

# Primjena simulacijskog modeliranja u analizi procesa komisioniranja robe

---

**Hrastinski, Alan**

**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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:169651>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Alan Hrastinski**

**PRIMJENA SIMULACIJSKOG MODELIRANJA U**  
**ANALIZI PROCESA KOMISIONIRANJA ROBE**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2021.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, 27. kolovoza 2021.

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

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 6218**

Pristupnik: **Alan Hrastinski (0135249976)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Primjena simulacijskog modeliranja 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 jednostavnijeg 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 SIMULACIJSKOG MODELIRANJA U ANALIZI  
PROCESA KOMISIONIRANJA ROBE  
APPLICATION OF SIMULATION MODELING IN THE  
ANALYSIS OF THE PICKING PROCESS**

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

Student: Alan Hrastinski

JMBAG: 0135249976

Zagreb, rujan 2021.

## SAŽETAK

Simulacijsko modeliranje služi za analizu realnog sustava pomoću računala. Da bi se ono kvalitetno izvršilo potrebni su točni ulazni podaci, inače se neće dobiti prihvatljive rezultate. Komisioniranje kao najzahtjevniji proces u skladištu oduzima najviše vremena u odnosu na ostale aktivnosti u skladištu, stoga je potrebno koristiti simulacijski model za njegovo unaprijeđenje. Zato se iz realnog sustava uzimaju podaci da bi došli do optimalnog rješenja. U ovome radu navedeni su simulacijski alati koji se često koriste za modeliranja. Sa jednim od alata provedena je analiza podataka iz stvarnog sustava tvrtke Kuehne + Nagel iz RH, te izvršen simulacijski eksperiment na temelju tih podataka, u svrhu optimiranja logističkog procesa komisioniranja.

**KLJUČNE RIJEČI:** simulacija, simulacijski model, komisioniranje robe, narudžba, optimizacija

## SUMMARY

Simulation modeling is used to analyze a real system using a computer. In order to perform it well, accurate input data are needed, otherwise we will not get acceptable results. Order-picking as the most demanding process in the warehouse takes the most time compared to other activities in the warehouse, so it is necessary to use a simulation model to improve it. Therefore, data are taken from the real system in order to reach the optimal solution. This paper lists simulation tools that are often used for modeling. With one of the tools, an analysis of data from the actual system of the company Kuehne + Nagel from the Republic of Croatia was performed, and a simulation experiment was performed based on this data, in order to optimize the logistical order-picking process.

**KEY WORDS:** simulation, simulation model, order-picking, order, optimization

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. SIMULACIJSKO MODELIRANJE U LOGISTICI.....	2
2.1. Primjena u logistici.....	3
2.2. Cilj simulacijskog modeliranja.....	4
2.3. Podaci potrebni za simulacijsko modeliranje.....	5
2.4. Output simulacijskog modela.....	5
3. SIMULACIJSKI PROGRAMSKI ALATI .....	6
3.1. Arena Rockwell Automation.....	6
3.2. Flexsim.....	9
3.3. AnyLogic.....	10
3.4. Warehouse real-time simulator .....	11
3.5. Prednosti i nedostaci.....	12
4. PROCES KOMISIONIRANJA ROBE .....	13
4.1. Vrste komisioniranja .....	13
4.2. Metode komisioniranja.....	15
4.2.1. Metode usmjeravanja .....	15
4.2.2. Diskretno komisioniranje .....	18
4.2.3. Zonsko komisioniranje .....	18
4.2.4. Grupno komisioniranje.....	19
5. PLANIRANJE I IZVOĐENJE SIMULACIJSKOG EKSPERIMENTA .....	20
6. PRIKAZ REZULTATA SIMULACIJSKOG EKSPERIMENTA.....	25
6.1. Simulacija komisioniranja sa pet artikala po narudžbi.....	25
6.2 Simulacija komisioniranja sa 10 artikala po narudžbi.....	26
6.3 Simulacija komisioniranja sa 15 artikala po narudžbi.....	27
6.4 Simulacija komisioniranja sa 20 artikala po narudžbi.....	28
6.5. Analiza rezultata.....	29

7. ZAKLJUČAK .....	32
POPIS LITERATURE .....	33
POPIS SLIKA .....	34
POPIS TABLICA.....	35

## 1. UVOD

Logistika se kao djelatnost bavi koordinacijom svih kretanja materijala, proizvoda i robe u fizičkom, informacijskom i organizacijskom pogledu. Kružni proces od nabave preko proizvodnje i prodaje do potrošača. Također logistika se bavi organizacijom i optimizacijom skladišta, cilj je smanjiti troškove i isporučiti robu u što kraćem roku. Da bi se došlo do optimalnih rješenja za ove probleme napravljeni su razni simulacijski programski alati koji pomažu logističarima da u tome uspiju. Simulacijski programski alati omogućuju obradu velike količine podataka putem eksperimenata u kratkom roku te se na taj način može vidjeti postoji li mjesta za napredak u nekoj od aktivnosti u skladištu kako bi se poboljšao trenutni sustav.

U drugom poglavlju ukratko je objašnjen princip simulacijskog modeliranja, definirani su ciljevi, svrha te primjena simulacijskog modeliranja na konkretnom primjeru u logistici.

U trećem poglavlju navedeni su simulacijski programski alati koji se koriste za provođenje simulacijski eksperimenata, objašnjen je njihov princip rada i svrha, te za što se sve mogu koristiti pojedini alati i na koji način. Rečene su prednosti i nedostaci simulacijskog modeliranja.

U četvrtom poglavlju definiran je proces komisioniranja, zatim su objašnjene vrste i metode komisioniranja, nadalje razjašnjavaju se i prikazuju metode usmjeravanja.

U petom poglavlju se planira, detaljno objašnjava i definira simulacijski alat za izvršavanje simulacijskog eksperimenta, te se u konačnici i izvršava eksperiment čiji rezultati slijede u idućem poglavlju.

U šestom poglavlju prikazuju se rezultati simulacijskog eksperimenta sa određenim brojem artikala po narudžbi, te se analiziraju dobiveni rezultati s ozbirom na promjenu broja artikala i metode rutiranja.

U sedmom poglavlju donesen je zaključak na temelju obrađenog gradiva u završnom radu, te izneseno mišljenje o simulacijskom modeliranju.



## 2. SIMULACIJSKO MODELIRANJE U LOGISTICI

Velik broj poduzeća za poboljšanje svog poslovanja koriste simulacije. Simulacija je oponašanje realnih stvari, stanja ili procesa. Simulacijom želimo odrediti utjecaj promjene određenih ulaznih varijabli na ponašanje odabranog fizičkog ili apstraktnog sustava. Simulacija se koristi u mnogim prilikama, uključujući modeliranje prirodnih i ljudskih sustava. U tehnici se simulacije koriste za poboljšanje karakteristika, povećanja sigurnosti, te samo testiranje sustava, a vrlo često i za obuku i obrazovanje ljudi. Simulacije se koriste i za prikaz stvarnih učinaka koje neki sustav ima na okoliš. Simulacije daju odgovor na pitanje „što će se dogoditi ako...“, zato poboljšanje poslovanja bilo kojeg sustava je nezamislivo bez simulacija.

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.

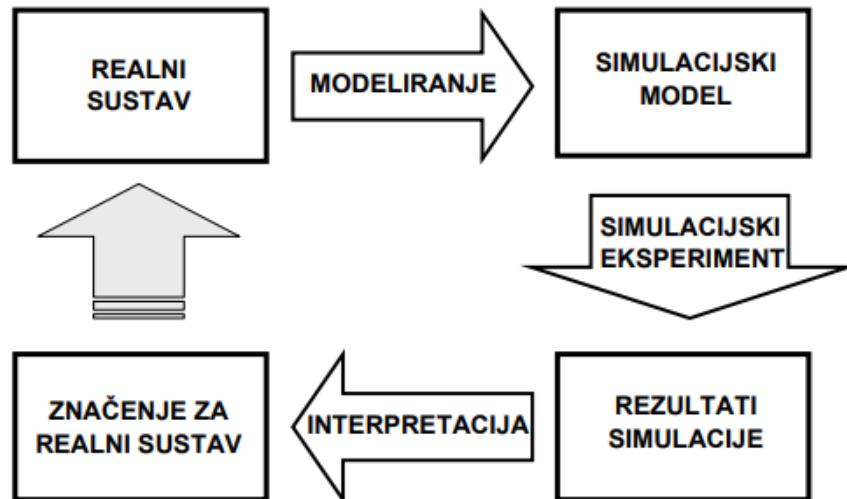
Koraci simulacijskog procesa su:<sup>1</sup>

1. Definicija cilja simulacijske studije
2. Identifikacija sustava
3. Prikupljanje i analiza podataka o sustavu
4. Izgradnja simulacijskog modela i simulacijskog programa
5. Vrednovanje simulacijskog modela
6. Planiranje i izvođenje simulacijskih eksperimenata
7. Analiza rezultata eksperimenata
8. Zaključci i preporuke

---

<sup>1</sup> Law AM, Kelton WD. Simulation modeling and analysis. New York: McGrawHill, 1982. (Cit. iz Čerić V. Simulacijsko modeliranje. Zagreb: Školska knjiga, 1993.)

