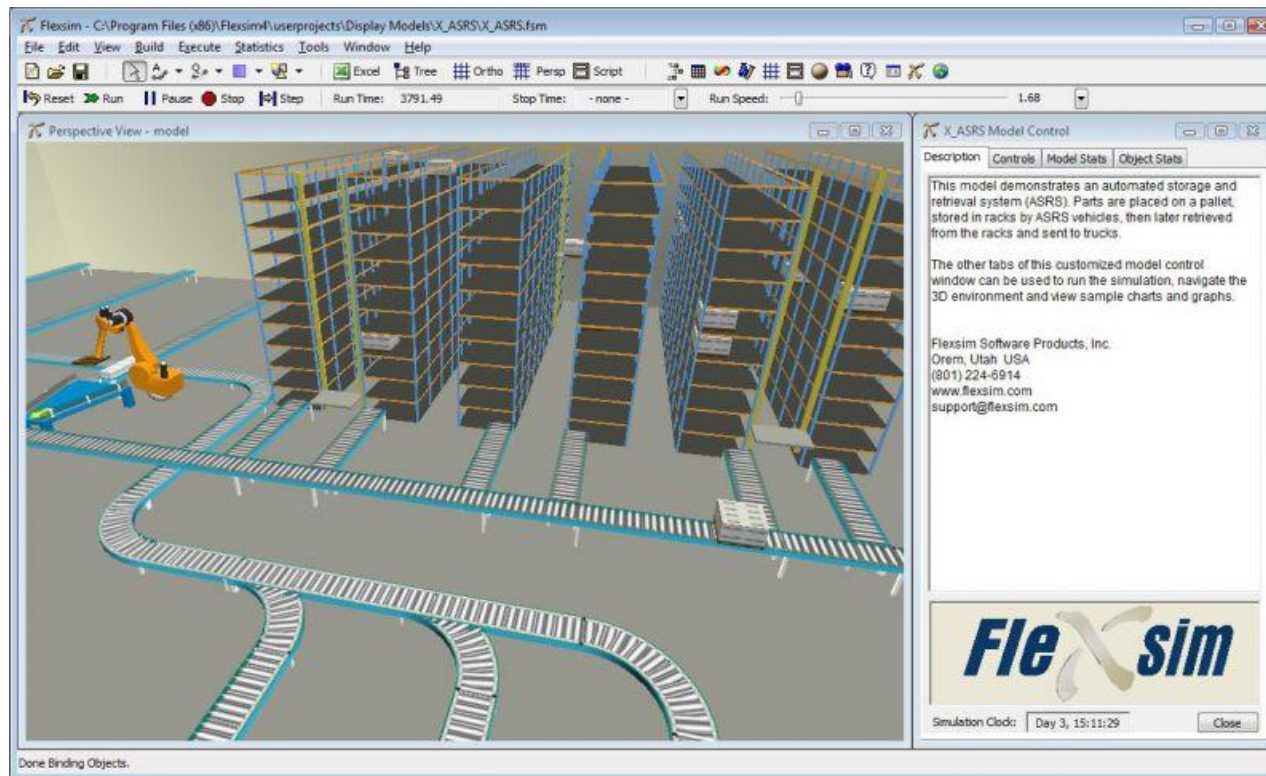
FlexSim je jedan od najnaprednijih alata za modeliranje, analizu, vizualizaciju i optimiziranje bilo kojeg procesa koji se može odvijati u stvarnom vremenu. Pruža izradu modela stvarnog sustava, njegovu simulaciju i proučavanje tog sustava uz manje troškove. Na temelju izvedene simulacije dobivaju se opsežna izvješća o izvedbi, pomoću kojih se mogu identificirati problemi te otkloniti ih izabiranjem optimalnog rješenja u kratkom vremenskom roku. Flexsim koristi okruženje koje ostvaruje u realnom vremenu FlexSim omogućava vrlo jasno i precizno modeliranje od proizvodnje do opskrbnih lanaca, apstraktne primjere na stvarnim sustavima, ali i svega između. Glavne karakteristike FlexSim alata su<sup>18</sup>:

- Vrlo realna vizualizacija procesa u 3D prikazu
- Grafička i statička analiza sustava (jednostavna izrada tablica i grafova)
- Mogućnost predviđanja potrebnih optimizacija u sustavu sa integralnim sučeljem za integralne optimizacije
- Jednostavna primjena
- Mogućnost izrade novih proizvoda koji se lako primjenjuju u FlexSim sustav
- Jednostavna implementacija modela stvorenih sa drugim simulacijskim alatima, te laka integracija sa ostalim programima (Excel)

Primjena simulacijskog alata FlexSim je vrlo široka. Koristi se za prikaz operacija u kontejnerskim terminalima, koordinaciju pomorskog prometa, prikaz prometnog toga na autocestama, simuliranje tokova pješaka u gradovima. Mnoge velike proizvodne tvrtke koriste baš FlexSim za izradu svojih modela. Neki od njih su: Volkswagen, Boeing, Coca-Cola itd. Također osim proizvodnih tvrtki, koriste ih i logističke tvrtke među kojima su: DHL, APM terminal, FedEx i razne druge prijevoznice tvrtke.

---

<sup>18</sup> <https://www.flexsim.com/> (pristupano 19.7.2017.)



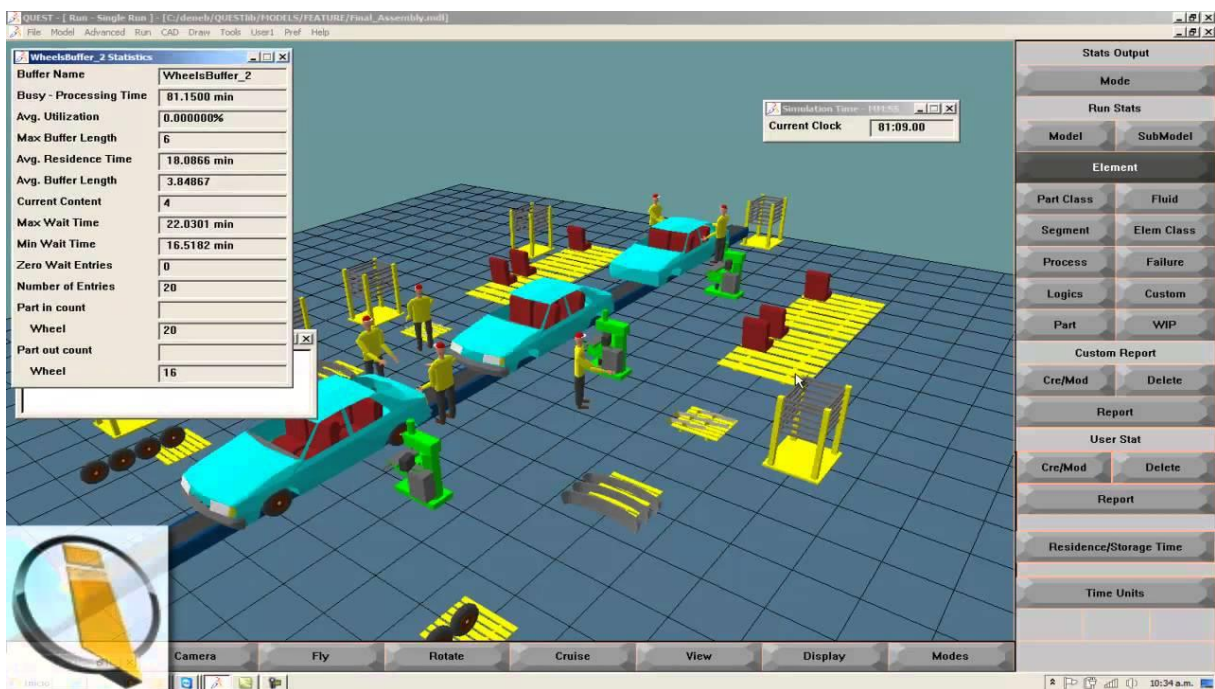
Slika 18. Prikaz simulacijskog alata FlexSim

Izvor: <https://www.ase.ch/files/content/methtech/T%2BM%20Flexsim.jpg> (pristupljeno 19.7.2017.)

### 4.4.3. Delmia Quest

Delmia Quest je simulacijski softver opremljen za stvaranje 3D okruženja i procesiranje simulacijskih tokova i analiziranje. Delmia Quest modeli objedinjuju 2-D i 3-D geometrijske prikaze i stvarnu tvorničku okolinu. Proizvodni centar koji stoji iza ovog alata sadrži predmetno orijentirane podatke za skladištene proizvode, procese i izvore objekata koji su kontrolirani. Rezultat simulacije je moguć numerički i virtualno. Statistički izlazni rezultati su dostupni kroz grafičko korisničko sučelje ili kroz HTML8 i mogu biti pojednostavljeni pomoću XML9 -a. Također omogućuje kreiranje digitalne 3D animacije sustava kojeg se simulira.

Simulacijski alat Delmia Quest je primjenu našao u industrijskom inženjerstvu, ponajviše u proizvodnim pogonima. Koristi se za upravljanje, planiranje i razvoj istih te optimizaciju procesa. Modeliranje u Delmia Quest se temelji na biblioteci ugrađenih komponenta baziranih na objektima u proizvodnom procesu, a kao pomoć se koristi dopunski programski jezik SCL (Simulation Control Language).



Slika 19. Prikaz simulacijskog alata Delmia Quest

Izvor: <https://i.ytimg.com/vi/IDeAqxZAYmA/maxresdefault.jpg> (pristupljeno 19.7.2017.)

