

# Primjena simulacijskog modela u planiranju zaliha

---

Vukres, Ante

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:400372>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-11**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**Ante Vukres**

**PRIMJENA SIMULACIJSKOG MODELA U PLANIRANJU ZALIHA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2021.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**ZAVRŠNI RAD**

**PRIMJENA SIMULACIJSKOG MODELA U PLANIRANJU ZALIHA**

**SIMULATION MODELING IN INVENTORY PLANNING**

Mentor: doc. dr. sc. Diana Božić

Student: Ante Vukres

JMBAG: 0135252146

Zagreb, kolovoz 2021.

Zagreb, 7. svibnja 2021.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 6444

Pristupnik: **Ante Vukres (0135252146)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Primjena simulacijskog modela u planiranju zaliha**

### Opis zadatka:

U radu potrebno je navesti značajke simulacije i simulacijskih modela, te navesti osnovne značajke u upravljanju zalihama. Nadalje, potrebno je opisati jedan primjer planiranja zaliha iz realnog sektora, te za isti napraviti simulacijski model u programskom alatu ARENA. Nakon provedenih simulacijskih eksperimenata, potrebno je analizirati generirane rezultate.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

doc. dr. sc. Diana Božić

## SAŽETAK

U ovom se radu polazi od simulacija i zaliha, dvije zasebne stručne i znanstvene cjeline. Pokazane su i objašnjene vrste simulacija i vrste simulacijskih modela, te su navedeni neki simulacijski alati. Simulacijsko modeliranje rješava probleme iz stvarnog svijeta brzo i učinkovito. Pruža važnu metodu analize koja se lako provjerava, prenosi i razumije. U svim industrijama i disciplinama simulacijsko modeliranje pruža vrijedna rješenja dajući jasan uvid u složene sustave.

Zalihe su također opisane po svojim glavnim principima te je dat jasan uvid u načine upravljanja zalihama. Zalihe su dio opskrbnog lanca koji postaje sve bitniji za uspješno poslovanje ali i sve kompleksniji za upravljanje. Upravljanje zalihama uključuje koordinaciju kupnje, proizvodnje te distribucije kako bi se zadovoljile marketinške potrebe poduzeća. Na kraju rada dan je primjer upotrebe simulacijskog modela u planiranju zaliha.

KLJUČNE RIJEČI: simulacijsko modeliranje, planiranje zaliha, simulacije, ARENA

## **SUMMARY**

In this paper, firstly, simulations and inventory will be described, two separate professional and scientific units. The types of simulations and types of simulation models are shown and explained, and some simulation tools are listed. Simulation modeling solves real-world problems safely and efficiently. It provides an important method of analysis, which is easily verified, communicated and understood. Across industries and disciplines, simulation modeling provides valuable solutions by giving clear insights into complex systems.

Inventory is also described according to its main principles and a clear insight into the ways of inventory management is given. Inventory is part of a supply chain that is not only becoming increasingly important for successful business, but also increasingly complex for management. Inventory management involves the coordination of purchasing, production and distribution to meet a company's marketing needs. At the end of the paper, an example of the use of a simulation model in inventory planning is given.

**KEY WORDS:** simulation modeling, inventory planning, simulations, ARENA

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Općenito o simulacijama .....	2
2.1 Definicija modela i simulacijski modeli.....	2
2.1.1 Deterministički modeli.....	3
2.1.2 Stohastički modeli .....	4
2.1.3 Diskretni modeli .....	5
2.1.4 Kontinuirani modeli.....	6
2.1.5 Mješoviti kontinuirano-diskretni modeli.....	6
2.2 Simulacijsko modeliranje .....	7
2.3 Vrste simulacija .....	9
2.3.1 Monte Carlo simulacija .....	9
2.3.2 Kontinuirana simulacija.....	10
2.3.3 Simulacije diskretnih događaja.....	11
2.3.4 Kombinirana diskretno-kontinuirana simulacija.....	12
3. Simulacijski alati .....	14
3.1 SIMIO .....	14
3.2 ARENA .....	15
3.3 GPSS .....	17
4. Općenito o zalihama .....	19
4.1 Ekonomična količina nabave (EOQ) .....	20
4.2 Koeficijent obrtaja i dani vezivanja zaliha .....	21
4.3 ABC analiza .....	23
4.4 XYZ analiza .....	26
5. Primjena simulacijskog alata ARENA na studiji slučaja .....	28
5.1 Opis studije slučaja.....	28
5.3 Simulacijski model .....	29
5.4 Rezultati simulacijskog eksperimenta .....	31
6. Zaključak .....	34
Literatura .....	35
Popis slika.....	37
Popis tablica .....	38

## 1. Uvod

Uslijed globalizacije i formiranja velikih sustava, pojavila se potreba za simulacijama kao alatom koji pomaže pri donošenju bitnih poslovnih odluka. Opskrbni lanac ogroman je sustav koji svake godine postaje sve veći i samim time kompleksniji, a logistika kao podsustav sve važnija i potrebnija. Upravljanje zalihama dio je logistike koji svakim danom nailazi na nove izazove i probleme, a dostatne zalihe ključne su za uspješno poslovanje poduzeća. Jedan od načina za optimizaciju sustava zaliha su i simulacije.

Tema ovog završnog rada je opisati primjenu simulacijskih modela u planiranju zaliha, te na primjeru simulacije sustava zaliha, opisati postupak izrade modela i analizirati rezultate simulacijskog eksperimenta. Rad je podijeljen u šest cjelina:

1. Uvod
2. Općenito o simulacijama
3. Simulacijski alati
4. Općenito o zalihama
5. Primjena simulacijskog alata Arena na studiji slučaja
6. Zaključak

Nakon uvoda, u drugoj cjelini, opisati će se osnovne značajke i podjela simulacija i simulacijskih modela. Treća cjelina navodi neke od najbitnijih simulacijski alata te opisuje područja primjene i funkcionalnosti istih. U četvrtoj cjelini definirati će se najvažniji pojmovi u sustavu planiranja zaliha i analize za podjelu artikala prema važnosti i obrtaju. Peta cjelina sadrži simulacijski eksperiment planiranja zaliha gotovih proizvoda jedne pizzerije. Na kraju rada, u šestom poglavlju iznesen je zaključak.



## 2. Općenito o simulacijama

„Slaži kako bi otkrio istinu. Kao da se ona može otkriti samo pomoću simulacije“ (eng. Tell a lie and find a truth, as if there were no way of discovery but by simulation.). Prijevod je tvrdnje koju je 1601. godine postavio Francis Bacon. Ono što je Bacon, očito daleko ispred svog vremena mislio jest da se umjesto pretpostavki koje mogu biti problematične, može poslužiti simulacijama koje su bitno pouzdanije. Riječ simulacija dolazi od latinske riječi „simulatio“ što znači pretvaranje ili prijevara.

Danas, riječ simulacija ima šire značenje, a to bi bilo oponašanje djelovanja procesa ili sustava u stvarnom svijetu tijekom nekog vremenskog perioda. Simulacija uključuje generiranje umjetne povijesti sustava i promatranje iste, kako bi se došlo do zaključaka o radnim karakteristikama stvarnog sustava koji je predstavljen[1]. Simulacijom se opisuje i analizira ponašanje sustava, te zato predstavlja neizostavnu metodologiju rješavanja problema i jedinstven odgovor na pitanje „što ako?“.

### 2.1 Definicija modela i simulacijski modeli

Ideja simulacijskog pristupa može se opisati s četiri osnovna koraka:

- 1) Opis funkcioniranja realnog sustava
- 2) Razvoj računalnog programa, odnosno simulacijskog modela
- 3) Simuliranje, odnosno eksperimentiranje s računalnim programom (modelom)
- 4) Analiza i interpretacija rezultata simulacije

Model je pojednostavljeni prikaz strukture ili procesa nekog sustava u matematičkom, konceptualnom ili računalnom obliku. Svrha modela je provođenje eksperimenta na modelu, a ne na realnom sustavu zato što sami sustav najčešće nije podložan provedbi eksperimenta zbog razloga kao što su: opasnost, visoki troškovi i nedostupnost[2].

Simulacijski modeli su modeli dinamičkih sustava, odnosno sustava koji se mijenjaju u vremenu, a sastoje se od konceptualnog i računalnog modela. Konceptualnim modelom opisuje se funkcioniranje nekog realnog sustava što predstavlja temelj za izradu računalnog modela koji služi za izvođenje samog simulacijskog eksperimenta. Korištenjem simulacijskog modela korisniku se omogućuje prikaz vremenskog pomaka, istodobno odvijanje više različitih aktivnosti i dinamičko alociranje resursa npr. raspodjela viličara i radne snage na istovar različitih kamiona[2]. S obzirom na predvidljivost promjene stanja, simulacijski modeli dijele se na:

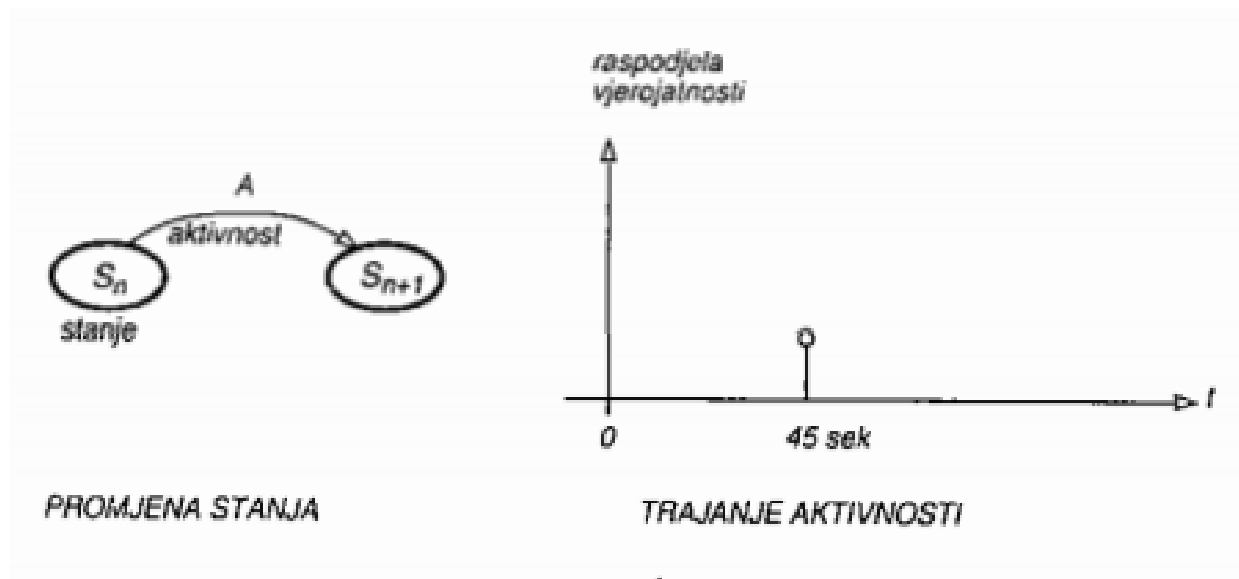
- Determinističke
- Stohastičke[3]

A prema promjeni stanja u vremenu na:

- Diskretne
- Kontinuirane
- Mješovito kontinuirano diskretne[3]

### **2.1.1 Deterministički modeli**

Deterministički modeli su oni čije je ponašanje potpuno predvidivo, to jest u kojima je novo stanje sustava koji je modeliran u potpunosti određeno prethodnim [2]. Primjena determinističkih simulacijskih modela najizraženija je u područjima znanosti i inženjerstva. Model koji ne sadrži slučajnu komponentu po prirodi je deterministički[7]. U većini slučajeva riječ je o složenim modelima koji nastoje detaljno obuhvatiti temeljne mehanizme sustava te zbog toga imaju prilično velik broj unosa podataka od strane korisnika. Sa slike 1. vidljivo je kako sustav iz stanja  $S_n$  može prijeći isključivo u stanje  $S_{n+1}$  po završetku aktivnosti čije je trajanje također determinističko. Npr. ako je stanje  $S_n$  dolazak kupca na blagajnu onda će stanje  $S_{n+1}$  biti završetak usluge i naplaćivanje, a aktivnost (skeniranje artikala) će trajati 45 sekundi.