Na slici 1. prikazan je postupak simulacijskog procesa. Prvi korak u tom procesu je eksperimentiranje realnog sustava. Nakon izrade simulacijskog modela potrebno je mijenjati ulazne podatke i pratiti promjene koje se dogode na modelu. Dobivene promjene je potrebno interpretirati na realnom sustavu, s ciljem njegovog poboljšanja.



Slika 1. Simulacijski proces

Izvor: [https://bib.irb.hr/datoteka/347082.modeliranje\\_i\\_simulacija\\_-\\_v2a2.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/347082.modeliranje_i_simulacija_-_v2a2.pdf)

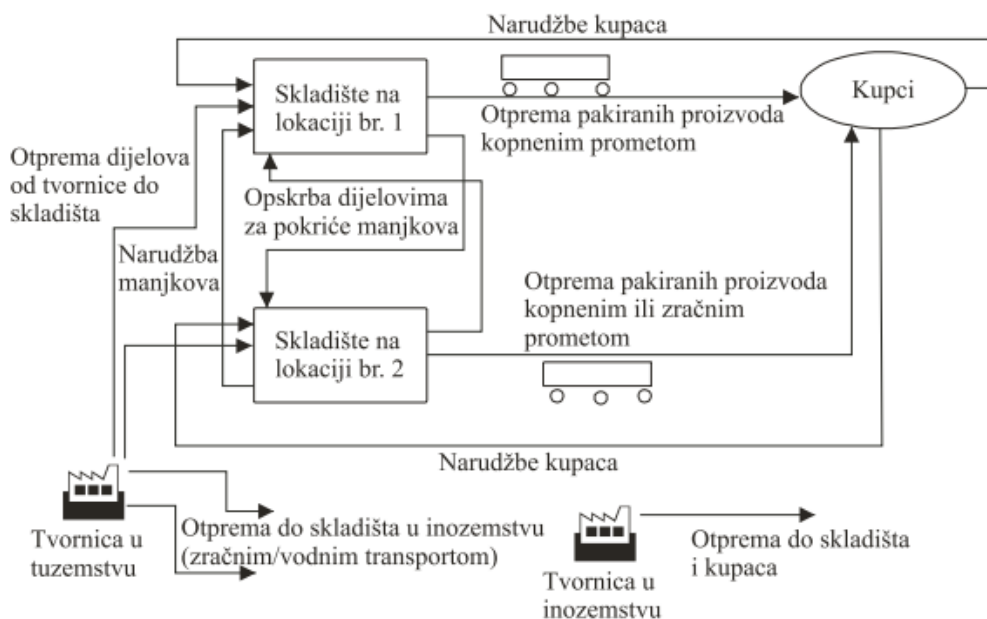
## 2.1. Primjena u logistici

Osnovna područja primjene simulacijskih metoda u logistici su:

- 1) Simulacija skladišnih i distribucijskih sustava,
- 2) Simulacija transportnih centara,
- 3) Simulacija transporta u transportnim i logističkim mrežama
- 4) Sumilacija rada na robnim rampama u transportnim središtima.

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

Većina proizvodnih, trgovinskih i uslužnih produeća želi kreirati vlastiti logistički sustav. Na slici 2. prikazan je jedan takav logistički sustav.



Slika 2. Tijek narudžbi i proizvoda između tvornica i kupaca pomoću skladišta

Izvor: Prilagodio autor prema: Banks, J.: Handbook of simulation – Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice – Willey Interscience and Engineering & Management Press, USA, 1998.

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

## 2.2. Cilj simulacijskog modeliranja

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

### 2.3. Podaci potrebni za simulacijsko modeliranje

Simulacijski modeli koji se razvijaju u okviru ovoga podsustava logističkoga sustava imaju za zadaću vrednovati lokaciju skladišta/distribucijskoga centra i načine transporta između proizvodnih pogona, skladišta i kupaca. Podaci potrebni za takve simulacijske modele su: broj proizvodnih pogona, broj i lokacija skladišta, broj kupaca, potražnja kupaca od skladišta, broj dijelova koji se proizvode u različitim proizvodnim pogonima, cijena materijala, vrijeme transporta između proizvedenih pogona i skladišta, vrijeme transporta između skladišta i kupaca. Važno je napomenuti da su potražnja kupaca, vrijeme transporta, itd. stohastični po svojoj prirodi i da se različito kreću u proteklom razdoblju. Sukladno tome, ovi podaci korespondiraju generiranoj distribuciji vjerojatnosti koja se temelji na tjednim, mjesečnim, tromjesečnim ili polugodišnjim informacijama.

### 2.4. Output simulacijskog modela

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

### 3. SIMULACIJSKI PROGRAMSKI ALATI

Simulacijski programski alati koriste se za provedbu simulacija na računalu. Pomoću njih se pokušava optimizirati realni sustav, kako bi se smanjili troškovi i povećala efikasnost.

U nastavku rada navedeno je nekoliko simulacijskih programskih alata koji se u današnje vrijeme primjenjuju.

#### 3.1. Arena Rockwell Automation

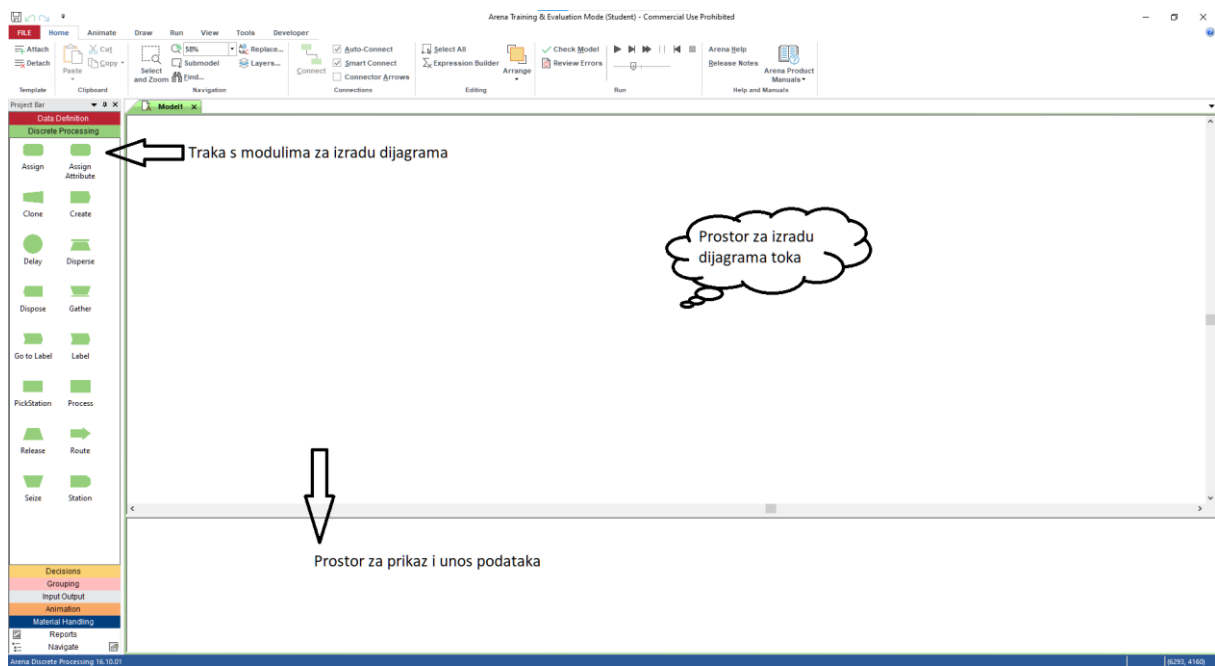
Arena je softver za simulaciju i automatizaciju diskretnih događaja koji je razvio Systems Modeling, a kupio ga je Rockwell Automation 2000. U Areni korisnik gradi model eksperimenta postavljanjem modula koji predstavljaju procese. Linije konektora koriste se za spajanje modula zajedno i za specificiranje tijeka entiteta. Linije konektora koriste se za spajanje modula zajedno i za specificiranje tijeka entiteta. Dok moduli imaju posebne radnje u odnosu na entitete, tijek i vrijeme, precizan prikaz svakog modula i entiteta u odnosu na objekte iz stvarnog života podložan je moderatoru. Statistički podaci, kao što su vrijeme ciklusa i razine WIP -a (rad u tijeku), mogu se zabilježiti i napraviti kao izvještaji.<sup>2</sup>

Arena se može integrirati s Microsoftovim tehnologijama. Uključuje Visual Basic za aplikacije pa se modeli mogu dodatno automatizirati ako su potrebni posebni algoritmi. Također podržava uvoz Microsoft Visio dijagrama toka, kao i čitanje ili slanje rezultata u Excel proračunske tablice i Access baze podataka. Arenu koriste tvrtke koje se bave simulacijom poslovnih procesa, a neke od njih su General Motors, UPS, IBM, Nike, Xerox, Lufthansa, Ford Motor Company.

Na slici 3. prikazano je sučelje za modeliranje u Arena simulacijskom programu, na kojem se nalaze traka s modulima, prostor za izradu dijagrama te prostor za unos i prikaz podataka.

