

# Primjena simulacijskih modela u analizi procesa komisioniranja robe

---

**Posilović, Filip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*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:119:897508>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-13**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

Filip Posilović

**PRIMJENA SIMULACIJSKIH MODELA U ANALIZI PROCESA**  
**KOMISIONIRANJA ROBE**

ZAVRŠNI RAD

**Zagreb, 2020.**

Zagreb, 8. travnja 2020.

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

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 5832**

Pristupnik: **Filip Posilović (0035197149)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Primjena simulacijskih modela u analizi procesa komisioniranja robe**

### Opis zadatka:

Prikazati prednosti i nedostatke simulacijskih metoda općenito, te mogućnost primjene simulacijskih modela u svrhu analize logističkih procesa. Izraditi simulacijski model jednostavnog logističkog procesa i provesti simulacijski eksperiment sa stvarnim ili fiktivnim ulaznim podacima. Prikazati i objasniti rezultate simulacijskog eksperimenta.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Ratko Stanković

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

**PRIMJENA SIMULACIJSKIH MODELA U ANALIZI PROCESA  
KOMISIONIRANJA ROBE**

**APPLICATION OF SIMULATION MODELS IN ANALYSIS OF THE  
PICKING PROCESS**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ratko Stanković

Student: Filip Posilović  
JMBAG: 0035197149

Zagreb, rujan 2020.

## SAŽETAK

Simulacijski model je pojednostavljeni model realnog sustava koji omogućava njegovu analizu uz pomoć računala. Njime se stvarni procesi mogu prikazati uz uvjet da se ulazni podaci potrebni za modeliranje značajno ne razlikuju kako bi se dobiveni rezultati mogli prihvatiti i primjeniti u realnom sustavu. Komisioniranje je jedan od najbitnijih ali i najzahtjevnijih procesa koji se obavljaju unutar skladišta i zbog toga se primjenom simulacijskog modela mogu istražiti mogućnosti unaprijeđenja istog. Tako se uzimajući podatke iz stvarnog distribucijskog centra uz pomoć simulacijskog modela i uz neke pretpostavke podaci analiziraju i shodno rezultatima predlažu pojedina rješenja za optimizaciju procesa.

**KLJUČNE RIJEČI:** simulacijski model, komisioniranje robe, optimizacija procesa.

## SUMMARY

Simulation model is a simplified model of a real system which enables computer aided analysis of the latter. With it, real processes can be recreated provided that the input data required for modeling doesn't significantly differ so that the results are valid and could be applied in the real system. Order-picking is one of the most important but also one of the most demanding processes that is being done in a warehouse and for that reason the possibilities of improving the order-picking process can be examined with a simulation model. With the data taken from a real world distribution centre and combined with some assumptions about the process, it is possible to create a simulation model that gives results that can be analyzed and could possibly be applied as solutions or improvements which can optimize existing real world order-picking process.

**KEY WORDS:** simulation model, order-picking, optimizing processes.

## Sadržaj

1.	Uvod .....	1
2.	Logistika.....	2
2.1	Definicija logistike.....	2
2.2	Opskrbni lanac.....	2
3.	Funkcije skladišta u opskrbnom lancu.....	4
3.1	Održavanje razina zaliha.....	4
3.2	Konsolidacija, razdvajanje/sortiranje i zbirna pošiljka .....	5
3.3	Vrste skladišta .....	6
3.3.1	Prema infrastrukturi .....	6
3.3.2	Prema stupnju mehanizacije i automatizacije.....	7
3.3.3	Prema funkcijama.....	7
3.3.4	Prema vrsti uskladištene robe.....	7
3.3.5	Prema organizaciji poslovanja .....	8
4.	Logistički procesi u skladištu .....	9
4.1	Zaprimanje i provjera robe.....	9
4.2	Smještaj robe.....	9
4.3	Komisioniranje robe .....	10
4.3.1	Podjela sustava komisioniranja po principu kretanja komisionera/robe.....	10
4.3.2	Podjela sustava komisioniranja prema vrsti jediničnog tereta koji se izuzima .....	11
4.4	Metode komisioniranja .....	12
4.4.1	Metoda usmjeravanja (rutiranja) .....	13
4.4.2	Metoda odlaganja .....	15
4.4.3	Metoda organizacije komisioniranja .....	15
4.5	Otprema robe.....	16
4.6	Administrativni poslovi.....	16
5.	Simulacijske metode i alati.....	17
5.1	Definicija modela.....	17
5.1.1	Modeliranje .....	17
5.1.2	Vrste modela .....	17
5.2	Definicija simulacije.....	18
5.2.1	Simulacijski proces.....	19
5.2.2	Razina simulacije .....	20
5.2.3	Vrednovanje simulacijskog modela.....	20

5.3	Simulacijski alati .....	20
5.3.1	Arena Professional Edition Rockwell.....	20
5.3.2	FlexSim.....	22
5.4	Prednosti i nedostaci.....	24
6.	Simulacijski model komisioniranja u skladištu .....	25
6.1	Modeliranje sustava .....	25
6.2	Simulacijski alat .....	27
6.3	Pretpostavke za simulacijski model.....	28
6.4	Provođenje simulacije .....	28
6.4.1	Simulacija komisioniranja s 5 artikala po narudžbi .....	30
6.4.2	Simulacija komisioniranja s 10 artikala po narudžbi .....	30
6.4.3	Simulacija komisioniranja s 15 artikala po narudžbi .....	31
6.4.4	Simulacija komisioniranja s 20 artikala po narudžbi .....	32
6.5	Analiza dobivenih rezultata .....	32
7.	Zaključak.....	35
	Popis literature .....	36
	Popis slika .....	38
	Popis tablica .....	39

## 1. Uvod

Temelj modernog društva je trgovina odnosno razmjena dobara. Tu trgovinu je potrebno organizirati, pratiti, unaprijeđivati i održavati na razini s kojom su zadovoljne obje strane i prodavači (dobavljači, distributeri) ali i sami kupci (potrošači). Time se bavi logistika, upravljanjem opskrbnim lancem, odnosno upravljanjem tokovima robe od sirovine do krajnjeg proizvoda namjenjenog potrošačima. U tom sustavu opskrbe postoje brojni subjekti i procesi koje je potrebno unaprijeđivati i optimizirati u svrhu što boljeg iskorištenja utrošenih resursa.

Kako bi se procesi što brže, bolje i jednostavnije unaprijedili sve je češće korištenje modernih tehnologija koje se temelje na korištenju računala. U modernim logističkim tvrtkama računala se koriste od samog upravljanja manipulacijama tereta do sveobuhvatnih sustava s kojima se prate i obrađuju narudžbe, formiraju pošiljke, kreiraju rute distribucije, prate transportna vozila u svrhu pravovremenog obavještanja kupaca o dostavi i mnogih drugih procesa.

Jedne od mnogih modernih tehnologija koje su se značajno razvile od početka široke upotrebe računala su i simulacijske metode. Njima se svi realni procesi (s određenim stupnjem točnosti) mogu zamijeniti modelima i pomoću računalnih simulacijskih alata simulirati te analizirati u svrhu poboljšavanja postojećeg stanja ili validacije mogućih investicija.

U prva četiri poglavlja ovog rada pojašnjeni su osnovni pojmovi iz područja logistike poput opskrbnog lanca, funkcije skladišta u samom opskrbnom lancu ali i samih procesa koji se odvijaju u skladištima. Ti procesi se odnose na zaprimanje, skladištenje, komisioniranje, te otpremu robe ali i osnovne administrativne poslove koji su odgovorni za obradu dokumentacije koja prati distribuciju tereta.

U petom poglavlju rada će se pojasniti simulacijske metode i njihovi alati, postupak modeliranja i osnovne vrste modela, definirati što su zapravo simulacije te koji je zapravo simulacijski proces i kako odrediti razinu same simulacije i kako ocijeniti provedenu simulaciju i dobivene rezultate.

U šestom poglavlju će se prikazati jedan jednostavan primjer simulacijskog modela komisioniranja robe u skladištu, postupak izrade samog modela te će se prikazati analiza dobivenih rezultata i pokazati kako usporediti i dobiti korelacije različitih rezultata dobivenih promjenom parametara u samoj simulaciji.

U sedmom poglavlju iznesen je zaključak i navedena su rješenja i moguće primjene simulacijskih alata u skladu s analizom podataka dobivenih provedbom simulacije na jednostavnom simulacijskom modelu.



## 2. Logistika

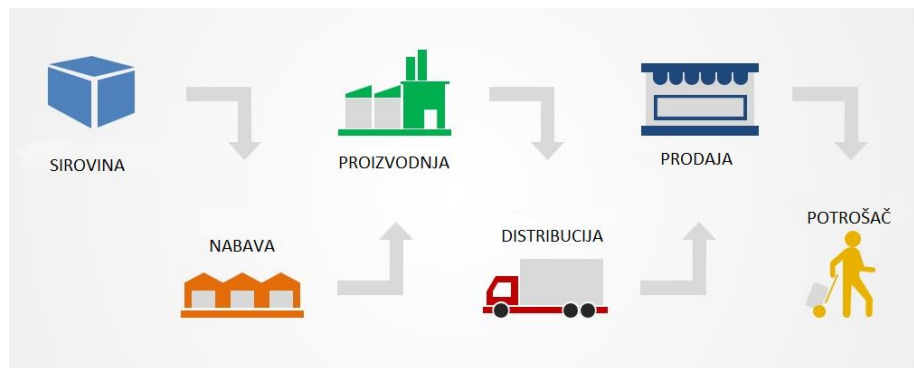
S jačanjem procesa globalizacije i povezivanja globalnih tržišta povećava se i značaj logistike. Zbog sve veće potražnje proizvođači su prisiljeni tražiti mjesta s najmanjim troškovima proizvodnje i nabave materijala, a s time se također povlači i pitanje transporta te distribucije proizvoda ili poluproizvoda.

### 2.1 Definicija logistike

Logistika je široko znanstveno područje koje izučavaju brojni stručnjaci stoga ne postoji jedinstvena definicija. Općenito, logistika se definira kao osnovi dio upravljanja opskrbnim lancem, sastoji se od organizacije i upravljanja tokovima robe vezanim za kupovinu, proizvodnju, skladištenje, distribuciju ali i odlaganje, reciklažu i razmjenu dobara. [1]

### 2.2 Opskrbni lanac

Opskrbni lanac (Slika 1.) je kompleksan sustav kojemu je cilj zadovoljiti potrebe krajnjih potrošača prilikom čega treba ostvariti određenu komercijalnu dobit. On obuhvaća sve od dobavljača sirovina, proizvođača, distributera do maloprodajnih trgovaca te u konačnici kupaca (potrošača). [2]



Slika 1. Shema jednostavnog opskrbnog lanca [3]

Ako se promatra opskrbni lanac kroz faze onda se u pravilu mogu definirati četiri faze:

- faza nabave (dobavljači sirovina i repromaterijala);
- faza proizvodnje (proizvođači krajnjih proizvoda);
- faza distribucije (prijevoznici, trgovci, distributeri, logistički operateri);
- faza potrošnje (kupci, krajnji korisnici). [2]

U svim navedenim fazama prisutan je jedan od najbitnijih logističkih procesa, a to je skladištenje. U pravilu se razina i potreba skladištenja značajno razlikuje u pojedinim dijelovima opskrbnog lanca. Potrošač će za svoje osobne potrebe skladištiti malen broj proizvoda dok će distribucijski centar skladištiti onoliku količinu koja zadovoljava potrebe distribucije do sljedeće nabave od dobavljača.