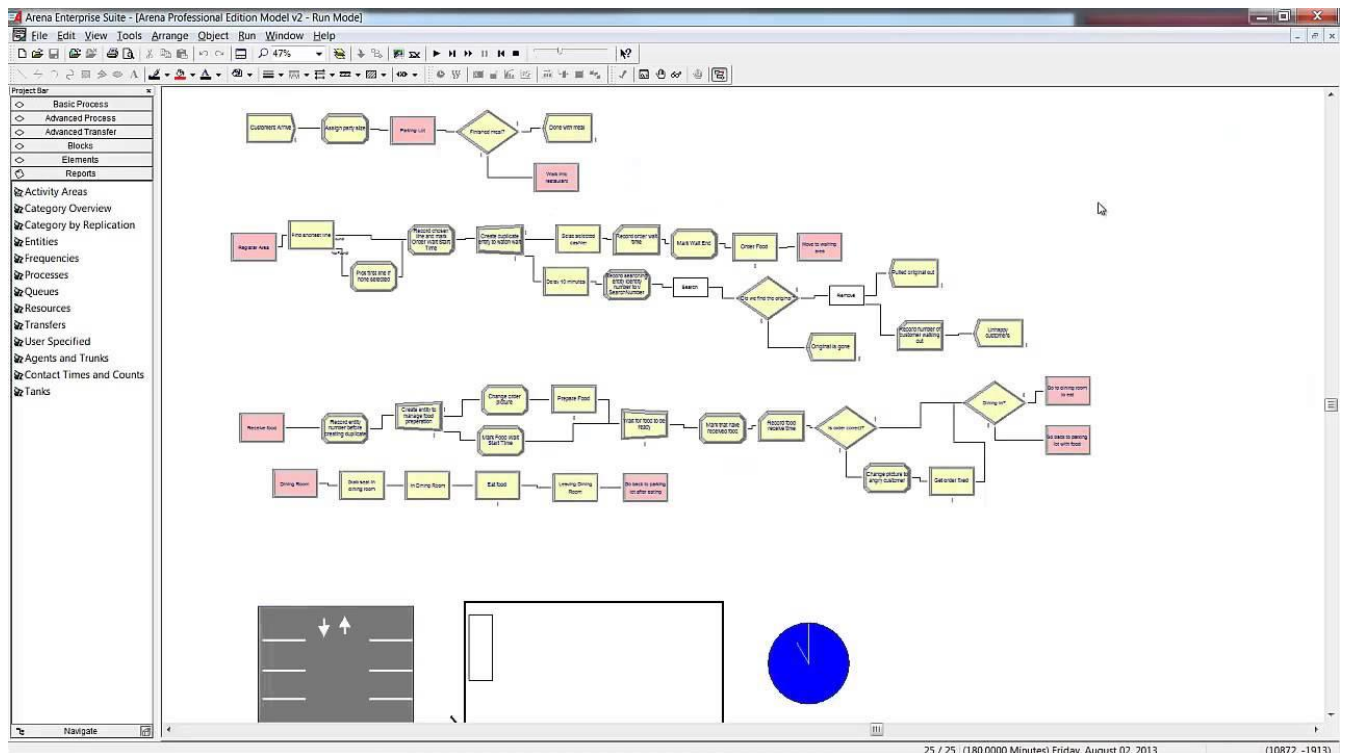
#### 4.4.4. Arena Rockwell

Arena Rockwell je simulacijski alat namjenjen za simulaciju diskretnih i automatiziranih događaja razvijen od strane Systems Modeling 2000. godine. Diskretna simulacija događaja omogućuje brzo analiziranje procesa ili ponašanja sustava tijekom vremena, omogućuje dobivanje odgovora na pitanja "zašto" ili "što ako", i redizajn procesa ili sustava bez ikakvih financijskih implikacija. Za izradu simulacijskih modela koristi SIMAN jezik. Danas Arena softver koriste brojne tvrtke koje se u svom poslovanju bave simulacijama. Neke od njih su: General Motors, UPS, IBM, Nike, Xerox, Lufthansa, Ford Motor Company. Arena je komercijalni alat čiji osnovni model ima cijenu 1850 USD, no u cilju potpore studentima i profesorima Rockwell je izbacio besplatnu inačicu Arena Academic s određenim ograničenim funkcionalnostima.

Sa Arena Rockwell simulacijskim alatom tvrtka može svoje poslovanje modelirati i simulirati kako god želi s ciljem poboljšanja poslovanja. Pruža uvid u mnoge procese unutar tvrtke, simulira buduće karakteristike sustava i omogućuje usporedbu sadašnjeg i budućeg sustava. Takvom usporedbom utvrđuje mogućnosti za poboljšanje. Također pogodan je analitičarima za provođenje analize sustava i omogućuje vizualizaciju rješenja s dinamičnim animacijama. Arena široku primjenu nalazi radi mogućnosti rješavanja brojnih logističkih problema. Prije svega ima mogućnost dijagnosticirati problem te omogućiti rješavanje problema poput pojavljivanja uskog grla, smanjenja vremena isporuke, boljeg upravljanja zalihama i radnim osobljem te kroz sve svoje operacije poboljšati ukupnu profitabilnost cijelog sustava i poboljšati sveukupno poslovanje<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> <https://www.arenasimulation.com/> (pristupano 19.7.2017.)



Slika 20. Pikaz simulacijskog alata Arena Rockwell

Izvor: [https://i.ytimg.com/vi/W\\_9\\_bTn2LZE/maxresdefault.jpg](https://i.ytimg.com/vi/W_9_bTn2LZE/maxresdefault.jpg) (pristupljeno 19.7.2017.)

Postoje osnovne komponente softverskog alata ARENA koje je potrebno poznavati za izgradnju modela, a to su:

- Entiteti su stvari, subjekti, koje prolaze kroz proces koji modeliramo razni tipovi subjekata mogu prolaziti kroz proces ljudi, prijevozna sredstva, proizvodi i dr
- Resursi su subjekti koji obavljaju posao nad entitetima. Kao što može biti više tipova entiteta tako može biti više izvora resursa za rad na jednom objektu, entitetu.
- Atributi su karakteritike koje su zajedničke svim subjektima istog tipa. Entiteti mogu biti različitog tipa, no svaki tip ima određene attribute poput vremena dolaska na posluživanje i trajanje posluživanja. Atributi su važan dio za izradu modela.
- Događaji (Events) su stvari koje se događaju subjektima, entitetima, dok prolaze kroz proces. Najčešći događaji u procesu su dolazak i odlazak entiteta nakon posluživanja.
- Varijable su slične atributima. Razlika je što se one primjenjuju na cijeli proces a ne samo na određen tip subjekta, te se često nazivaju globalne varijable. U većini procesa postoji samo jedna globalna varijabla i ona označava sat koji prati vrijeme simulacije.

#### 4.4.5. Usporedba simulacijskih alata

Navedeni simulacijski modeli su uspoređeni na temelju tablice 1. i tablice 2. Tablica 1. prikazuje usporedbu simulacijskih alata na temelju vrste modeliranja (diskretni ili kontinuirani sustavi), mogućnošću animacije, 3D animacije, te izlazne vizualizacije. Prikaz tablice 2. uspoređuje simulacijske alate na temelju cijene, mogućnosti treninga i konzultacije.

Simulacijski alat	Prikaz troškova	Modeliranje diskretnih i kontinuiranih sustava	2D i 3D animacija	Pregled realnog stanja
Arena Simulation Software	da	da	da	da
Delmia Quest	da	da	da	da
ExtendSim AT	da	da	da	da
ExtendSim OR	da	da	da	da
Flexsim CT	da	da	da	da
Flexsim HC	da		da	da

Tablica 1. Usporedba simulacijskih alata

Izradio autor prema <http://www.orms-today.org/surveys/Simulation/Simulation5.html> (pristupljeno 19.7.2017.)

Simulacijski alat	Služba telefonske pomoći	Forum	Mogućnost poslovnog treninga	„Online“ trening	Mogućnost konzultacije
Arena Simulation Software	da	da	da	da	da
ExtendSim AT	da	da	da	da	da
ExtendSim OR	da	da	da	da	da
Flexsim	da	da	da	da	da
Flexsim CT	da	da	da	da	da
Flexsim HC	da	da	da	da	da

Tablica 2. Usporedba simulacijskih alata

Izradio autor prema <http://www.orms-today.org/surveys/Simulation/Simulation6.html> (pristupljeno 19.7.2017.)



## 5. Primjer simulacije skladišnog procesa

### 5.1. Simulacijski eksperiment

Promatran je proces u tvorničkom skladištu „Priprema proizvoda za otpremu kupcu“ jedne tvornice bijele tehnike. Tvorničko skladište podijeljeno je na dva odjela. Prvi odjel (odjel I) se nalazi neposredno uz tvornicu, dok se drugi odjel (odjel 2) nastavlja na prvi odjel. Proizvodi se proizvode u dva proizvodna pogona tvornice na različitim lokacijama (lokacija A i lokacija B). Otprema kupcima radi se sa lokacije A.

Proizvod iz proizvodnog pogona na lokaciji A u tvorničko skladište dolaze pokretnom trakom. Učestalost dolazaka proizvoda je opisana distribucijom  $NORM(10,1)$  u minutama. Na traci se pojavljuju četiri proizvoda odjednom. U samoj proizvodnji često sam završetak sklapanja nije kompletan te kompletiranje proizvoda vrše radnici u skladištu.

Na samom ulasku u tvorničko skladište jedan radnik KONTROLOR pregledava proizvode i odlučuje gdje će poslati proizvod na doradu. Po proizvodu mu je potrebno 40 sekundi da odluči kamo poslati proizvod. Ima tri moguća izbora:

- U 70% slučajeva potrebno je na proizvod: postaviti metalnu ploču, pričvrstiti je šarafima, osigurati plastičnom zaštitom, zalijepiti deklaraciju
- U 20% slučajeva potrebno je samo postaviti plastičnu zaštitu na proizvod i zalijepiti deklaraciju
- dok je u 10% slučajeva proizvod je potpuno ispravan i ima ispravnu deklaraciju.

Doradu proizvoda obavljaju radnici SKLADISTAR. Doradu obavlja isti radnik cijelim putem od početka do kraja. Potrebno vrijeme dorade proizvoda je iskazano tablicom 3. Nakon što je proizvod doraden ide na ponovnu kontrolu. KONTROLOR za ponovnu kontrolu po proizvodu utroši 100 do 150 sekundi. Nakon ponovne kontrole 1 od 200 proizvoda se označi kao škart i odvaja se sa strane dok se ostali stavljaju na palete i šalju u drugi odjel skladišta. Proizvod na paletu postavlja SKLADIŠTAR i viličarem vozi u predviđenu zonu u drugom dijelu skladišta nakon čega se taj radnik vraća u prvi dio skladišta. Veoma je bitno da se gotovi proizvodi čim prije prevezu u drugi dio skladišta. Ukupno vrijeme potrebno da se vrati se kreće između jedne i tri minute, a najčešće je to jedna minuta i 45 sekundi. (aktivnosti "paletizacija vilicarom", "umatanje u foliju..." i "prijevoz u zonu otpreme" umjesto Medium Priority postaviti će se na High Priority).

U drugom odjelu skladišta, koje se koristi za „cross-dock“ operacije, proizvod se zamata u zaštitnu foliju i pričvršćuje se za paletu kako ne bi došlo do pomicanja proizvoda s palete prilikom prijevoza. Zamatanje se obavlja strojno, ali ga kontrolira skladištar iz drugog odjela. Potrebno vrijeme za zamatanje se kreće od 45 do 55 sekundi, a stabilizacija proizvoda na paletu zahtjeva dvije minute. Kada je paleta spremna za prijevoz, skladištar je odlaže u zonu za otpremu.