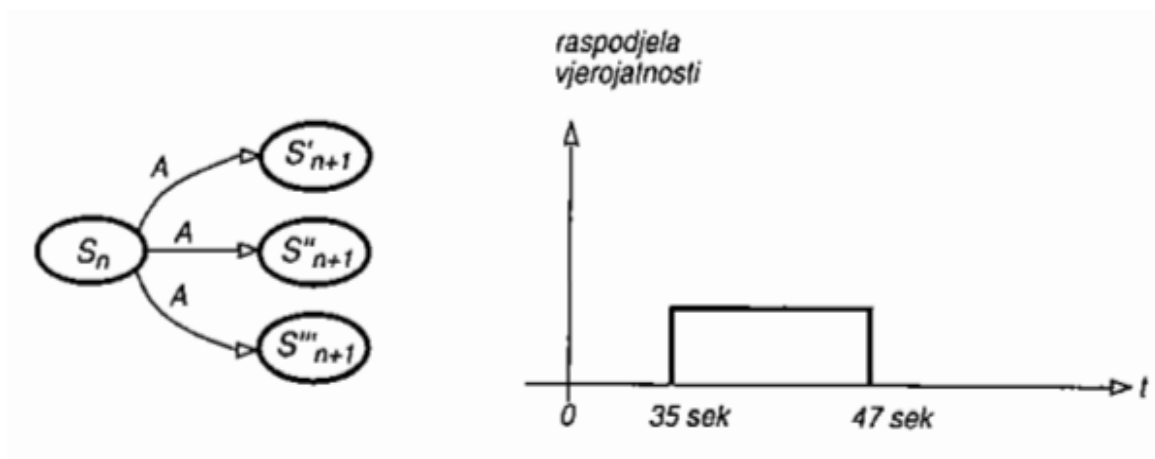


Slika 1. Deterministički model

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

### 2.1.2 Stohastički modeli

Glavna značajka stohastičkih modela je nepredvidljivost njihova ponašanja, odnosno sljedeće stanje sustava nije egzaktno definirano prethodnim stanjem. Stohastički modeli obavezno uključuju barem jednu slučajnu varijablu, te za razliku od determinističkog ne nastoji pojednostaviti sustav i svesti ga na poznate vrijednosti[8]. Moglo bi se reći da su neizvjesnost i nesigurnost glavne značajke ovakvih modela. Slika 2. prikazuje djelovanje stohastičkog modela. Sustav iz stanja  $S_n$  može prijeći u bilo koje od stanja  $S'_{n+1}$ ,  $S''_{n+1}$  ili  $S'''_{n+1}$ . Svako je stanje definirano vjerojatnošću da sustav prijeđe baš u to stanje, dok je trajanje aktivnosti A uniformno distribuirano.

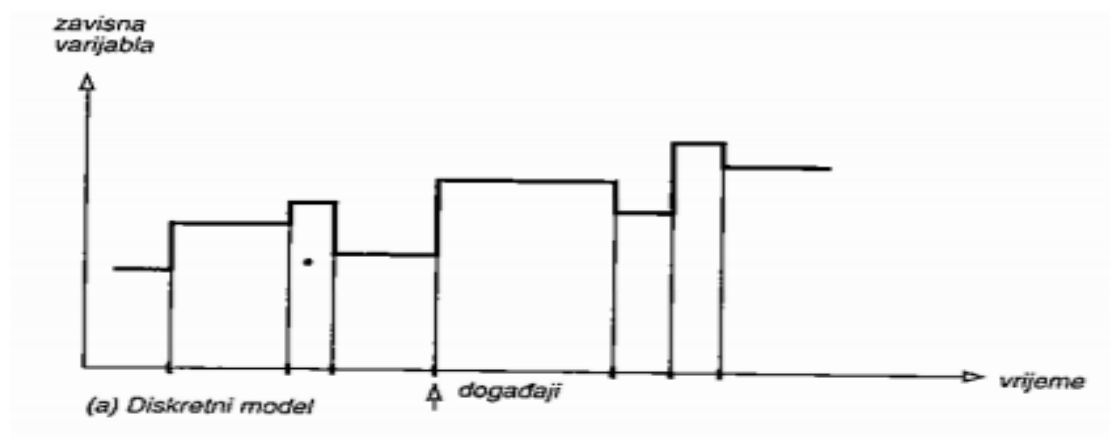


Slika 2. Stohastički model

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

### 2.1.3 Diskretni modeli

Ukoliko se stanje modela mijenja samo u određenim trenucima, riječ je o diskretnom, odnosno diskontinuiranom modelu. Trenuci u vremenu, u kojima se mijenja stanje sustava zovu se događaji. Većina poslovnih procesa može se opisati kao slijed zasebnih diskretnih događaja[9]. Ponašanje diskretnih modela prikazano je na slici 3., te je vidljivo da se stanje zavisne varijable mijenja samo po nastupanju određenog događaja. Ovakvim modelom moglo bi se opisati proces istovar kamiona; događaj 1. – dolazak kamiona na LDC, događaj 2. – dolazak kamiona na rampu za istovar, događaj 3. – istovar, događaj 4. – istovar završen.

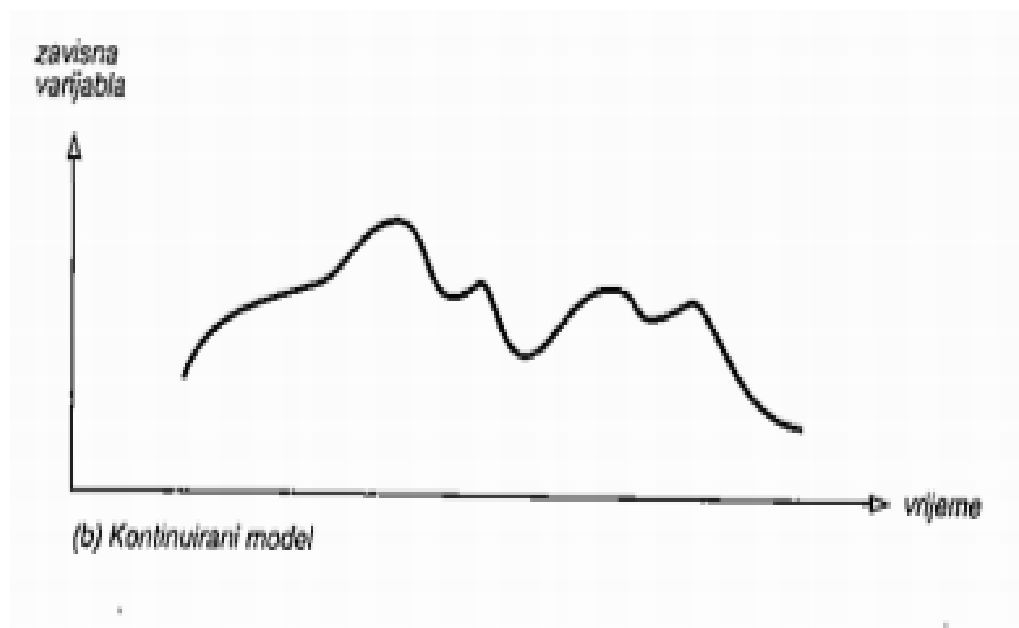


Slika 3. Diskretni model

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

#### 2.1.4 Kontinuirani modeli

Kontinuirane modeli su modeli u kojima se vrijednost zavisne varijable neprekidno mijenja u vremenu kako prikazuje slika 4.. Bitno je napomenuti da računalna simulacija kontinuiranih modela nije moguća osim ako se kontinuirani tok vremena zamjeni sa pomakom vremena u malim odsječcima, odnosno dok se model ne svede na diskretne vrijednosti. Primjer kontinuiranog modela je automobil u pokretu, kojem se brzina i položaj (zavisne varijable) kontinuirano mijenjaju od trenutka polaska do trenutka zaustavljanja.

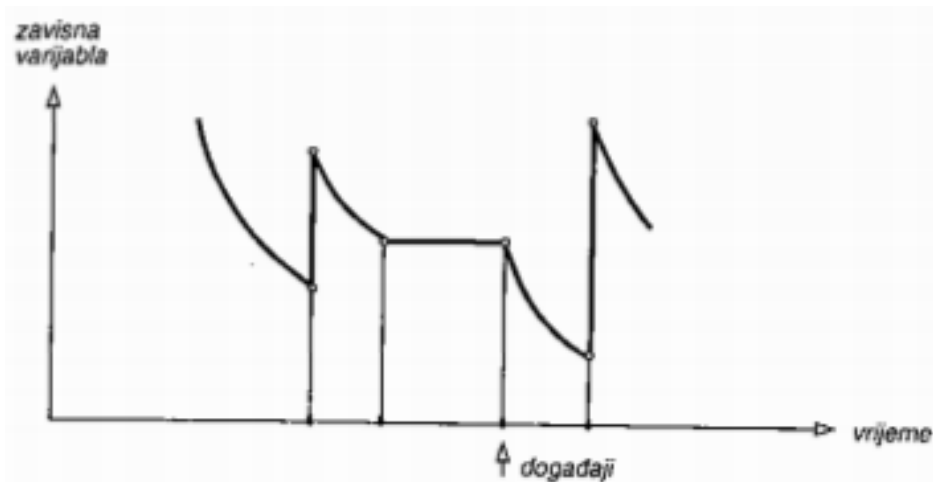


Slika 4. Kontinuirani model

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

#### 2.1.5 Mješoviti kontinuirano-diskretni modeli

Osim kontinuiranih i diskretnih modela, mogući su i oni koji sadrže i diskretne i kontinuirane varijable – mješovito kontinuirano-diskretni modeli[2]. Ponašanje takvog modela prikazuje slika 5. Ovakvi modeli sadrže procese koji se odvijaju kontinuirano i događaje koji dovode do diskontinuiteta[3], a nezavisna varijabla uvijek je vrijeme. Promatrajući kretanje tramvaja, vrijeme i položaj tramvaja mijenjaju se kroz vrijeme, sve do događaja ukrcaja, odnosno iskrcaja putnika na stanicu, gdje brzina i položaj ostaju nepromijenjeni do ponovnog polaska.



