

# Simulacijski model skladišta

---

**Piljek, Božidar**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2009**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:306302>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-13**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc.dr. sc. Goran Đukić

Student:

Božidar Piljek

Zagreb, 2009.

## **Sažetak**

Ovaj rad obrađuje temu iz simulacija logističkih procesa s posebnim naglaskom na ulogu i važnost simulacija u projektiranju skladišnih sustava. U radu je opisana metodologija i terminologija koja je važna za razumijevanje simulacija.

Rad se sastoji od dva dijela. U prvom dijelu objašnjeni su komercijalni simulacijski paketi sa svojim prednostima i karakteristikama.

U praktičnom dijelu rada izrađen je model skladišnog sustava prema podacima projektantskog poduzeća. Simulacijom modela analizira se utjecaj promjene glavnih parametara skladišta na cjelokupan rad skladišta.

Nadalje, na konkretnom primjeru objašnjene su, pored inženjerskih, i marketinške prednosti simulacija.

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	9
2. LOGISTIKA.....	11
2.1. Definicija i značaj logistike.....	11
2.2. Skladišni sustavi.....	13
3. SIMULACIJE U PROJEKTIRANJU SKLADIŠNIH SUSTAVA.....	17
3.1. Kratki osvrt na simulacije.....	17
3.2. Simulacijski paketi za mod. i simulaciju skladišta.....	18
3.2.1. Dosimis-3.....	18
3.2.2. Flexsim.....	24
3.2.3. Enterprise Dynamics Taylor 2000.....	28
4. SIMULACIJSKI MODEL SKLADIŠTA.....	33
4.1. Podaci o projektiranom rješenju.....	33
4.2. Izgradnja simulacijskog modela.....	39
4.2.1. Detaljna razrada korištenih atoma u simulacijskom modelu.....	42
4.3. Provedene simulacije skladišnog sustava.....	54
4.3.1. Simulacija trenutnog stanja skladišnog sustava...55	
4.3.2. Simulacija rada skladišta nakon kvara jednog regalnog viličara.....	58
4.3.3. Simulacija rada skladišta sa povećanjem protoka za 60 paleta/dan.....	61
4.3.4. Simulacija rada skladišta sa povećanjem protoka i kvarom jednog regalnog viličara.....	64
5. ZAKLJUČAK.....	67

## Popis slika

- Slika 1. Udio logističkih troškova od svjetskog BDP-a
- Slika 2. Skladišni prostor
- Slika 3. Klasično skladište
- Slika 4. Automatizirano skladište
- Slika 5. Simulacija svemirske šetnje astronauta
- Slika 6. Logo Dosimis-3
- Slika 7. Prikaz 3D modela izrađenog u Dosimis-3
- Slika 8. Prikaz sučelja paketa Dosimis-3
- Slika 9. Prikaz unosa parametara za atom shuttle
- Slika 10. Prikaz rješenja dijagramom zauzeća
- Slika 11. Prikaz rješenja histogramom
- Slika 12. 3D prikaz atoma u Flexsim paketu
- Slika 13. Prikaz radnog prostora u Flexsim simulacijskom paketu
- Slika 14. Unos parametara na atomu transporter
- Slika 15. Statističko praćenje promjena na atomu procesor za vrijeme simulacije
- Slika 16. Realni 3D prikaz
- Slika 17. Prikaz skladišnog sustava u Flexsim aplikaciji
- Slika 18. Radno okruženje Taylor ED 2000 simulacijskog paketa
- Slika 19. Library tree za odabir atoma
- Slika 20. Prikaz kanala između atoma
- Slika 21. Prikaz ulaznih i izlaznih kanala na dva atoma
- Slika 22. Prikaz 2D simulacije
- Slika 23. Prikaz 3D simulacije
- Slika 24. Euro paleta
- Slika 25. Viličar EFG 110
- Slika 26. Viličar proizvođača Linde, tipa EK12
- Slika 27. Paletna regalna konstrukcija
- Slika 28. 2D prikaz modela skladišta
- Slika 29. 3D prikaz modela skladišta
- Slika 30. Prikaz kanala između atoma
- Slika 31. 2D prikaz atoma