Opskrbni lanac se također može podijeliti i prema ciklusima koji se događaju između 4 prethodno navedene faze:

- ciklus prodaje, ciklus koji se obavlja između kupca i prodajnog mjesta;

- ciklus zaliha, ciklus koji se najviše očituje u fazi distribucije i događa se na relaciji prodajno mjesto – distributer;

- ciklus proizvoda, ciklus koji se odnosi na interakciju distributera i proizvođača (dobavljača);

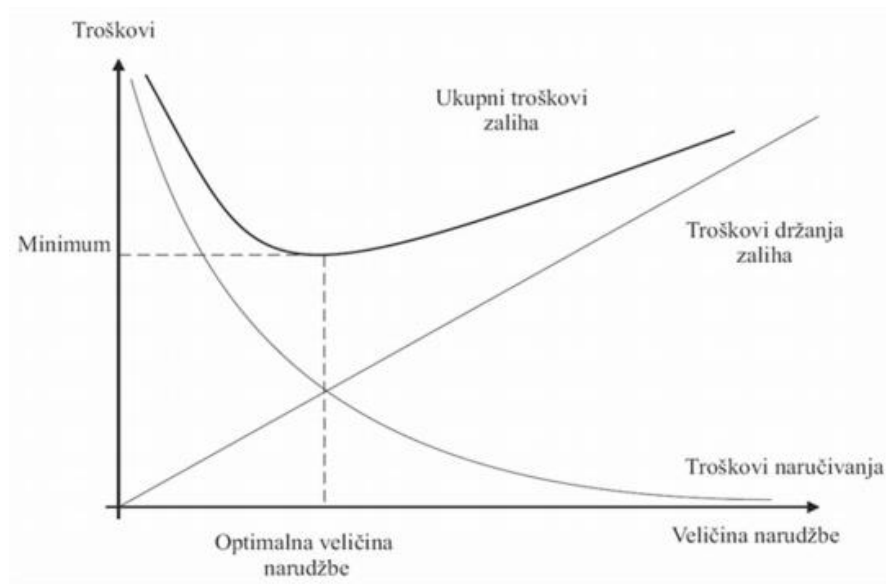
- i ciklus materijala, ciklus koji prethodi proizvodnji gotovih proizvoda, a odnosi se na nabavu sirovina i repromaterijala. [2]

### 3. Funkcije skladišta u opskrbnom lancu

Kao što je već spomenuto, skladišta se pojavljuju u svim fazama i ciklusima opskrbnog lanca. Ona omogućuju neprekinut tok robe koji je sklon odstupanjima zbog nepredvidivih problema u transportu, distribuciji ili u samoj proizvodnji. Skladištenje robe zapravo predstavlja neželjen trošak i stoga ga je potrebno smanjiti na minimalne razine kako bi se smanjilo vezanje finansijskih sredstva uz robu koja je sklona oštećivanju ili propadanju. Na temelju toga se razvila i japanska filozofija upravljanja zaliha u proizvodnji Just-In-Time (JIT) kojoj je cilj izbjeći zalihe gdje god i koliko god je moguće. To znači da se proizvodi onoliko koliko je potrebno bez stvaranja viškova od repromaterijala prije proizvodnje proizvoda do samih gotovih proizvoda bez obzira da li su namjenjeni krajnjim potrošačima ili subjektima koji slijede u opskrbnom lancu. [4]

#### 3.1 Održavanje razina zaliha

Razine zaliha su iznimno bitne. Ako se gleda sa stajališta proizvodnje ili distribucije bez odgovarajućih zaliha se ne može neometano obavljati djelatnost, dok od strane financija, veće zalihe za sobom povlače i veće troškovi držanja zaliha (Slika 2.). Veće zalihe također zahtjevaju i veće skladišne prostore ali i posebnu skladišnu mehanizaciju. Iz navedenih razloga razvile su se brojne metode nadziranja i kontroliranja zaliha. [5]

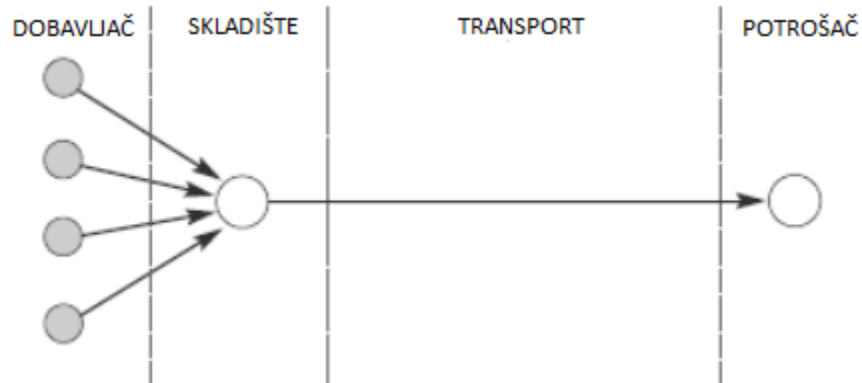


Slika 2. Graf ukupnih troškova zaliha [5]

### 3.2 Konsolidacija, razdvajanje/sortiranje i zbirna pošiljka

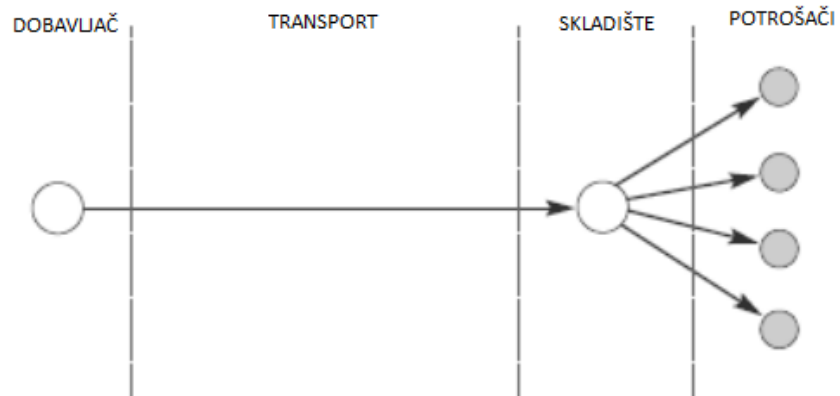
Kako bi se smanjili troškovi transporta i distribucije teret se u slučajevima više manjih narudžbi najčešće šalje kao zbirna pošiljka. Takav transport podrazumijeva pretovar ili preslagivanje pošiljaka iz većih dostavnih vozila u manja vozila odnosno slanje pošiljaka u distribucijske centre koji pošiljke slažu prema regijama, rutama ili prema regionalnim distribucijskim centrima. Te metode slaganja pošiljaka su sljedeće [6]:

- konsolidacija tereta (eng. consolidation) (Slika 3.), odnosno ukрупnjavanje (objedinjavanje) tereta u svrhu popunjavanja transportnog vozila kako bi se smanjili troškovi prijevoza;



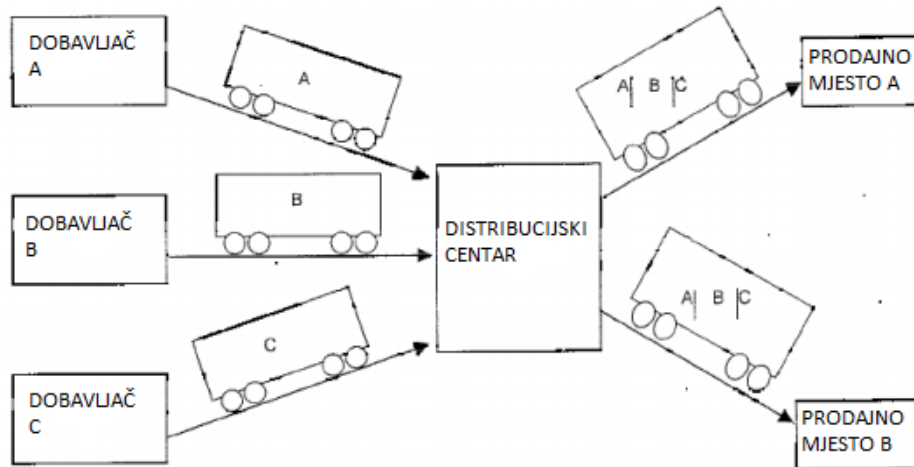
Slika 3. Prikaz konsolidacije tereta [6]

-razdvajanje/sortiranje tereta (eng. break-bulk) (Slika 4.), to jest razlaganje većih pošiljaka iz glavnih distribucijskih centara prema manjim centrima ili lokalnim prodajnim mjestima;



Slika 4. Prikaz razdvajanja/sortiranja tereta [6]

-zbirna pošiljka (Slika 5.), odnosno objedinjavanje i sortiranje proizvoda od više dobavljača, najčešći oblik transporta za distribucijske centre kojima je djelatnost vezana uz više dobavljača čije proizvode treba po potrebi distribuirati prema istim kupcima (maloprodajnim mjestima).



Slika 5. Prikaz zbirnih pošiljaka [6]

### 3.3 Vrste skladišta

S obzirom na velik broj raznih vrsta tereta očekivano je da postoje logističke tvrtke koje su se specijalizirale za određene vrste tereta. S obzirom na zahtjeve tereta u vidu skladištenja, skladišta moraju osigurati određene uvjete kako bi se očuvala kvaliteta proizvoda i spriječilo propadanje istih. Tako su neki od preduvjeta za specijalizirana skladišta niske temperature za smrznute proizvode, smanjena vlaga u zraku za proizvode na bazi cementa, ali preduvjeti mogu biti i po pitanju mehanizacije potrebne za manipulaciju s teškim teretima.

#### 3.3.1 Prema infrastrukturi

Skladišta mogu biti izgrađena kao:

- otvorena (u slučajevima gdje na teret značajno ne utječu atmosferski utjecaji);
- natkrivena (u slučajevima kada je teret potrebno zaštititi od izravnog sunca, kiše i sličnog no ne zahtjeva značajnije od toga);
- zatvorena (u slučajevima gdje teret zahtjeva posebne uvjete poput sigurnosti od krađe za visokovrijedne robe, klimatiziranih prostorija ili posebnih oblika infrastrukture poput silosa za žitarice). [7]

### 3.3.2 Prema stupnju mehanizacije i automatizacije

Skladišta se prema stupnju mehanizacije i automatizacije mogu podijeliti na:

-nisko mehanizirana skladišta (uglavnom prevladava ručna manipulacija tereta, koristi se osnovna skladišna oprema i oslanja se na radničku snagu);

-visoko mehanizirana skladišta (koristi se naprednija skladišna oprema kojom upravljaju skladišni radnici, značajnije korištenje viličara, teretnih dizala, konvejera i slične tehnike);

-automatizirana skladišta (minimalan broj osoblja koji u pravilu održava stanje sustava u kontinuiranom radu, osnovni temelj ovog sustava su računala i računalno upravljanje, potrebno je visokoobrazovno osoblje te velika početna investicijska ulaganja);

-robotizirana skladišta (relativno rijetka primjena jer su još u stanju razvitka, iznimno je značajan utjecaj računala kojima se organizira i upravlja cijelim sustavom unutar skladišta, također je potrebno visokoobrazovano osoblje, no prednost nad automatiziranim skladištima je u većoj slobodi kretanja jer se specijaliziranim robotima može omogućiti kretanje i komisioniranje robe u skladištu na više lokacija unutar samog skladišta ). [7]

### 3.3.3 Prema funkcijama

S obzirom na funkciju, skladišta se mogu podijeliti na:

-skladišta za izdavanje;

-skladišta za pretovar;

-skladišta za razdiobu. [7]

### 3.3.4 Prema vrsti uskladištene robe

Podjela prema vrsti uskladištene robe je u pravilu jednostavna i odnosi se na opća skladišta koja su opremljena tako da mogu prihvatiti više različitih vrsta robe te specijalizirana skladišta poput hladnjača ili silosa koja skoro isključivo mogu prihvatiti jednu vrstu proizvoda jer nemaju potrebnu infrastrukturu i/ili mehanizaciju za ostale vrste tereta.

Ako se vrsta tereta razmatra detaljnije, skladišta robe se mogu podijeliti na sljedeći način:

-skladišta materijala;

-skladišta ambalaže;

-skladišta gotove robe;

- skladišta alata i sitnog inventara;
- skladišta investicijske opreme;
- skladišta poluproizvoda itd. [7]

### 3.3.5 Prema organizaciji poslovanja

S obzirom na organizaciju poslovanja mogu se razmatrati sljedeće vrste skladišta:

- glavna (centralna) skladišta;
- pomoćna skladišta;
- priručna skladišta;
- i međuskladišta. [7]

Osnovni temelj ove podjele je geografski razmještaj skladišta. U praksi se centralna skladišta nalaze na lokaciji iz koje je moguće uvesti robu iz druge zemlje i preko centralnog skladišta ju distribuirati u regionalne centre iz kojih se dalje razvozi na lokalnoj razini.