Slika 5. Mješoviti kontinuirano-diskretni model

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

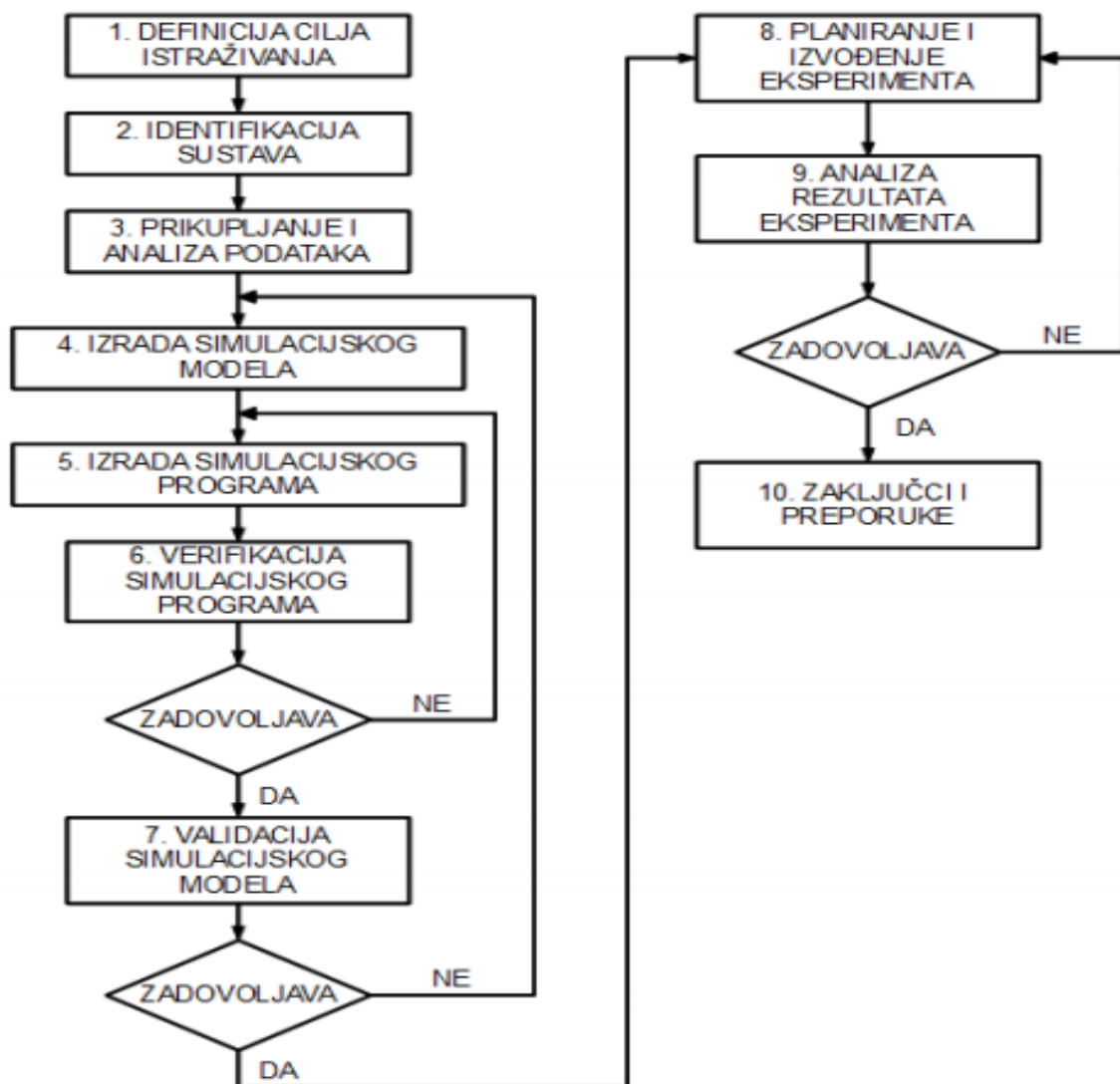
## 2.2 Simulacijsko modeliranje

Pojam modeliranja je složen i višeznačan. U umjetnosti bi modelirati značilo izrađivati modele od gipsa ili voska. Analogno tome, simulacijsko modeliranje je izrađivanje modela, ali umjesto gipsa i voska koriste se izmjerene veličine, odnosno ulazni podaci, a produkti nisu voštane skulpture već simulacijski rezultati. Sam proces modeliranja vezan je uz način ljudskog razmišljanja, a dijeli se na tri faze:

- Identifikacija problema
- Analiziranje problema
- Rješavanje problema [3]

Izbor simulacijskog modela ovisi o tipu sustava ili procesa koji se opisuju modelom. To ipak ne znači da diskretni sustav uvijek moramo opisati diskretnim modelom, odnosno kontinuirani sustav, kontinuiranim modelom[2]. Uzevši to u obzir, prvi kriterij izbora modela je svrha same simulacijske studije, budući da se isti sustav može prikazati na više od jednog načina. Osim navedenog, u obzir se mora uzeti i stručnost onoga tko razvija model i njegovu sposobnost da pronađe adekvatnu apstrakciju s obzirom na odabrani simulacijski alat[2]. U suštini, pri izboru modela, teži se ka jednostavnosti i razumljivosti modela kako bi se olakšalo njegovo nadograđivanje i korištenje od strane korisnika.

Simulacijsko modeliranje rješava probleme iz stvarnog svijeta brzo i učinkovito. Prvenstveno, predstavlja analitičku metodu, koja je razumljiva i jednostavna za provjeru, a omogućuje rješenja uz jasan uvid u rezultate i složene sustave. Simulacijski proces je struktura rješavanja stvarnih problema s pomoću simulacijskog modeliranja. On se može opisati u obliku niza koraka koji čine pojedine faze rješavanja problema ovom metodom i koji slijede jedan nakon drugog, iako ne strogo sekvencijalno, jer je moguć povratak na prethodne korake procesa, ovisno o rezultatima dobivenima u pojedinim fazama toga procesa[6]. Dijagram toka simulacijskog procesa prikazan je na slici 6.



Slika 6. Dijagram toka simulacijskog procesa

Izvor: [http://brod.pfst.hr/~ivujovic/stare\\_stranice/pdf\\_zip\\_word/matlab\\_mod\\_sim.pdf](http://brod.pfst.hr/~ivujovic/stare_stranice/pdf_zip_word/matlab_mod_sim.pdf)

## 2.3 Vrste simulacija

Iz ranije navedene podjele simulacijskih modela, one prema promjeni stanja u vremenu, proizlazi i podjela samih simulacija na:

- Monte Carlo simulacije
- Simulacije diskretnih događaja
- Miješane kontinuirano-diskretne simulacije
- Kontinuirane simulacije

Navedene se simulacije međusobno razlikuju po načinu pristupanja izradi modela, prirodi problema kojim se bave, te tehnikama modeliranja i simulacija koje su za njih razvijene. Među navedenim simulacijama, sve su dinamičkog tipa osim Monte Carlo simulacije koja je statičkog tipa, no bitno ju je spomenuti kako bi se osvijestila razlika ovog tipa simulacije od ostalih. Također, tretman slučajnih događaja i generiranje slučajnih vrijednosti slično je u Monte Carlo simulaciji kao i u simulaciji diskretnih događaja[2].

### 2.3.1 Monte Carlo simulacija

Monte Carlo simulacija ime je dobila po poznatom gradu casina, budući da je element slučajnosti srž pristupa modeliranju, slično igri ruleta. Još poznata kao i Monte Carlo metoda ili simulacija s više vjerojatnosti, matematička je tehnika koja se koristi za procjenu mogućih ishoda neizvjesnog događaja. Treba imati na umu da neki autori definiraju Monte Carlo simulaciju kao bilo koju simulaciju koja se koristi slučajnim brojevima. Monte Carlo metodu prvi su predstavili John von Neumann, Stanislaw Ulam i Nicholas Metropolis tijekom drugog svjetskog rata za rješavanje problema povezanih s atomskom bombom.



Produkt Monte Carlo simulacije je simulacijski model koji imitira ponašanje stvarnih sustava i procesa te na taj način predviđa rezultate njihovih djelovanja u realnim uvjetima. Po Čerić (1993) Monte Carlo simulacija primjenjiva je na probleme determinističkog i stohastičkog tipa, a tipovi primjene dijele se na:

- Determinističke probleme koje je teško ili skupo rješavati
- Složene probleme koji nisu dovoljno poznati
- Statičke probleme koji nemaju analitičkog rješenja

Za Monte Carlo simulaciju koja se bavi problemima stohastičkog tipa, karakteristično je uzimanje slučajnog uzorka kojim opisuje ponašanje sustava zbog čega slučajni brojevi imaju izuzetnu važnost. Koncept Monte Carlo simulacije može se prikazati kakao slijedi:

- Odrediti domenu ulaznih podataka
- Generirati ulazne podatke nasumično iz domene(pomoću slučajnih brojeva)
- Izvesti deterministički izračun koristeći ulazne podatke
- Odrediti srednju vrijednost svakog pojedinog izračuna(simulacijskog eksperimenta)[3]

Glavna prednost Monte Carlo simulacije je mogućnost unosa širokog raspona vrijednosti. Osim toga, ima mogućnost prikazivanja grafa distribucije, pokazuje potencijalne vrijednosti ishoda i vjerojatnost svakog pojavljivanja. Također, omogućuje analitičarima da vide utjecaj određenih varijabli i bolje razumijevanje o tome koji ulazne veličine utječu na koje izlazne veličine i na koji način[10].

### **2.3.2 Kontinuirana simulacija**

Kontinuirana simulacija koristi se za probleme dinamičke prirode kod kojih se varijable stanja neprestano mijenjaju u odnosu na vrijeme. Tipično, kontinuirani simulacijski modeli uključuju diferencijalne jednadžbe koje daju odnose za stope promjene varijable stanja u vremenu[2].

Postoje dvije klase problema koje se rješavaju kontinuiranom simulacijom[2]. Prvu klasu najčešće čine problemi iz fizike, biologije i inženjerstva. Problemi prve klase razmjerno su jednostavni i detaljno opisani, a promjene su im opisane diferencijalnim jednažbama. Za drugu klasu su specifični problemi iz ekonomije i društvenih znanosti. Za razliku od prve klase, problemi u drugoj klasi nastaju opisom vrlo složenih sustava u agregiranom stanju, u kojem se niz elemenata sustava reducira na manji broj komponenti te u kojima se promjene sustava aproksimiraju konstantnim brzinama promjene[2].

### **2.3.3 Simulacije diskretnih događaja**

Simulacija diskretnih događaja odnosi se na modeliranje sustava u kojem se varijable stanja sustava mijenjaju trenutno u odvojenim vremenskim trenucima[2]. Matematički gledano, sustav može promijeniti stanje u prebrojivo mnogo vremenskih trenutaka. Ovi vremenski trenutci su zapravo trenutci u kojima se odvija događaj, a događaj je definiran kao trenutna pojava(nema trajanje) koja može promijeniti stanje sustava. Tehnički, simulacija diskretnih događaja mogla bi se konceptualno izvesti ručnim izračunima, no količina podataka koja se treba pohraniti i kojom se treba manipulirati, za većinu realnih sustava, nalaže upotrebu računala.

Osnovne komponente izgradnje simulacije diskretnih događaja su izgradnja modela, rukovođenje vremenom, baratanje slučajnim procesima, statistička analiza podataka i mehanizam izvođenja pomaka vremena u simulacijskim eksperimentima. Više je pristupa simulaciji diskretnih događaja: planiranje događaja, prelaženje aktivnosti, međudjelovanje procesa i trofazna simulacija. Neki od poznatih programskih jezika u ovom području su: GPSS, SIMSCRIPT i SIMULA[2].

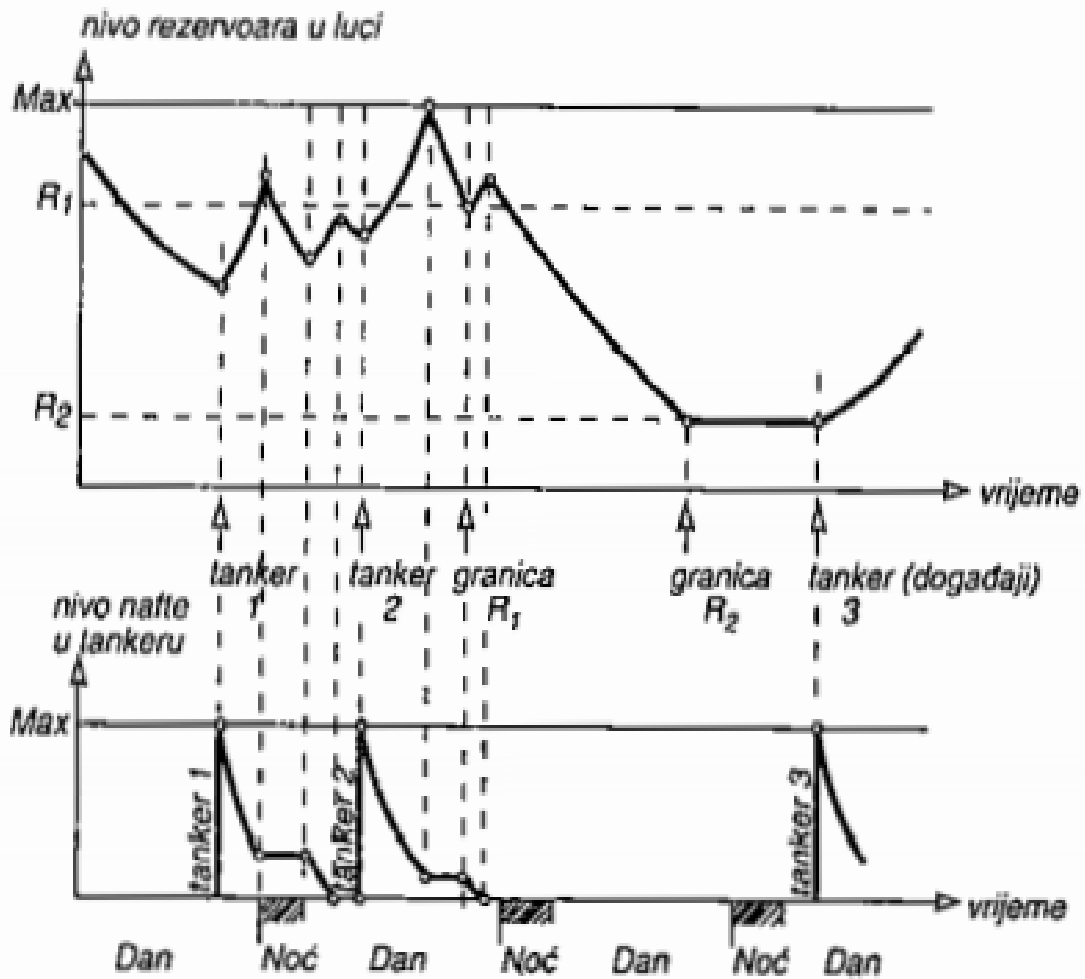
### 2.3.4 Kombinirana diskretno-kontinuirana simulacija

Budući da neki sustavi nisu ni potpuno diskretni, ni potpuno kontinuirani, pojavljuje se potreba za izgradnjom modela koji sadrži i diskretne i kontinuirane procese, a simulacija takovog modela, koja omogućuje integriranje kontinuiranih i diskretnih sustava, naziva se kombinirana diskretno-kontinuirana simulacija. Simulacijski jezici za ovu vrstu simulacija su GASP, SLAM i jedna verzija jezika SIMSCRIPT[2].