- Slika 32. 2D i 3D prikaz atoma Source
- Slika 33. Unos opcija na atomu Source-izvor
- Slika 34. 2D i 3D prikaz atoma Non Accumulating Conveyor-konvejer
- Slika 35. Unos opcija na atom konvejer
- Slika 36. 2D i 3D prikaz atoma Elevator-vertikalni transporter
- Slika 37. Unos opcija za atomu Elevator-vertikalni transporter
- Slika 38. Unos opcija na atomu Dispatcher
- Slika 39. 2D i 3D prikaz atoma dostavnog viličara
- Slika 40. Unos opcija na atomu dostavnog viličara
- Slika 41. 2D i 3D prikaz atoma Queue-konzolni regal
- Slika 42. Unos opcija na atomu Queue-konzolni regal
- Slika 43. 2D i 3D prikaz regalnog viličara
- Slika 44. Unos parametara na atomu regalnog viličara
- Slika 45. 2D i 3D prikaz atoma Warehouse-skladišni regal
- Slika 46. Unos parametara na atomu Warehouse
- Slika 47. 2D i 3D prikaz atoma Sink
- Slika 48. 2D prikaz atoma Node
- Slika 49. 2D prikaz atoma Node Manipulator
- Slika 50. 2D prikaz atoma Network Controller
- Slika 51. 2D prikaz atoma VR Building
- Slika 52. Vrijeme odziva regalnog viličara prema konzolnom i skladišnom regalu
- Slika 53. Vremena rada i čekanja dostavnog viličara
- Slika 54. Vrijeme čekanja i rada regalnog viličara
- Slika 55. Vremena čekanja i rada dostavnog viličara
- Slika 56. Vrijeme odziva regalnog viličara prema konzolnom i skladišnom regalu
- Slika 57. Vremena čekanja i rada regalnog viličara
- Slika 58. Vrijeme odziva regalnog viličara prema konzolnom i skladišnom regalu
- Slika 59. Vremena čekanja i rada dostavnog viličara
- Slika 60. Vremena čekanja i rada regalnog viličara
- Slika 61. Vrijeme odziva regalnog viličara prema konzolnom i skladišnom regalu
- Slika 62. Vremena čekanja i rada dostavnog viličara
- Slika 63. Vremena čekanja i rada regalnog viličara

## Popis tablica

Tablica 1. Izvješće za provedenu simulaciju

Tablica 2. Prikaz karakteristika viličara EK 12

Tablica 3. Ukupno izvješće za 1. simulaciju

Tablica 4. Ukupno izvješće za 2. simulaciju

Tablica 5. Ukupno izvješće za 3. simulaciju

Tablica 6. Ukupno izvješće za 4. simulaciju

## Popis oznaka i mjernih jedinica fizikalnih veličina

	Fizikalna veličina	Oznaka	Mjerna jedinica
1	Nosivost na max visini	$Q_{\max}$	kg
2	Visina podizanja	h	mm
3	Brzina	v	m/s
4	Širina	B	mm
5	Dužina	L	mm
6	Masa	m	kg
7	Vrijeme	t	s
8	Protok	-	paleta/dan



## Izjava

**Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, koristeći se znanjem i vještinama stečenim u toku studija na Fakultetu strojarstva i brodogradnje.**

Zahvaljujem se svom mentoru Doc.dr.sc. Goranu Đukiću na svesrdnoj pomoći koji mi je svojim savjetima, znanjem i iskustvom omogućio kvalitetniji pristup i realizaciju ovog rada.

Na kraju zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima koji su me tokom studija podržavali i usmjeravali ka ovome radu.