Takvim rasporedom se dobivaju takozvani čvorovi i linkovi te se na taj način može definirati distribucijska mreža neke regije. Ako se čvorovi definiraju kao mjesta utovara/istovara prekrcaja, sortiranja ili ukрупnjivanja robe a linkovi kao rute, putevi ili dionice između centara tada je olakšan posao distribucije potencijalnim novim kupcima jer je potrebna samo nova lokacija na koju kupac želi dostavljenu robu te se ona uspoređuje s postojećom mrežom i određuje se optimalni put kojim robu treba distribuirati kako bi cijena transporta bila najmanja.

## 4. Logistički procesi u skladištu

Skladište se može razmatrati kao sustav s brojnim elementima poput radnika u skladištu, potrebnoj mehanizaciji, infrastrukturi, prijevoznim sredstvima ali i samim proizvodima. S druge strane, svaki od tih elemenata ili obavlja ili je potreban za obavljanje nekog procesa. Stoga gledano od strane robe koja pristiže u skladište, prvi logistički proces koji se obavlja u skladištu je zaprimanje i provjeravanje robe. Robu koja pristiže u skladište treba istovariti iz transportnog sredstva, prekontrolirati i utvrditi stanje te usporediti s odgovarajućom otpremnicom ili tovarnim listom. Robu je tada potrebno smjestiti na određenu poziciju u samom skladištu što je definirano vrstom robe, vrstom skladišta, učestalošću potražnje za robom i slično. Nakon uskladištenja robe, istu je prema zahtjevu kupaca potrebno komisionirati te otpremiti. To podrazumijeva pripremu robe za transport, od slaganja na transportne jedinice (npr. palete), kontroliranje kvalitete (istek roka, stanje ambalaže), zamatanja pošiljke zaštitnim folijama i na kraju utovar u transportno sredstvo.

### 4.1 Zaprimanje i provjera robe

Prvi proces koji je potrebno obaviti s robom koja pristiže u skladište je zaprimiti ju. Robu koja pristiže je potrebno najaviti skladištu kako bi se moglo točno odrediti mjesto istovara (rampa) i lokacija pohrane robe (skladišna pozicija odnosno u slučaju regala, paletno mjesto u skladištu). Nakon što roba stigne i istovari se, najčešće u blizini rampe, skladišni radnik robu pregledava i provjerava stanje ambalaže, broj komada, te podudaraju li se artikli s pošiljke s dokumentom koji je vezan uz nju, najčešće otpremnica ili tovarni list. Ako sve odgovara, pristigla pošiljka se unosi u sustav administraciji da je zaprimljena te se nakon toga mogu unositi sljedeće narudžbe koje sadrže artikle iz pregledane pošiljke.

### 4.2 Smještaj robe

Tip robe koja se skladišti u pravilu određuje i način na koji ju je potrebno skladištiti. Za primjer, u slučaju smrznutih proizvoda treba predvidjeti hladeni prostor ili u slučaju sipkog tereta treba osigurati silose. Također je vrlo bitan raspored i točne pozicije pojedinih tereta unutar skladišta. To se najčešće obavlja ručnim skenerima preko kojih se u sustav unose pozicije skladišnih jedinica i vrste artikala koje su uskladištene na tim pozicijama te se tako preko sustava može regulirati stanje zaliha ili voditi skladišnog radnika prilikom komisioniranja kako bi lakše pronašao potrebni artikl za otpremu.



### 4.3 Komisioniranje robe

Komisioniranje robe je proces u kojem se na zahtjev klijenta ili kupca sa stanja na skladištu uzima roba i priprema za otpremu. Taj proces započinje upitom kupca o raspoloživosti određenog artikla. Ukoliko je artikl raspoloživ, kupac tada radi narudžbu u kojoj navodi točan naziv i količinu artikla uz navođenje točne adrese i roka za distribuciju narudžbe. Napravljenju narudžbu zaprima administracija koja ju unosi u sustav tvrtke preko kojeg ju tada komisioner preuzima u obliku radnog naloga i prema njemu slaže pošiljku. [8]

#### 4.3.1 Podjela sustava komisioniranja po principu kretanja komisionera/robe

Sustav komisioniranja po principu kretanja komisionera ili robe koja se komisionira se može podijeliti na dva načina [9]:

-komisioniranje prema principu čovjek-robi – oblik komisioniranja koji se veže uz skladišta s regalima odnosno skladištima s paletnim skladištenjem, u ovom sustavu komisioner se kreće po prolazima unutra skladišta koristeći ručni viličar ili električni viličar za komisioniranje (Slika 6.), u ovom sustavu je vrlo bitan raspored slaganja artikala u skladištu i redosljed slaganja artikala iz narudžbe jer vrijeme komisioniranja bitno ovisi o udaljenosti između pojedinih pozicija artikala u skladištu i ruti kojom se dolazi do tih pozicija;



*Slika 6. Električni viličar za komisioniranje [10]*

-komisioniranje prema principu roba-čovjeku – oblik komisioniranja u kojem komisioner prelazi minimalan put zbog korištenja skladišne mehanizacije (Slika 7.), koriste se razni konvejeri i transporter koji donose zadane artikle do predviđenog mjesta gdje ih komisioner preuzima i slaže u ambalažu ili na paletu ovisno o potrebi narudžbe, ovaj sustav zahtjeva veliku početnu investiciju i postoje veći troškovi održavanja od principa čovjek-robi.



*Slika 7. Skladišna mehanizacija za komisioniranje roba-čovjeku [11]*

#### 4.3.2 Podjela sustava komisioniranja prema vrsti jediničnog tereta koji se izuzima

Sustav komisioniranja se također može podijeliti prema vrsti jediničnog tereta koji se izuzima. Pod time se podrazumijeva količina i oblik robe koji se izuzima sa skladišnih zaliha. Tako se mogu izuzimati artikli pojedinačno, u kutijama ili kao cijele palete. [12]

Komisioniranje pojedinačno znači izuzimanje jednog artikla ili nekolicine s jedne skladišne pozicije iz iste ambalaže ili palete. Takav način komisioniranja se najčešće koristi u slučaju artikala manjih dimenzija ili kada se u narudžbama nalaze artikli iste vrste u malim količinama.

Druga vrsta je komisioniranje kutija i to je ujedno i najčešći oblik komisioniranja jer se prema dogovorima kupaca i dobavljača artikli pakiraju kako bi se optimalno popunile transportne jedinice i transportna vozila pa se korištenjem originalne transportne ambalaže olakšava manipulacija s proizvodima a ujedno se i smanjuje trošak pakiranja.

U slučaju veće narudžbe (povećana potražnja ili nadopunjavanje zaliha) komisioniraju se cijele palete s istim artiklima. Kao i kod komisioniranja kutija u ovom sustavu je cilj smanjiti potrebnu manipulaciju proizvodima te smanjiti troškove pakiranja. U ovom sustavu se najčešće obavljaju redovite rjeđe narudžbe većeg obujma gdje se zapravo sa stanja skladišta uzimaju cijele palete koje su stigle od dobavljača i šalju kupcu prema zadanoj narudžbi. Potrebno je također pripaziti na pozicije paleta u skladištu jer se u regalnim skladištima cijele palete s istim artiklima najčešće nalaze na višim policama što zahtjeva posebnu skladišnu mehanizaciju (Slika 8.).



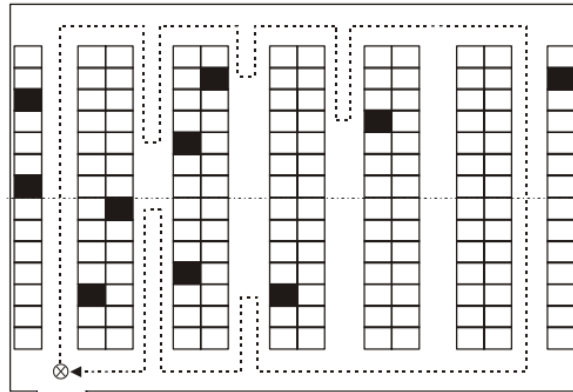
*Slika 8. Regalni električni viličar [13]*

#### 4.4 Metode komisioniranja

Metode komisioniranja se odnose na način ili kretanje komisionera prilikom izuzimanja robe sa skladišnih pozicija. Cilj im je minimizirati utrošeno vrijeme komisionera za slaganje pojedine narudžbe a to se pokušava postići na način da se skрати prijeđeni put komisionera. Pritom se primjenjuju računalni sustavi s definiranim skladišnim pozicijama te organizacija redosljeda slaganja narudžbi i slaganja pojedinih artikala u samim narudžbama. [14]

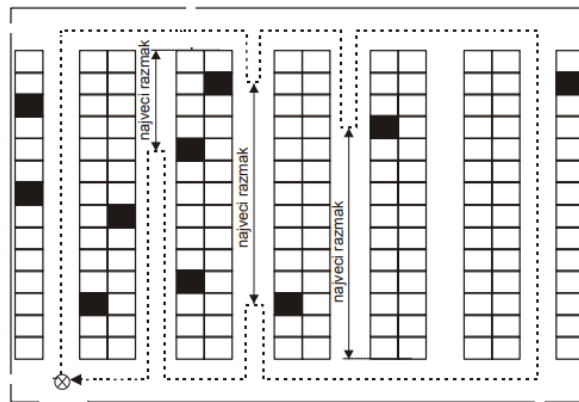


-metoda srednje točke (Slika 11.) u kojoj se skladište “dijeli” na dva dijela i s obzirom na poziciju artikla u pojedinom prolazu komisioner ulazi iz glavnog prolaza do izuzetog artikla te se vraća u isti glavni prolaz i tako nastavlja redom do kraja skladišta;



Slika 11. Prikaz metode srednje točke [14]

-metoda najvećeg razmaka (Slika 12.) koja je slična metodi srednje točke ali se u ovom slučaju gleda razmak između dvije susjedne pozicije u istom prolazu te se na temelju toga određuje ruta kojom prolazi komisioner;

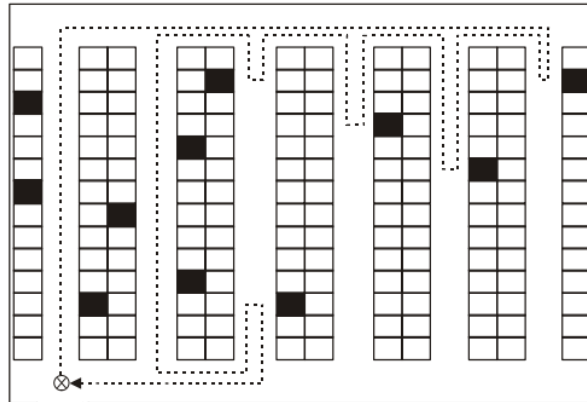


Slika 12. Prikaz metode najvećeg razmaka [14]

-kompozitna metoda gdje se koriste s-oblika i metoda povratka;

-kombinirana metoda u kojoj ruta kretanja komisionera sličí kompozitnoj metodi uz uvjet da može doći do varijacije u ruti ukoliko to više odgovara za izuzimanje u sljedećem prolazu;

-i posljednja metoda, optimalni algoritam koji pretpostavlja korištenje algoritma (Ratliff & Rosenthal [15]) u kojem se razmatraju sve moguće rute i pronalazi se najkraća (Slika 13.) moguća za slaganje pojedinu narudžbe.



Slika 13. Prikaz optimalnog algoritma za kretanje komisionera [14]

#### 4.4.2 Metoda odlaganja

Bitan dio skladištenja je određivanje mjesta odlaganja zaprimljene robe, tako se može definirati i metoda odlaganja i to u 3 grupe [14]:

- slučajnim rasporedom odlaganja gdje nema rezerviranih lokacija za zaprimljenu robu;
- dodijeljenim rasporedom odlaganja gdje ima rezerviranih lokacija za zaprimljenu robu;
- i odlaganjem po zonama gdje se zaprimljeni artikli grupiraju prema učestalosti komisioniranja (ABC analiza) ili prema iskustvenim podacima (kada se pojedine vrste artikala često nalaze u istoj narudžbi).