Postoje dva tipa događaja koji opisuju vezu između diskretnog i kontinuiranog pristupa:

1. Vremenski događaji – ovi događaji mogu trenutačno promijeniti stanje varijable, a postoje i u simulaciji diskretnih događaja
2. Događaji stanja – događaji koje aktivira upravljanje pomakom malih vremenskih intervala karakteristično za kontinuirane simulacije. Mogu se aktivirati kada kontinuirane varijable zadovolje neke uvjete.[2]

Slika 7. prikazuje rezultate simulacije iskrcaja tankera s naftom u luci. Nakon pražnjenja tankera u rezervoar u luci, prazni se rezervoar nakon čega se nafta šalje u rafineriju. Dolazak tankera je diskretan događaj, dok su količine pretočene nafte iz tankera u rezervoar i iz rezervoara u rafineriju kontinuirane varijable. Tanker se može prazniti samo u jednom periodu dana, a kada se rezervoar napuni, pražnjenje tankera se zaustavlja dok količina nafte u rezervoaru ne padne ispod točke R1. Točka R2 predstavlja granicu nivoa nafte u rezervoaru, nakon koje se obustavlja odvod nafte u rafineriju[2].



Slika 7. Rezultati kombinirane simulacije

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

### **3. Simulacijski alati**

Ručno izvođenje simulacija, uz današnju tehnologiju, predmet je prošlosti. Jednako kao što automehaničar posjeduje alat za popravljanje vozila, tako su razvijeni i alati za izradu simulacijskih modela, kako bi pomogli provoditeljima simulacija u simuliranju procesa. Za svaku vrstu modela razvijen je odgovarajući simulacijski alat.

#### **3.1 SIMIO**

Simio je jedan od vodećih softvera za kontinuiranu simulaciju. Simio i ostali softveri za tu vrstu simulacija mogu se koristiti za određivanje proizvodnih kapaciteta, trajanje radnih operacija u skladištima i mnoge druge procese u raznim industrijama. Za vrijeme trajanja simulacijskog zadatka, tokom vremena, Simio dosljedno prati reakcije sustava. Drugim riječima, rezultati simulacije proizvode se u svakoj točki unutar simulacijskog sustava tijekom procesa simulacije[11]. Također, ovakve simulacije proizvode rezultate čak i kada u tijeku nisu nikakve promjene. Učinkovitost ovakve simulacije dovela je do njene velike popularnosti kao alata za poslovnu analitiku diljem svijeta.

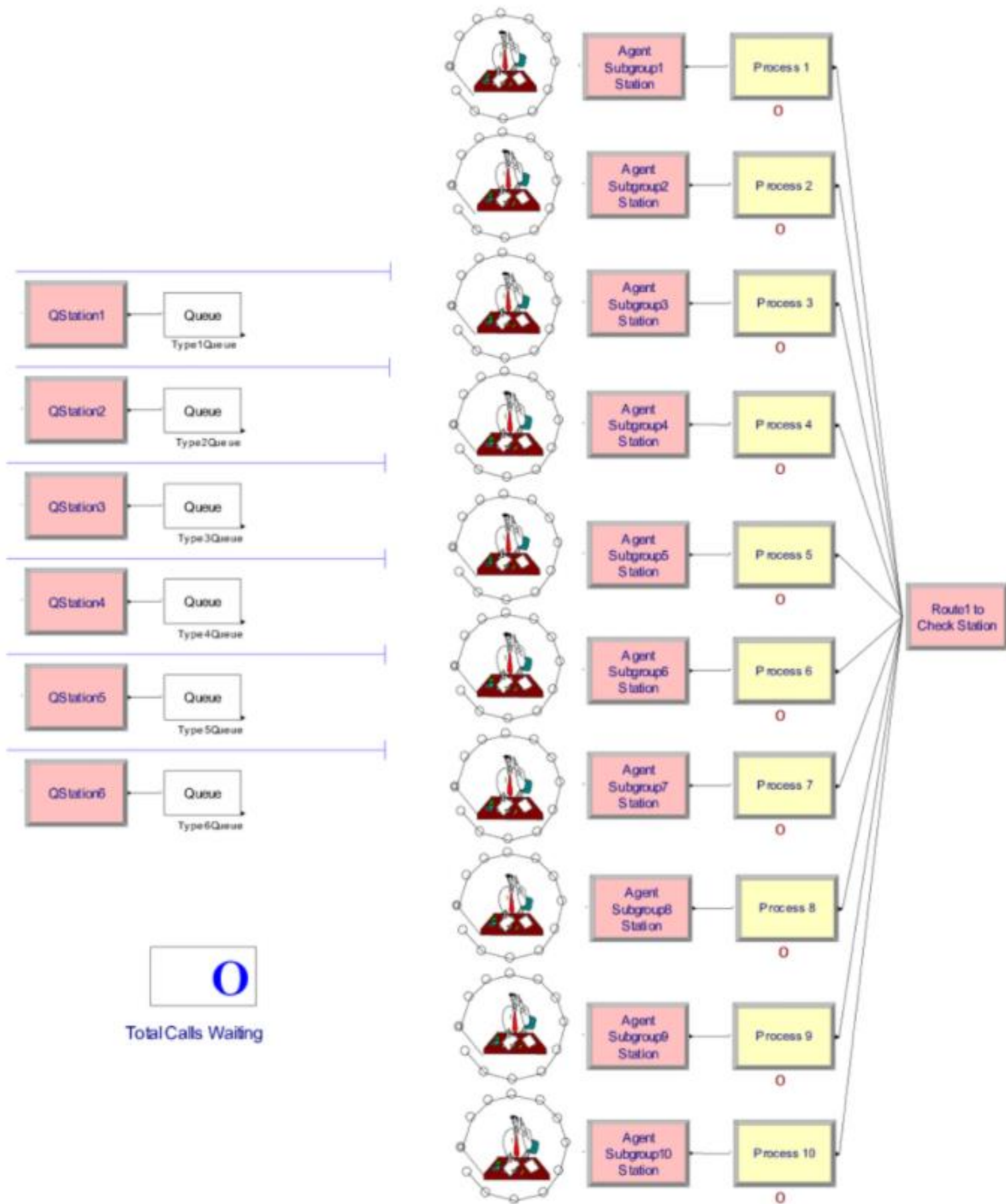
Simio koristi 3D objektno modeliranje u kojem se model stvara grafički, korak po korak što objektno modeliranje čini iznimno brzim i jednostavnim. Na taj način omogućuje višestruki potencijal modeliranja u kojem objekti mogu međusobno djelovati. Velika prednost Simio-a je što ne zahtjeva programersko znanje, svatko tko poznaje sustav može izrađivati modele, bez pomoći programera.

## 3.2 ARENA

Arena je softver za simulaciju diskretnih događaja koji je prvotno razvio Systems Modeling a zatim 2000. preuzeo Rockwell Automation. Arena ja zasigurno jedan od najpopularnijih alata za diskretno modeliranje, što govori činjenica da Arenu koristi većina iz Fortune 100 tvrtki. Također, Arena se podučava u više poslovnih škola nego iduća 4 konkurentna proizvođača zajedno. Arena se može koristiti za modeliranje raznih sustava u bilo kojoj industriji, a neki od primjera su:

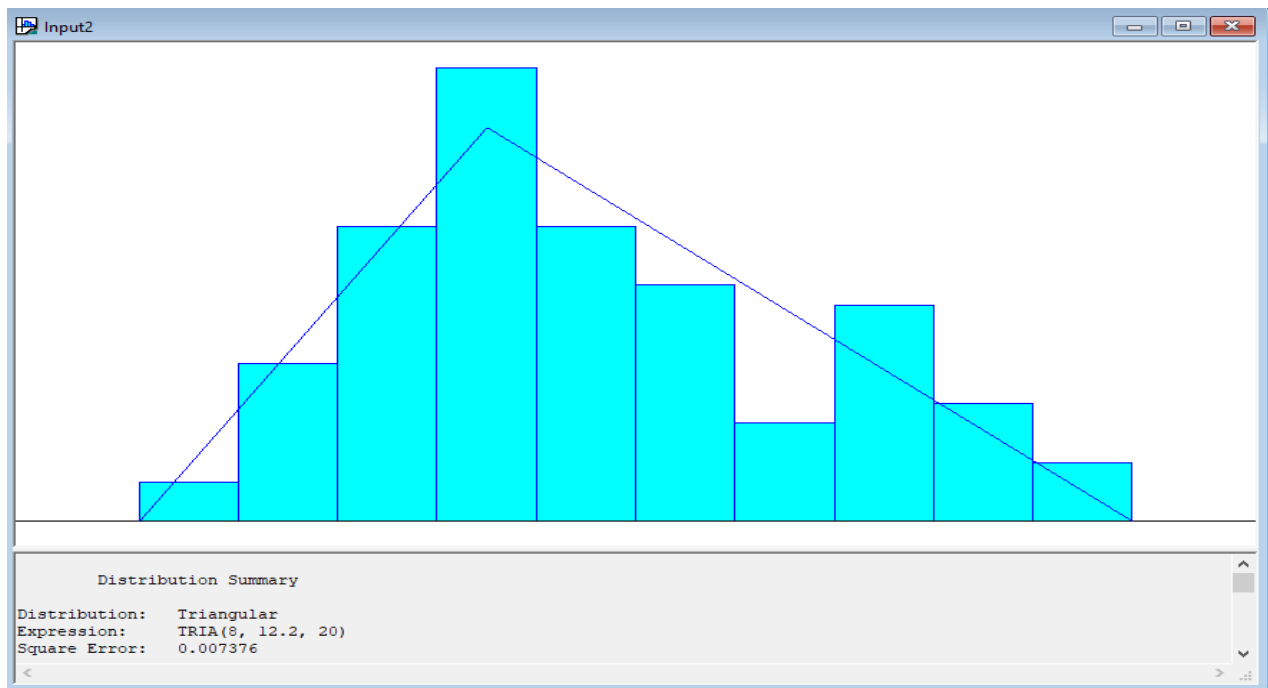
- Logistika, organizacija skladišta i transport
- Banke i bankomati
- Planiranje vozila i voznog reda
- Poslovni procesi (pozivi centri, osiguranja, itd.)[12]

U Areni korisnik izrađuje model spajanjem modula različitih oblika, slično dijagramu toka. Svaki oblik modula predstavlja neki proces ili logiku odvijanja procesa, na taj način korisnik stvara konceptualni model, na temelju kojega Arena u pozadini stvara računalni model, za čiju izradu koristi SIMMAN jezik. Primjer simulacijskog modela prikazan je na slici 8. Budući da se model izrađuje na temelju realnog sustava, mora postojati unos ulaznih podataka od strane korisnika. Arenin alat za analizu ulaznih podataka zove se Input analyzer koji na temelju izmjerenih veličina, opisuje njihovo ponašanje određenom razdiobom vjerojatnosti. Slika 9. prikazuje rezultate Input analyzera koji je dane podatke opisao trokutastom razdiobom.



Slika 8. Arena simulacijski model

Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/Part-of-the-main-animation-section-of-the-Arena-model-The-outputs-from-the-C-program-and\\_fig2\\_221525823](https://www.researchgate.net/figure/Part-of-the-main-animation-section-of-the-Arena-model-The-outputs-from-the-C-program-and_fig2_221525823)



Slika 9. Input analyzer

Izvor: Izradio autor

### 3.3 GPSS

GPSS ( General Purpose Simulation System) ove godine slavi šezdesetu godišnjicu što ga čini jednim od najstarijih simulacijskih softvera. 60 godina star ali i dalje mlad, GPSS razvio je 1961. Geoffrey Gordon iz IBM-a. Pojavom drugih simulacijskih alata sa animacijskim sustavima korištenost GPSS-a s vremenom se smanjivala, no GPSS je i dalje jedan od korištenijih simulacijskih alata, što čini njegovu povijesnu važnost zbog koje je naveden u ovom radu.