Osim paleta iz prvog odjela skladišta, u drugi odjel skladišta, svaki dan pristignu četiri kamiona s gotovim proizvodima iz drugog proizvodnog pogona s lokacije B. Na svakom kamionu se uvijek nalazi točno 12 paleta s proizvodima. Palete iz druge tvornice su umotane i osigurane od oštećenja. Tek jedna od četrdeset i osam paleta zahtjeva ponovno omatanje i pričvršćivanje proizvoda za paletu. Ostale palete koje su ispravne se odlažu u zonu za otprem robe. Vrijeme potrebno za odlaganje paleta pristiglih s lokacije B u zonu za otprem se razlikuje: 40-60 sekundi za palete koje je potrebno omotati i učvrstiti te 30 sekundu za palete koje su bile su u ispravnom stanju. Budući da kamionska pošilje pristize na početku radnog dana i neće se ponoviti do idućega dana, pošiljke koje pristizu iz prvog dijela skladište i potrebno im je omatanje i stabilizacija za paletu imaju prednost nad pristiglim pošiljkama.

U prvom odjelu skladišta su zaposlena dva kontrolora i četiri skladišna radnika, a u drugom odjelu su zaposlena dva skladišna radnika.



	A	B	C	D	E
1	Br. Mj.	Postavljanje metalne ploče	Pričvršćivanje šarafima	Zaštita plastikom	Lijepljenje deklaracije (sekunda)
2	1	0:09:05	0:03:57	0:01:37	15
3	2	0:08:21	0:03:47	0:01:18	12
4	3	0:07:36	0:03:40	0:01:18	11
5	4	0:06:05	0:03:34	0:01:02	10
6	5	0:06:03	0:03:33	0:00:59	10
7	6	0:05:25	0:03:33	0:02:02	11
8	7	0:05:17	0:03:30	0:02:00	12
9	8	0:05:15	0:03:24	0:01:16	15
10	9	0:05:05	0:03:23	0:01:43	12
11	10	0:05:00	0:03:22	0:02:10	13
12	11	0:04:59	0:03:24	0:01:01	10
13	12	0:04:57	0:03:23	0:03:00	10
14	13	0:04:53	0:03:23	0:03:00	11
15	14	0:04:51	0:03:22	0:02:00	14
16	15	0:04:50	0:03:15	0:01:50	14
17	16	0:08:21	0:03:10	0:01:40	13
18	17	0:07:36	0:03:10	0:01:30	16
19	18	0:06:05	0:03:04	0:01:20	12
20	19	0:04:30	0:03:04	0:01:19	11
21	20	0:04:27	0:03:04	0:01:15	12
22	21	0:09:05	0:03:03	0:01:14	12
23	22	0:07:36	0:03:03	0:02:14	13
24	23	0:06:05	0:03:03	0:01:58	15
25	24	0:05:25	0:03:02	0:01:44	10
26	25	0:05:17	0:03:00	0:01:14	12
27	26	0:05:15	0:03:00	0:01:38	10
28	27	0:05:05	0:02:50	0:01:29	15
29	28	0:07:36	0:02:50	0:01:28	14
30	29	0:06:05	0:02:48	0:00:53	14
31	30	0:06:03	0:04:08	0:02:51	12
32	31	0:05:25	0:03:57	0:03:00	11
33	32	0:05:17	0:03:47	0:01:23	12
34	33	0:05:15	0:03:40	0:01:05	11
35	34	0:05:05	0:03:34	0:01:09	11
36	35	0:05:00	0:03:33	0:03:34	13
37	36	0:04:59	0:03:33	0:02:35	10
38	37	0:04:08	0:03:30	0:02:10	12

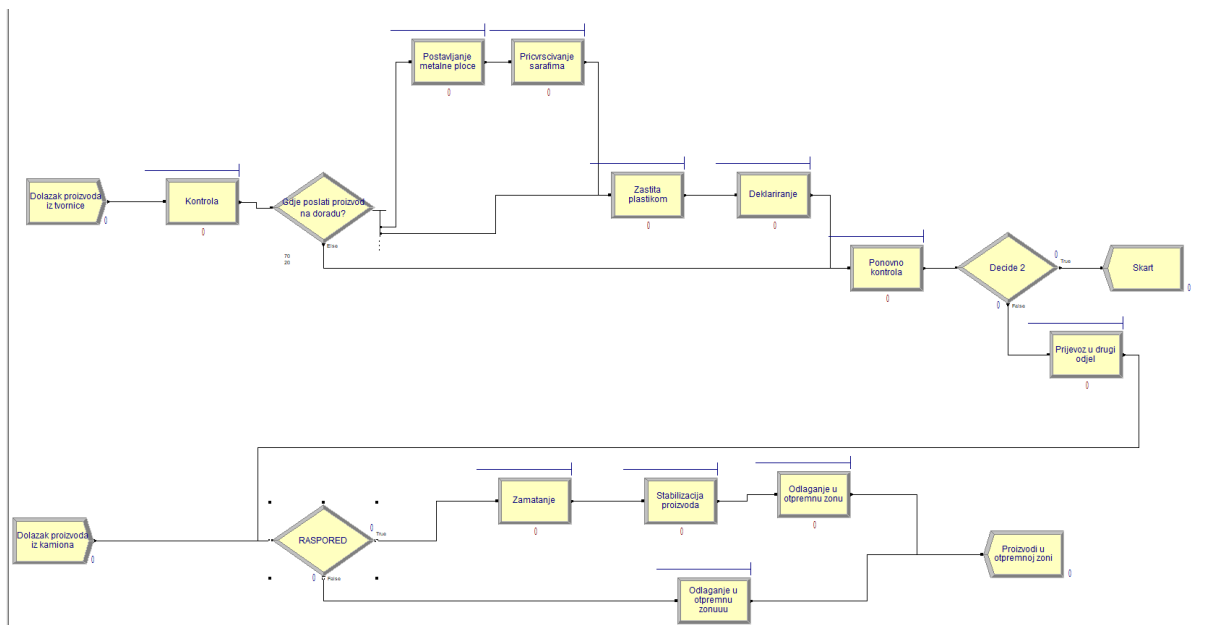
Tablica 3. Izmjerena vremena potrebna jednom radniku za obavljanje pojedine dorade

Izvor: Izradio autor

## 5.2. Postupak izvođenja simulacijskog eksperimenta

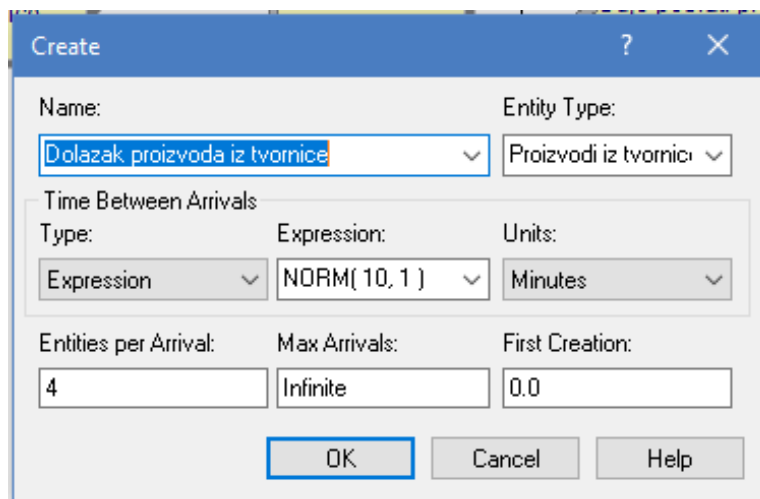
Prema slici 21. vidi se cijeli primjer simulacijskog zadatka. Simulacijski zadatak je podjeljen u dva odjela (dva create modula). Prvi odjel predstavlja dolazak proizvoda iz tvornice, a drugi odjel predstavlja dolazak proizvoda iz kamiona i iz prvog odjela skladišta.

U prvom odjelu, create modul opisuje koliko proizvoda na traci dolazi u jednom dolasku i po kojoj razdiobi. Kako slika 22. prikazuje, na traci se pojavljuju 4 proizvoda od jednom prema normalnoj razdiobi  $N(10,1)$  u minutama. Broj 10 prikazuje očekivanje, a broj 1 prikazuje standardnu devijaciju.



Slika 21. Prikaz simulacijskog zadatka u simulacijskom alatu Arena Rockwell

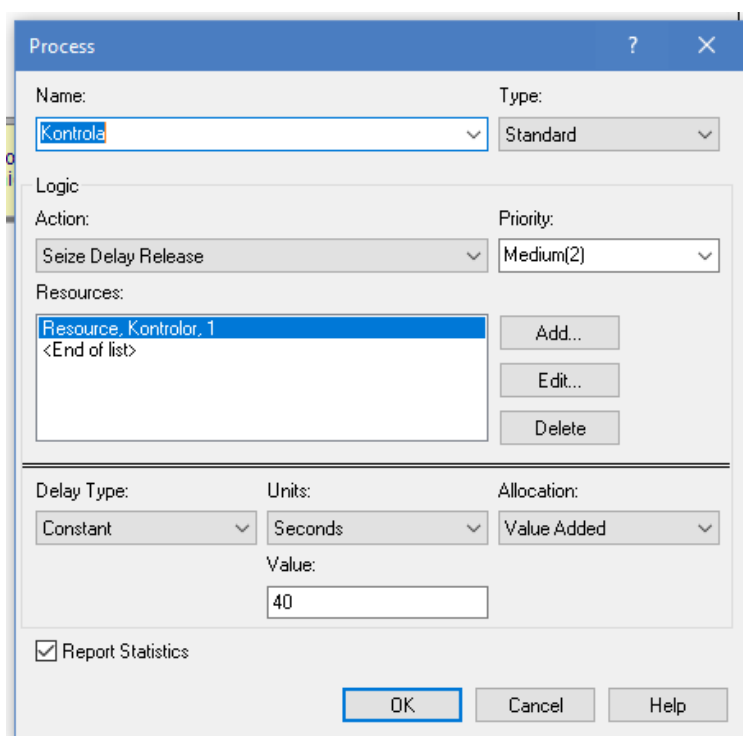
Izvor: Izradio autor



Slika 22. Dolazak proizvoda iz tvornice na traci

Izvor: Izrario autor

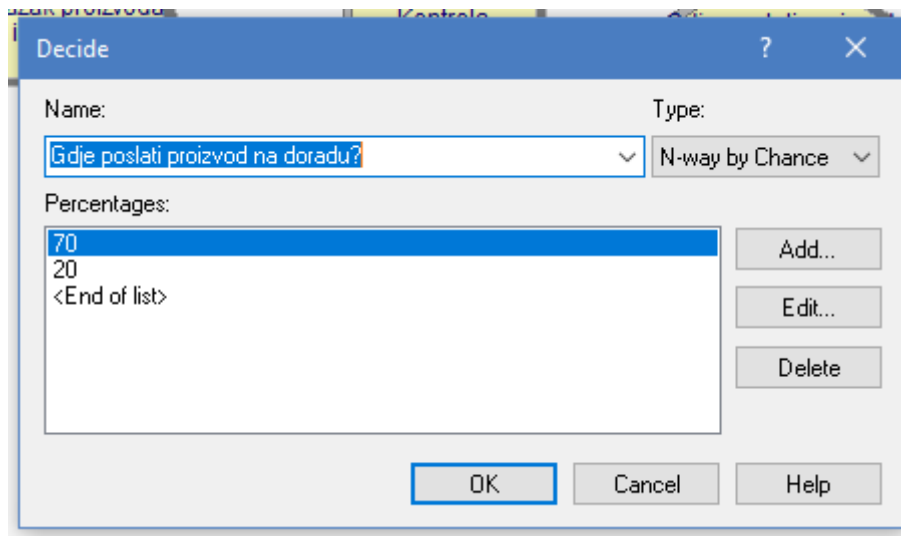
Sljedeći modul do create modula je proces nazvan 'Kontrola', kao što mu i sam naziv govori, u ovom procesu se vrši kontrola proizvoda koji stižu na traci, a vrši ih jedan kontrolor (resurs) i potrebno mu je 40 sekundi da odluči gdje poslati proizvod na doradu (slika 23.).