#### 4.4.3 Metoda organizacije komisioniranja

Metode organizacije komisioniranja su jedne od najzahtjevnijih za određivanje jer se radi o velikom broju parametara. U obzir se uzimaju vrste artikala, količine koje se otpremaju, prioritet narudžbi, vremena isporuka i još brojni drugi parametri. Osnovne metode organiziranja komisioniranja su sljedeće [14]:

- komisioniranje prema narudžbi kada komisioner uzima nalog za jednu narudžbu i slaže samo nju;
- komisioniranje grupe narudžbi gdje komisioner uzima veći broj naloga za slaganje i prilikom kretanja jednom rutom istovremeno izuzima artikle iz različitih narudžbi te ih na

transportno vozilo slaže na način da se kasnije relativno jednostavno mogu sortirati prema zadanim narudžbama, u ovoj metodi se znatno skraćuje put koji komisioner prolazi prilikom slaganja narudžbi;

-i komisioniranje po zonama u kojem su komisioneri podijeljeni u skladišnom prostoru (po zonama) i u svakoj narudžbi slažu artikle samo iz svoje zone, no kao i u prethodnoj metodi potrebno je voditi pažnju o kasnijem sortiranju artikala u skladu sa zadanim narudžbama.

#### 4.5 Otprema robe

Gledano od strane manipulacije robe unutar skladišta, otprema robe je posljednji proces koji se obavlja. Ovaj proces zapravo predstavlja svaki izlaz robe odnosno izdavanje robe iz skladišta. Ovisno o tipu robe i količini nakon komisioniranja roba se, nakon što je pregledana (stanje ambalaže, broj komada), može odmah utovariti u transportno vozilo. U slučaju da se pošiljka sastoji od više vrsta artikala i većeg broja transportnih jedinica potrebno je dodatno provjeriti ispravnost komisioniranja te se roba odlaže na prostor predviđen za pregled prije utovara (najčešće u blizini rampe). U oba slučaja roba se otprema samo uz potpunu, ispravnu i ovjerenu dokumentaciju (otpremnicu, tovarni list). Bitno je napomenuti da se treba voditi računa o rasporedu transportnih jedinica (paleta) prilikom utovara u vozilo koji treba odgovarati redoslijedu istovara ako se radi o distribuciji robe prema više lokacija (zbirna pošiljka).

#### 4.6 Administrativni poslovi

Procesi vezani uz administraciju nemaju izravno veze s robom poput utovara, istovara ili manipulacije robe no prate teret cijelim procesom distribucije. Administracija odrađuje sve poslove od zaprimanja i provjere narudžbi, njihovog unosa u sustav, izdavanja naloga za slaganje u skladištu, rješavanja reklamacija i na kraju arhiviranja dokumentacije.

Temelj administrativnih poslova su računalni programi koje odabire sama tvrtka koja se bavi distribucijom odnosno dobavljač u slučaju velikog broja narudžbi. U svakom slučaju najrašireniji program za osnovne potrebe administracije je program Excel iz programskog paketa MS Office. Njegova opća primjena, jednostavnost korištenja ali i brojne napredne mogućnosti omogućavaju tvrtkama tablične unose podataka, od vođenja evidencije obavljene distribucije do obračunavanja faktura.

Za veću razinu povezanosti između odjela ali i neke dodatne mogućnosti poput hodograma preko kojeg kupci mogu pratiti raspoloživost i termin distribucija koriste se specijalizirani programi poput programa Sap.

## 5. Simulacijske metode i alati

Simulacijom je moguće opisati bilo koji realan proces ili sustav s određenom razinom točnosti koja ovisi o korištenim podacima ali i uzetim pretpostavkama. Za kvalitetnu simulaciju koja daje ispravne i upotrebljive rezultate potrebno je dobro poznavati procese i zadane varijable. Zato je prije same izrade simulacijskog modela potrebno detaljno analizirati sustav i teorijski razraditi moguće ishode.

### 5.1 Definicija modela

Model je predložak, obrazac, uzorak odnosno pojednostavljeni prikaz realnog sustava koji služi za lakše shvaćanje i analiziranje nekog realnog sustava. Ako se neki kompleksni sustav pojednostavi i smanji na osnovne elemente može se kao takav bitno lakše analizirati uz uvjet da dobiveni rezultati nisu absolutno točni nego se uzimaju uz određeni stupanj pogreške. O razini tog stupnja pogreške ovisi i valjanost dobivenih rezultata.

#### 5.1.1 Modeliranje

Općenito, modeliranje je izrada (oblikovanje) modela ili stručno, svako logičko, matematičko ili fizičko predočavanje prirodnih, društvenih i tehničkih sustava i pripadajućih procesa. Modeliranje je zapravo međukorak između realnog sustava i simulacije. Modeliranjem se izrađuje model koji treba u najvećoj mogućoj mjeri (koliko je moguće) odgovarati realnom sustavu. [16]

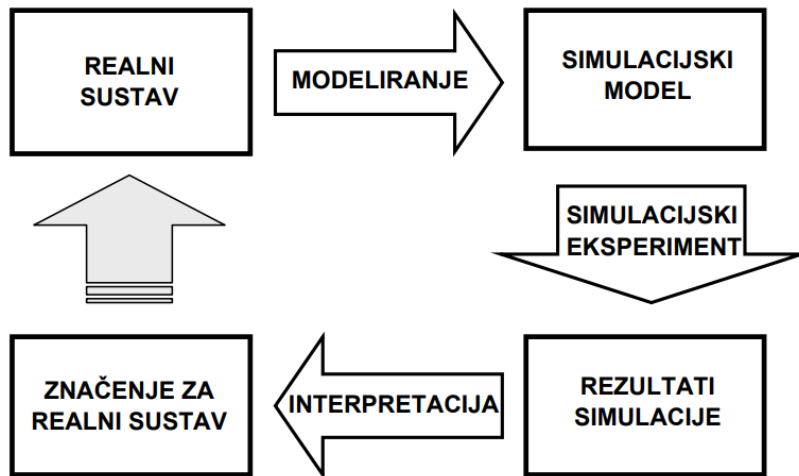
#### 5.1.2 Vrste modela

Modele možemo podijeliti prema načinu prikaza na materijalne (s metričkom transformacijom) i apstraktne. Nadalje, apstraktne možemo podijeliti na matematičke (sustavi matematičkih izraza), konceptualne (dijagrami kojima se prikazuje sama osnova, shema tj. koncept sustava) te računalne (razni računalni programi, simulacije). [16]



## 5.2 Definicija simulacije

Simulacija je provođenje eksperimenta na apstraktnom modelu u zadanom vremenu. Simulacijom se provjeravaju pretpostavke iz konceptualnog modela te zadanim brojem iteracija (ponavljanja procesa) i definiranim trajanjem simulacije provjerava teorijska pretpostavka realnog sustava.

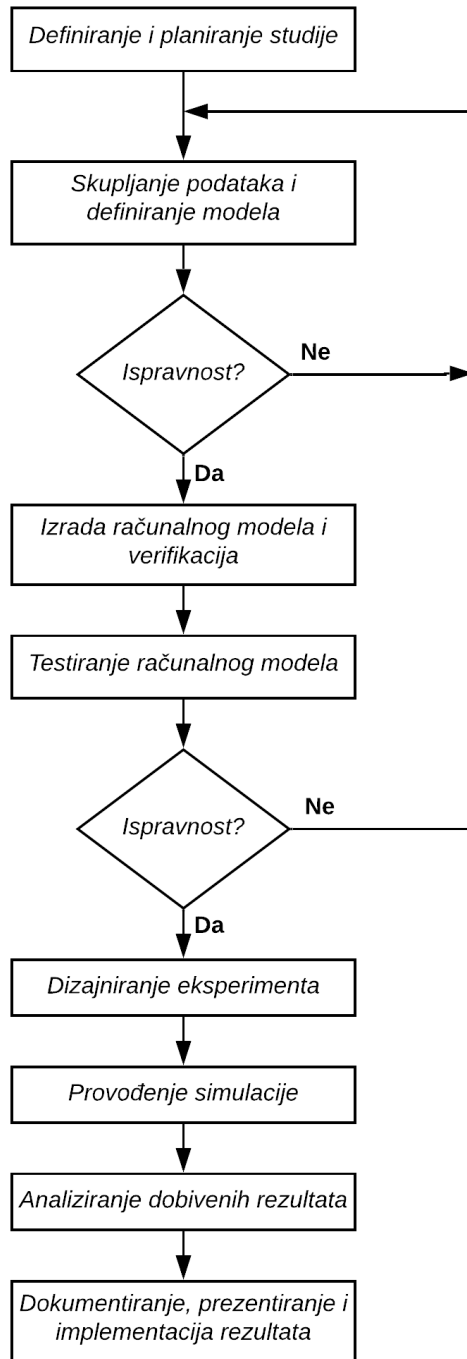


Slika 14. Prikaz ciklusa realni sustav - simulacija [18]

Simulacija je računalni prikaz realnog sustava koji se s određenim stupnjem točnosti replicira u svrhu istraživanja odnosa njegovih elementa ili procesa koji se u njemu odvijaju. Svrha simulacije je jasno prikazana na slici 14. Simulacija se može shvatiti kao replika stvarnog sustava s povratnom vezom. Ako stvarni sustav modeliramo i pretvorimo u sustav s promjenjivim elementima kojima možemo svojevóljno upravljati i mijenjati ih prema potrebi, tada simulacija povratno daje rezultate (eng. *feedback*) i ti rezultati ukoliko se implementiraju u realni sustav utječu na njegovo stanje. Tada opet taj realni sustav možemo modelirati te mijenjati druge elemente ili procese što zapravo stvara ciklus (eng. *loop*) s povratnom vezom (simulacijom). [18]

### 5.2.1 Simulacijski proces

Simulacijski proces je slijed metoda kojima se izrađuje simulacijski model i u konačnici analiziraju i vrednuju dobiveni rezultati. Osnovni koraci simulacijskog procesa (Slika 15.) dali su Law i Kelton 1982. godine [19] i u pravilu vrijede i danas.



Slika 15. Koraci simulacijskog procesa prema Law i Kelton 1982. godine (Izradio autor prema [19])

### 5.2.2 Razina simulacije

Razina simulacije se odnosi na opseg koji zahvaća sustav koji se analizira. Razina može biti mikroskopska, mezoskopska ili makroskopska. Analogno, ako se razine promatraju s pozicije distribucije, mikroskopska bi odgovarala simulaciji jednog skladišta, mezoskopska simulaciji distribucije u jednom gradu dok bi makroskopska odgovarala simulaciji distribucije robe unutar jedne regije (centralno skladište – regionalno skladište). [17]

### 5.2.3 Vrednovanje simulacijskog modela

Vrednovanje se obavlja na dva načina [17]:

-verifikacijom modela koja se provodi na samom računalnom programu radi provjere ispravnosti (usklađenost s ručnim proračunima);

-i validacijom modela koja se temelji na povijesnim podacima iz realnog sustava po kojem je napravljen simulacijski model, model se prihvaća odnosno odbacuje u slučaju značajnih odstupanja od povijesnih podataka jer to znači da su ili ulazni podaci nevaljani ili su krivo pretpostavljeni procesi (razdiobe, trajanje procesa i slično).

## 5.3 Simulacijski alati

Simulacije ne bi bilo moguće provesti bez korištenja simulacijskih alata. Oni su osnova modernih simulacijskih modela pogotovo onih koji su temeljeni na realnim sustavima s velikim brojem ulaznih podataka i kompleksnim procesima. Korištenjem računala koja obavljaju ogroman broj operacija u sekundi moguće je izvesti tisuće iteracija nekog procesa u svega nekoliko sekundi ili minuta.