---

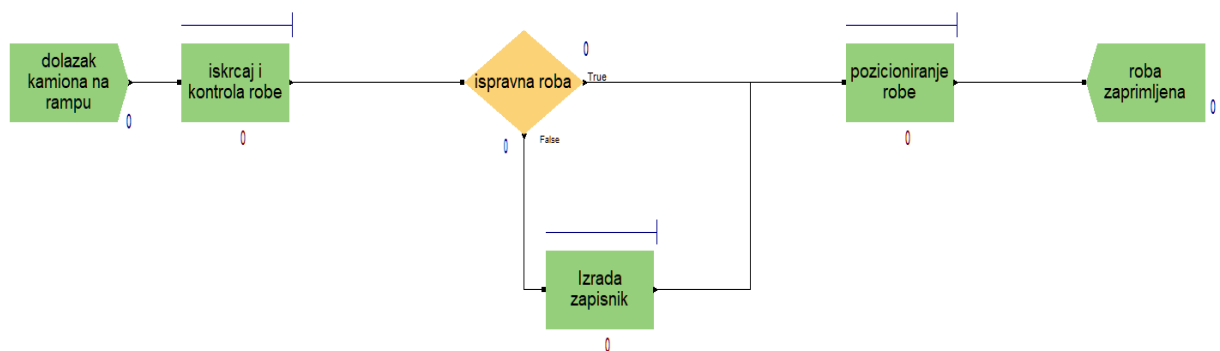
<sup>2</sup> <https://www.arenasimulation.com/>



Slika 3. Arena sučelje za modeliranje

Izradio autor

Na slici 4. prikazan je primjer jednostavnijeg dijagrama toka. Prikazane su aktivnosti iskrcaja i kontrole robe, provjera ispravnosti robe, po potrebi izrada zapisnika, te pozicioniranje robe na mjesto.



Slika 4. Primjer dijagrama toka u Areni

Izradio autor

Na slici 5. prikazani su rezultati simulacije za navedeni primjer.

Replication 1					
	Start Time:	0,00	Stop Time:	2.400,00	Time Units: Minutes
<b>Entity</b>					
<b>Time</b>					
<b>VA Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Entity 1	32.6984	(Insufficient)	19.7582	61.9539	
<b>NVA Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Entity 1	0	(Insufficient)	0	0	
<b>Wait Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Entity 1	34.6003	(Insufficient)	0	132.38	
<b>Transfer Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Entity 1	0	(Insufficient)	0	0	
<b>Other Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Entity 1	0	(Insufficient)	0	0	
<b>Total Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Entity 1	67.2987	(Insufficient)	20.5423	176.59	
<b>Other</b>					
<b>Number In</b>	<b>Value</b>				
Entity 1	83				
<b>Number Out</b>	<b>Value</b>				
Entity 1	82				
<b>WIP</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Entity 1	2.3005	(Insufficient)	0	7.0000	
<b>Queue</b>					
<b>Time</b>					
<b>Waiting Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
iskrcaji i kontrola robe.Queue	28.2053	(Insufficient)	0	92.0975	
Izrada zapisnik.Queue	40.3793	(Insufficient)	0	89.8409	
pozicioniranje robe.Queue	0.1419	(Insufficient)	0	2.5878	

Slika 5. Primjer dobivenih rezultata u Areni

Izradio autor

Na kraju svake simulacije u Areni može se tražiti ispis rezultata simulacije. Pomoću tih rezultata vidimo gdje roba najbrže odnosno najsporije protječe, gdje moramo ubrzati proces tj. razmisliti da li bi bilo bolje staviti još jednog radnika da obavlja određenu aktivnost kako bi se smanjio red čekanja, ili pak smisliti neko drugo optimalno rješenje. Na taj način smanjiti troškove ili povećati produktivnost skladišta.

## 3.2. Flexsim

FlexSim je softver za 3D simulaciju koji modelira, simulira, predviđa i vizualizira poslovne sustave u raznim industrijama: proizvodnji, rukovanju materijalima, zdravstvu, skladištenju, rudarstvu, logistici i još mnogo toga. Snažan je i jednostavan za korištenje. FlexSim može pomoći tvrtki u donošenju informiranijih odluka.<sup>3</sup>

FlexSim može koristiti za:

- Vizualizaciju bez rizika, vidljive rezultate predloženih promjena radi optimizacije protoka proizvoda, osoblja, korištenja resursa, oblikovanja tlocrta i gotovo bilo kojeg drugog aspekta sustava
- Optimizaciju svog sustava prije nego što primijenite promjene u stvarnom životu, čime ćete uštedjeti vrijeme i novac svoje tvrtke
- Proučavanje alternativnih ideja za ulaganja i planove za smanjenje troškova

Mnoge tvrtke koriste FlexSim za:

- Metode ispitivanja za učinkovitiju raspodjelu sredstava
- Smanjenje vremena čekanja i redova čekanja
- Minimizaciju negativnih učinka kvarova
- Uspostavljanje optimalne veličine serija i redoslijed dijelova
- Proučavanje učinka vremena postavljanja i promjene alata
- Optimiziranje prioriteta i logike otpreme roba i usluga

Na slici 6. prikazan je primjer 3D simulacije tvornice pomoću FlexSim softvera. Ovakve simulacije korisne su za vizualnu predodžbu prostora i resursa.



Slika 6. 3D simulacija tvornice u Flexsim-u

Izvor: <https://www.flexsim.com/>

---

<sup>3</sup> <https://www.flexsim.com/>



### 3.3. AnyLogic

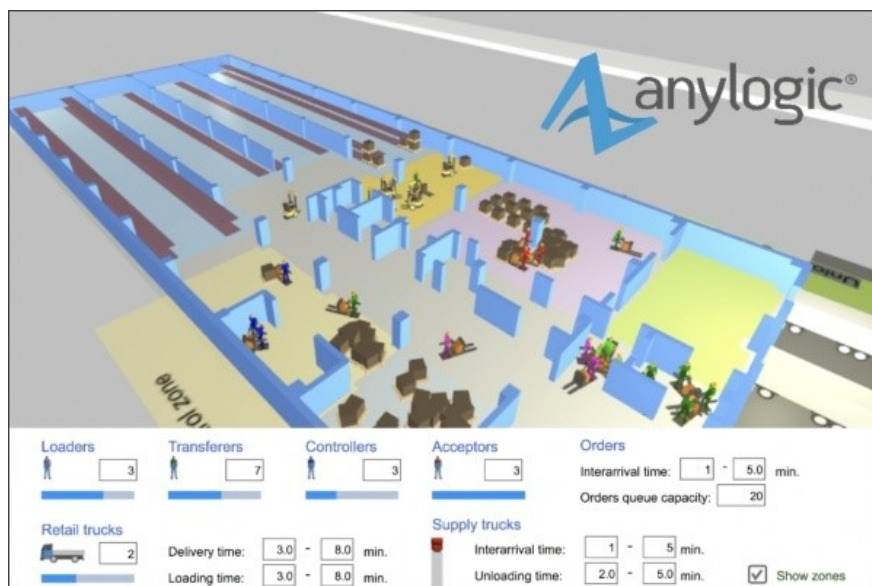
AnyLogic je simulacijski alat za modeliranje koji je razvila tvrtka AnyLogic. Podržava metodologije simulacije diskretnih događaja i dinamike sustava zasnovane na agentima.<sup>4</sup>

Dinamika sustava i diskretni događaji tradicionalni su simulacijski pristupi, noviji su zasnovani na agentima. Tehnički, pristup dinamike sustava bavi se uglavnom kontinuiranim procesima, dok diskretni događaji i modeli bazirani na agentima rade uglavnom u diskretnom vremenu, tj. skaču s jednog događaja na drugi.

Koristi se za simulaciju: tržišta i konkurencije, zdravstvene zaštite, proizvodnje, lanaca opskrbe i logistike, maloprodaje, poslovnih procesa, obrana, upravljanje projektima i imovinom, dinamika pješaka i cestovni promet, IT, zrakoplovstvo.

S obzirom na brojne mogućnosti koje AnyLogic pruža mnoge kompanije koriste taj simulacijski softver, kao npr.: McDonald's, British Airways, Coca Cola, Facebook, Rolls-Royce, NASA.

Na slici 7. prikazan je primjer simulacije pomoću AnyLogic simulacijskog alata. Vidljiv je broj radnika na određenom radnom mjestu te vrijeme između narudžbi i dostava.