Slika 23. Kontrola

Izvor: Izrario autor

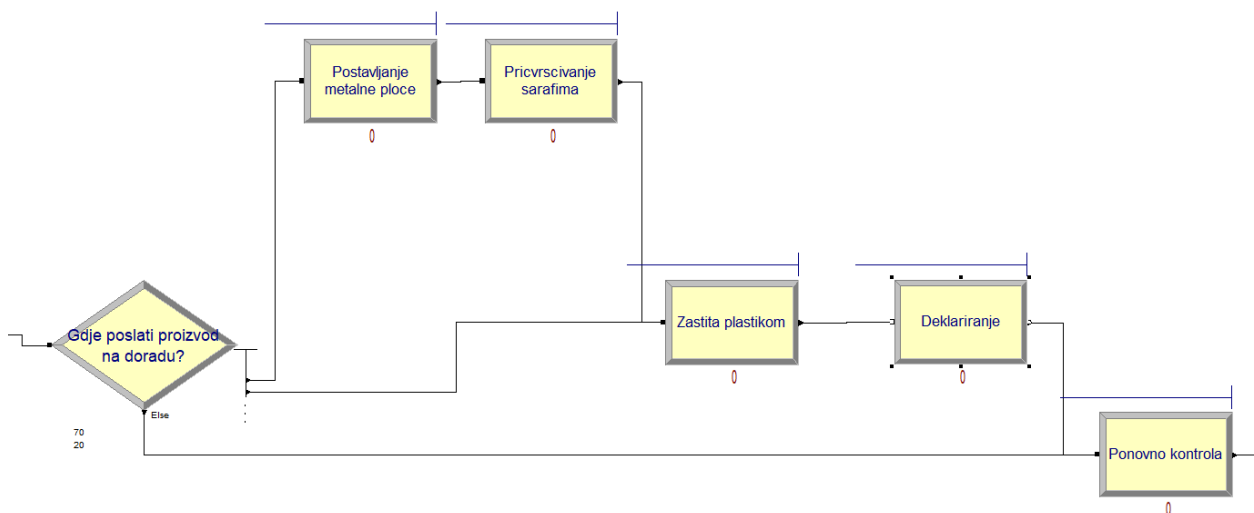
Decide modul pod nazivom 'Gdje poslati proizvod na doradu?', koji slijedi nakon kontrole, predstavlja odluku kontrolora gdje će poslati proizvod na doradu. Kao što se vidi na slici 24., postoje 3 vjerojatnosti. Prva vjerojatnost je 70% da će biti potrebno postaviti metalnu ploču, pričvrstiti je šarafima, osigurati plastičnom zaštitom, zalijepiti deklaraciju. Druga vjerojatnost je 20 % da će biti potrebno samo postaviti plastičnu zaštitu na proizvod i zalijepiti deklaraciju, dok je treća vjerojatnost 10 % da će proizvod biti potpuno ispravan i imati ispravnu deklaraciju.



Slika 24. Odluka gdje poslati proizvod

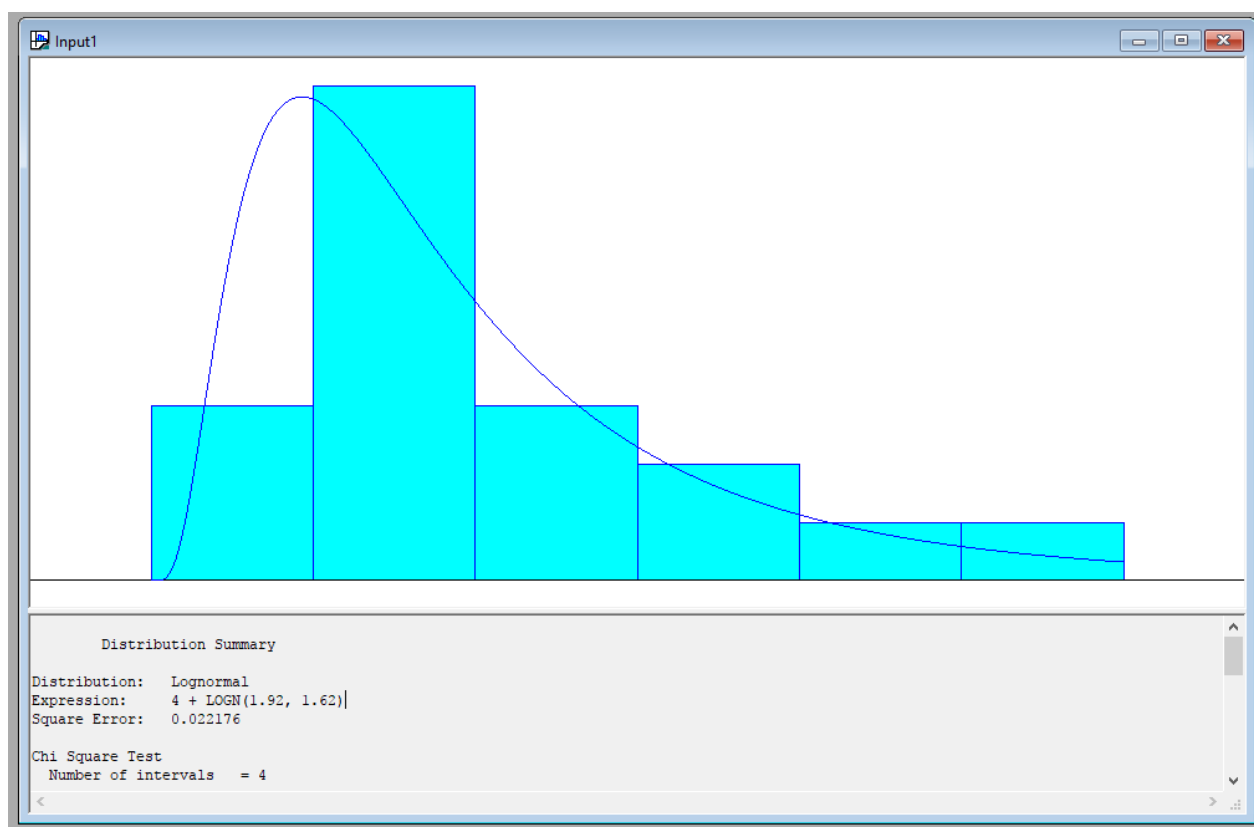
Izvor: Izrario autor

Nakon postavljanja postavki decide modula, postavljaju se određeni moduli procesa koji odgovaraju vjerojatnostima postavljenima u decide modulu, kao što je prikazano na slici 25. Ova četiri procesa obavlja jedan skladištar po tablici koja je zadana u primjeru na slici 21. Vidi se kako svaki stupac prikazuje vrijeme obavljanja svakog procesa. Potrebno je odrediti kojom se razdiobom ponašaju ta vremena za svaki proces, a to se postiže pomoću alata u Areni koji se naziva 'Input analyzer'. To se vrši tako da se vremena svakog procesa pretvore u decimalni oblik, te se ti podaci spremaju kao .text-MS dos datoteka. Zatim se ta datoteka unosi u input analyzer koji određuje kojom se razdiobom ponašaju (pod 'Expression' piše o kojoj se razdiobi radi). Na slici 26. je prikazana razdioba vremena postavljanja metalne ploče u alatu input analyzer-a. Za ostala tri procesa, postupak je identičan kao i sa prvim procesom postavljanja metalne ploče.