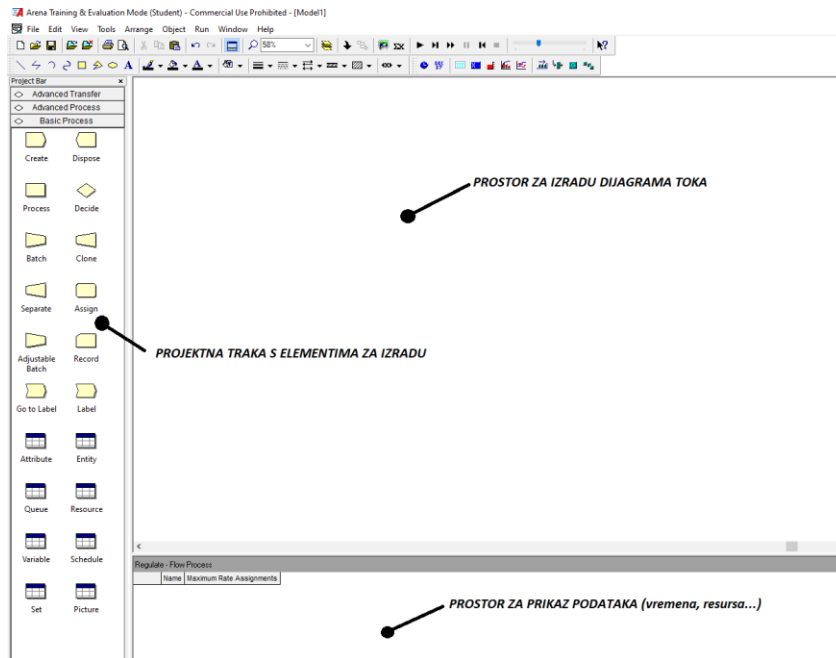
Dalje će se u radu analizirati dva simulacijska alata koji se temelje na modeliranju preko dijagrama toka odnosno modeliranju s trodimenzionalnim modelima.

### 5.3.1 Arena Professional Edition, Rockwell

Arena, Rockwell [20] simulacijski alat je jedan od popularnijih simulacijskih alata koji omogućava simulaciju složenih sustava s diskretnim događajima. Složeni sustav se dijeli na niz diskretnih, točno definiranih događaja, i na taj način se sustav može analizirati po svojim sastavnim elementima. Koliko je pojedini resurs iskorišten, koje aktivnosti se ne obavljaju jer

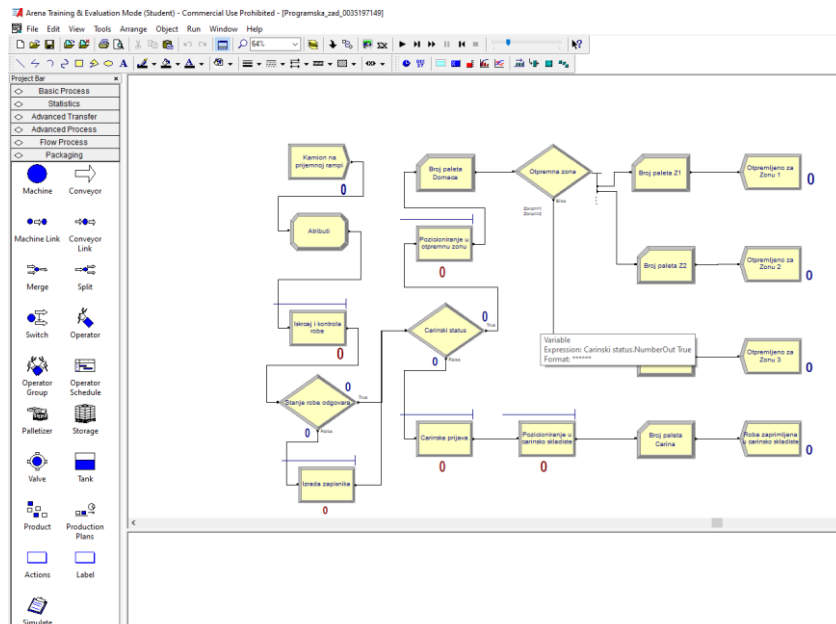
nisu međusobno usklađene pa dolazi do čekanja, kolika je ukupna iskoristivost sustava ili koliko u sustav ulazi entiteta a koliko izlazi iz sustava u nekom zadanom radnom vremenu.

Rad u Areni se temelji na slaganju blokova u obliku dijagrama toka. On se izrađuje preko grafičkog sučelja (Slika 16.) na kojem se nalaze svi potrebni elementi i nije potrebno znanje programskih jezika jer se kod automatski generira nakon izrade dijagrama.



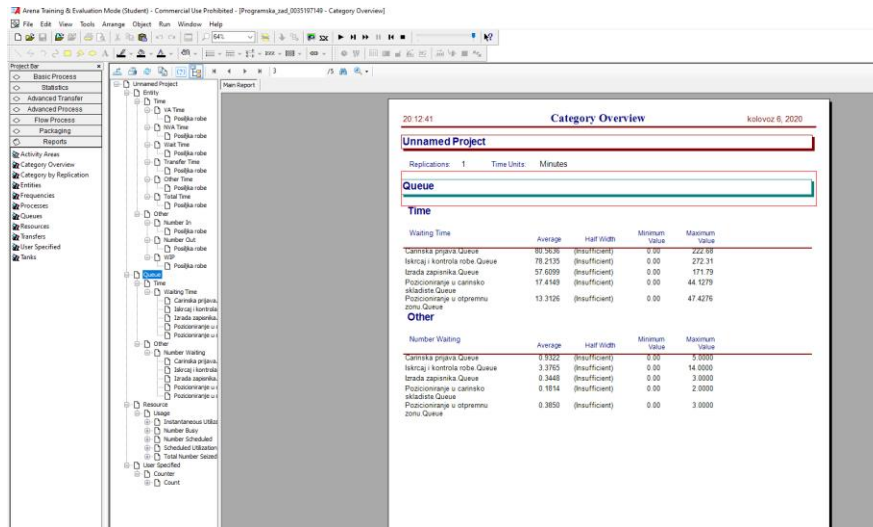
Slika 16. Grafičko sučelje simulacijskog alata Arena (Izradio autor)

Primjer jednog dijagrama toka izrađenog u Areni prikazan je na slici 17.



Slika 17. Primjer dijagrama toka u simulacijskom alatu Arena (Izradio autor prema [17])

Za prikazani primjer (Slika 17.) slijedi prikaz rezultata provedene simulacije (Slika 18.).

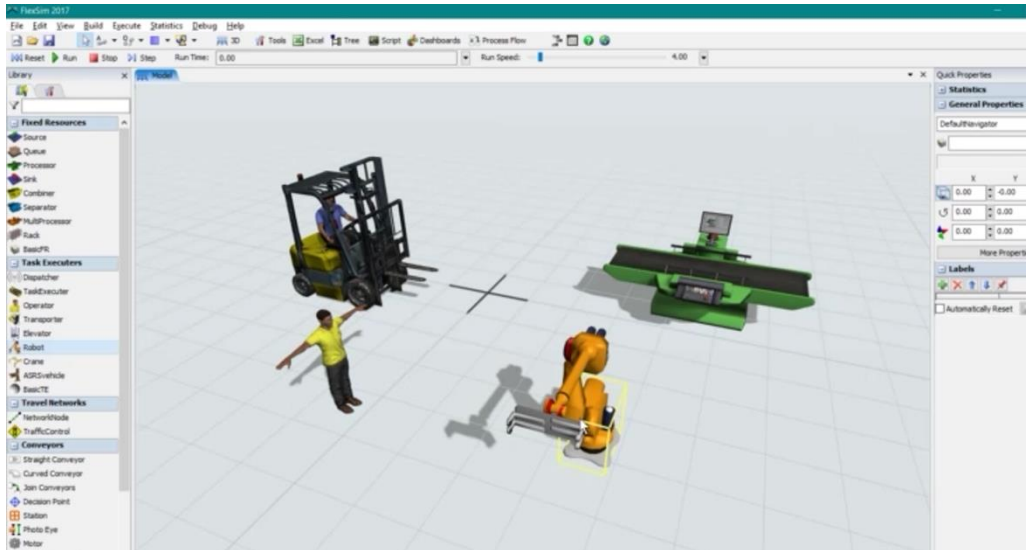


Slika 18. Primjer analize rezultata u simulacijskom alatu Arena (Izradio autor prema [17])

Ovisno o zadanim parametrima u samoj simulaciji, Arena daje izvješće provedene simulacije u kojem daje podatke o svim resursima, entitetima i obavljenim aktivnostima. Iz izvješća se može vidjeti učinkovitost pojedinih koraka (utrošeno vrijeme), moguća kašnjenja (zbog rezervacija resursa u aktivnostima) te se na temelju toga mogu dati preporuke za poboljšavanje samog sustava.

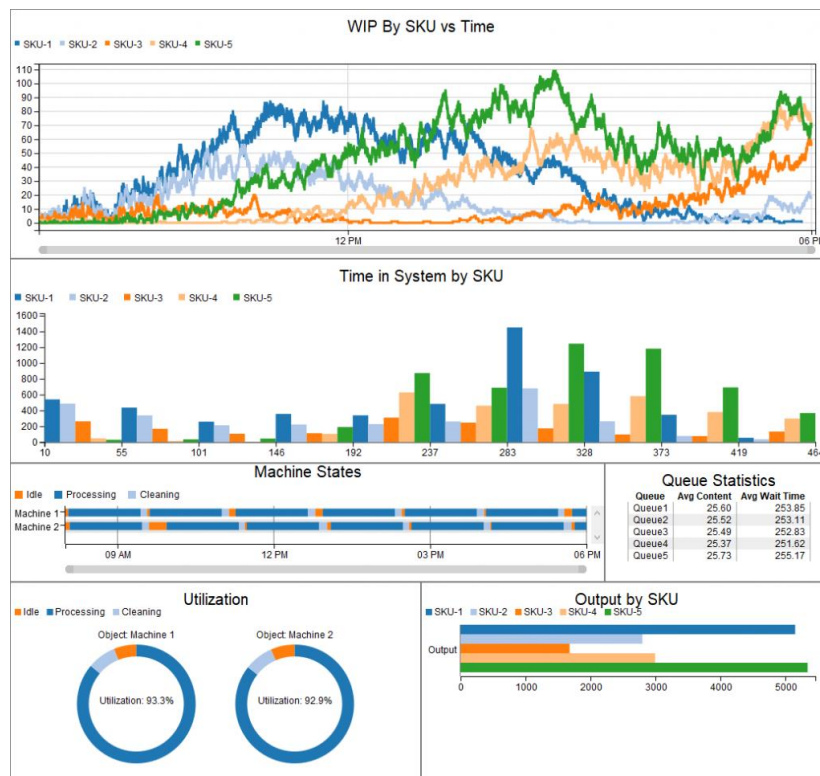
### 5.3.2 FlexSim

FlexSim [21] je simulacijski alat koji se temelji na trodimenzionalnom prikazu sustava. Kao i Arena koristi modeliranje sustava s diskretnim događajima. S obzirom da FlexSim koristi 3D modele (Slika 19.), moguća je vizualna validacija odnosa elemenata u sustavu što je vrlo korisno jer se tada može predočiti prostorna varijabla (put) nekog resursa (radnika).



Slika 19. Primjer korištenja 3D modela u simulacijskom alatu FlexSim [20]

Analiza rezultata (Slika 20.) provedene simulacije je također olakšana korištenjem grafova, dijagramima odnosno tabličnim prikazima podataka koji se mogu sortirati prema istaknutim zonama.



Slika 20. Prikaz analize rezultata dobivenih u simulacijskom alatu FlexSim [20]

## 5.4 Prednosti i nedostaci

Prednosti simulacije su brojne, a najbitnija je mogućnost ponavljanja eksperimenta (broj iteracija) sa ili bez promijenjenih parametara. To znači da se za istraživani proces mogu mijenjati pojedini koraci u samom procesu što utječe na krajnji rezultat simulacije. Ako se provede više uzastopnih simulacija gdje se mijenjaju specifični parametri, ti rezultati se mogu prikazati tablično odnosno pomoću grafova i mogu se točno usporediti razlike u krajnjim rezultatima. Takvim metodama se određuju korelacije između ukupnog sustava i pojedinih elemenata. Zato je traženje optimalnog stanja procesa značajno jednostavnije pomoću simulacijskih metoda od traženja korelacija između elemenata u stvarnom sustavu. Tim načinom bi za primjer skladišta i utjecaja broja skladišne mehanizacije (električnog viličara) poduzeće trebalo kupiti dodatni električni viličar ili u krajnosti barem unajmiti ga na određeno vrijeme i u stvarnom sustavu provesti eksperiment na koji način i u kolikoj mjeri je odluka o nabavi dodatne mehanizacije utjecala na krajnji rezultat (npr. broj manipulacija u satu).