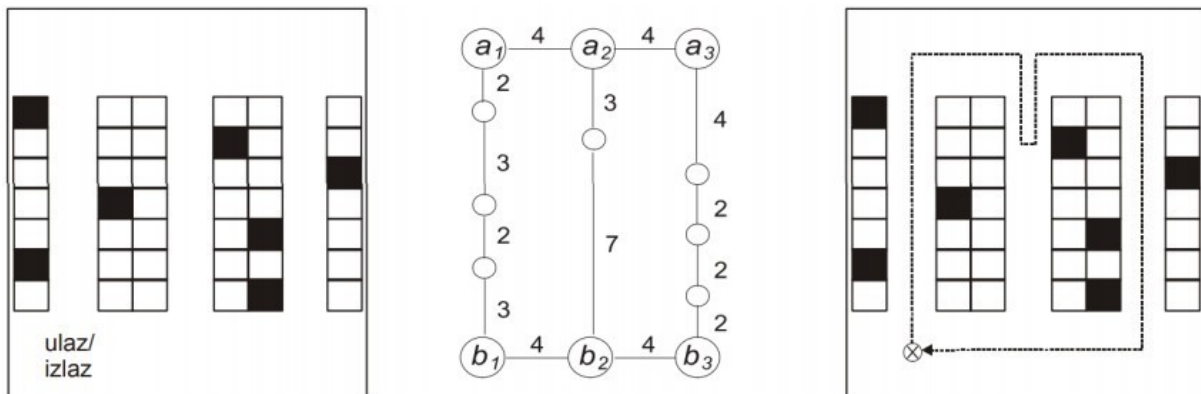
Slika 7. Primjer simulacije primjenom AnyLogic softvera

Izvor: <https://www.anylogic.com/>

<sup>4</sup> <https://www.anylogic.com/>

### 3.4. Warehouse real-time simulator

To je zapravo skladišni simulator u stvarnom vremenu zasnovan na Microsoft Excel programu. Razvio ga je Grzegorz Tarczyński (Wroclaw University of Economics). Simulira proces prikupljanja narudžbi u pravokutnim skladištima u jednom bloku. Simulator se temelji na algoritmu kojeg su 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 prikazan na slici 8. u kojem se traže međusobne udaljenosti točaka i na temelju toga računa ukupno prijeđeni put komisionara. Skladišni simulator u stvarnom vremenu omogućuje provjeru (u donekle ograničenoj mjeri) interakcije izgleda regala, politike skladištenja i načina usmjeravanja te pruža mogućnost optimiziranja vremena procesa odabira narudžbe. Također omogućuje korisniku da provjeri kako utjecati na vrijeme prikupljanja narudžbi: slobodna dodijeljena lokacija za pohranu i jednu od sedam metoda usmjeravanja. Pojednostavljena struktura procesa u skladištu uključuje pet aktivnosti: primanje artikala (zalihe jedinice za čuvanje), odlaganje, skladištenje, preuzimanje narudžbi i pakiranje / otpremanje. Sve faze su vrlo važne i utječu na ukupne troškove skladištenja. Organizacija rada u skladištu, izgled regala i mjesto preuzimanja / iskrcaja igraju ključnu ulogu u optimizaciji rada skladišta.



Slika 8. Prikaz odabira vrhova i rute za pravokutni oblik skladišta prema Ratliff i Rosenthal

Izvor: Ratliff HD, Rosenthal AS. Order-picking in a rectangular warehouse: A solvable case of the travelling salesman problem, Operations Research, 1983.

### 3.5. Prednosti i nedostaci

Prednosti simulacija ima mnogo, mogućnost obrade velike količine podataka i interakcija u jako malo vremena, takva obrada dovodi do izlaznih rezultata koji kada se usporede pomažu optimizaciji i poboljšanju realnog sustava. Sustav nije ograničen brojem interakcija odnosno može ih se izvršiti koliko god puta želite. Ne mora se provoditi eksperimente i ideje sa stvarnim resursima i objektima nego se to obavlja virtualno pomoću programa i softvera što je puno brže i jeftinije rješenje, naravno samim time zahtjeva i puno manju organizaciju nego da se eksperimenti provode u stvarnom sustavu. Kritične situacije mogu se promatrati bez rizika i besplatno, ili za malu svotu novaca i to sve dok se ne nađe prihvatljivo rješenje.

Međutim, nedostatak simulacija je taj što se mora znati točne ulazne podatke da bi eksperiment bio uspješan i precizan. Simulacije se zasnivaju na mnogim pretpostavkama i idealnim uvjetima, koji nisu realne u stvarnosti. Predviđanje tržišta odnosno potražnje je jako težak zadatak zbog vanjskih utjecaja na koje se ne može utjecati, ali i zbog sezonskih oscilacija, stoga je potrebno promatrati sustav dulje vrijeme da bi se dobio bliži uvid u realnu situaciju kako bi rezultat simulacije bio što točniji.

## 4. PROCES KOMISIONIRANJA ROBE

Komisioniranje je proces izuzimanja robe iz skladišnih lokacija na temelju zahtjeva odnosno narudžbe korisnika. Na temelju narudžbe se izrađuje nalog koji može biti na papiru ili na skeneru, ovisno o načinu rada skladišta. Proces komisioniranja oduzima najviše vremena u odnosu na ostale procese odnosno aktivnosti u skladištu, također obuhvaća najveći udio ljudskog rada u skladištu. Stoga komisioniranje iznosi oko 55% operativnih troškova u skladištu, zato ono zahtjeva točnost i brzinu kako bi smanjili troškove koliko je moguće.

### 4.1. Vrste komisioniranja

Komisioniranje se može podijeliti s obzirom na kretanje materijala / komisionera, te prema vrsti jediničnog tereta koji se izuzima. S obzirom na kretanje materijala / komisionera komisioniranje može biti: prema principu „čovjek robi“, prema principu „roba čovjeku“.

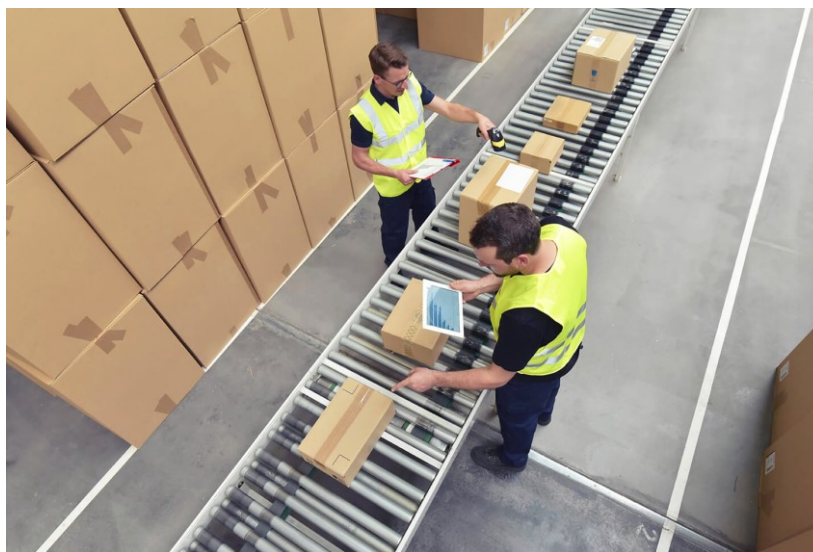
Kod komisioniranja prema principu „čovjek robi“ komisioner se kreće, bilo hodajući ili na transportnom sredstvu, do skladišne lokacije iz koje treba izuzeti robu (vidljivo na slici 9.). Ovakav se način komisioniranja vrši uz upotrebu raznih regala, najčešće paletnih i poličnih, te njihovim raznim izvedbama. Ovaj princip se u današnje vrijeme najčešće koristi zato što nisu potrebna velika početna ulaganja kao kod idućeg navedenog principa.



Slika 9. Princip komisioniranja „čovjek robi“

Izvor: <https://www.flexqube.com/>

Sustav komisioniranja prema principu „roba čovjeku“ (prikazan za slici 10.) funkcionira tako da se materijal koji treba izuzeti kreće do komisionera. Taj način rada omogućen je primjenom drugačije opreme za smještaj robe kao što su optočni okretni regali – karuseli i vertikalni podizni moduli. Takav princip komisioniranja najčešće koristi automatizirane transportere ili robotske ruke odnosno kranove koji izuzimaju robu sa skladišnih pozicija i dostavljaju je do mjesta na kojem skladišni radnik izuzima robu te je slaže na paletu ili transportna kolica. Ovakav princip komisioniranja zahtjeva dobru automatizaciju sustava i njegovo održavanje, također dovodi do smanjenog broja grešaka što povećava produktivnost.



Slika 10. Princip komisioniranja „roba čovjeku“

Izvor: <https://nexlan.com/>

Podjela sustava komisioniranja prema vrsti jediničnog tereta koji se izuzima:

- komisioniranje pojedinačnih dijelova
- komisioniranje kutija
- komisioniranje paleta

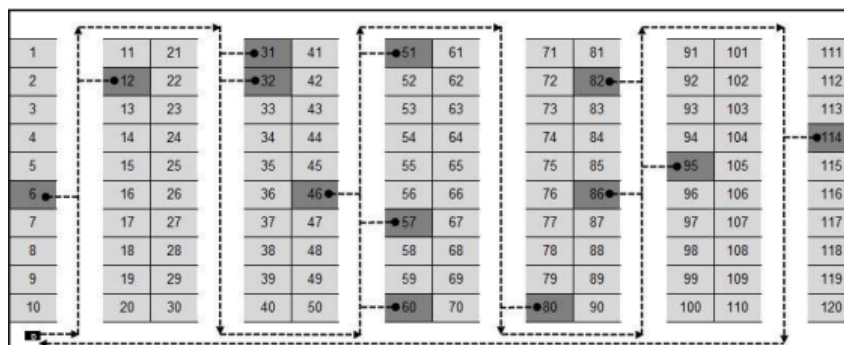
## 4.2. Metode komisioniranja

U metode komisioniranja spadaju metode koje određuju sami način komisioniranja. Tako postoji metoda usmjeravanja, metoda odlaganja i metoda organizacije komisioniranja.

Pod metodu odlaganja spada određivanje skladišnih pozicija za određene artikle odnosno robu. Pomoću navedene metode lako se može odvojiti roba koja može kontaminirati ostalu robu u skladištu ili primjerice može se odvojiti roba manje od robe veće mase kako se ne bi narušila stabilnost robe na paleti prilikom komisioniranja.