Slika 25. Prikaz procesa po određenim vjerojatnostima

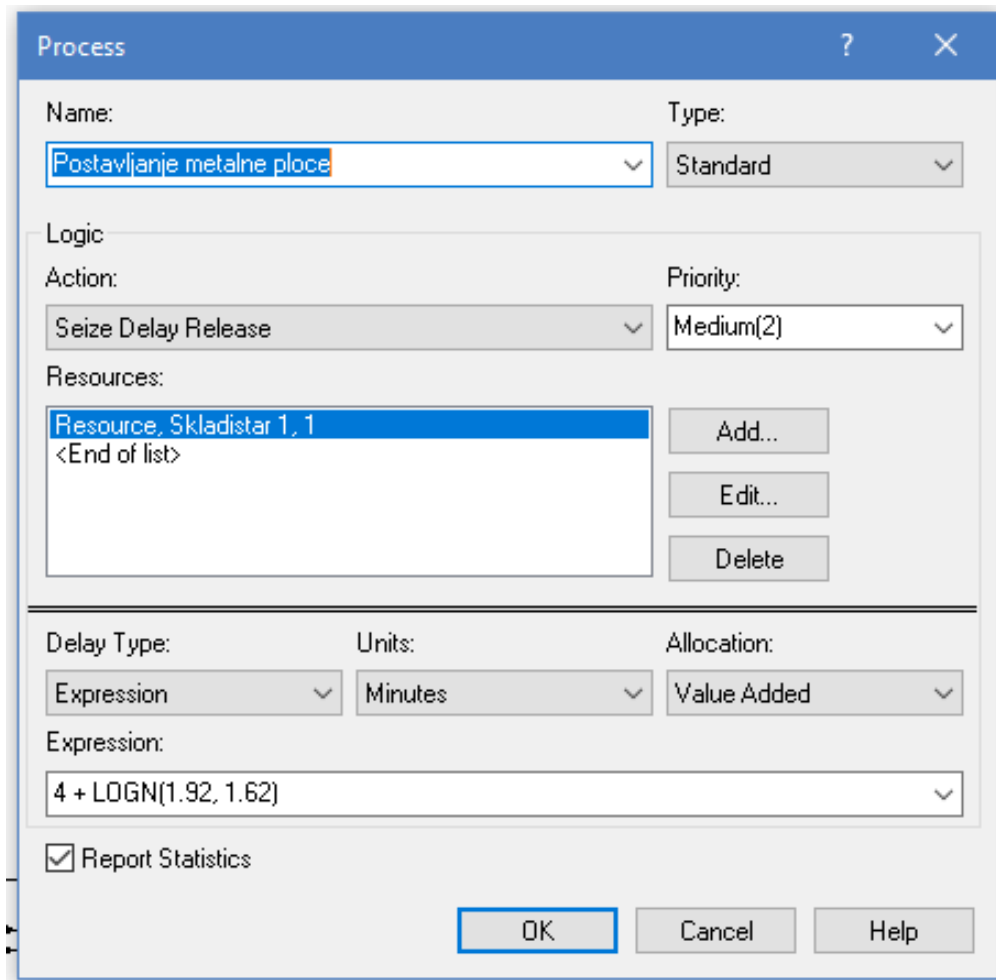
Izvor: Izradio autor



Slika 26. Razdioba vremena postavljanja metalne ploče

Izvor: Izradio autor

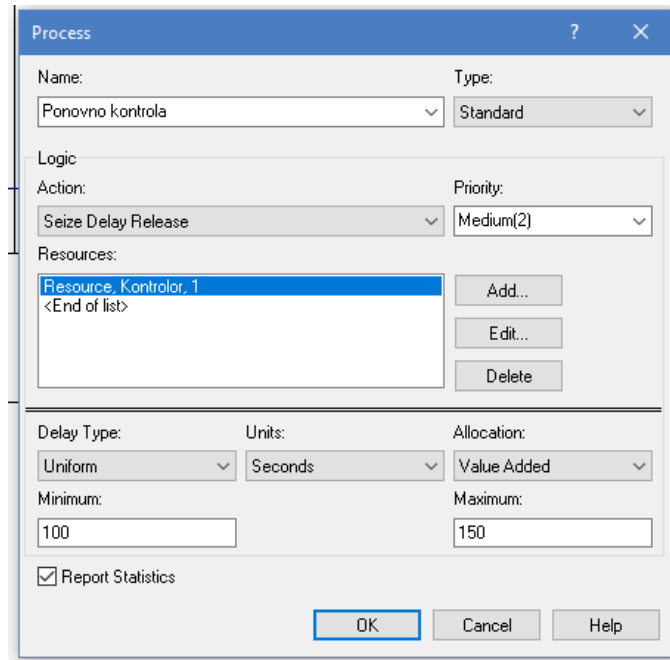
Svaki od četiri procesa obavlja jedan skladištar po određenim razdiobama kako je input analyzer odredio, a postavke jednog od ta četiri procesa (postavljanje metalne ploče) prikazani su na slici 27. Ostala tri procesa imaju iste postavke, osim izraza razdiobe vremena (expression).



Slika 27. Postavke procesa postavljanja metalne ploče

Izvor: Izradio autor

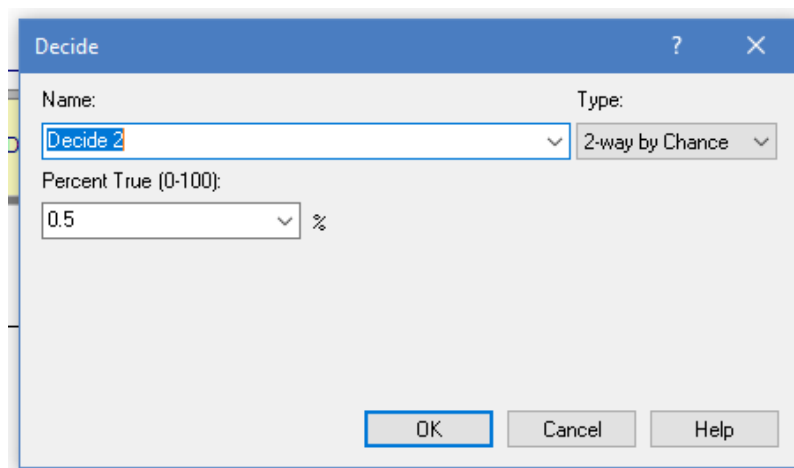
Nakon dorade proizvoda, slijedi proces ponovne kontrole koju obavlja drugi kontrolor, no njemu je ovaj put potrebno 100 do 150 sekundi (slika 28.).



Slika 28. Postavke procesa 'Ponovno kontrola'

Izvor: Izradio autor

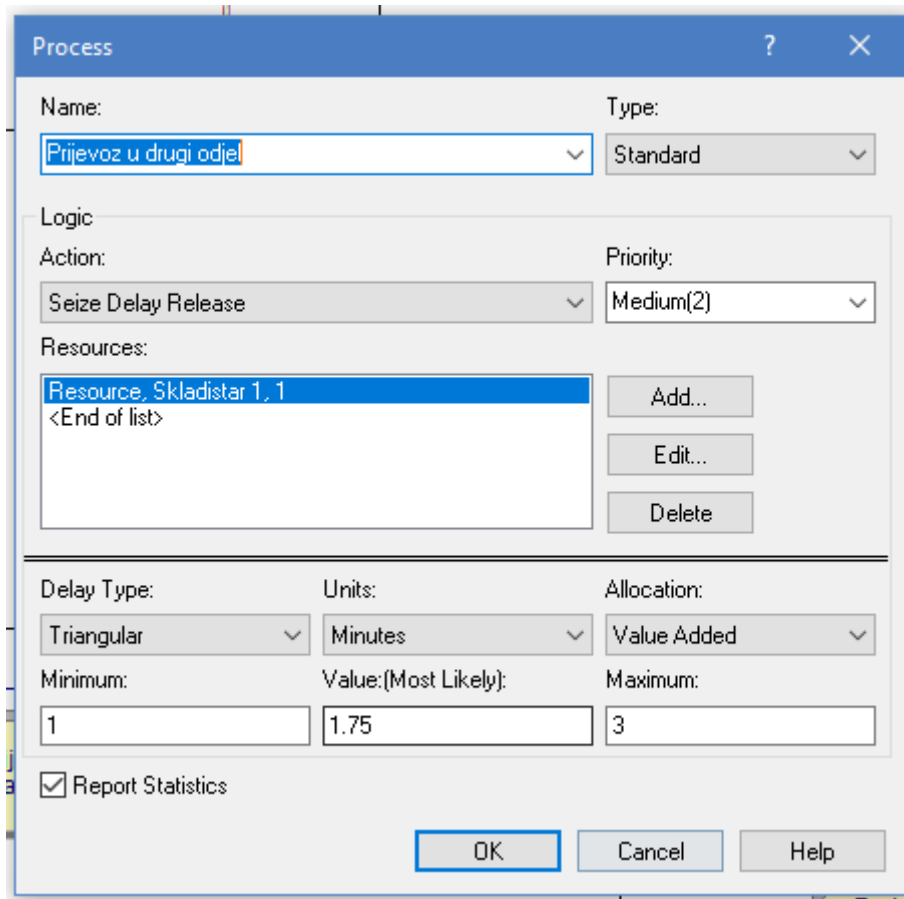
Nakon ponovne kontrole, dispose modulom odlučuje se gdje se proizvod šalje. Poznato je da 1 od 200 proizvoda nije prošlo kontrolu, odnosno takvi proizvodi odlaze u škart (dispose modul). Kada se podijeli 1 sa 200, tada se dobiva vjerojatnost da će proizvod biti poslan u škart, koja iznosi 0,5%. Postavke modula decide pod nazivom 'Decide 2' prikazane su na slici 29.



Slika 29. Postavke decide modula 'Decide 2'

Izvor: Izradio autor

Nakon što proizvod prođe ponovnu kontrolu, tada se proizvod prevozi u drugi odjel (process modul pod nazivom 'Prijevoz u drugi odjel'), a prijevoz vrši jedan skladištar iz prvog odjela i potrebno mu je između jedne i tri minute, no većinom puta obavi prijevoz za 1 minutu i 45 sekundi. Na slici 30. su prikazane postavke navedenog procesa.

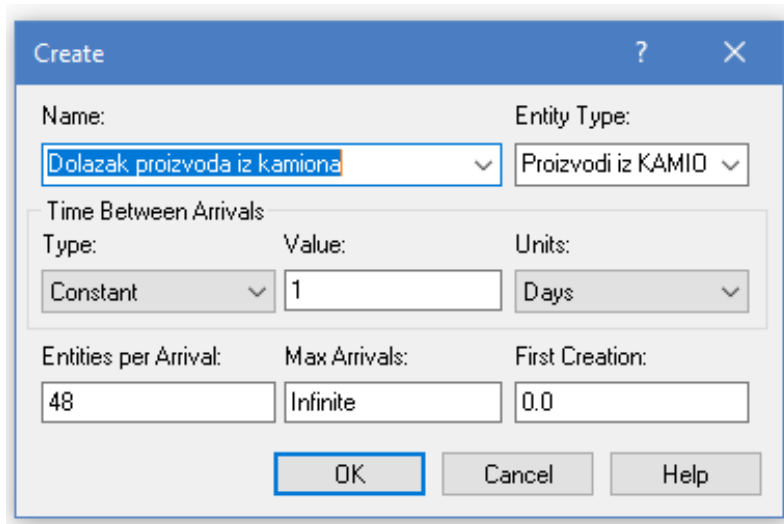


Slika 30. Postavke process modula 'Prijevoz u drugi odjel'

Izvor: izradio autor

U drugom odjelu svaki dan stižu četiri kamiona sa 12 paleta proizvoda. Analogno tome postavlja se još jedan create modul koji je nazvan 'Dolazak proizvoda iz kamiona'. Postavke unutar tog modula prikazane su na slici 31.