Za GPSS razvijen je vlastiti programski jezik s istim imenom prikazan na slici 10. GPSS strukturom podsjeća na LEGO strukturu gdje korisnik bira blokove s određenim funkcijama koji oponašaju realni sustav. Razlika između GPSS-a i modernih simulacijskih alata je u tome što GPSS nije vizualni alat, odnosno, korisnik sam izrađuje računalni model, dok u modernim alatima, program na temelju konceptualnog modela, sam izrađuje računalni model.



```

GENERATE      ,,10      ; 1 Amount office staff
ADVANCE 4,0.8 ; 2 Time to reach the cooler
DRINK QUEUE STAND ; 3 Queue to the cooler. input
SEIZE COOLER   ; 4 Verification of employment cooler
DEPART STAND   ; 5 Queue to the cooler. output
ADVANCE 2,0.8 ; 6 Filling the cup with boiling water
RELEASE COOLER ; 7 leave the cooler
ADVANCE 60,10  ; 8 Time for tea, time to work, time to get back to the cooler
TRANSFER      ,DRINK   ; 9 Go back to the cooler
GENERATE      480      ; 10 Working day (minutes)
TERMINATE     1        ; 11 Minus one minute
START 1       ; 12 Start from the first minute

```

Slika 10. Primjer koda u GPSS-u

Izvor: <https://sudonull.com/post/122801-GPSS-WORLD-fundamentals-of-simulation-using-live-examples>

## 4. Općenito o zalihama

Odgovor na pitanje „Što su zalihe ?“, može biti jednostavan kao količina hrane u hladnjaku ili precizniji kao „vlastiti materijal koji se koristi u poslovanju, odnosno koji je namijenjen unutarnjoj potrošnji ili na prodaju, a uključuje sirovine, poluproizvode, materijal u radu i gotove proizvode“[4]. Iz ove definicije daje se zaključiti da je osnovna podjela zaliha, ona prema stupnju završenosti proizvoda. Vrsta zaliha koju poduzeće drži nerijetko definira i vrstu poslovanja. Neka se poduzeća bave preradom sirovina sve do gotovog proizvoda, no u modernom opskrbnom lancu, sve je više onih koja specijaliziraju distribuciju određenog stupnja završenosti proizvoda.

Držanje, odnosno održavanje zaliha, mora doprinijeti dobrobiti cijelog poslovanja poduzeća. Suprotno općenitom vjerovanju, cilj držanja zaliha nije učiniti sve proizvode dostupnima u svakom trenutku, jer to može biti štetno za financijsko poslovanje poduzeća. Najjednostavnije rečeno, cilj držanja zaliha je zadovoljiti traženu potražnju za proizvodom pritom generirajući minimalne troškove. Opširnije, ciljevi držanja zaliha su:

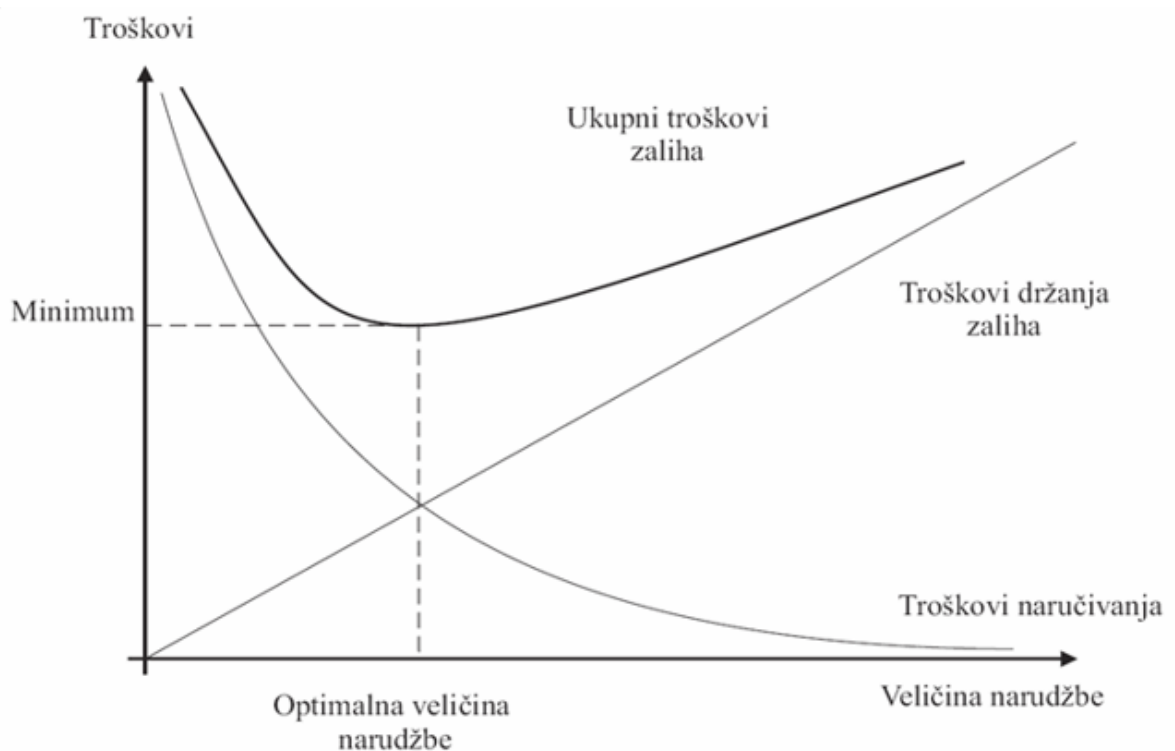
- Produkt potrebe zaštite poslovanja u uvjetima neizvjesnosti
- Omogućavanje ekonomične nabave i proizvodnje
- Pokrivanje promjena u ponudi i potražnji
- Omogućavanje toka materijala unutar proizvodnog, odnosno poslovnog sustava[4].

Uslijed globalizacije i sve veće konkurencije, pred upravitelje zaliha stavljaju se sve veća očekivanja. U velikim poduzećima menadžment zaliha uključuje i koordinaciju kupnje, proizvodnje te distribucije kako bi se zadovoljile marketinške potrebe poduzeća. Osim sve većeg pritiska na vrijednost zaliha i razine dostupnosti, pojavljuju se novi izazovi unutar opskrbnog lanca i logistike kao što su: promjenjivost cijena na tržištu, nepouzdan proces dobave, sve izraženija ekonomija obujma i jeftinija cijena jediničnog proizvoda za veću količinu naručene robe – što rezultira povećanjem zaliha, odnosno većim troškovima skladištenja[4].

#### 4.1 Ekonomična količina nabave (EOQ)

Model ekonomične količine narudžbe, odnosno EOQ ili Q, odgovara na pitanje koja je to optimalna količina robe koju treba naručiti, a da se pritom ukupni varijabilni troškovi naručivanja i troškovi držanja zaliha svedu na minimum. EOQ se koristi kao dio kontinuiranog sustava nadzora gdje se razina zaliha prati i ažurira nakon svake promjene, te se naručuje fiksna količina robe svaki put kad stanje zaliha padne na točku ponovne nabave. Korištenje sustava kontinuiranog nadzora samo je jedan od uvjeta za EOQ, a ostali su:

- Potražnja je poznata i odvija se u relativno konstantnim periodima
- Roba ima dovoljno dug rok trajanja
- Svi parametri troškova ostaju isti (tijekom beskonačnog vremena)
- Cijela narudžba dolazi u jednoj isporuci [4]



Slika 11. Prikaz troškova u EOQ

Izvor: Šafran M.: Nastavni materijali, Kolegij: Upravljanje zalihama, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2020.

Na slici 11. grafički je prikazano ponašanje troškova u EOQ. Vidljivo je da se troškovi naručivanja smanjuju s povećanjem naručene količine. Troškovi držanja zaliha ponašaju se suprotno, što je više robe naručeno, veći će biti troškovi skladištenja i manipulacijom robe. Iz krivulje ukupnih troškova, tamo gdje je najniža, očitava se količina robe, odnosno EOQ. Bitno je napomenuti da su pri optimalnoj količini nabave troškovi držanja zaliha i troškovi naručivanja jednaki, kako pokazuje izvod na slici 12.:

$$\frac{Q}{2} C_h = \frac{D}{Q} C_o \longrightarrow Q = \sqrt{\frac{2 * D * C_o}{C_h}}$$

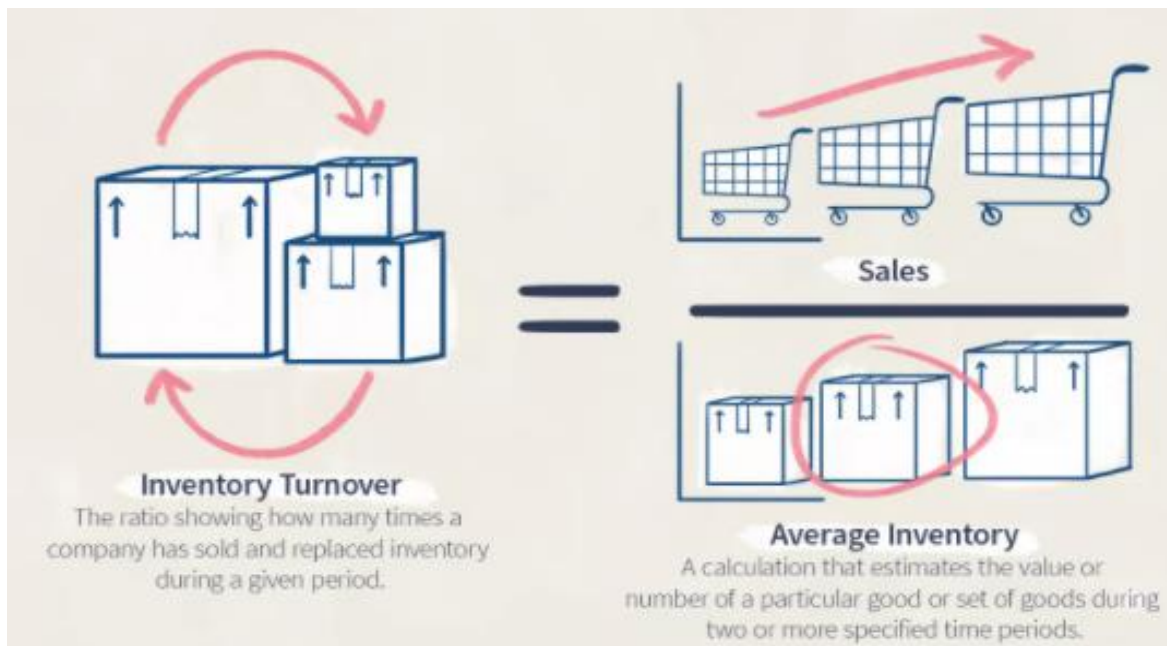
Slika 12. Izvod EOQ-a

Izvor: Božić D.: Nastavni materijali, Kolegij: Upravljanje zalihama, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2020.

EOQ daje jednostavne odgovore, no u većini slučajeva daje i previsoku razinu zaliha te se treba koristiti samo tamo gdje nema alternative[5]. EOQ pretpostavlja da su troškovi naručivanja i skladištenja fiksni, dok u stvarnosti variraju ovisno o stanju zaliha i samoj narudžbi. Također, model pretpostavlja da je potražnja redovita, zanemaruje mogućnost količinskih popusta, dok se u praksi količinski popusti primjenjuju na redovnim bazama, a potražnja je promjenjiva i ovisi o mnogim čimbenicima.

#### 4.2 Koeficijent obrtaja i dani vezivanja zaliha

Koeficijent obrtaja jedan je od najbitnijih pokazatelja uspješnosti poslovanja, pogotovo u upravljanju zalihama. Naizgled jednostavno, ali vrlo bitno, pokazuje koliko su se puta prodale prosječne zalihe u nekom vremenskom periodu. Izračunavanje i praćenje koeficijenta obrtaja pomaže poduzećima pri donošenju bitnih odluka u različitim područjima poslovanja kao što su naručivanje robe, marketing, upravljanje skladištem, proizvodnja i mnoga druga. Na slici 13. grafički je prikazana formula izračuna koeficijenta obrtaja, baš kao i na slici, koeficijent obrtaja jednak je trošku prodanih proizvoda podijeljenih s prosječnom vrijednosti zalihe.