### 4.2.1. Metode usmjeravanja

Metoda usmjeravanja služi za određivanje redoslijeda i rute prikupljanja. Svaki skladišni objekt ima vlastiti raspored raznovrsnih regala i skladišnih pozicija te je vrlo bitno provesti kvalitetnu rutu prikupljanja. Navedenom se metodom usmjerava komisionera na koji način i kojim putem će on izuzimati robu sa skladišnih pozicija u svrhu bržeg i točnijeg komisioniranja. Optimiziranje ove metode može biti iznimno jednostavno (u slučaju komisioniranja cijelih paleta) do vrlo kompleksnog (u slučaju višestrukog izuzimanja pojedinih artikala). Zbog ovog razloga koriste se različite varijacije ove metode kao npr. metoda S-oblika (prikazano na slici 11.). U ovoj metodi komisionar se kreće kroz prolaze između regala u obliku slova S. Ovo je jedna od najčešćih metoda u regalnim skladištima jer se u pravilu kroz pojedini prolaz prolazi samo jednom.

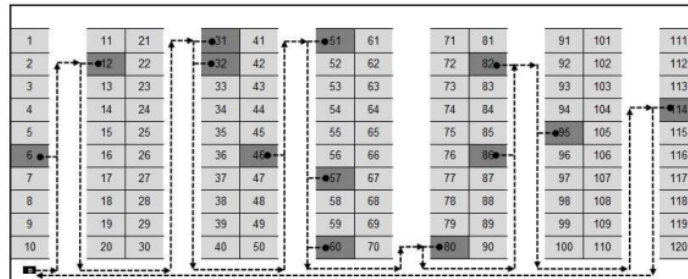


Slika 11. Prikaz metode S-oblika

Izvor: Ratliff HD, Rosenthal AS. Order-picking in a rectangular warehouse: A solvable case of the travelling salesman problem, *Operations Research*, 1983.

Također se koriste i druge metode poput:

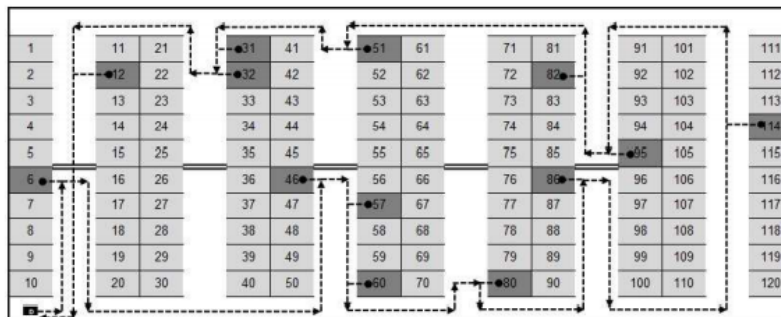
- metoda povratka (Slika 12.) gdje se u svaki prolaz u kojem se izuzima artikl ulazi do pozicije posljednjeg izuzetog artikla te se vraća istim prolazom do glavnog prolaza i tako redom prema narudžbi do kraja skladišta;



Slika 12. Prikaz metode povratka

Izvor: ibidem

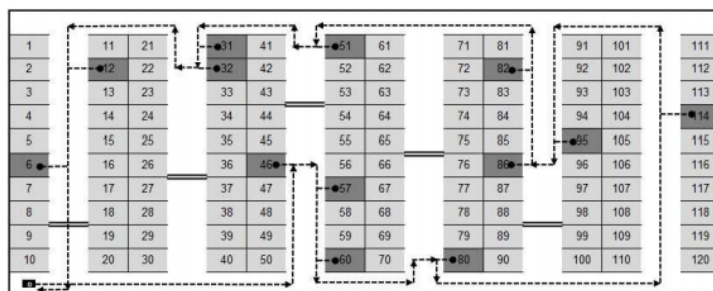
- metoda srednje točke (Slika 13.) u kojoj se skladište “dijeli” na dva dijela i s obzirom na poziciju artikla u pojedinom prolazu komisionar ulazi iz glavnog prolaza do izuzetog artikla te se vraća u isti glavni prolaz i tako nastavlja redom do kraja skladišta;



Slika 13. Prikaz metode srednje točke

Izvor: ibidem

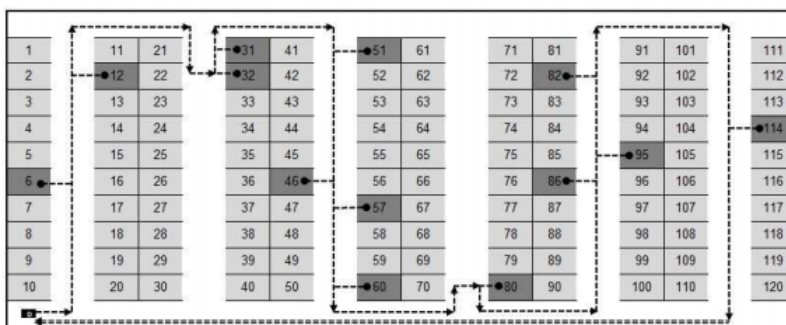
- metoda najvećeg razmaka (Slika 14.) koja je slična metodi srednje točke, ali se u ovom slučaju gleda razmak između dvije susjedne pozicije u istom prolazu te se na temelju toga određuje ruta kojom prolazi komisionar;



Slika 14. Prikaz metode najvećeg razmaka

Izvor: ibidem

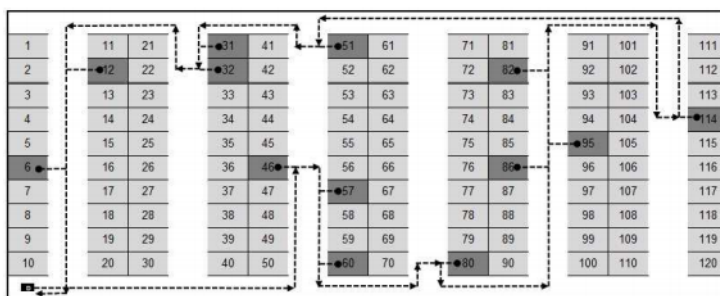
- kompozitna metoda gdje se koriste S-oblika i metoda povratka;
- kombinirana metoda (Slika 15.) u kojoj ruta kretanja komisionara slični kompozitnoj metodi uz uvjet da može doći do varijacije u ruti ukoliko to više odgovara za izuzimanje u sljedećem prolazu;



Slika 15. Prikaz kombinirane metode

Izvor: ibidem

- metoda optimalni algoritam (Slika 16.) koji pretpostavlja korištenje algoritma (Ratliff & Rosenthal) u kojem se razmatraju sve moguće rute i pronalazi se najkraća moguća za slaganje pojedine narudžbe.



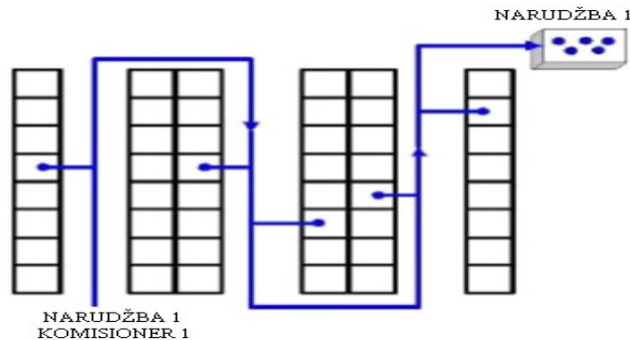
Slika 16. Prikaz metode optimalni algoritam

Izvor: ibidem



#### 4.2.2. Diskretno komisioniranje

Jedna osoba prikuplja artikle prema narudžbi. Narudžbe nisu raspoređene prema redoslijedu naručivanja, što znači da se mogu odrađivati u bilo koje doba tijekom radnog vremena. Ovaj je način komisioniranja najčešći zbog svoje jednostavnosti. Prednosti takvog sustava su jednostavnost i smanjena mogućnost pogreške.<sup>5</sup>



Slika 17. Prikaz diskretnog komisioniranja

Izvor: Unutrašnji transporti i skladištenje – Podizanje robe/komisioniranje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

#### 4.2.3. Zonsko komisioniranje

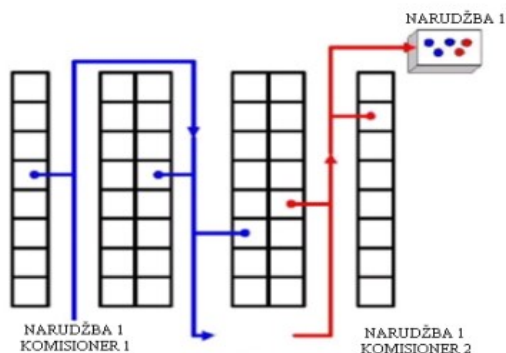
Kod zonskog komisioniranja skladište je podijeljeno na zone pri čemu jedna osoba pokriva pojedinu zonu. Osoba zadužena za pojedinu zonu prikuplja sve artikle u toj zoni, i to za više narudžbi. Nakon toga roba se prikuplja u zoni za konsolidaciju, gdje se slaže prema pojedinoj narudžbi i priprema za otpremu. Svaki operator ispunjava zahtjeve jedne narudžbe (ne više njih istovremeno).