## 1. UVOD

Tijekom studija strojarstva studenti imaju mogućnost da se upoznaju sa različitim pogledima na inženjerski rad. Na smjeru industrijskog inženjerstva studenti se mogu odlučiti za neko od podusmjerenja. Moja želja sa upoznavanjem novih tehnologija usmjerila me prema logistici i logističkim procesima. Kroz više kolegija upoznat je značaj i utjecaj logistike na poduzeća koja se bave proizvodnjom. Logistika sama po sebi sastoji se od više cjelina, no dvije se posebno ističu po svojoj zastupljenosti, a to su transport i skladištenje. Kako je u završnom radu obrađen problem usmjeravanja vozila, kao logičan slijed nametnula se tema skladištenja. Kako bi tema bila što je moguće tehnološki naprednija, odlučio sam se za temu vezanu za kolegij modeliranje logističkih sustava. Kolegij je bio koncipiran na način da se upoznaju nove tehnologije iz simulacija i modeliranja u logistici.

U postupku projektiranja skladišta, a poglavito u evaluaciji projektiranog rješenja simulacije mogu biti od velike pomoći. S druge strane, mogućnosti suvremenih simulacijskih softverskih paketa, kao što su dvodimenzionalni i trodimenzionalni prikaz i animacija, omogućuje projektantskim poduzećima i veće mogućnosti u prezentaciji projektiranih rješenja naručiteljima- potencijalnim investitorima.

U radu se, nakon uvodnih poglavlja o teorijskim osnovama logistike i skladištenja, detaljnije prikazuje važnost simulacija i daje pregled nekih softverskih paketa na tržištu.

U drugom dijelu rada na konkretnom projektu skladišta przentiraju se mogućnosti simulacije u evaluaciji projektiranog rješenja. Nakon projektiranja skladišnog sustava jednog prehrambenog poduzeća, razvila se ideja da se procijene vremena iskoristivosti opreme koja je instalirana u sustav. Gradnja skladišta je povećala investicija, te poduzeće nastoji dobiti najviše moguće za uloženi kapital. Kako se radi o prehrambenoj industriji, te proizvodu široke potrošnje (šećer), izgrađeno skladište je trebalo biti dovoljno veliko da zadovolji i buduće (promijenjene) potrebe poduzeća.

Posebno je to važno u današnje vrijeme kada je tržište nestabilno, te se javljaju velike amplitude u potražnji proizvoda.

Simulacijski model skladišta napravljen je u Taylor ED 2000 simulacijskom paketu. Simulacijama su prikazane situacije u kojima bi se moglo naći poduzeće s obzirom na promjenu tržišnih uvjeta. Naglasak je stavljen na trenutak kad bi se ukazala potreba za povećanjem proizvodnje, te način na koji bi skladišni sustav odgovorio takvu potrebu. Kroz prikaz rješenja simulacija prikazana su područja potencijalnih ušteda, odnosno način na koji bi se približili optimalnom djelovanju skladišnog sustava.

Radom se također prikazuje da usprkos težnji ka tzv. savršenoj proizvodnji (JIT, Lean production), još uvijek postoji velika potreba za skladištenjem i skladištima. Ne postojanje skladišta, a što podrazumijva da nema uskladištenih zaliha proizvoda, poduzeću može odnijeti jedan dio tržišta. Kad se jednom tržište okrene nekom drugom proizvođaču teško je vratiti izgubljeno povjerenje. Može se zaključiti, da je u mnogim situacijama postojanje skladišta ipak nužno. Kako su skladišta zapravo trošak, logično je nastojanje logistike da se ista projektiraju tako da se teži postizanju spomenutog optimalnog rješenja.

## 2. LOGISTIKA

### 2.1. Definicija i značaj logistike

Logistika je djelatnost koja se bavi svladavanjem prostora i vremena uz najmanje moguće troškove. U suvremenim uvjetima taj naziv se najčešće koristi za označavanje poslovne funkcije i znanstvene discipline koja se bavi koordinacijom svih kretanja materijala, proizvoda i robe u fizičkom, informacijskom i organizacijskom pogledu. [1]

Logistika bi se mogla opisati kao kružni proces koji prati cjelokupni poslovni proces, od nabave preko proizvodnje, prodaje sve do potrošača.