S druge strane, nedostaci simulacija su u samom problemu izrade simulacije. Realni sustavi su kompleksni i nemoguće ih je prenijeti u simulacijski program absolutno jednako kako se nalaze u stvarnosti. Tu se upravo javljaju odstupanja u krajnjem rezultatu jer se parametri u simulaciji aproksimiraju i pretpostavljaju im se odnosi tako da ukoliko dođe do krive pretpostavke rezultati se moraju odbaciti jer dobiveni podaci nisu primjenjivi u stvarnom sustavu. Također se pojavljuje i pitanje vremena izrade samog simulacijskog modela. Da bi se realni sustav replicirao u obliku simulacijskog modela sa što većom točnošću potrebno je unijeti iskustvene i realne podatke. To znači da se u realnom sustavu trebaju pratiti i zabilježavati svi potrebni bitni parametri koji se unose u simulacijski model što može trajati dugo vremena. Što je dulji period promatranja stvarnog sustava to će podaci biti točniji. Primjer toga bi bio simulacijski model distribucije smrznutih proizvoda, konkretno sladoleda. Ako se promatra distribucija sladoleda u zimskim mjesecima dobiveni podaci će biti bitno drugačiji od podataka dobivenih u ljetnim mjesecima. Zato bi logistički gledano trajanje uzimanja podataka za izradu simulacijskih modela trebalo trajati minimalno godinu dana kako bi se uzele u obzir sve oscilacije u potražnji, od sezonskih potražnji do odstupanja u nabavi proizvoda zbog kašnjenja proizvodnje.

## 6. Simulacijski model komisioniranja u skladištu

Komisioniranje je jedan od najbitnijih procesa koji se obavlja u skladištu i proces na kojeg se troši najviše vremena stoga ga je bitno pokušati optimizirati u bilo kojoj mjeri. Kako bi se lakše objasnile mogućnosti simulacijskih alata u ovom poglavlju će se provesti simulacija komisioniranja artikala u jednom jednostavnom skladištu u kojoj će se analizirati već spomenute rute kretanja komisionera.

### 6.1 Modeliranje sustava

Kao osnova simulacije odabrano je zamišljeno jednostavno skladište s pozicijama (paletnim mjestima) u dvije razine s dva glavna prolaza i bez poprečnog prolaza. Skladište ima dvadeset regala i u svakom ima devet paletnih pozicija (Slika 26.). Širina, visina i dubina regalnih pozicija su dimenzionirane prema stvarnim modelima (Slika 21.) uz uvjet da su napravljene korekcije kako bi se mogao izračunati put prema paletnim pozicijama. To znači da je širina jedne pozicije 2.7 [m] što odgovara tri širine palete (uz dodatne pretpostavke, više u poglavlju 6.3), dubina 1.3 [m], visina 1.5 [m] te je zanemarena širina nosača regalnih polica.



Slika 21. Model regala proizvođača Topregal (Prilagodio autor prema [22])



Širina prolaza između regala je 3.0 [m] što je prosječna širina koja zadovoljava zahtjeve za manevriranjem i okretanjem većine komisionerskih viličara (Slika 22.) uz kretanje kroz prolaze u oba smjera. Pretpostavljena je brzina kretanja viličara od 3 [km/h] što je relativno mala brzina ali je zbog jednostavnosti modela izabrana jer je za ispravno modeliranje potrebno obuhvatiti ubrzavanje, usporavanje, kretanje s podignutim teretom na drugoj razini regala ili skretanja viličara. Za sve navedene uvjete proizvođači viličara najčešće navode u specifikacijama najveće dopuštene brzine kretanja. [23] Ostale brzine potrebne za izradu simulacijskog modela navedene su u tablici 1.



Slika 22. Komisionerski regalni viličar model SP3500 proizvođača Crown [23]

Tablica 1. Brzine operacija komisionerskog viličara (Izradio autor prema [23])

	Pomicanje viličara za širinu paletnog mjesta	Pomicanje viličara za dubinu paletnog mjesta	Pomicanje viličara za širinu prolaza	Zakretanje viličara	Okretanje viličara	Izuzimanje artikla s paletne pozicije	Odlaganje pošiljke na depou	Podizanje/spuštanje viličara za visinu jednog paletnog mjesta
Duljina puta [m]	<b>0.9</b>	<b>1.2</b>	<b>3.0</b>	<b>2.7567</b>	<b>5.5135</b>	-	-	<b>1.5/1.5</b>
Brzina [m/s]	<b>0.8333</b>	<b>0.8333</b>	<b>0.8333</b>	-	-	-	-	<b>0.14/0.19</b>
Ukupno trajanje operacije [s]	<b>1.08</b>	<b>1.44</b>	<b>3.60</b>	<b>3.31</b>	<b>6.62</b>	<b>12.05</b>	<b>50.00</b>	<b>18.61</b>

Napomena:

- trajanje zakreta i okreta viličara izračunati su na temelju radijusa zakreta viličara (1.755 [m]) [23] i odabrane brzine kretanja viličara 0.8333 [m/s]:

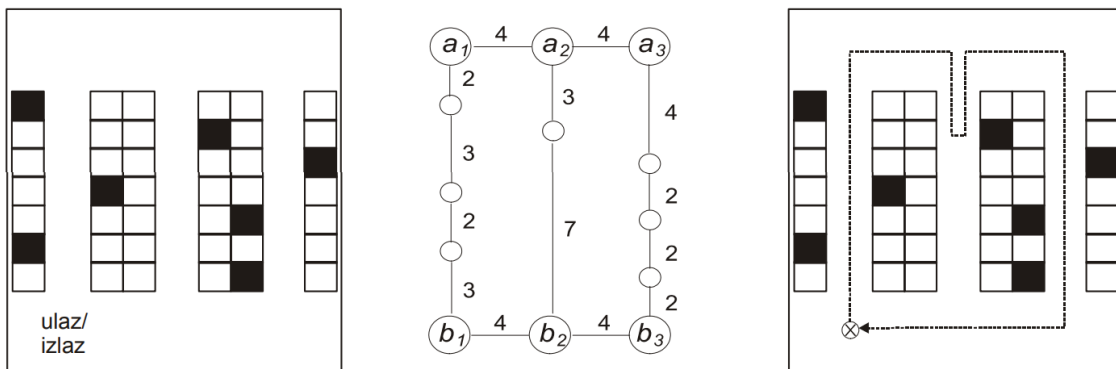
- trajanje izuzimanja artikla s paletne pozicije je izračunato prema duljini prijeđenog puta (od sredine prolaza do sredine paletne pozicije i nazad što iznosi 4.2 [m] te je dodano po 3 [s] za podizanje odnosno odlaganje artikla na viličar, pretpostavljena brzina hoda komisionera je 3 [km/h];

- trajanje odlaganja pošiljke na depou je pretpostavljeno 50 [s] što podrazumijeva spuštanje pošiljke te rješavanje potrebnih administrativnih poslova i dokumentacije poput potvrđivanja naloga da je komisioniran te da je spreman za utovar ili ukoliko je potrebno dodatni pregled prije pakiranja i slanja;

- trajanje podizanja/spuštanja viličara za jednu visinu paletnog mjesta se temelji na visini polica regala koja iznose 1.5 [m].

## 6.2 Simulacijski alat

Warehouse Real-Time Simulator [24] je simulacijski alat koji će se koristiti u izradi ovog simulacijskog modela a temeljen je na programu MS Excel iz programskog paketa MS Office i razvio ga je Grzegorz Tarczyński (Wroclaw University of Economics). Alat koristi Excel-ovu funkciju makronaredbi preko kojih se može automatizirati korištenje ponavljajućih zadataka. Osnovna podloga mu je algoritam kojeg su izvorno razvili Ratliff i Rosenthal 1983. godine u kojem se za svaku poziciju na kojoj se nalazi artikl u skladištu i za svaki završetak prolaza dodjeljuje vrh sa svojim koordinatama. Takvom formulacijom se zapravo dobiva graf (Slika 23.) u kojem se traže međusobne udaljenosti točaka i na temelju toga računa ukupno prijeđeni put komisionera.



Slika 23. Prikaz odabira vrhova i rute za pravokutni oblik skladišta prema Ratliff i Rosenthal [16]

Alat također omogućava odabir svih prethodno spomenutih metoda rutiranja, od metode s-oblika do optimalnog algoritma te čak nudi mogućnost izračuna optimalne rute prema prijeđenom putu, odnosno prema potrebnom vremenu jer najkraći put ne mora nužno odgovarati i najkraćem utrošenom vremenu.

### 6.3 Pretpostavke za simulacijski model

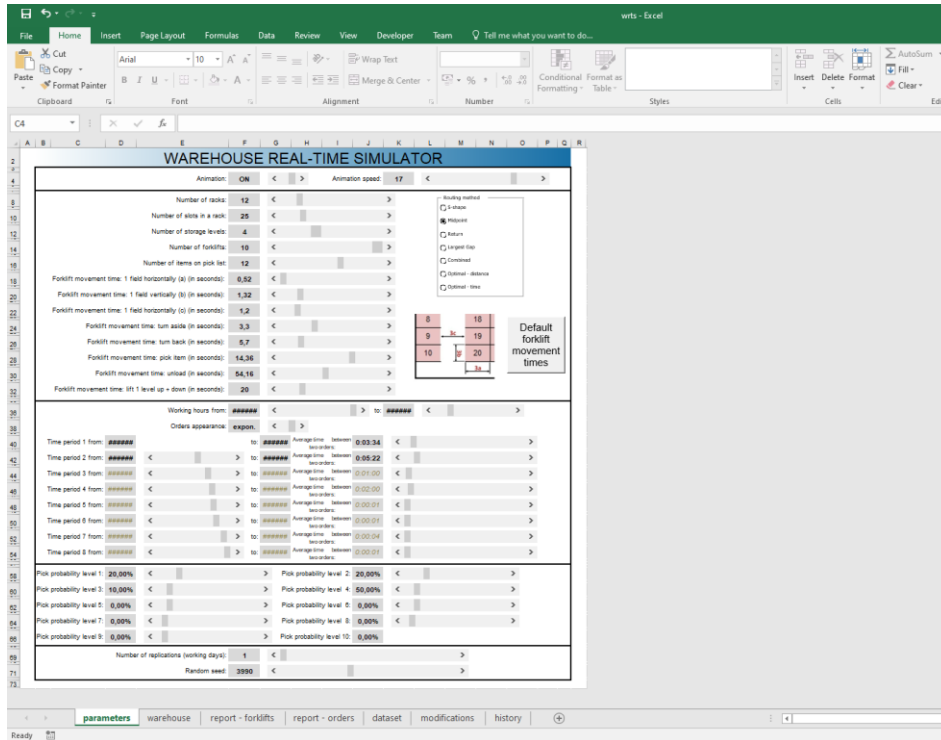
Pretpostavke korištene za izradu simulacijskog modela su u skladu s mogućnostima izabranog simulacijskog alata ili su odabrane zbog pojednostavljenja provedbe simulacije a glase:

- za pojedinu provedbu eksperimenta broj artikala je jednak na svim narudžbama;
- za sve artikle na svim pozicijama potrebno je jednako vrijeme izuzimanja a jedino ovisi o razini pozicije (druga razina/polica regala);
- artikli su uvijek spremni za izuzimanje s palete;
- nije bitan redoslijed slaganja na paletu;
- brzina kretanja komisionera ne ovisi o masi izuzete narudžbe (zato je odabrana manja brzina kretanja);
- omjer vjerojatnosti izuzimanja artikala s prve i druge razine (police) je 80%/20%;
- prosječno vrijeme između narudžbi je 10 [min], uzeto je u obzir vrijeme za zaprimanje i odobravanje narudžbi;
- princip kretanja komisionera je čovjek-robi;
- komisioner radi bez pauze u radnom danu;
- nema mogućnosti kvarova viličara.