Postoje dvije varijante zonskog komisioniranja. Sekvencijalni način podrazumijeva prikupljanje artikala u jednoj zoni unutar nekog vremenskog intervala. Nasuprot tome, simultano prikupljanje podrazumijeva prikupljanje artikala u više zona istovremeno.

Zonsko komisioniranje često se koristi u skladištima sa više vrsta artikala i sa različitim oblicima pakiranja artikala. Da bi se smanjilo vrijeme prikupljanja veće se zone mogu podijeliti u više manjih.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Unutrašnji transporti i skladištenje – Podizanje robe/komisioniranje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

<sup>6</sup> Unutrašnji transport i skladištenje – Podizanje robe/komisioniranje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

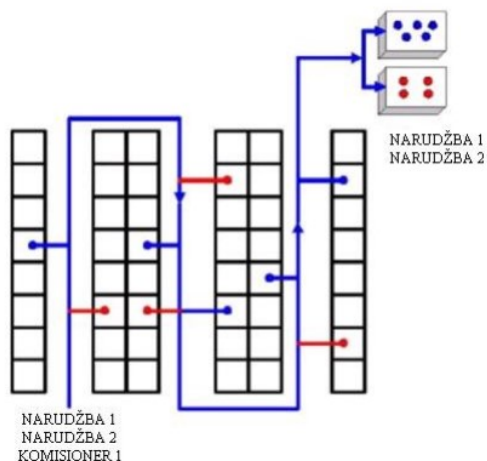


Slika 18. Prikaz zonskog komisioniranja

Izvor: Unutrašnji transport i skladištenje – Podizanje robe/komisioniranje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

#### 4.2.4. Grupno komisioniranje

Kod grupnog komisioniranja jedna osoba prikuplja artikle za više narudžbi istovremeno. Ako se pojedini artikl nalazi na više narudžbi, sa skladišta se podiže ukupna tražena količina koja se zatim raspoređuje prema narudžbama. Na ovaj se način povećava učinkovitost, posebno u komisioniranju artikala u malim pakiranjima. Najučinkovitiji je za narudžbe nekoliko artikala u malim količinama. Povećan je rizik od pogrešaka pri sortiranju te točnosti pri kompletiranju narudžbe.<sup>7</sup>



Slika 19. Prikaz grupnog komisioniranja

Izvor: Unutrašnji transport i skladištenje – Podizanje robe/komisioniranje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

<sup>7</sup> Unutrašnji transport i skladištenje – Podizanje robe/komisioniranje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

## 5. PLANIRANJE I IZVOĐENJE SIMULACIJSKOG EKSPERIMENTA

Za provođenje ovog simulacijskog eksperimenta korišten je „Warehouse real-time simulator“ koji je objašnjen ranije u radu. Korištena je akademska verzija alata, dostupna svima za preuzimanje putem interneta (wrts.xlsm - Google disk), verzija je ograničena na maksimalno 50 regala, 10 viličara i 20 artikala po simulaciji.

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

Simulacija se temelji na stvarnom primjeru iz prakse sa stvarnim podacima tvrtke Kuehne + Nagel koja se nalazi u Republici Hrvatskoj. Analizu podataka iz skladišta proveo je autor ovoga rada. Tvrtka trenutno radi na principu kombinirane metode, dok u nekim iznimnim situacijama, ovisno o nalogu, kada komisionar sam procijeni da je optimalna metoda bolja koristi nju.

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

- za sve provedbe eksperimenta broj artikala je jednak na svim narudžbama;
- za sve artikle na svim pozicijama potrebno je jednako vrijeme izuzimanja, može doći do razlike jedino ovisno o razini pozicije;
- artikli su uvijek spremni za izuzimanje sa lokacije;
- brzina kretanja komisionara ne ovisi o masi izuzete narudžbe
- omjer vjerojatnosti izuzimanja artikala s prve i druge razine (police) je 60% / 40%;
- prosječno vrijeme između narudžbi je 5min,
- redoslijed slaganja na paletu nije bitan;
- princip kretanja komisionara je čovjek-robi;
- komisionar radi bez pauze u radnom danu;
- nema mogućnosti kvarova viličara;
- dostupan je samo jedan viličar (nema blokiranja);
- eksperiment uvijek započinje i završava u lijevom-dole kutu

Skladište je pravokutnog oblika, u skladištu se nalazi 10 regala sa 12 paletnih lokacija na dvije razine. Dimenzije regala su sljedeće; visina 2.5m, širina 3.6m, dubina 1.2m, korišteni regal prikazan je na slici 20. Širina potpornih i vanjskih greda regala se zanemaruje. Širina za prolaza između regala iznosi 3m, što je dovoljna širina za prolaz i manevar viličarem.



Slika 20. Model regala sa 12 paletnih mjesta

Izvor: <https://www.ajproizvodi.com/>

Brzina komisionara je 4km/h, odnosno 1,1111 m/s. Brzina viličara je 5km/h, odnosno 1,3889 m/s, što je prosječna brzina za obavljanje skladišnih poslova kako bi se sve odvijalo bez oštećenja ili ozljeda. Korišteni viličar prikazan je na slici 21. Pomoću dimenzija regala i brzine viličara dobiva se vrijeme potrebno za određeni manevar i radnje, sve brzine prikazane su u tablici 1.



Slika 21. Električni viličar namijenjen skladišnim poslovima

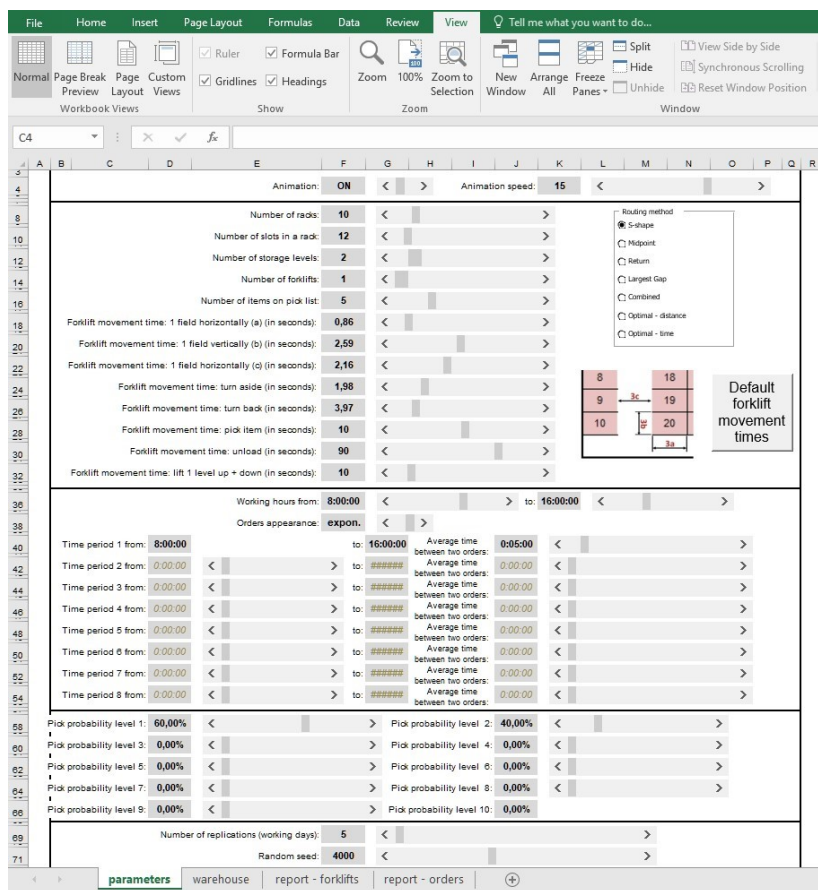
Izvor: <https://www.mascus.hr/>

Tablica 1. Brzine operacija elektičnog viličara (Izradio autor prema: Tarczyński G. Warehouse Real-Time Simulator – How to optimize order picking time, Wrocław University of Economics, Wrocław, Poland, 2013.)

	Duljina puta (m)	Brzina viličara (m/s)	Ukupno trajanje operacije [s]
Pomicanje viličara za dubinu paletnog mjesta	1,2	1,3889	0,86
Pomicanje viličara za širinu paletnog mjesta	0,9	1,3889	0,65
Pomicanje viličara za širinu prolaza	3	1,3889	2,16
Zakretanje viličara	2,755	1,3889	1,98
Okretanje viličara	5,51	1,3889	3,97
Izuzimanje artikla s paletne pozicije	/	/	10
Odlaganje pošiljke na predviđeno mjesto	/	/	90
Podizanje/spuštanje viličara za visinu jednog paletnog mjesta	1,25	0,125	10