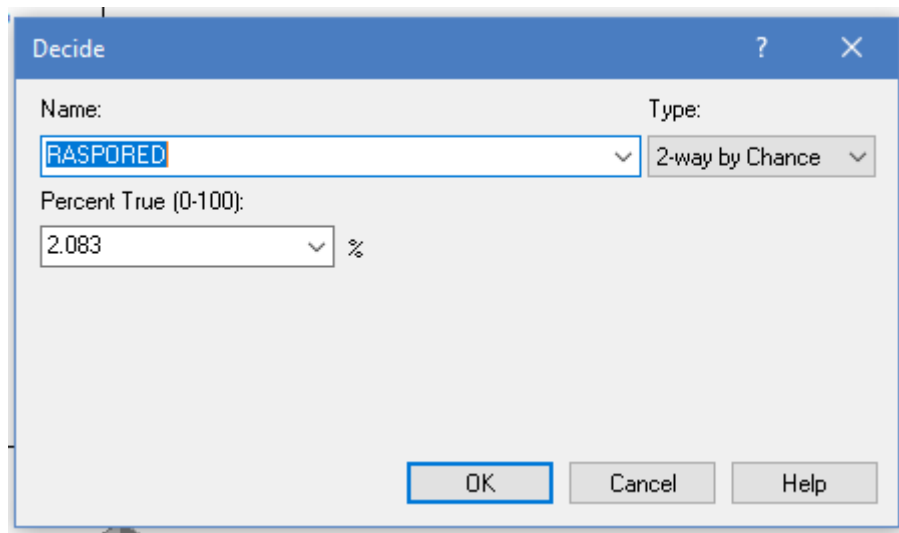




Slika 31. Postavke create modula 'Dolazak proizvoda iz kamiona'

Izvor: Izradio autor

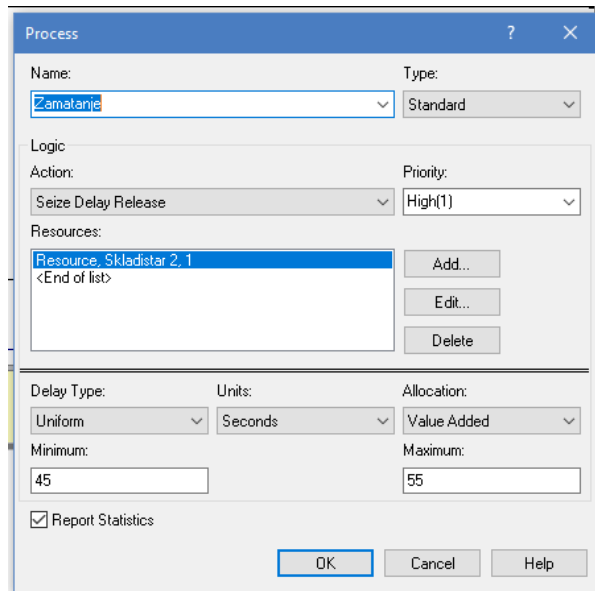
Nakon pristizanja kamiona sa proizvodima, za 1 paletu od 48 paleta je potrebno ponovno dorađivati, odnosno ponovno zamatati i stabilizirati. Kada se 1 podijeli sa 48, dobije se vjerojatnost od 2,083 %. Zato je nakon create modula postavljen decide modul pod nazivom 'RASPORED', sa postavkama kao na slici 32.



Slika 32. Postavke decide modula 'RASPORED'

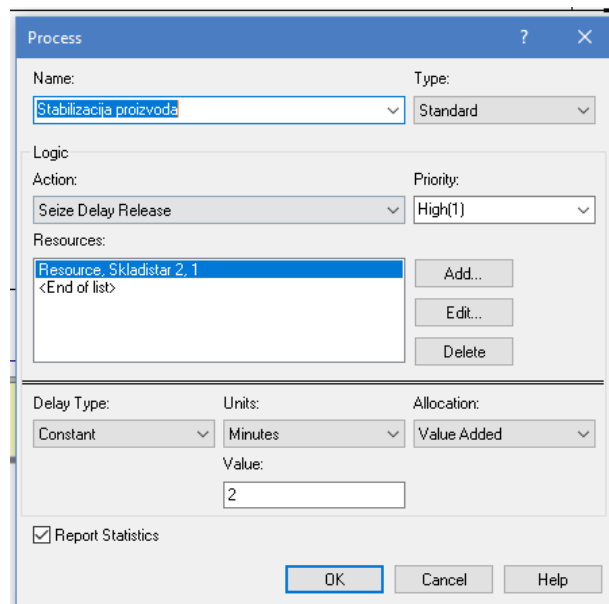
Izvor: Izradio autor

One palete kojima je potrebna ponovna dorada, šalju se na zamatanje i stabilizaciju proizvoda, te se odlažu u otpremnu zonu. One palete kojima nije potrebna dorada, izravno se odlažu u otpremnu zonu. Proces zamatanja obavlja jedan skladištar iz drugog odjela, te mu je potrebno 45 do 55 sekundi (postavke procesa vidljive su na slici 33.), a proces stabilizacije proizvoda vrši drugi skladištar, te mu je za to potrebno točno dvije minute (vidljivo na slici 34.).



Slika 33. Postavke process modula 'Zamatanje'

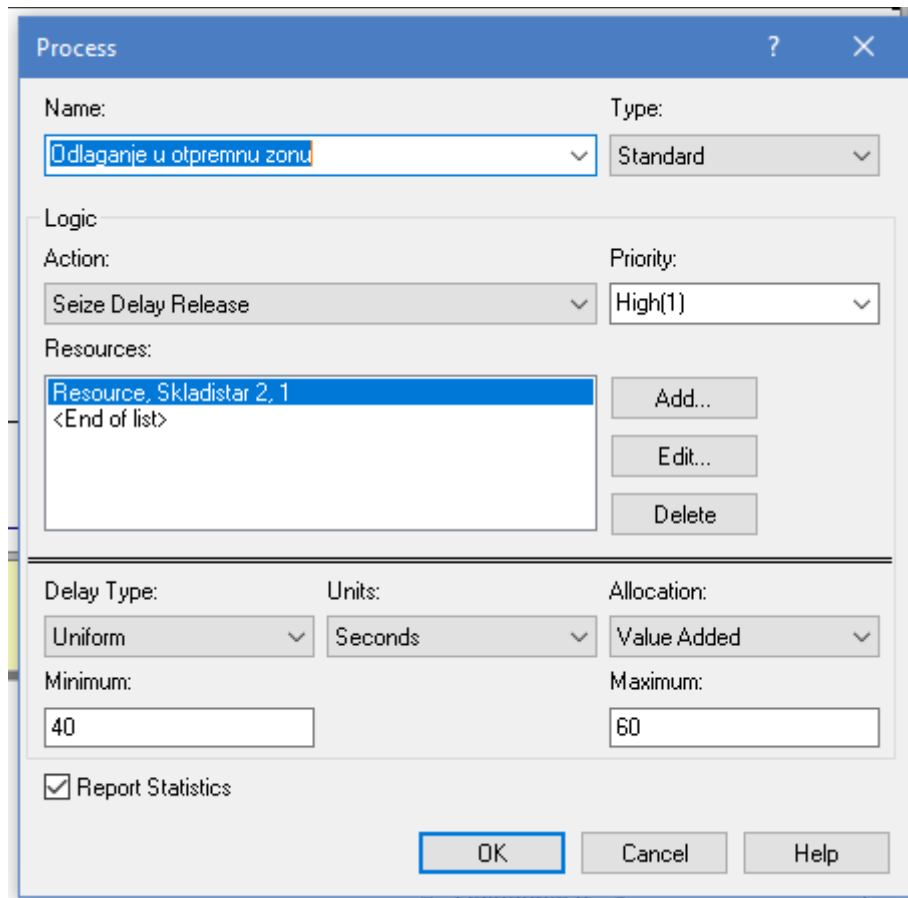
Izvor: Izradio autor



Slika 34. Postavke process modula 'Stabilizacija proizvoda'

Izvor: Izradio autor

Odlaganje u otpremnu zonu vrši jedan od skladištara sa drugog odjela i potrebno mu je 40 do 60 sekundi. Tako je napravljen još jedan process modul pod nazivom 'Odlaganje u otpremnu zonu' sa određenim postavkama (slika 35.).



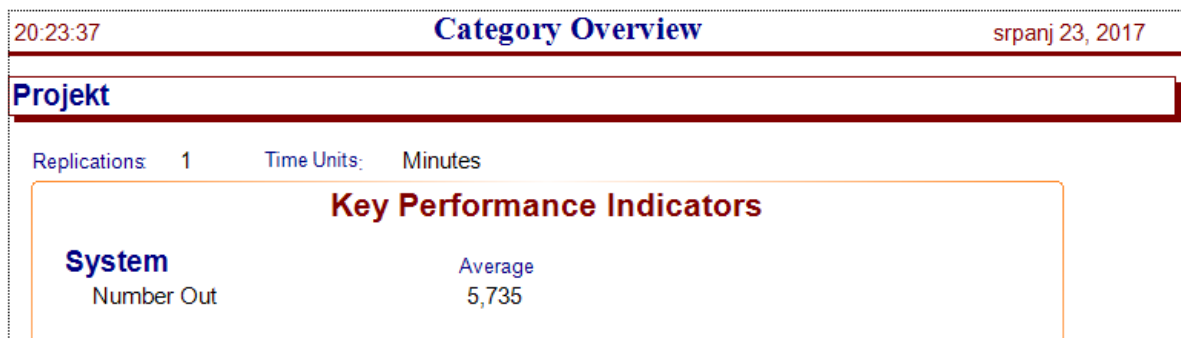
Slika 35. Postavke process modula 'Odlaganje u otpremnu zonu'

Izvor: Izradio autor

Na kraju se nalazi dispose modul pod nazivom 'Proizvodi u otpremnoj zoni'.

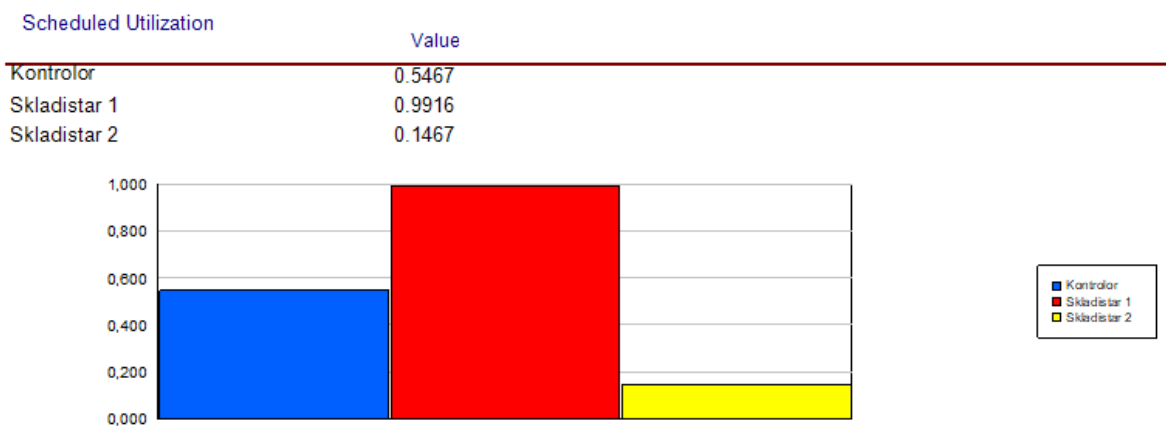
### 5.3. Dobiveni rezultati simulacijskog eksperimenta

Nakon validacije simulacijskog modela, provedena je simulacija u trajanju od 30 dana sa radnim vremenom od 6 sati. Kao osnovni parametri za razmatranje rezultata simulacije, uzeti će se broj entiteta na izlazu (Number Out), kao što prikazuje slika 36. Zatim će se razmatrati iskorištenost kapaciteta, odnosno radnika (Resource) na slici 37. Kao dodatni parametri, u svrhu optimizacije skladišnog sustava, razmatrati će se i red čekanja (Queue) koji je prikazan na slici 38.