Slika 13. Grafički prikaz formule koeficijenta obrtaja

Izvor: <https://www.investopedia.com/terms/i/inventoryturnover.asp>

Općenito, visok koeficijent obrtaja zaliha predstavlja uspješnije poslovanje, jer ukazuje na dobre rezultate prodaje, dok niže vrijednosti koeficijenta ukazuju na slabu prodaju i nekvalitetno iskorištene resurse. Međutim, ovo pravilo ima iznimaka, npr. vrhunska roba ima niži intenzitet prodaje zbog pripadajuće cijene, što unatoč niskom koeficijentu obrtaja ne implicira na nekvalitetno poslovanje. Upravo je zato bitno definirati koeficijent obrtaja kao zavisnu veličinu koja ovisi o:

- Obilježjima djelatnosti
- Fizičkom i financijskom obujmu poslovanja
- Uvjetima nabavki
- Uvjetima plaćanja dobavljača
- Dinamici prodaje gotovih proizvoda ili usluga
- Dinamici naplate potraživanja[4]

Nakon definicije koeficijenta obrtaja, potrebno je definirati dane vezivanja zaliha, pojam usko vezan s koeficijentom obrtaja. Dani, odnosno tjedni vezivanja prikazuju prosječno vrijeme koje roba provede na skladištu prije prodaje. U širem smislu, dani vezivanja podrazumijevaju svo vrijeme proteklo od samog naručivanja do trenutka prodaje, npr. vrijeme pakiranja, zaprimanja, deklariranja, itd.. Dani vezivanja računaju se kao kvocijent broja dana u godini i koeficijenta obrtaja pojedinog artikla ili grupe artikala. Analogno koeficijentu obrtaja, poduzeće s niskim vrijednostima dana vezivanja riskira gubitak potencijalne prodaje zbog nestašice proizvoda. Visoke vrijednosti dana vezivanja za posljedicu imaju dodatne troškove skladištenja, potencijalno propadanje robe i manji povrat kapitala jer velik dio kapitala vezan za zalihe.

### **4.3 ABC analiza**

ABC analiza je tehnika koja pomaže upraviteljima zaliha obavljanje selektivne kontrole zalihe, pritom obraćajući posebnu pozornost na robu s većom vrijednosti i većim obrtajem od ostale robe u asortimanu[15]. U poduzećima s velikim brojem različitih proizvoda, svaki proizvod ima različitu vrijednost te se svaki prodaje drugačijim intenzitetom, samim time na neke artikle treba obratiti više pozornosti. Odgovor na pitanje koji su to artikli daje nam ABC analiza koja funkcionira na Paretovom principu. Paretovo načelo ili pravilo 80/20 kaže da za mnoge pojave 80% rezultata dolazi od 20% napora. Princip je dobio ime po Vilfredu Pareto - talijanskom ekonomistu - koji je još 1895. primijetio da oko 80% talijanske zemlje pripada 20% stanovništva zemlje[14].

Provedbom ABC analize, proizvodi se dijele u tri grupe: A, B i C. Analizu je moguće provesti na više različitih načina, odnosno na temelju više različitih kriterija. Kao kriteriji mogu se koristiti:

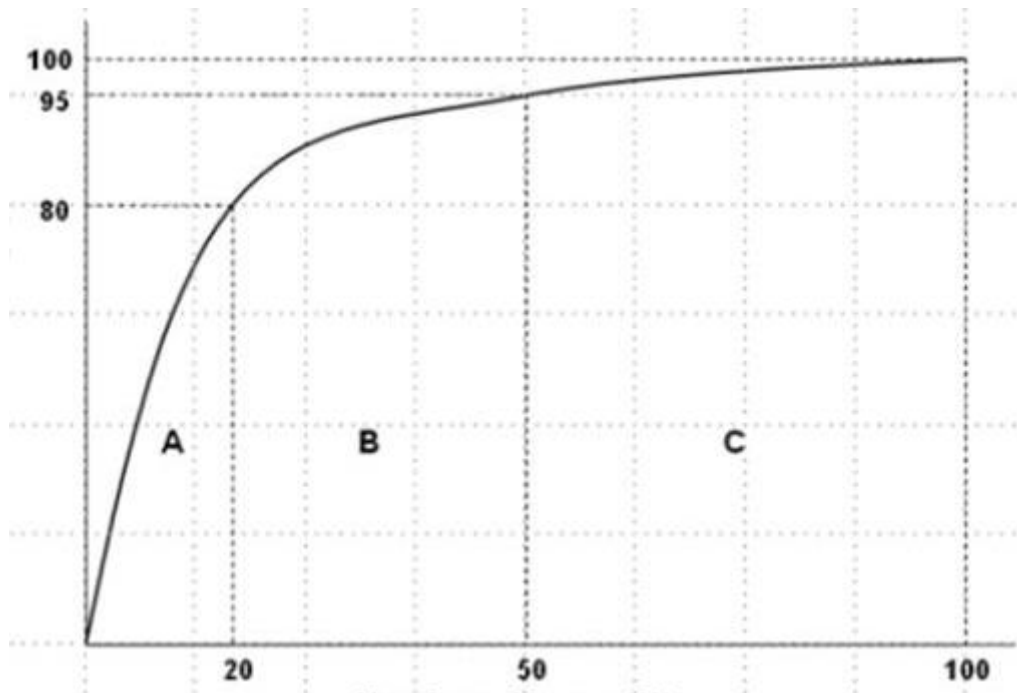
- Udio, odnosno iznos kojim predmet poslovanja sudjeluje u ukupnoj vrijednosti poslovanja (prodaje, nabave, skladišta)
- Udio kojim pojedini predmet poslovanja sudjeluje u ukupnoj vrijednosti zaliha
- Zatim učestalost prodaje (nabave), odnosno broj izlaza predmeta poslovanja iz skladišta u određenom razdoblju (kontinuirani, diskontinuirani, povremeni)
- Uvjeti prodaje (nabave) koji mogu imati obilježje najtežih, s teškoćama, bez teškoća[4].

Tablica 1. Kriterijska podjela proizvoda u skupine

Kategorija	Postotak proizvoda	Postotak udjela u prodaji
<b>A</b>	<b>5-25%</b>	<b>40-80%</b>
<b>B</b>	<b>20-40%</b>	<b>15-40%</b>
<b>C</b>	<b>40-75%</b>	<b>5-20%</b>

Izvor: Izradio autor

Kao što je prikazano u tablici 1., granice grupa ne moraju uvijek biti u istom omjeru, već se prilagođavaju vrsti i obujmu poslovanja. Također, po potrebi, moguće je dodati i još grupa kako bi uvid u doprinos proizvoda poslovanju bio još precizniji. U velikim poduzećima, često se dodaje još i D grupa koju tvore artikli sa još manjim udjelom u poslovanju od grupe C. Dodavanje grupa ne mora nužno biti povezano sa udjelom u poslovanju, često se za nove i nekurentne proizvode otvaraju posebne grupe, budući da se s njima rukuje na poseban način.



Slika 14. Grafički prikaz skupina

Izvor: <https://www.exactsoftware.com/Docs/DocView.aspx?DocumentID={eb2fb178-782b-41e4-a8d5-45c70937f98c}>

Slika 14. prikazuje osnovu podjelu proizvoda ABC analizom po Paretovom principu, bez odstupanja od istog. Ovakav način grupacije proizvode dijeli na:

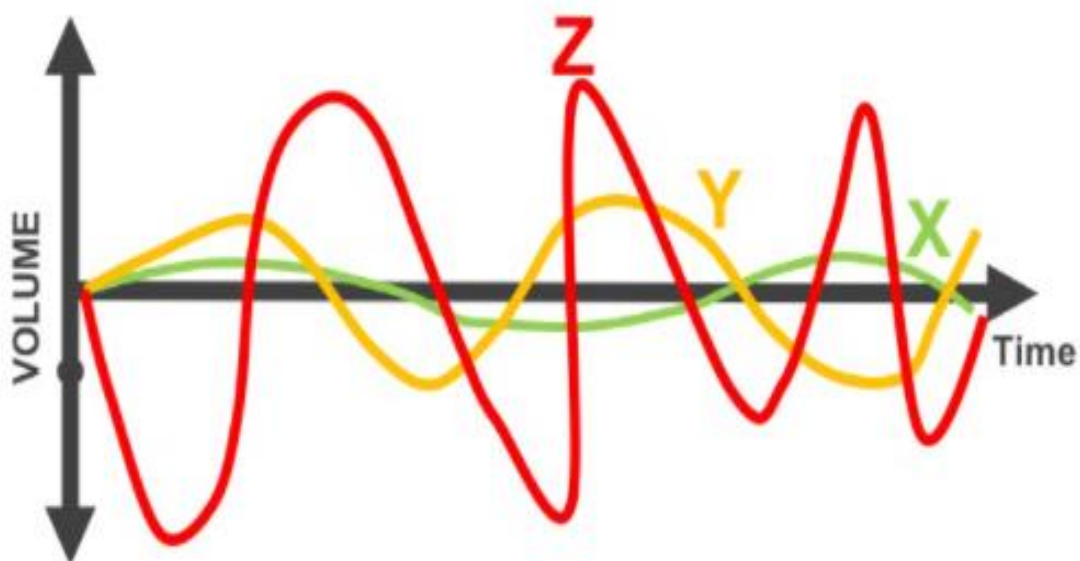
- Grupu A: 20% proizvoda koji predstavljaju 80% ukupnog obujma prodaje. Iako najmanja, grupa A, najbitnija je za poslovanje jer generira najveću vrijednost prodaje. Proizvode iz grupe A potrebno je svakodnevno kontrolirati te osigurati njihovu raspoloživost u svakom trenutku.
- Grupu B: 30% proizvoda koji predstavljaju 15% ukupnog obujma prodaje. Proizvodi u grupi B manje su kritični za poslovanje od onih u grupi A, ali kritičniji od onih iz grupe C. Na proizvode u grupi B, također je potrebno obratiti pozornost jer uz dobru prodaju mogu prijeći u grupu A, odnosno uz slabiju prodaju u grupu C.
- Grupu C: 50% proizvoda koji predstavljaju samo 5% ukupnog obujma prodaje. Proizvodi C su proizvodi marginalne vrijednosti, omogućuje neprestano poslovanje uz stalni prihod ali s vrlo malim udjelom u samoj prodaji. Proizvodi iz ove grupe drže se zbog zadržavanja kupaca, koji bi potencijalno zbog manjka C proizvoda na stanju, odlučio i proizvod A kupiti kod konkurencije.



#### 4.4 XYZ analiza

Za optimizaciju procesa upravljanja zalihama, ABC analiza iako ključna, nije dovoljna jer ne pruža uvid u kontinuitet potrošnje, odnosno potražnje. Nadopunu ABC analize omogućava XYZ analiza. Jednako kao i ABC, XYZ analiza dijeli proizvode u tri grupe, na temelju razine predvidljivosti njihove potražnje i toga koliko odstupaju od prognoze potražnje. Bitno je napomenuti da granice grupa ne moraju uvijek biti iste, te ovise o vrsti poslovanja i obujmu prodaje. Nakon provedene XYZ analize, svaki će proizvod pripasti jednoj od tri grupe:

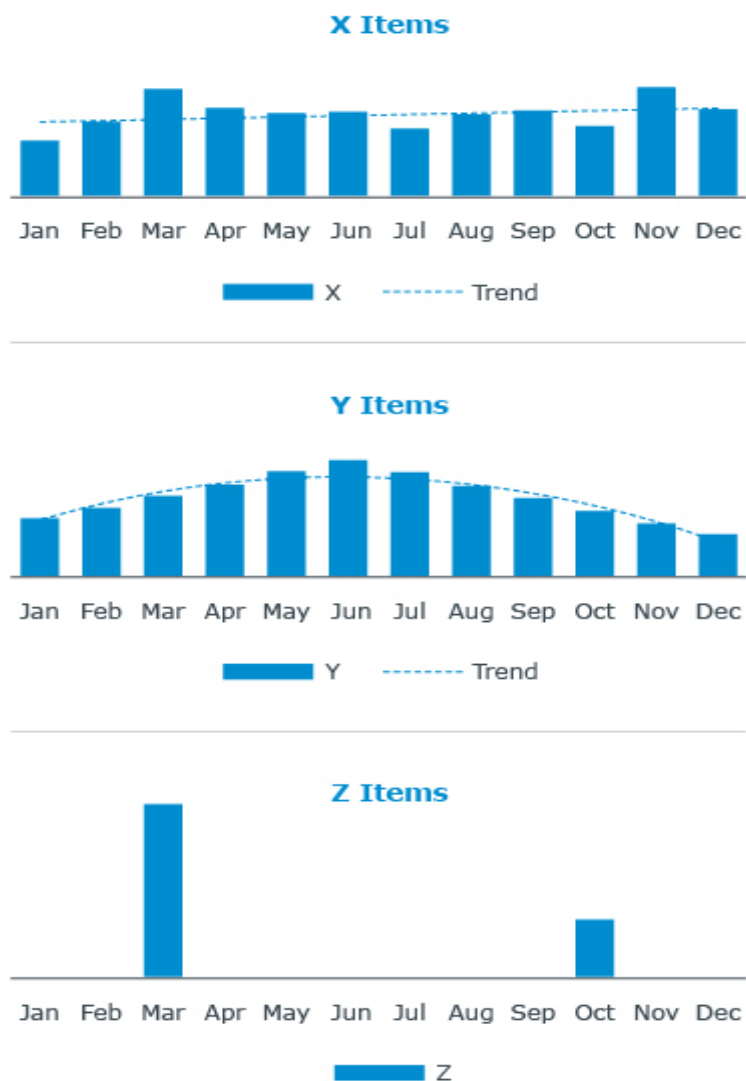
- Grupa X: proizvodi koji se kontinuirano prodaju i se u njihovoj prodaji javljaju odstupanja do 10%, što omogućava lako prognoziranje prodaje
- Grupa Y: proizvodi koji se prodaju diskontinuirano, odnosno odstupanja od prosjeka prodaje su do 20%, zbog čega je prognoziranje prodaje srednje točno
- Grupa Z: proizvodi koji se prodaju rijetko i povremeno te im je varijacija prodaje veća od 25% zbog čega je prodaju ovakvih proizvoda gotovo nemoguće prognozirati.



Slika 15. Varijacija prodaje

Izvor: <https://abcsupplychain.com/abc-xyz-analyse/>

Slika 15. prikazuje varijaciju prodaje artikala pojedine skupine tokom vremena. Vidljiva je razlika konzistentnosti prodaje te koliko je zapravo teško procijeniti prodaju Z artikala.



Slika 16. Prodaja artikala po mjesecima

Izvor: <https://www.cgma.org/resources/tools/cost-transformation-model/xyz-inventory-management.html>

U suštini, analiza se temelji na moćnosti prognoziranja prodaje ili potražnje, odnosno kontinuitetu potrošnje. Slika 16. prikazuje razlog postojanja same XYZ analize, proizvodi iz grupe Z prodavani su samo dva mjeseca u godini. Pod pretpostavkom da jedan od tih proizvoda ima visoku jediničnu cijenu, lako je moguće da pripada skupini A. Artikli koji pripadaju i A i Z skupini, ne naručuju se na dnevnoj ili tjednoj bazi jer bi to rezultiralo dodatnim troškovima skladištenja robe koja se prodaje samo dva mjeseca u godini.

## 5. Primjena simulacijskog alata ARENA na studiji slučaja

### 5.1 Opis studije slučaja

Za potrebe izrade simulacijskog modela upravljanja zalihama odabrana je tvrtka koja se bavi prodajom gotovih pizza slučajnim prolaznicima. Tvrtka ima svoju radnju brze hrane smještenu na frekventnoj pješačkoj zoni u gradu Zagrebu. U sklopu radnje nalazi se i skladište (zamrzivač) polugotovih proizvoda (zaleđene pizze). Poslovanje pizzerije organizirano je na način da kupci sami dolaze i kupuju pizze, a vrijeme između uzastopnih dolazaka kupaca opisano je distribucijom  $NORM(6,2)$  u minutama (kupci dolaze jedan po jedan, prosječno svakih 6 minuta sa standardnim odstupanjem od 2 minute). Ulazne veličine modela realni su podaci koji su dobiveni promatranjem i kronografskim mjerenjem.

Politika poslovanja nalaže da uvijek postoji minimalno petnaest gotovih pizza kako bi se mogla zadovoljiti trenutna potražnja kupaca. U modelu ovaj podatak predstavlja varijabla „Točka ponovne nabave“. Drugim riječima, svaki put kad količina gotovih proizvoda ( varijabla „Zaliha“) bude manja ili jednaka petnaest, potrebno je aktivirati proizvodnju. Pečenje pizza, odnosno proizvodnju obavlja resurs „Peć“ koji kada se aktivira, uvijek peče 15 pizza (varijabla Q). Trajanje pečenja uniformno je distribuirano između osam i dvanaest minuta. Nakon ulaska u radnju, kupac postavlja narudžbu koju u modelu predstavlja varijabla „Potražnja“. Vrijednost varijable ovisi o količini naručenih pizza. Ako potražnja kupca nije mogla biti zadovoljena, kupac odlazi, a pizzeria gubi potencijalnu prodaju. Varijabla „Izgubljeno“ u modelu predstavlja broj kupaca čija potražnja nije mogla biti zadovoljena, a varijabla „Izgubljena količina“ vrijednošću je ekvivalentna količini pizza koje su ti kupci naručili a nisu dobili. Zaliha zamrzivača, čiji je kapacitet tristo pizza, obnavlja se na kraju svakog radnog dana na razinu svog kapaciteta. Također, iskustvo je pokazalo da je potrebno prije početka radnog vremena ispeći trideset pizza zbog velike jutarnje potražnje. Te pizze ne ulaze u kapacitet zamrzivača.

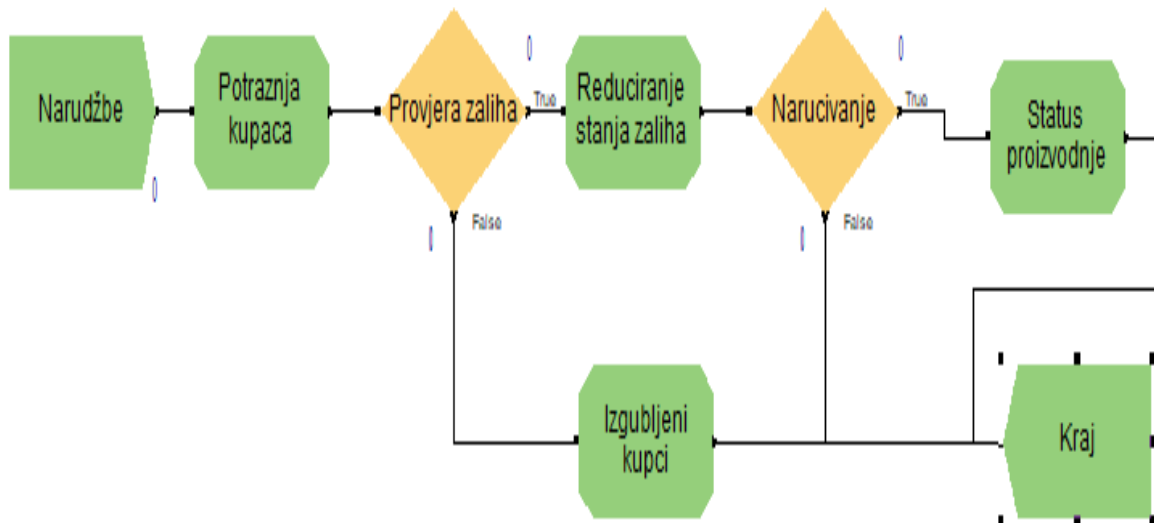
Svrha ovog eksperimenta je optimizirati sustav na način da se ne gube kupci, uz što manje zalihe gotovih proizvoda. To će se postići kreiranjem više različitih scenarija sa različitim ulaznim veličinama, te će se usporedbom rezultata donijeti zaključak o optimalnom rješenju. Eksperiment se provodi na jednom radnom danu u trajanju od 12 radnih sati.

### 5.3 Simulacijski model

Model je podijeljen u dva dijela: prodaju i proizvodnju. Poveznica između dva dijela je varijabla „Proizvodnja“ čije vrijednosti mogu biti nula ili jedan. Kad poprimi vrijednost jedan, aktivira proces proizvodnje. Tijek modela prodaje odvija se kako slijedi:

1. Modul create (Narudžbe) – opisuje dolazak kupaca u pizzeriju, vrijeme između dolazak opisano je distribucijom NORM (6,2), a kupci dolaze jedan po jedan.
2. Modul assign (Potražnja kupaca) – definira varijablu Potražnja te je opisuje distribucijom TRIA(1,2,6) što znači da kupci po dolasku uzimaju najmanje jednu, najviše šest, a najčešće dvije pize. Modul ima još jednu funkciju, a to je uvećavanje varijable Broj kupaca za jedan svaki put kad dođe kupac.
3. Modul decide (Provjera zaliha) – provjerava zalihi gotovih pizza, nakon koje slijedi grananje. U slučaju da je potražnja veća od zalihe, pizzerija gubi kupca, a model prelazi u sljedeći modul (Izgubljeni kupci) koji uvećava vrijednost varijable Izgubljeno (broj izgubljenih kupaca) za jedan, a vrijednost varijable Izgubljena količina za vrijednost potražnje koju je postavio kupac. Ako pizzerija može udovoljiti potražnji kupca, model ide dalje redom:
4. Modul assign (Reduciranje zaliha) – ažurira stanje zaliha nakon prodaje te uvećava vrijednost varijable Zadovoljena potražnja za vrijednost varijable Potražnja
5. Modul decide (Naručivanje) – provjerava da li je stanje varijable Zaliha manje ili jednako vrijednosti varijable Točka ponovne nabave, te ako je, model prelazi u idući modul (Status proizvodnje) gdje postavlja vrijednost varijable Proizvodnja na 1.

Simulacijski model prodaje prikazan je na slici 17.



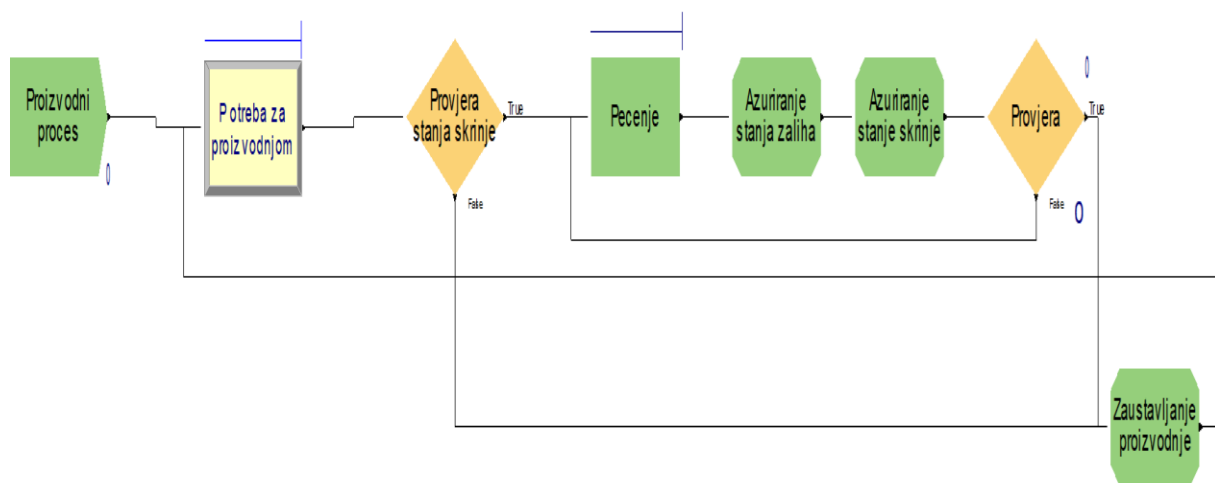
Slika 17. Simulacijski model prodaje

Izvor: Izradio autor

Drugi dio modela, onaj vezan za prodaju prikazan je na slici 18. Kao što je ranije navedeno model svakom iteracijom prolazi kroz oba procesa, a proces proizvodnje pokreće samo u slučaju kad je vrijednosti varijable Proizvodnja jednaka jedan. Tijek modela proizvodnje odvija se kako slijedi:

1. Modul create (Proizvodni proces) – predstavlja ulazak u proces proizvodnje.
2. Modul hold (Potreba za proizvodnjom) – radi na principu da koči model do ispunjenja zadanog uvjeta koji je u ovom slučaju  $Proizvodnja == 1$ , odnosno tek kada je varijabla Proizvodnja u modelu prodaje poprimila vrijednost jedan, model proizvodnje prolazi kroz ovaj modul. Za vrijednost nula varijable Proizvodnja, model prelazi u modul Zaustavljanje proizvodnje.
3. Modul decide (Provjera stanja škrinje) – provjerava da li u škrinji ima dovoljno pizza za pečenje, ako nema nastupa izlaz iz modela. Ako je količina pizza u škrinji veća ili jednaka EOQ-u model nastavlja na idući modul, a ako nije model prelazi u modul Zaustavljanje proizvodnje.
4. Modul process (Pečenje) – radi na principu „uzmi-zadrži-pusti“, radnju pečenja obavlja resurs Peć. Trajanje aktivnosti uniformno je distribuirano sa najmanjom vrijednosti od osam, a najvećom dvanaest minuta, ovisno o temperaturi peći.