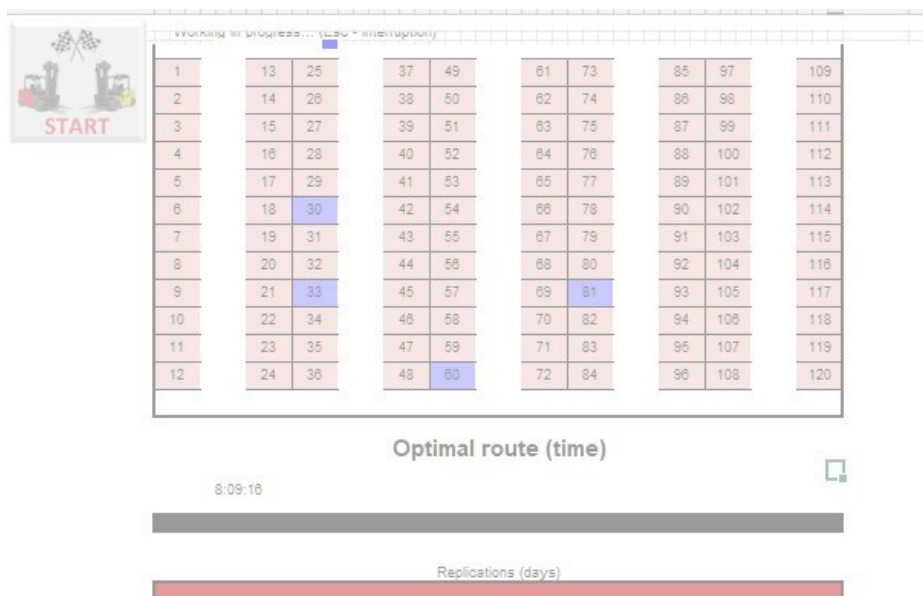
Simulacija je provedena za varijabilno radno vrijeme (jer simulacijski alat uzima u obzir da komisionar izuzima posljednju narudžbu do kraja) za pet radnih dana. Uzete su u obzir metoda S-oblika, metoda povrata, najveća udaljenost, kombinirana metoda i optimalni algoritam prema prijednom putu ili utrošenom vremenu. Osnovni parametar usporedbe metoda rutiranja bio je broj artikala po jednoj narudžbi, za 5-10-15-20 artikala.

Korisničko sučelje prikazano na slici 22. simulacijskog alata sastoji se od nekoliko radnih listova. Na prvom radnom listu nalaze se parametri koje je potrebno prilagoditi željenom simulacijskom modelu, na slici parametri su postavljeni za prvu simulaciju ovoga rada odnosno za simulaciju komisioniranja pet artikala po narudžbi sa S-oblik metodom. Zatim na drugom radnom listu prikazanom na slici 23. nalazi se grafički prikaz modela ali i jednostavan prikaz rada simulacije odnosno animacije.



Slika 22. Prikaz sučelja simulacijskog alata „Warehouse real-time simulator“

(Izradio autor prema: ibidem)



Slika 23. Prikaz simulacije u „Warehouse real-time simulator“

(Izradio autor prema: ibidem)

Treći i četvrti radni list ispisuju rezultate provedbe simulacije. Na trećem radnom listu nalaze se podaci vezani uz kretanje pojedinog komisionara, koliko naloga je 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 komisionar prošao prilikom slaganja odnosno koliko se puta okrenuo i vratio istim putem.

## 6. PRIKAZ REZULTATA SIMULACIJSKOG EKSPERIMENTA

Napravljene su simulacije sa 5, 10, 15 i 20 artikala sa po sedam različitih metoda rutiranja za svaku. Dobiveni rezultati te usporedbe između metoda slijede u nastavku rada.

### 6.1. Simulacija komisioniranja sa pet artikala po narudžbi

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

Tablica 2. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa pet artikala po narudžbi

(Izradio autor)

Rute	Ukupan broj obavljenih narudžbi [kom]	Vrijeme u radu komisionera [sat:min:sek]	Ukupno prijeđeni put [m]	Ukupno prijeđeni put po danu [m]	Prosječno vrijeme po narudžbi [sat:min:sek]	Prosječan put po narudžbi [m]
S-oblik	469	9:19:04	118179	23635,8	0:05:57	252
Središnja točka	469	9:17:53	112352,4	22470,48	0:05:56	239,6
Povratak	469	9:52:10	124572,6	24914,52	0:06:18	265,6
Najveći razmak	469	9:12:44	110948,4	22189,68	0:05:53	236,6
Kombinirano	469	9:11:11	112698	22539,6	0:05:52	240,3
Optimalna - put	469	8:53:15	104922	20984,4	0:05:41	223,7
Optimalna - vrijeme	469	8:52:33	105094,8	21018,96	0:05:40	224,1



## 6.2 Simulacija komisioniranja sa 10 artikala po narudžbi

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

Tablica 3. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 10 artikala po narudžbi

(Izradio autor)

Rute	Ukupan broj obavljenih narudžbi [kom]	Vrijeme u radu komisionera [sat:min:sek]	Ukupno prijeđeni put [m]	Ukupno prijeđeni put po danu [m]	Prosječno vrijeme po narudžbi [sat:min:sek]	Prosječan put po narudžbi [m]
S-oblik	480	12:35:46	146577,6	29315,52	0:07:52	305,37
Središnja točka	480	13:01:26	144244,8	28848,96	0:08:08	300,51
Povratak	480	13:42:33	164581,2	32916,24	0:08:34	342,88
Najveći razmak	480	12:43:41	140135,4	28027,08	0:07:57	291,95
Kombinirano	480	12:26:48	140308,2	28061,64	0:07:46	292,31
Optimalna - put	480	12:09:10	131014,8	26202,96	0:07:35	272,95
Optimalna - vrijeme	480	12:05:35	132877,8	26575,56	0:07:33	276,83

### 6.3 Simulacija komisioniranja sa 15 artikala po narudžbi

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

Tablica 4. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 15 artikala po narudžbi

(Izradio autor)

Rute	Ukupan broj obavljenih narudžbi [kom]	Vrijeme u radu komisionera [sat:min:sek]	Ukupno prijeđeni put [m]	Ukupno prijeđeni put po danu [m]	Prosječno vrijeme po narudžbi [sat:min:sek]	Prosječan put po narudžbi [m]
S-oblik	454	14:11:41	147889,8	29577,96	0:09:17	325,75
Središnja točka	454	15:02:46	152884,8	30576,96	0:09:49	336,75
Povratak	454	15:34:53	174285	34857	0:10:09	383,89
Najveći razmak	454	14:37:31	147209,4	29441,88	0:09:33	324,25
Kombinirano	454	14:00:53	142468,2	28493,64	0:09:10	313,81
Optimalna - put	454	13:42:03	134751,6	26950,32	0:08:58	296,81
Optimalna - vrijeme	454	13:37:36	136171,8	27234,36	0:08:55	299,94

## 6.4 Simulacija komisioniranja sa 20 artikala po narudžbi

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

Tablica 5. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 20 artikala po narudžbi

(Izradio autor)

Rute	Ukupan broj obavljenih narudžbi [kom]	Vrijeme u radu komisionera [sat:min:sek]	Ukupno prijeđeni put [m]	Ukupno prijeđeni put po danu [m]	Prosječno vrijeme po narudžbi [min:sek]	Prosječan put po narudžbi [m]
S-oblik	479	17:11:51	161287,2	32257,44	0:10:45	336,72
Središnja točka	479	18:26:17	173502	34700,4	0:11:32	362,22
Povratak	479	18:49:57	195328,8	39065,76	0:11:47	407,78
Najveći razmak	479	17:51:39	165423,6	33084,72	0:11:10	345,35
Kombinirano	479	17:00:42	156378,6	31275,72	0:10:38	326,47
Optimalna - put	479	16:32:00	148478,4	29695,68	0:10:21	309,98
Optimalna - vrijeme	479	16:29:14	149196,6	29839,32	0:10:19	311,48

## 6.5. Analiza rezultata

Rute	Ukupan broj obavljenih narudžbi [kom]	Vrijeme u radu komisionera [sat:min:sek]	Ukupno prijedeni put [m]	Ukupno prijedeni put po danu [m]	Prosječno vrijeme po narudžbi [sat:min:sek]	Prosječan put po narudžbi [m]
<b>5 ARTIKALA</b>						
S-oblik	469	+4,98%	+12,64%	+12,64%	+5,00%	+12,65%
Središnja točka	469	+4,76%	+7,08%	+7,08%	+4,71%	+7,11%
Povratak	469	+11,19%	+18,73%	+18,73%	+11,18%	+18,73%
Najveći razmak	469	+3,79%	+5,74%	+5,74%	+3,82%	+5,77%
Kombinirano	469	+3,50%	+7,41%	+7,41%	+3,53%	+7,42%
Optimalna -put	469	+0,13%	104922	20984,4	+0,29%	223,7
Optimalna - vrijeme	469	8:52:33	+0,16%	+0,16%	0:05:40	+0,18%
<b>10 ARTIKALA</b>						
S-oblik	480	+4,16%	+11,88%	+11,88%	+4,19%	+11,88%
Središnja točka	480	+7,70%	+10,10%	+10,10%	+7,73%	+10,10%
Povratak	480	+13,36%	+25,62%	+25,62%	+13,47%	+25,62%
Najveći razmak	480	+5,25%	+6,96%	+6,96%	+5,30%	+6,96%
Kombinirano	480	+2,92%	+7,09%	+7,09%	+2,87%	+7,09%
Optimalna -put	480	+0,49%	131014,8	26202,96	+0,44%	272,95
Optimalna - vrijeme	480	12:05:35	+1,42%	+1,42%	0:07:33	+1,42%
<b>15 ARTIKALA</b>						
S-oblik	454	+4,17%	+9,75%	+9,75%	+4,11%	+9,75%
Središnja točka	454	+10,42%	+13,46%	+13,46%	+10,09%	+13,46%
Povratak	454	+14,34%	+29,34%	+29,34%	+13,83%	+29,34%
Najveći razmak	454	+7,33%	+9,25%	+9,25%	+7,10%	+9,24%
Kombinirano	454	+2,85%	+5,73%	+5,73%	+2,80%	+5,73%
Optimalna -put	454	+0,54%	134751,6	26950,32	+0,56%	296,81
Optimalna - vrijeme	454	13:37:36	+1,05%	+1,05%	0:08:55	+1,05%
<b>20 ARTIKALA</b>						
S-oblik	479	+4,31%	+8,63%	+8,63%	+4,20%	+8,63%
Središnja točka	479	+11,83%	+16,85%	+16,85%	+11,79%	+16,85%
Povratak	479	+14,22%	+31,55%	+31,55%	+14,22%	+31,55%
Najveći razmak	479	+8,33%	+11,41%	+11,41%	+8,24%	+11,41%
Kombinirano	479	+3,18%	+5,32%	+5,32%	+3,07%	+5,32%
Optimalna -put	479	+0,28%	148478,4	29695,68	+0,32%	309,98
Optimalna - vrijeme	479	16:29:14	+0,48%	+0,48%	0:10:19	+0,48%