Slika 36. Broj entiteta na izlazu

Izvor: Izradio autor



Slika 37. Iskorištenost radnika

Izvor: Izradio autor

Replications: 1      Time Units: Minutes

## Queue

### Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Deklariranje.Queue	10.4328	(Correlated)	0.00	30.4708
Kontrola.Queue	0.8195	0,066248945	0.00	6.7047
Odlaganje u otpremnu zonu.Queue	0.3250	(Insufficient)	0.00	11.6171
Odlaganje u otpremnu zonu.Queue	1.6885	(Correlated)	0.00	12.0128
Ponovno kontrola.Queue	0.6598	0,059282711	0.00	6.8143
Postavljanje metalne ploce.Queue	9.5042	(Correlated)	0.00	29.1766
Pricvrscivanje sarafima.Queue	9.9308	(Correlated)	0.00	30.4443
Prijevoz u drugi odjel.Queue	9.8872	(Correlated)	0.00	30.1919
Stabilizacija proizvoda.Queue	2.7825	(Insufficient)	0.00	12.0000
Zamatanje.Queue	0.2039	(Insufficient)	0.00	3.9786
Zastita plastikom.Queue	10.3160	(Correlated)	0.00	30.9250

### Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Deklariranje.Queue	3.7404	(Correlated)	0.00	15.0000
Kontrola.Queue	0.3263	0,025875638	0.00	4.0000
Odlaganje u otpremnu zonu.Queue	0.00294915	(Insufficient)	0.00	2.0000
Odlaganje u otpremnu zonu.Queue	0.8785	(Correlated)	0.00	47.0000
Ponovno kontrola.Queue	0.2624	0,021957178	0.00	6.0000
Postavljanje metalne ploce.Queue	2.6330	(Correlated)	0.00	11.0000
Pricvrscivanje sarafima.Queue	2.7475	(Correlated)	0.00	11.0000
Prijevoz u drugi odjel.Queue	3.9137	(Correlated)	0.00	17.0000
Stabilizacija proizvoda.Queue	0.02524829	(Insufficient)	0.00	2.0000
Zamatanje.Queue	0.00185004	(Insufficient)	0.00	2.0000
Zastita plastikom.Queue	3.6985	(Correlated)	0.00	15.0000

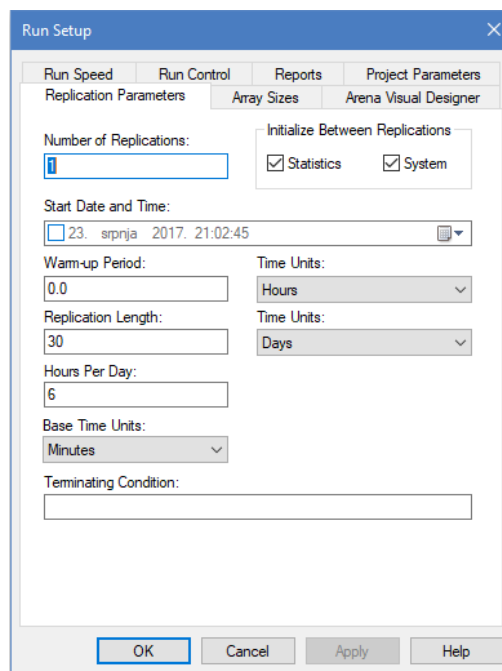
Slika 38. Red čekanja

Izvor: Izradio autor

## 5.4. Provedba simulacijskog eksperimenta s promjenjenim parametrima

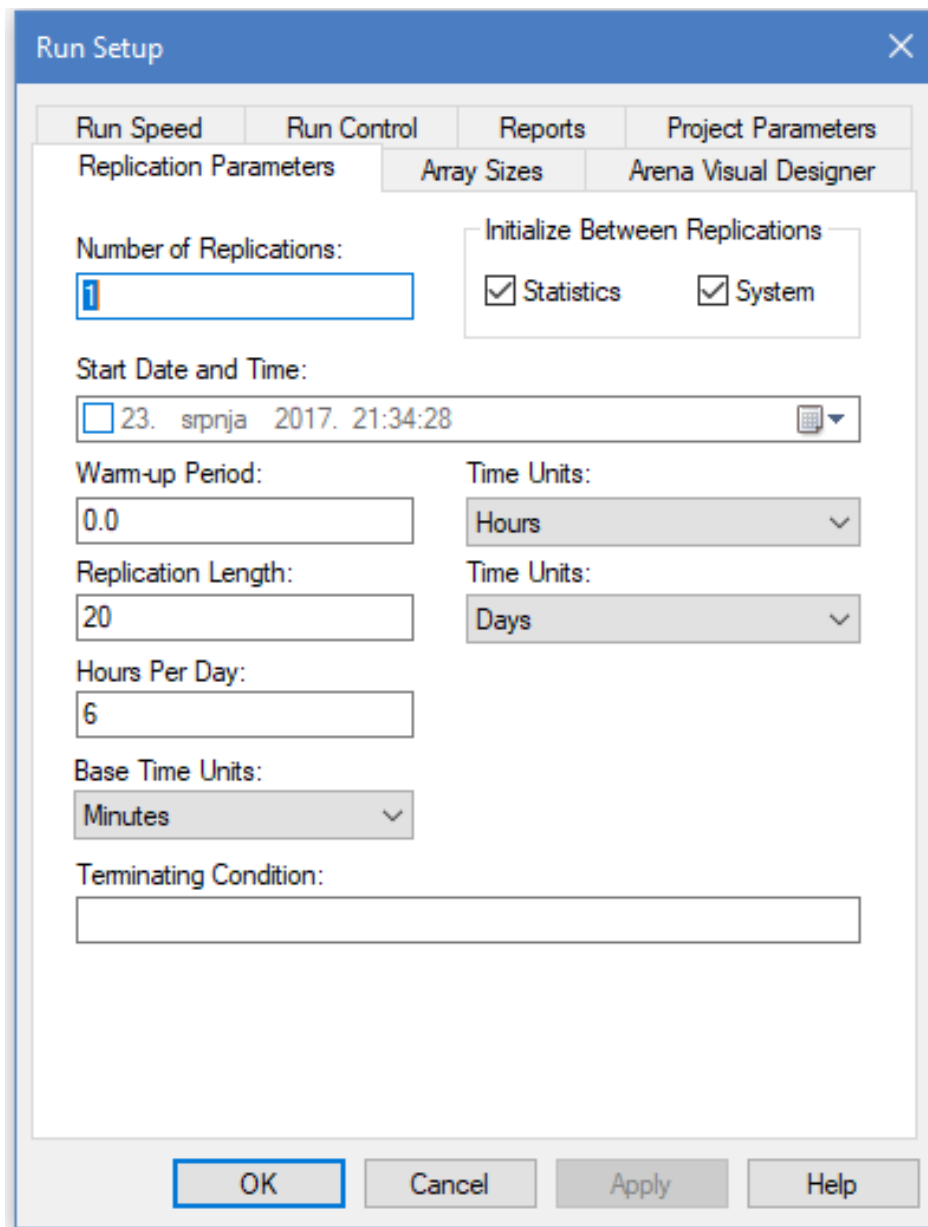
Nakon dobivenih rezultata eksperimenta simulacije, vrijedi promijeniti parametre eksperimenta, kako bi se utvrdilo poboljšanje poduzeća. Simulacija će u ovome slučaju trajati 20 radnih dana umjesto 30, a radno vrijeme će biti isto kao i prije, odnosno 6 sati. Također će se smanjiti intenzitet dolaska proizvoda na traci u prvom odjelu sa 4 na 3 proizvoda.

Kako bi se promjenilo trajanje simulacije sa 30 na 20 dana, potrebno je otići pod karticu 'Run' i zatim na 'Setup'. Nakon ulaska pojaviti će se prozor kao na slici 39. i slici 40., te je potrebno pod 'Replication Parameters' promijeniti replication length sa 30 na 20.



Slika 39. Replication parameters prije

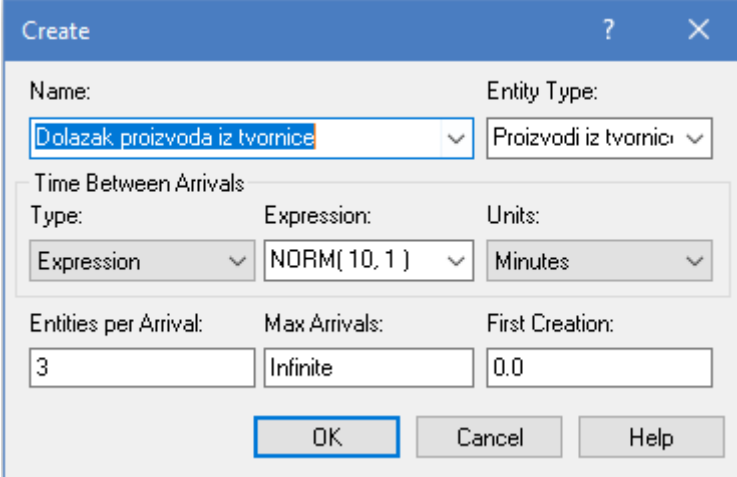
Izvor: Izradio autor



Slika 40. Replication parameters poslije

Izvor: Izradio autor

Nakon promjene trajanja simulacije, potrebno je promijeniti broj dolazaka proizvoda na traci u prvom odjelu, a to je 3 proizvoda umjesto 4. U create modulu se pod 'Entities per Arrival:' vrši izmjena sa 4 na 3 proizvoda. Slikom 41. je prikazana ta promjena.



Slika 41. Dolazak 8 proizvoda na traci

Izvor: Izradio autor

#### 5.4.1. Rezultati nakon promjenjenih parametara

Nakon validacije simulacijskog eksperimenta, dobiveni su rezultati eksperimenta. Kao što slika 42. prikazuje, vidljiv je pad entiteta na izlazu. Zatim se opterećenje skladišnih radnika i kontrolora znatno smanjilo, pogotovo u drugom odjelu (prikazano na slici 43.).