Jedna od definicija logistike kaže da je logistika znanost koja uključuje sve aktivnosti fokusirane na dostavu traženog proizvoda, tražene kvalitete i količine, na pravo mjesto u pravo vrijeme te uz najniže troškove.

Uz pojam logistike usko su povezana još dva pojma, *logistički menadžment* i *logistički lanac*. Logistički menadžment planira, implementira i kontrolira efikasan i efektivan tijek i skladištenje materijala, usluga i s njima povezanih informacija od izvora do točke potrošnje s ciljem ispunjenja zahtjeva korisnika.

Logistički lanac uključuje skup dijelova poduzeća koja provode aktivnosti potrebne da se stvori i dostavi proizvod ili usluga korisniku.

Korijen riječi *logistika* nalazimo u grčkom, te kasnije i u francuskom jeziku.

Riječ *logos* (grč.) koristi se kao naziv za znanost o principima i oblicima pravilnog mišljenja i prosuđivanja, tj. nauka o razmišljanju, promišljanju.

Riječ *logistikos* (grč.) označava vještine, iskustva i znanja o očuvanju i procjeni svih relevantnih elemenata u prostoru i vremenu potrebnih za optimalno rješavanje zadataka iz svih područja ljudskih aktivnosti.

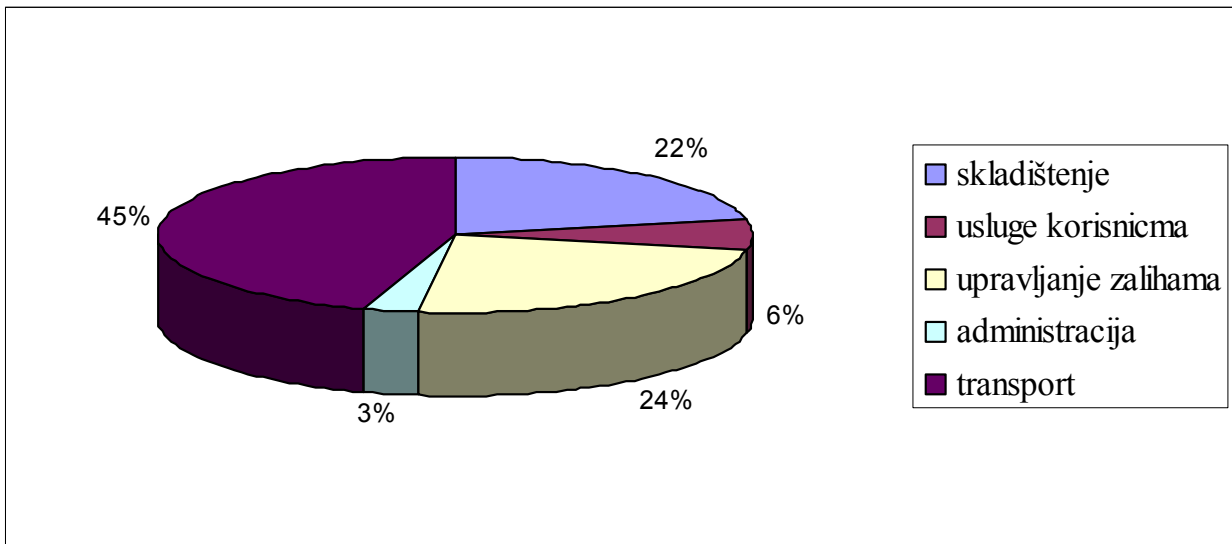
Riječ *logistique* (franc.) je izvedenica iz dočasničkog čina "*Marechal de logis*" čija je zadaća bila planirati sve administrativne poslove vezane uz napredak vojnih snaga u Francuskoj u 17. stoljeću.

Riječ *loger* (franc.) je pojam za stanovati, noćiti pod vedrim nebom, smjestiti se.

Najsličniji pojam pojmu logistike kojeg danas poznajemo pojavljuje se u 17. stoljeću u francuskoj vojsci.