Slika 24. Usporedba rezultata dobivenih simulacijom

(Izradio autor)

Provedbom simulacija dobiveni su određeni rezultati prikazani u tablicama. Žutom bojom označeni su najbolji rezultati za pojedino mjerenje. Vidljivo je da su optimalne metode najpovoljnije što se tiče vremena odnosno prijeđenog puta, što je zapravo i bilo očekivano jer im je to i svrha, inače te metode ne bi imale smisla. Također može se uočiti da je metoda povratak daleko najlošija što se tiče vremena i puta, stoga bi se ta metoda mogla odmah odbaciti za buduća razmatranja i simuliranja. Detaljniji prikaz dobivenih rezultata i njihova usporedba prikazan je slikom 24.

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.

Usporedbom rezultata može se vidjeti da je metoda povratak lošija za 18,73% po prijeđenom putu u odnosu na metodu optimalna - put, dok je za 11,19% lošija po vremenu u odnosu na metodu optimalna - vrijeme, kada se govori o simulaciji pet artikala po narudžbi. Dok je za čak 31,55% lošija što se tiče puta, a za 14,22% što se tiče vremena, kada je riječ o simulaciji 20 artikala po narudžbi.

Primjećuje se količina prijeđenog puta kod metode S-oblika, 12,64% u odnosu na optimalan put, dok je razlika u vremenu samo 5% za pet artikala, što i nije tako loše, do velike količine prijeđenog puta dolazi zato što se komisionar ne okreće kada pokupi artikl nego nastavlja do kraja reda po pravilu te metode. Ako se promatraju narudžbe sa 20 artikala uočljivo je da se smanjila razlika između puta i vremena kod metode S-oblik, što pokazuje efektivnost te metode kod narudžba veće količine artikala.

Za metodu središnja točka i metodu najveći razmak jasno je da mogu funkcionirati do određenog (manjeg) broja artikala, ali kada se radi o većem broju artikala te metode padaju u vodu i nisu više efikasne niti konkurentne prema drugim metodama.

Metoda kombinirano tijekom cijele simulacije drži konstatne i dobre rezultate te djeluje kao pouzdana metoda neovisno o broju artikala, pokazuje malo bolje rezultate sa većim brojem artikala na narudžbi, ali svakako i sa manjim brojem artikala konkurira ostalim.

Kada se uspoređuju metode optimalna put i vrijeme rezultati su jako blizu, u nekim trenucima je minimalna 0,16% dok maksimalna razlika iznosi tek 1,42%, za što se smatra da je gotovo zanemarivo, barem kada se radi o ovoj količini artikala. Vjerojatno je primjetna razlika tek na nekoliko desetaka tisuća artikala u većim skladištima što u ovom istraživanju nije bilo moguće izvesti zbog ograničenja broja entiteta.

## 7. ZAKLJUČAK

Komisioniranje je jako složen proces, jer u njega spada puno više nego samo sakupljanje artikala sa lokacija, veliki problem je što na taj proces može utjecati jako puno vanjskih nepredvidivih uvjeta, kao npr. kvarovi viličara ili računala, nedovoljan broj ljudi za obavljanje posla – svaka izvanredna situacija direktno utječe na produktivnost komisioniranja, a to za sobom vuče daljnja kašnjenja u distribuciji i opskrbi dućana, pa tako u krajnjem slučaju može utjecati i na rast cijena nekog proizvoda.

Svijet logistike iz dana u dan sve više napreduje i uvijek se teži boljem, bržem i jeftinijem ako je to moguće. Zato se stalno istražuju novi načini kako i gdje napredovati, korištenje simulacijskih programskih alata jako je korisno i može uvelike pridonijeti tomu. Iz razloga jer ti alati obrađuju velike količine podataka i aktivnosti u kratkom vremenu i nude nova rješenja koja bi možda bila bolja kada bi se implementirala na realnom sustavu. Za kvalitetnu simulaciju potreban je velik broj ulaznih podataka, dakle potrebno je duže vrijeme sakupljati informacije kako bi simulacija bila što preciznija a time i korisnija.

S obzirom na dobivene rezultate u ovom simulacijskom eksperimentu može se zaključiti da tvrtka Kuehne + Nagel na kojoj se provodi analiza, koristi sasvim prihvatljivu kombiniranu metodu komisioniranja, dok ovisno o nalogu, ako komisionar procijeni da je bolje, primjenjuje optimalne metode. Što je ovaj simulacijski eksperiment i potvrdio da je najbolje za poslovanje jednog takvog skladišta.

Simulacijski programski alati jako su napredovali posljednjih godina te se mogu koristiti i za puno više aktivnosti, ne nužno vezano samo za skladište, danas se pomoću njih mogu raditi 2D ili 3D simulacije pomoću kojih se ima uvid u puno više situacija i dostupnih resursa. Smatra se da simulacijski programski alati imaju svijetlu budućnost te da ih treba dalje istraživati i „igrati“ se njima kako bi bili još korisniji te olakšavali i mnoge druge situacije.

## POPIS LITERATURE

1. Banks, J.: Handbook of simulation – Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice – Willey Interscience and Engineering & Management Press, USA, 1998.
2. Law AM, Kelton WD. Simulation modeling and analysis. New York: McGrawHill, 1982. (Cit. iz Čerić V. Simulacijsko modeliranje. Zagreb: Školska knjiga, 1993.)
3. Ratliff HD, Rosenthal AS. Order-picking in a rectangular warehouse: A solvable case of the travelling salesman problem, Operations Research, 1983.
4. Tarczyński G. Warehouse Real-Time Simulator – How to optimize order picking time, Wroclaw University of Economics, Wroclaw, Poland, 2013.)
5. Unutrašnji transporti i skladištenje – Podizanje robe/komisioniranje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

## INTERNET STRANICE

1. <https://www.ajproizvodi.com/>
2. <https://www.anylogic.com/>
3. <https://www.arenasimulation.com/>
4. [https://bib.irb.hr/datoteka/347082.modeliranje\\_i\\_simulacija\\_-\\_v2a2.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/347082.modeliranje_i_simulacija_-_v2a2.pdf)
5. <https://www.flexsim.com/>
6. <https://www.flexqube.com/>
7. <https://www.mascus.hr/>
8. <https://nexlan.com/>

\*svim internet stranicama pristupljeno je u kolovožu, 2021.



## POPIS SLIKA

Slika 1. Simulacijski proces

Slika 2. Tijek narudžbi i proizvoda između tvornica i kupaca pomoću skladišta

Slika 3. Arena sučelje za modeliranje

Slika 4. Primjer dijagrama toka u Areni

Slika 5. Primjer dobivenih rezultata u Areni

Slika 6. 3D simulacija tvornice u Flexsim-u

Slika 7. Primjer simulacije primjenom AnyLogic softvera

Slika 8. Prikaz odabira vrhova i rute za pravokutni oblik skladišta prema Rattliff i Rosenthal

Slika 9. Princip komisioniranja „čovjek robi“

Slika 10. Princip komisioniranja „roba čovjeku“

Slika 11. Prikaz metode S-oblika

Slika 12. Prikaz metode povratka

Slika 13. Prikaz metode srednje točke

Slika 14. Prikaz metode najvećeg razmaka

Slika 15. Prikaz kombinirane metode

Slika 16. Prikaz metode optimalni algoritam

Slika 17. Prikaz diskretnog komisioniranja

Slika 18. Prikaz zonskog komisioniranja

Slika 19. Prikaz grupnog komisioniranja

Slika 20. Model regala sa 12 paletnih mjesta

Slika 21. Električni viličar namijenjen skladišnim poslovima

Slika 22. Prikaz sučelja simulacijskog alata „Warehouse real-time simulator“

Slika 23. Prikaz simulacije u „Warehouse real-time simulator“

Slika 24. Usporedba rezultata dobivenih simulacijom

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Brzine operacija elektičnog viličara

Tablica 2. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa pet artikala po narudžbi

Tablica 3. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 10 artikala po narudžbi

Tablica 4. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 15 artikala po narudžbi

Tablica 5. Rezultati provedene simulacije komisioniranja sa 20 artikala po narudžbi



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 pokazuje 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 modeliranja 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, 3.9.2021

Student/ica:

Hrašćinski Alan  
(potpis)