21:39:04		Category Overview		srpanj 23, 2017	
<b>Projekt</b>					
Replications: 1		Time Units: Minutes			
<b>Key Performance Indicators</b>					
<b>System</b>		Average			
Number Out		3,131			

Slika 42. Broj entiteta na izlazu u provedenom eksperimentu

Izvor: Izradio autor



Kontrolor	0.4147
Skladistar 1	0.7562
Skladistar 2	0.1237



Slika 43. Iskorištenost radnika u provedenom eksperimentu

Izvor: Izradio autor

Također je vidljivo da su se redovi čekanja znatno smanjili, osim što je u drugom odjelu stabilizacija proizvoda i zamatanje slučaj povećanja reda čekanja, kao što se vidi na slici 44.

Replications: 1    Time Units: Minutes

Queue				
Time				
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Deklariranje.Queue	0.3288	0,051642379	0.00	5.5840
Kontrola.Queue	0.3533	0,018596114	0.00	3.0658
Odlaganje u otpremnu zonu.Queue	0.2779	(Insufficient)	0.00	2.0000
Odlaganje u otpremnu zonu.Queue	2.0592	0,235878078	0.00	12.4954
Ponovno kontrola.Queue	0.3658	0,033075175	0.00	4.8893
Postavljanje metalne ploce.Queue	0.2261	0,045627019	0.00	3.6082
Prihvrsivanje sarafima.Queue	0.1177	0,029876195	0.00	3.6993
Prijevoz u drugi odjel.Queue	0.1577	0,023817805	0.00	3.4305
Stabilizacija proizvoda.Queue	3.4064	(Insufficient)	0.00	11.5000
Zamatanje.Queue	1.0118	(Insufficient)	0.00	10.4660
Zastita plastikom.Queue	0.2629	0,057086478	0.00	4.5039
Other				
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Deklariranje.Queue	0.08882687	0,016499198	0.00	4.0000
Kontrola.Queue	0.1067	0,006151220	0.00	3.0000
Odlaganje u otpremnu zonu.Queue	0.00266283	(Insufficient)	0.00	2.0000
Odlaganje u otpremnu zonu.Queue	0.8743	0,220100074	0.00	48.0000
Ponovno kontrola.Queue	0.1104	0,010178898	0.00	5.0000
Postavljanje metalne ploce.Queue	0.04798113	0,011285990	0.00	3.0000
Prihvrsivanje sarafima.Queue	0.02496590	0,006072237	0.00	2.0000
Prijevoz u drugi odjel.Queue	0.04738324	0,006680733	0.00	3.0000
Stabilizacija proizvoda.Queue	0.03264425	(Insufficient)	0.00	3.0000
Zamatanje.Queue	0.00969680	(Insufficient)	0.00	3.0000
Zastita plastikom.Queue	0.07100629	0,016441069	0.00	3.0000

Slika 44. Red čekanja u provedenom eksperimentu

Izvor: Izradio autor

#### 5.4.2. Usporedba rezultata simulacijskih eksperimenata s inicijalnim i sa promijenjenim parametrima

Nakon dobivenih rezultata simulacije sa inicijalnim parametrima i simulacije sa promjenjenim parametrima, slijedi usporedba dobivenih rezultata tih simulacija.

Kod simulacije sa inicijalnim parametrima, dobiveni su bolji i učinkovitiji rezultati za razliku od simulacije sa promjenjenim parametrima. Kod simulacije sa inicijalnim parametrima, radnici su opterećeniji više nego li kod simulacije sa promjenjenim parametrima, što predstavlja jedinu manu. Produktivnost kod simulacije inicijalnih parametara je puno veća za razliku od simulacije sa promjenjenim parametrima, odnosno unutar simulacije sa inicijalnim parametrima se obavi više posla za razliku od simulacije sa promjenjenim parametrima.

## 6. Zaključak

Posljednjih 15 godina, razvoj računalne tehnologije je tekao vrlo dinamički, te se implementirao u sve segmente modernog društva. Nove tehnologije i njihova prilagodba i modernizacija značajno je olakšala ljudsku svakodnevicu. Počeli su se razvijati programi kojima je moguće raditi simulaciju leta, simulaciju vožnje, simulaciju svemira simulaciju bilo čega što je u ljudskoj mašti.

Sve su interesantniji simulacijski alati koji se odnose na rješavanje problema u stvarnom svijetu uključujući naravno i optimiziranje skladišnih sustava u logistici. Simulaciji se mora pristupiti sa oprezom i koristiti je što preciznije. Vrlo je važno da se poštuju poznati koraci simulacijskog modeliranja kako bi rezultati simulacije i analize bili što vjerodostojniji. Istim programima moguće je pratiti podatke nužne za funkcioniranje nekog poduzeća. Ako se vrši pravilna primjena simulacije, postoji mogućnost sugeriranja unaprjeđenja poslovanja u nekom poduzeću. Pretpostavlja se da simulacije nikada neće dati sto postotni rezultat, jer se u realnom vremenu javljaju slučajni događaji, dok se kod simulacijskih alata primjenjuju pseudoslučajni brojevi ili događaji.

Cilj svih simulacijskih alata u simulaciji logističkih sustava je provesti eksperiment unutar alata, a ne u realnom vremenu i prostoru, kako bi se utvrdilo koliko je isplativije provesti promjenu (eksperiment). Simulacijski alati tako omogućuju poduzeću veliku uštedu na vremenu i ulaganju. Postoje razni simulacijski alati koji se ističu u cijeni, kvaliteti, načinu i lakoći korištenja, dobroj podršci itd.

U ovom završnom radu su se opisale funkcije skladišta u logističkim sustavima, te se definirala svrha simulacijskog modeliranja kao i sve vrste i načini modeliranja. Opisali su se različiti simulacijski alati i usporedili po kvaliteti, načinu, cijeni i lakoći korištenja. Nakon toga se na praktičnom primjeru skladišnog sustava vršila simulacija putem Arena Rockwell simulacijskog alata. Na temelju dobivenih rezultata simulacije, vršio se eksperiment i prikazali su se njegovi rezultati kako bi se analiziralo da li se isplati primijeniti takvo rješenje u realnom sustavu.

## Literatura

- [1.] Ivaković, Č.: Nastavni materijali, Kolegij: Planiranje logističkih procesa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.
- [2.] Bloomberg, D.J., Le May, S., Hanna, J.B.: Logistika, Mate d.o.o., Zagreb, 2006.
- [3.] Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
- [4.] [https://www.extendsim.com/prods\\_overview.html](https://www.extendsim.com/prods_overview.html) (Pristupljeno 19.7.2017.)
- [5.] <http://simulationsoftware.blogspot.hr/2010/10/bias-blocks-use-in-optimization.html> (Pristupljeno 19.7.2017.)
- [6.] <https://www.flexsim.com/> (Pristupljeno 19.7.2017.)
- [7.] <https://www.ase.ch/files/content/methtech/T%2BM%20Flexsim.jpg> (Pristupljeno 19.7.2017.)
- [8.] <https://i.ytimg.com/vi/IDeAqxZAYmA/maxresdefault.jpg> (Pristupljeno 19.7.2017.)
- [9.] <https://www.arenasimulation.com/> (Pristupljeno 19.7.2017.)
- [10.] [https://i.ytimg.com/vi/W\\_9\\_bTn2LZE/maxresdefault.jpg](https://i.ytimg.com/vi/W_9_bTn2LZE/maxresdefault.jpg) (Pristupljeno 19.7.2017.)
- [11.] <http://www.orms-today.org/surveys/Simulation/Simulation5.html> (Pristupljeno 19.7.2017.)
- [12.] <http://www.orms-today.org/surveys/Simulation/Simulation6.html> (Pristupljeno 19.7.2017.)

## Popis slika

Slika 1. Odnos ukupnih logističkih troškova, troškova skladištenja i troškova prijevoza .....	4
Slika 2. Analitičko rješenje .....	8
Slika 3. Numeričko rješenje determinističkog problema .....	8
Slika 4. Numeričko rješenje sustava sa slučajnim varijablama.....	8
Slika 5. Deterministički model.....	10
Slika 6. Stohastički model .....	11
Slika 7. Diskretni model.....	12
Slika 8. Kontinuirani model .....	13
Slika 9. Mješoviti kontinuirano-diskretni model.....	13
Slika 10. Računanje određenog integrala Monte Carlo simulacijom.....	15
Slika 11. Model kotača.....	18
Slika 12. Rješenje dinamike gibanja kotača.....	18
Slika 13. Negativna povratna veza .....	19
Slika 14. Pozitivna povratna veza .....	20
Slika 15. Rep posjetitelja u banci .....	21
Slika 16. Oblik nekih rezultata simulacija repa u banci .....	22
Slika 17. Prikaz izrade simulacijskog modela u ExtendSim simulacijskom alatu.....	25
Slika 18. Prikaz simulacijskog alata FlexSim .....	27
Slika 19. Prikaz simulacijskog alata Delmia Quest.....	28
Slika 20. Prikaz simulacijskog alata Arena Rockwell .....	30
Slika 21. Prikaz simulacijskog zadatka u simulacijskom alatu Arena Rockwell.....	35
Slika 22. Dolazak proizvoda iz tvornice na traci.....	36
Slika 23. Kontrola .....	36
Slika 24. Odluka gdje poslati proizvod .....	37
Slika 25. Prikaz procesa po određenim vjerojatnostima .....	38
Slika 26. Razdioba vremena postavljanja metalne ploče .....	38
Slika 27. Postavke procesa postavljanja metalne ploče .....	39
Slika 28. Postavke procesa 'Ponovno kontrola' .....	40
Slika 29. Postavke decide modula 'Decide 2' .....	40
Slika 30. Postavke process modula 'Prijevoz u drugi odjel' .....	41
Slika 31. Postavke create modula 'Dolazak proizvoda iz kamiona' .....	42
Slika 32. Postavke decide modula 'RASPORED' .....	42
Slika 33. Postavke process modula 'Zamatanje' .....	43
Slika 34. Postavke process modula 'Stabilizacija proizvoda' .....	43
Slika 35. Postavke process modula 'Odlaganje u otpremnu zonu' .....	44
Slika 36. Broj entiteta na izlazu .....	45
Slika 37. Iskorištenost radnika .....	45
Slika 38. Red čekanja .....	46
Slika 39. Replication parameters prije .....	47
Slika 40. Replication parameters poslije .....	48
Slika 41. Dolazak 8 proizvoda na traci.....	49
Slika 42. Broj entiteta na izlazu u provedenom eksperimentu.....	49
Slika 43. Iskorištenost radnika u provedenom eksperimentu.....	50
Slika 44. Red čekanja u provedenom eksperimentu .....	50

## Popis tablica

Tablica 1. Usporedba simulacijskih alata.....	31
Tablica 2. Usporedba simulacijskih alata.....	31
Tablica 3. Izmjerena vremena potrebna jednom radniku za obavljanje pojedine dorade .....	34



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom **Primjena simulacijskih modela u optimiranju skladišnih sustava**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 4.9.2017 \_\_\_\_\_

Student/ica:

(potpis)