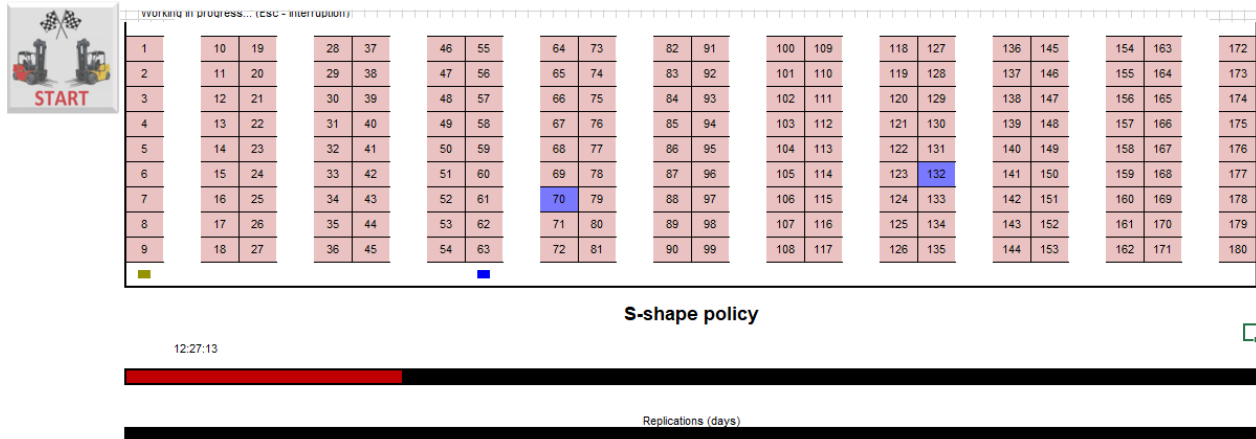
### 6.4 Provođenje simulacije

Simulacija je provedena za varijabilno radno vrijeme (jer simulacijski alat uzima u obzir da komisioner izuzima posljednju narudžbu do kraja) za dvadeset radnih dana. Uzete su u obzir metoda s-oblika, metoda povrata, najveća udaljenost, kombinirana metoda i optimalni algoritam prema prijednom putu ili utrošenom vremenu. Osnovni parametar usporedbe metoda rutiranja je bio broj artikala po jednoj narudžbi, od 5 do 20 artikala.

Korisničko sučelje (Slika 24.) simulacijskog alata se sastoji od nekoliko radnih listova. Na prvom radnom listu se nalaze parametri koje je potrebno prilagoditi željenom simulacijskom modelu dok se na drugom radnom listu nalazi grafički prikaz samog modela ali i jednostavan prikaz rada simulacije (Slika 25.).



Slika 24. Prikaz grafičkog sučelja simulacijskog alata Warehouse Real-Time Simulator, Grzegorz Tarczyński (Izradio autor prema [24])



Slika 25. Grafički prikaz simulacije u Warehouse Real-Time Simulator, Grzegorz Tarczyński (Izradio autor prema [24])

Treći i četvrti radni list ispisuju rezultate provedbe simulacije. Na trećem radnom listu nalaze se podaci vezani uz kretanje pojedinog komisionera, koliko je naloga odradio, koliko dugo je zapravo radio a koliko dugo je bio neiskorišten te ostali podaci vezani uz prijeđeni put po pozicijama ili broj podizanja prilikom izuzimanja jednog radnog naloga. Na četvrtom radnom listu nalaze se podaci vezani uz pojedinu narudžbu, kada je formirana, kada je počelo njeno slaganje, kada je završilo te također koliko je komisioner prošao prilikom slaganja odnosno koliko se puta okrenuo i vratio istim putem.

#### 6.4.1 Simulacija komisioniranja s 5 artikala po narudžbi

U tablici 2. slijede rezultati provedene simulacije za komisioniranje robe sa 6 različitih metoda rutiranja uz uvjet 5 artikala po jednoj narudžbi.

*Tablica 2. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 5 artikala po narudžbi (Izradio autor)*

Metoda rutiranja	Vrijeme u radu komisionera [sat:min:sek]	Ukupno prijeđeni put [m]	Ukupno prijeđeni put po danu [m]	Ukupan broj obavljenih narudžbi [kom]	Prosječan put po narudžbi [m]	Prosječno vrijeme po narudžbi [min:sek]
S-oblik	6:58:52	253621,67	12681,08	1234,00	205,53	6:47
Povratak	7:32:55	263087,87	13154,39	1234,00	213,20	7:20
Najveći razmak	6:47:04	226594,67	11329,73	1234,00	183,63	6:35
Kompozitna	6:49:36	234197,87	11709,89	1234,00	189,79	6:38
Optimalna –put	6:32:14	<b>215169,46</b>	<b>10758,47</b>	1234,00	<b>174,37</b>	6:21
Optimalna - vrijeme	<b>6:31:29</b>	216540,66	10827,03	1234,00	175,48	<b>6:20</b>

#### 6.4.2 Simulacija komisioniranja s 10 artikala po narudžbi

U tablici 3. slijede rezultati provedene simulacije za komisioniranje robe sa 6 različitih metoda rutiranja uz uvjet 10 artikala po jednoj narudžbi. Svi ostali parametri su ostali nepromijenjeni u odnosu na prvu inačicu simulacije.

Tablica 3. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 10 artikala po narudžbi (Izradio autor)

Metoda rutiranja	Vrijeme u radu komisionera [sat:min:sek]	Ukupno prijeđeni put [m]	Ukupno prijeđeni put po danu [m]	Ukupan broj obavljenih narudžbi [kom]	Prosječan put po narudžbi [m]	Prosječno vrijeme po narudžbi [min:sek]
S-oblik	7:55:41	269675,72	13483,79	960,00	280,91	9:54
Povratak	8:50:09	292571,72	14628,59	960,00	304,76	11:02
Najveći razmak	7:48:52	233495,72	11674,79	960,00	243,22	9:46
Kompozitna	7:45:07	247454,72	12372,74	960,00	257,77	9:41
Optimalna –put	7:28:33	<b>220391,49</b>	<b>11019,57</b>	960,00	<b>229,57</b>	9:20
Optimalna - vrijeme	<b>7:23:18</b>	226061,30	11303,07	960,00	235,48	<b>9:14</b>

#### 6.4.3 Simulacija komisioniranja s 15 artikala po narudžbi

U tablici 4. slijede rezultati provedene simulacije za komisioniranje robe sa 6 različitih metoda rutiranja uz uvjet 15 artikala po jednoj narudžbi.

Tablica 4. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 15 artikala po narudžbi (Izradio autor)

Metoda rutiranja	Vrijeme u radu komisionera [sat:min:sek]	Ukupno prijeđeni put [m]	Ukupno prijeđeni put po danu [m]	Ukupan broj obavljenih narudžbi [kom]	Prosječan put po narudžbi [m]	Prosječno vrijeme po narudžbi [min:sek]
S-oblik	8:24:57	266396,55	13319,83	820,00	324,87	12:18
Povratak	9:33:21	302344,35	15117,22	820,00	368,71	13:59
Najveći razmak	8:31:27	235767,75	11788,39	820,00	287,52	12:28
Kompozitna	8:15:53	246756,75	12337,84	820,00	300,92	12:05
Optimalna –put	8:02:34	<b>221247,72</b>	<b>11062,39</b>	820,00	<b>269,81</b>	11:46
Optimalna - vrijeme	<b>7:54:22</b>	227991,93	11399,60	820,00	278,04	<b>11:34</b>

#### 6.4.4 Simulacija komisioniranja s 20 artikala po narudžbi

U tablici 5. slijede rezultati provedene simulacije za komisioniranje robe sa 6 različitih metoda rutiranja uz uvjet 20 artikala po jednoj narudžbi.

*Tablica 5. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 20 artikala po narudžbi (Izradio autor)*

Metoda rutiranja	Vrijeme u radu komisionera [sat:min:sek]	Ukupno prijeđeni put [m]	Ukupno prijeđeni put po danu [m]	Ukupan broj obavljenih narudžbi [kom]	Prosječan put po narudžbi [m]	Prosječno vrijeme po narudžbi [min:sek]
S-oblik	8:34:19	251354,89	12567,74	720,00	349,10	14:17
Povratak	9:52:40	299090,89	14954,54	720,00	415,40	16:27
Najveći razmak	8:56:30	232384,69	11619,23	720,00	322,76	14:54
Kompozitna	8:28:38	236801,89	11840,09	720,00	328,89	14:07
Optimalna –put	8:18:20	<b>215841,47</b>	<b>10792,07</b>	720,00	<b>299,78</b>	13:50
Optimalna - vrijeme	<b>8:08:32</b>	222700,88	11135,04	720,00	309,31	<b>13:34</b>

#### 6.5 Analiza dobivenih rezultata

Provedena simulacija nema svrhe ukoliko se ne usporede i analiziraju dobiveni podaci (rezultati). Iz tablica 2. do 5. se može vidjeti da su optimalne rute najpovoljnije po pitanju prijeđenog puta odnosno utrošenog vremena što je i logično jer da bi nešto bilo optimalno mora biti najbolje moguće. Simulacije su provedene tako da je u pojedinoj iteraciji (5/10/15/20 narudžbi) obavljen jednak ukupan broj obavljenih narudžbi i mogu se usporediti dobiveni podaci tako da se vrijednosti za svaku metodu rutiranja u tablicama 2. do 5. usporede s optimalnim vrijednostima (označeni zelenom bojom u tablicama) u istoj kategoriji podataka. Tablični prikaz slijedi u tablici 6.

Tablica 6. Usporedba rezultata dobivenih simulacijom (Izradio autor)

Metoda rutiranja	Vrijeme u radu komisionera [sat:min:sek]	Ukupno prijeđeni put [m]	Ukupno prijeđeni put po danu [m]	Ukupan broj obavljenih narudžbi [kom]	Prosječan put po narudžbi [m]	Prosječno vrijeme po narudžbi [min:sek]
<b>Komisioniranje s 5 artikala po narudžbi</b>						
S-oblik	+6,99%	+17,87%	+17,87%	1234,00	+17,87%	+7,11%
Povratak	<b>+15,69%</b>	<b>+22,27%</b>	<b>+22,27%</b>	1234,00	<b>+22,27%</b>	<b>+15,79%</b>
Najveći razmak	+3,98%	+5,31%	+5,31%	1234,00	+5,31%	+3,95%
Kompozitna	+4,63%	+8,84%	+8,84%	1234,00	+8,84%	+4,74%
Optimalna – put	+0,19%	<b>215169,46</b>	<b>10758,47</b>	1234,00	<b>174,37</b>	+0,26%
Optimalna - vrijeme	<b>6:31:29</b>	0,64%	0,64%	1234,00	+0,64%	<b>6:20</b>
<b>Komisioniranje s 10 artikala po narudžbi</b>						
S-oblik	+7,31%	+22,36%	+22,36%	960,00	+22,36%	+7,22%
Povratak	<b>+19,59%</b>	<b>+32,75%</b>	<b>+32,75%</b>	960,00	<b>+32,75%</b>	<b>+19,49%</b>
Najveći razmak	+5,77%	+5,95%	+5,95%	960,00	+5,95%	+5,78%
Kompozitna	+4,92%	+12,28%	+12,28%	960,00	+12,28%	+4,87%
Optimalna – put	+1,18%	<b>220391,49</b>	<b>11019,57</b>	960,00	<b>229,57</b>	+1,08%
Optimalna - vrijeme	<b>7:23:18</b>	+2,57%	+2,57%	960,00	+2,57%	<b>9:14</b>
<b>Komisioniranje s 15 artikala po narudžbi</b>						
S-oblik	+6,45%	+20,41%	+20,41%	820,00	+20,41%	+6,34%
Povratak	<b>+20,87%</b>	<b>+36,65%</b>	<b>+36,65%</b>	820,00	<b>+36,66%</b>	<b>+20,89%</b>
Najveći razmak	+7,82%	+6,56%	+6,56%	820,00	+6,56%	+7,78%
Kompozitna	+4,54%	+11,53%	+11,53%	820,00	+11,53%	+4,47%
Optimalna – put	+1,73%	<b>221247,72</b>	<b>11062,39</b>	820,00	<b>269,81</b>	+1,73%
Optimalna - vrijeme	<b>7:54:22</b>	+3,05%	+3,05%	820,00	+3,05%	<b>11:34</b>
<b>Komisioniranje s 20 artikala po narudžbi</b>						
S-oblik	+5,28%	+16,45%	+16,45%	720,00	+16,45%	+5,28%
Povratak	<b>+21,32%</b>	<b>+38,57%</b>	<b>+38,57%</b>	720,00	<b>+38,57%</b>	<b>+21,25%</b>
Najveći razmak	+9,82%	+7,66%	+7,66%	720,00	+7,67%	+9,83%
Kompozitna	+4,11%	+9,71%	+9,71%	720,00	+9,71%	+4,05%
Optimalna – put	+1,73%	<b>215841,47</b>	<b>10792,07</b>	720,00	<b>299,78</b>	+1,97%
Optimalna - vrijeme	<b>8:08:32</b>	+3,18%	+3,18%	720,00	3,18%+	<b>13:34</b>



U analizi je korištena sljedeća formula koja predstavlja koliko je više utrošenog vremena odnosno prijeđenog puta za pojedinu metodu u odnosu na optimalnu rutu u obliku postotka [%]:

$$\% = \frac{a - b}{b}$$

gdje je:

a – vrijednost veća od optimalne za koju se računa postotak u odnosu na optimalnu;

b – optimalna vrijednost puta ili vremena.