5. Modul assign (Ažuriranje stanja zaliha) – uvećava vrijednost varijable Zaliha za količinu ispečenih pizza (EOQ).
6. Modul assign (Ažuriranje stanja škrinje) – smanjuje količinu pizza u škrinji za količinu ispečenih pizza
7. Modul decide (Provjera) – provjerava da li je vrijednost varijable Zaliha veća ili jednaka vrijednosti varijable Optimalna zaliha, odnosno da li je za vrijeme proizvodnje stanje zaliha ponovno palo ispod točke ponovne nabave, ako jest, model se vraća u modul Potreba za proizvodnjom.



Slika 18. Simulacijski model proizvodnje

Izvor: Izradio autor

#### 5.4 Rezultati simulacijskog eksperimenta

Rezultati ovog simulacijskog eksperimenta biti će prikazani na specifičan način. Ranije je spomenuto da je cilj ovog eksperimenta optimizirati prodaju i proizvodnju pizzerije. Zaključak o optimizaciji sustava donesen je na temelju deset različitih scenarija, od kojih svaki ima drugačije ulazne parametre. Različiti scenariji generirani su uz pomoć alata „Process analyzer“ koji je sastavni dio osnovnog paketa programa Arena.

Process Analyzer dijeli podatke u dvije skupine, na kontrole („Controls“) i odgovore („Responses), te omogućava kreiranje različitih scenarija jednom kada je pokrenut simulacijski model. Kontrole su podaci koje korisnik mijenja u scenariju, a Process analyzer pokrene isti model ali sa tim promijenjenim vrijednostima pritom vraćajući vrijednosti podataka iz skupine odgovori. Drugim riječima vrijednost odgovora ovisi o vrijednosti postavljenih kontrola. Na taj način korisniku je omogućen odgovor na pitanje „kako će promjena veličine a, b i c utjecati na veličine d, e i f ?“.Ovim alatom ubrzan je proces analize podataka zato što nije potrebno mijenjati model pri svakoj promjeni parametara.

Slika 19 prikazuje rezultate eksperimenta i ranije navedenu podjelu podataka na kontrole i odgovore. Za svrhu ovog simulacijskog eksperimenta za kontrole su uzete varijable: „EOQ“ odnosno „Q“ koja predstavlja količinu pizza koja se peče kad zaliha padne na vrijednost varijable „Točka ponovne nabave“ i varijabla „Optimalna zaliha“. Skupinu odgovora čine varijable: „Izgubljena količina“, „Izgubljeno“, „Zadovoljena potražnja“ čija je vrijednost jednaka broju prodanih pizza u tom danu i „Zaliha“ koja predstavlja broj ispečenih pizza koje se na kraju radnog dana nisu prodale te se moraju baciti.

Tablica 2. Pregled rezultata izvedenih simulacijskih eksperimenata

	Scenario Properties			Controls			Responses			
	S	Name	Pr og ps	EOQ	Točka ponovne	Optimalna zaliha	Izgubljena kolicina	Izgubljeno	Zadovoljena potraznja	Zaliha
1		Scenario 1	25 1	15.0000	15.0000	30.0000	19	6	329	1
2		Scenario 2	25 1	15.0000	20.0000	30.0000	49	15	329	1
3		Scenario 3	25 1	20.0000	15.0000	30.0000	47	16	330	0
4		Scenario 4	25 1	15.0000	15.0000	40.0000	0	0	359	1
5		Scenario 5	25 1	10.0000	15.0000	35.0000	0	0	362	8
6		Scenario 6	25 1	10.0000	10.0000	30.0000	9	3	329	1
7		Scenario 7	25 1	10.0000	10.0000	40.0000	8	2	348	2
8		Scenario 8	25 1	10.0000	15.0000	40.0000	2	1	360	0
9		Scenario 9	25 1	20.0000	15.0000	40.0000	44	12	350	0
10		Scenario 10	25 1	15.0000	10.0000	40.0000	18	5	345	0

Izvor: Izradio autor

U ovom slučaju, optimizacija sustava podrazumijeva svođenje troškova na minimum pritom nastojeći ne izgubiti niti jednog kupca. Troškove u ovom eksperimentu predstavljaju ispečene zalihe (pizze) koje se na kraju dana nisu prodale. Na podatak o zadovoljenijoj potražnji, također je potrebno obratiti pozornost jer on predstavlja jedan od ključnih pokazatelja uspješnosti.

Scenarij 1 opisuje početno stanje sustava iz kojeg se vidi kako rezultati poslovanja nisu na zadovoljavajućoj razini jer svaki dan se u prosjeku izgubi šest kupaca, odnosno šest mogućih prodaja. Finansijski, uz jediničnu cijenu proizvoda od 50 kn, pizzerija na dnevnoj bazi izgubi 950 kn, uz mogući trošak gubitka kupca.

U petom scenariju, gdje su promijenjene vrijednosti EOQ-a i optimalne zalihe, pizzerija ne gubi kupce ali na kraju svakog dana mora baciti osam pizza što također ne predstavlja optimalno rješenje bez obzira što je u tom scenariju ostvarena najveća prodaja.

Scenarij 4 nudi najviše, a uzima najmanje. Ostvaruje drugu najveću prodaju pritom ne gubeći niti jednog kupca te zato predstavlja traženo optimalno rješenje. Ovaj primjer idealno pokazuje moć simulacija. Da je svaki od ovih scenarija proveden u stvarnosti to bi rezultiralo enormnim troškovima i velikim gubitkom vremena uz lošije rezultate. Naravno, moguće je da postoji scenarij koji bi ostvario još bolje rezultate, te je do njega moguće doći jedino provođenjem daljnjih eksperimenata ili nekim drugim metodama.



## 6. Zaključak

Ideja simulacije rodila se prije četiristo godina, ali tek je u zadnjih dvadesetak godina tehnologija napredovala dovoljno da podrži ideju računalne simulacije. Rješavanje problema i donošenje odluka uz pomoć simulacija unaprijedilo je svako poduzeće koje je usvojilo ovaj način pristupa. Simulacije štede novac i vrijeme, smanjuju rizike, pružaju detaljniji i točniji pregled sustava, omogućuju vizualizaciju i uvid u nedostatke sustava. Zbog toga simulacije imaju iznimno široku primjenu, pa tako i u planiranju zaliha.

Upravljanje zalihama je jedan od najvažnijih dijelova opskrbnoga lanca, kvalitetnim upravljanjem poduzeće stječe sigurnost i fleksibilnost u proizvodnom i prodajnom sustavu. S druge strane nekvalitetno upravljanje zalihama može dovesti do velikih troškova i gubitka kupaca ili dijela proizvodnje. Nedavno se pojavio i trend za potpunim eliminiranjem zaliha kako bi se u potpunosti reducirali troškovi istih, a sustav koji to podržava zove se JIT („Just in time“ – Upravo na vrijeme).

Glavni zadatak ovog završnog rada bio je izrada simulacijskog modela i analiza rezultata simulacijskog eksperimenta. Na primjeru je prikazano kako se jednostavnim simulacijskim modelom može opisati ponašanje sustava koji je podijeljen na dva manja pod sustava (proizvodnju i prodaju). Analizom rezultata simulacijskog eksperimenta pružen je uvid u nedostatke sustava i ponuđeno rješenje za optimizaciju istog. Prezentirani model pokazuje kako upotreba simulacijskih modela može pomoći poduzetnicima ili poduzećima unaprijediti vlastito poslovanje. Ovakav model može se proširiti sa dodavanjem različitih scenarija i pružiti odgovor na svako „što ako?“ pitanje.

## Literatura

- [1.] <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/324138.324142> (Pristupljeno 20.08.2021)
- [2.] Čerić, V.: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
- [3.] Stanković, R.: Nastavni materijali, Kolegij: Osnove simulacije u prometu i logistici, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb,
- [4.] Šafran M.: Nastavni materijali, Kolegij: Upravljanje zalihama, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2020.
- [5.] Tony Wild: Best Practice in Inventory Management, second edition, Elsevier Science Ltd., 2002
- [6.] [file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/347082.modeliranje\\_i\\_simulacija\\_-\\_v2a2%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/347082.modeliranje_i_simulacija_-_v2a2%20(5).pdf)
- [7.] <http://aktuari.math.pmf.unizg.hr/docs/sm.pdf> (Pristupljeno 20.08.2021)
- [8.] <https://hrv.agromassidayu.com/stohasticheskaya-model-v-ekonomike-determinirovannie-i-stohasticheskie-modeli-read-901033> (Pristupljeno 20.08.2021)
- [9.] <https://www.anylogic.com/use-of-simulation/discrete-event-simulation/> (Pristupljeno 20.08.2021)
- [10.] <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/monte-carlo-simulation> (Pristupljeno 20.08.2021)
- [11.] <https://www.simio.com/software/continuous-simulation-and-modeling.php> (Pristupljeno 20.08.2021)
- [12.] <https://www.futurelearn.com/info/courses/simulation-for-logistics-an-introduction/0/steps/66025> (Pristupljeno 20.08.2021)
- [13.] Law A., Kelton W.: Simulation Modeling and Analysis, second edition, McGraw-Hil, 2000

[14.] [https://resumelab.com/career-advice/pareto-principle?utm\\_source=google&utm\\_medium=sem&utm\\_campaign=6540517835&utm\\_term=%2Bpareto%20%2Brule&network=g&device=c&adposition=&adgroupid=104311758447&placement=&gclid=CjwKCAjw64eJBhAGEiwABr9o2BcjKiLpN93M5-jKsruzSg8TvX3wAISorGuVRnlpbMzoUxpnb00THRoCFU4QAvD\\_BwE](https://resumelab.com/career-advice/pareto-principle?utm_source=google&utm_medium=sem&utm_campaign=6540517835&utm_term=%2Bpareto%20%2Brule&network=g&device=c&adposition=&adgroupid=104311758447&placement=&gclid=CjwKCAjw64eJBhAGEiwABr9o2BcjKiLpN93M5-jKsruzSg8TvX3wAISorGuVRnlpbMzoUxpnb00THRoCFU4QAvD_BwE) (Pristupljeno 20.08.2021)

[15.] Shenoy D. , Rosas R.: Problems & Solutions in Inventory Management, Springer International Publishing AG, 2018.

## Popis slika

Slika 1. Deterministički model.....	4
Slika 2. Stohastički model .....	5
Slika 3. Diskretni model .....	5
Slika 4. Kontinuirani model .....	6
Slika 5. Mješoviti kontinuirano-diskretni model .....	7
Slika 6. Dijagram toka simulacijskog procesa .....	8
Slika 7. Rezultati kombinirane simulacije .....	13
Slika 8. Arena simulacijski model .....	16
Slika 9. Input analyzer .....	17
Slika 10. Primjer koda u GPSS-u .....	18
Slika 11. Prikaz troškova u EOQ.....	20
Slika 12. Izvod EOQ-a .....	21
Slika 13. Grafički prikaz formule koeficijenta obrtaja .....	22
Slika 14. Grafički prikaz skupina .....	25
Slika 15. Varijacija prodaje .....	26
Slika 16. Prodaja artikala po mjesecima .....	27
Slika 17. Simulacijski model prodaje .....	30
Slika 18. Simulacijski model proizvodnje .....	31

## **Popis tablica**

Tablica 1. Kriterijska podjela proizvoda u skupine .....	24
Tablica 2. Pregled rezultata izvedenih simulacijskih eksperimenata .....	32



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 simulacijskog modela u planiranju zaliha**

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

U Zagrebu, 6.9.2021

Student/ica:

(potpis)