Iz tablice 6. vidi se da je u ovom slučaju rutiranje komisionera po metodi povratka daje najgore rezultate, od 22,27% više prijeđenog puta prilikom komisioniranja s 5 artikala po narudžbi do čak 38,57% više prijeđenog puta prilikom komisioniranja s 20 artikala po narudžbi. Također ako se promatraju vremena utrošena za komisioniranje narudžbi analiza pokazuje da je uz rutiranje prema metodi povratka potrebno utrošiti od 15,69% do čak 21,32% više vremena za isti broj komisioniranih narudžbi u odnosu na optimalnu metodu.

Daljnjom analizom može se primjetiti da metoda s-oblika ima u prosjeku veći prijeđeni put u odnosu na ostale metode (ako se izuzme metoda povratka), no unatoč tome uz s-oblik rutiranja nije uvijek potrebno i najviše utrošenog vremena za komisioniranje narudžbi. Razlog tome je što u toj metodi nema okretanja komisionera (osim u zadnjem prolazu) što ovisno o tipu komisionerskog viličara može oduzeti dosta vremena. Također to predstavlja i moguće usko-grlo (*eng. bottleneck*) jer prosječnom komisionerskom viličaru [23] treba više od polovice dostupne širine prolaza između regala. Okretanjem u prolazu jedan komisioner zapravo onemogućava prolaz drugom komisioneru koji prolazi iz suprotnog smjera, ali isto tako blokira i komisionera koji dolazi iz njegovog smjera jer mu drugi komisioner mora ostaviti dovoljno mjesta za manevar i pričekati ga prije nego se mogu mimoići.

Bitno je također spomenuti i odnos optimalnih metoda, u službi utrošenog vremena odnosno prijeđenog puta. Njihova razlika može biti relativno malena s vrijednostima do 1,0% odnosno do 5,0%. To se isprva ne čini značajno no u slučaju ove simulacije broj obavljenih narudžbi u 20 radnih dana je svega 1234 [kom] u slučaju kada narudžbe sadrže 5 artikala. To znači da je razlika u 61,7 [kom] narudžbi što ipak nije zanemarivo. Ako se uzme veći distribucijski centar, veći broj komisionera i obavljenih narudžbi tada se može vidjeti značaj razlike od 5%. Tada taj postotak odnosi značajan dio zarade.

## 7. Zaključak

Logistički procesi poput skladištenja su stalan predmet istraživanja i unaprijeđivanja. Velik problem predstavljaju brojni pod-procesi koji čine sustav, u ovom slučaju skladištenje, toliko složenim da ga je iznimno teško replicirati u obliku modela u toj mjeri da nakon provedbe eksperimenta (simulacije) se sa apsolutnom sigurnošću može predvidjeti kako će se u realnom sustavu adaptirati potencijalna rješenja. Neki od potencijalnih problema su iznimne situacije koje je bez kvalitetnih povijesnih podataka ili drugih eksperimenata i istraživanja nemoguće pretpostaviti. Ti problemi mogu biti razni, od kvarova vozila, pada sustava za praćenje pošiljki, nestanka struje u distribucijskom centru, ili banalnih poteškoća poput kvara fotokopirnog uređaja za izradu otpremnica. Zato je za kvalitetnu provedbu simulacije potrebno uzeti što više stvari u obzir i ispitati sve moguće ishode.

Kao potencijalno rješenje sve većim potrebama za simuliranjem realnih sustava sve veći broj distribucijskih poduzeća se odlučuje za suradnju s informatičkim tvrtkama koje se bave ili izrađuju simulacijske alate. Ovdje je vrlo bitna suradnja različitih područja kako bi se simulacije obavile što kvalitetnije i kako bi dale primjenjive rezultate. S tim razlogom simulacijski alati pružaju sve više mogućnosti na što je također utjecao eksponencijalni razvitak računala. Dok su prijašnje inačice simulacijskih alata bile ograničene na osnovno analiziranje brojeva i davanja tabličnih podataka gdje se nije mogla jasno vizualizirati interakcija elemenata, današnje inačice pružaju mogućnost 3D (trodimenzionalnih) simulacija gdje je unose konkretne veličine i odnosi elemenata i na taj način se jasno vide mogući problemi koji se inače ne bi mogli zamijetiti.

No osim navedenih simulacija cjelokupnih kompleksnih sustava moguće je i modeliranje pojedinih procesa unutar većih cjelina, kao u slučaju ovog rada – komisioniranja. Naravno, čak i izrada simulacijskog modela nekog procesa može biti iznimno zahtjevna. Ovisno koji su krajnji ciljevi, što se zapravo želi postići s promjenom parametara pojedinih dijelova procesa. Iako se komisioniranje čini kao relativno jednostavan proces (kretanje po skladištu, izuzimanje artikala s pozicija), ako se gleda cjelovito, to je proces kojeg prethodne i istovremeno prate drugi procesi. Zbog toga komisioniranje nije moguće gledati zasebno osim u iznimnim situacijama kada je cilj optimizirati samo jedan relativno mali dio poput samog kretanja po skladištu. No čak i u tom slučaju je moguće razdijeliti na manje dijelove (koliko je potrebno komisioneru za uzimanje artikla s pozicije, koliko mu je potrebno vremena da odloži artikl na viličar, koliko mu je vremena potrebno da zabilježi izuzimanje i nastavi do druge pozicije, itd.).

Uz sve navedeno, može se zaključiti da su simulacijski alati iznimni i da ovisno o primjeni i uloženom trudu mogu dati rezultate koji se izravno ili uz preinake mogu implementirati u postojeće realne sustave i time smanjiti utrošene resurse čime se izravno smanjuje cijena krajnjim korisnicima što je u pravilu i cilj i čemu se uvijek teži.

## Popis literature

- [1] [https://ec.europa.eu/transport/themes/logistics-and-multimodal-transport/logistics\\_en](https://ec.europa.eu/transport/themes/logistics-and-multimodal-transport/logistics_en), kolovoz 2020.
- [2] Planiranje robnih tokova u strukturi opskrbnog lanca, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2020.
- [3] <https://slidemodel.com/templates/flat-supply-chain-diagram-powerpoint/>, kolovoz 2020.
- [4] Rukavina M. Sustav proizvodnje Just in Time na primjeru Toyote, Sveučilište u Zadru, Odjel za ekonomiju, Zadar, 2018.
- [5] Upravljanje zalihama, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2020.
- [6] Skladištenje – Skladišni sustav i skladišni proces, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2013.
- [7] Eršeg M. Logistika skladištenja i zaliha, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2017.
- [8] Đurđević BD. Razvoj modela za izbor i uobličavanje komisione zone; doktorska disertacija, Sveučilište u Beogradu, Beograd, 2012.
- [9] Gudehus T, Kotzab H. Comprehensive logistics. Springer Science & Business Media; 2012.
- [10] <https://linde-mh.hr/linde-n20-c/>, kolovoz 2020.
- [11] <https://www.bastiansolutions.com/solutions/technology/goods-to-person/>, kolovoz 2020.
- [12] Choe KI, Sharp GP. Small parts order picking: design and operation. Atlanta: Technicalreport, Georgia Tech Research Corporation; 1992.
- [13] <https://www.skladisna-logistika.hr/toyota-vilicari/regalni-vilicari/regalni-vilicar-bt-reflex-b-serija/regalni-vilicar-bt-reflex-r/e-rre250.html>, kolovoz 2020.
- [14] Đukić G. Istraživanje komisioniranja u regalnim skladištima; doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2004.
- [15] Ratliff HD, Rosenthal AS. Order-picking in a rectangular warehouse: A solvable case od the travelling salesman problem, Operations Research, 1983.
- [16] Osnove simulacija u prometu i logistici, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2020.
- [17] Božikov J. Modeliranje i simulacija. Zagreb: Medicinski fakultet; 2007.
- [18] Law AM, Kelton WD. Simulation modeling and analysis. McGraw-Hill International Editions; 1991.
- [19] <https://www.arenasimulation.com>, kolovoz 2020.

- [20] <https://www.flexsim.com/flexsim/#3d-simulation>, kolovoz 2020.
- [21] <https://www.topregal.com/en/pallet-racks/>, kolovoz 2020.
- [22] <https://www.crown.com/content/dam/crown/pdfs/en-uk/specs/order-picker-sp3500-spec-GB.pdf>, kolovoz 2020.
- [23] Tarczyński G. Warehouse Real-Time Simulator – How to optimize order picking time, Wrocław University of Economics, Wrocław, Poland, 2013.

## Popis slika

Slika 1. Shema jednostavnog opskrbnog lanca .....	2
Slika 2. Graf ukupnih troškova zaliha .....	4
Slika 3. Prikaz konsolidacije tereta .....	5
Slika 4. Prikaz razdvajanja/sortiranja tereta .....	5
Slika 5. Prikaz zbirnih pošiljaka .....	6
Slika 6. Električni viličar za komisioniranje .....	10
Slika 7. Skladišna mehanizacija za komisioniranje roba-čovjeku .....	11
Slika 8. Regalni električni viličar .....	12
Slika 9. Prikaz metode s-oblika .....	13
Slika 10. Prikaz metode povratka .....	13
Slika 11. Prikaz metode srednje točke .....	14
Slika 12. Prikaz metode najvećeg razmaka .....	14
Slika 13. Prikaz optimalnog algoritma za kretanje komisionera .....	15
Slika 14. Prikaz ciklusa realni sustav – simulacija .....	18
Slika 15. Koraci simulacijskog procesa prema Law i Kelton 1928. godine .....	19
Slika 16. Grafičko sučelje simulacijskog alata Arena .....	21
Slika 17. Primjer dijagrama toka u simulacijskom alatu Arena .....	21
Slika 18. Primjer analize rezultata u simulacijskom alatu Arena .....	22
Slika 19. Primjer korištenja 3D modela u simulacijskom alatu FlexSim .....	23
Slika 20. Prikaz analize rezultata dobivenih u simulacijskom alatu FlexSim .....	23
Slika 21. Model regala proizvođača Topregal .....	25
Slika 22. Komisionerski regalni viličar model SP3500 proizvođača Crown .....	26
Slika 23. Prikaz odabira vrhova i ruta za pravokutni oblik skladišta prema Rattliff i Rosenthal .....	27
Slika 24. Prikaz grafičkog sučelja simulacijskog alata WRTS, Grzegorz Tarczyński .....	29
Slika 25. Grafički prikaz simulacije u WRTS, Grzegorz Tarczyński .....	29

## Popis tablica

Tablica 1. Brzine operacija komisionerskog viličara.....	26
Tablica 2. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 5 artikala po narudžbi .....	30
Tablica 3. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 10 artikala po narudžbi .....	31
Tablica 4. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 15 artikala po narudžbi .....	31
Tablica 5. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 20 artikala po narudžbi .....	32
Tablica 6. Usporedba rezultata dobivenih simulacijom .....	33



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.

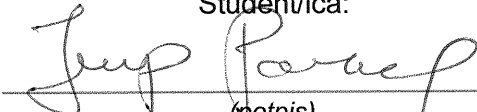
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada  
pod naslovom **Primjena simulacijskih modela u analizi procesa komisioniranja robe**

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

U Zagrebu, 2.9.2020

Student/ica:

  
(potpis)