Usluge logistike su širokog raspona od funkcije skladištenja, transporta, usluga korisnika, upravljanja zalihama do administrativnih poslova.

Na slici 1. prikazani su pojedini udjeli troškova u ukupnim logističkim troškovima (udio u svijetskom BDP-u).



**Slika 1.** Udio logističkih troškova od svijetskog BDP-a

Veliki logistički troškovi vidljivi su u izvještaju iz 2002. godine, "Estimation of Global and National Logistics Expenditures: 2002 data Update".

Prema tom izvještaju troškovi svjetske logistike su iznosili 6,732 milijardi dolara ili 13,8 % BDP-a.

Prosječni troškovi logistike (% BDP) se smanjuju sa povećanjem razvijenosti zemlje, ne zbog manjeg ulaganja u logistiku tih zemalja, nego zbog bolje razvijenosti prateće infrastrukture i naravno većeg BDP-a.

Uz pojam logistike u proizvodnji javlja se jedan paradoks. Logistika samo po sebi smanjuje troškove u proizvodnom procesu, dok istovremeno sami troškovi logistike rastu. [1]

## 2.2. Skladišni sustavi

Skladišni sustavi ili skladišta kao jedno od najvažnijih dijelova logistike glavna je tema ovog diplomskog rada, pa će u nastavku biti nekoliko riječi općenito o skladišnim sustavima. [1]

Skladište je poslovna zgrada za skladištenje materijala, poluproizvoda i gotovih proizvoda s namjerom da poslije određenog vremena oni budu uključeni u dalji transport, proizvodnju, distribuciju ili potrošnju. Skladište može biti ograđeni ili neograđeni, te pokriveni ili nepokriveni prostor. Primjer skladišnog prostora je prikazan na slici 2.



**Slika 2.** Skladišni prostor

Skladište se sastoji od više komponenata.

Glavne komponente skladišta su:

- skladišni objekti
- sredstva za skladištenje i sredstva za odlaganja materijala
- transportna sredstva
- pomoćna skladišna oprema

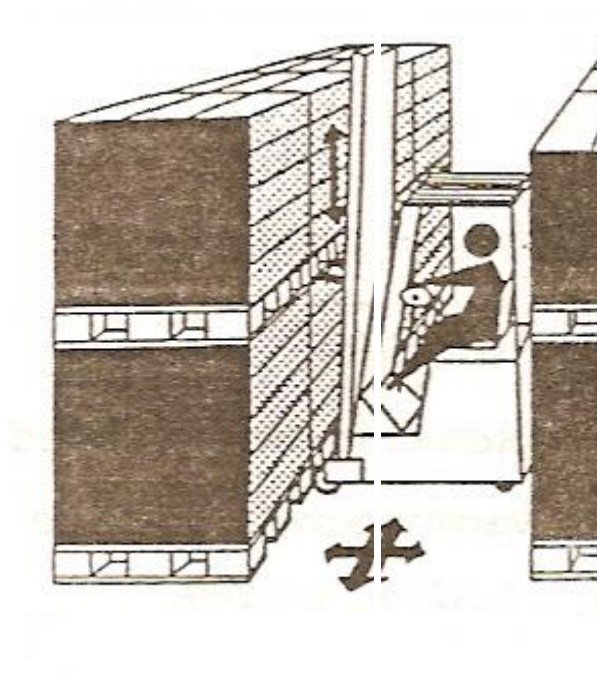
Skladišta se mogu podijeliti na klasična i automatizirana.

Klasična se još dijele na podna skladišta i regalna skladišta. Kod podnih se, kako im i samo ime govori, proizvod skladištenja odlaže izravno na podu površinu.

Regalna skladišta su skladišta kod kojih se za skladištenje materijala koriste regali, te s obzirom na izvedbu, regalna skladišta dijele se na:

- skladišta s poličnim i paletnim regalima
- skladišta s konzolnim regalima
- skladišta s prolaznim regalima
- skladištenje u protočnim regalima
- skladištenje u visokim regalima

Na slici 3. je prikazano klasično skladište.



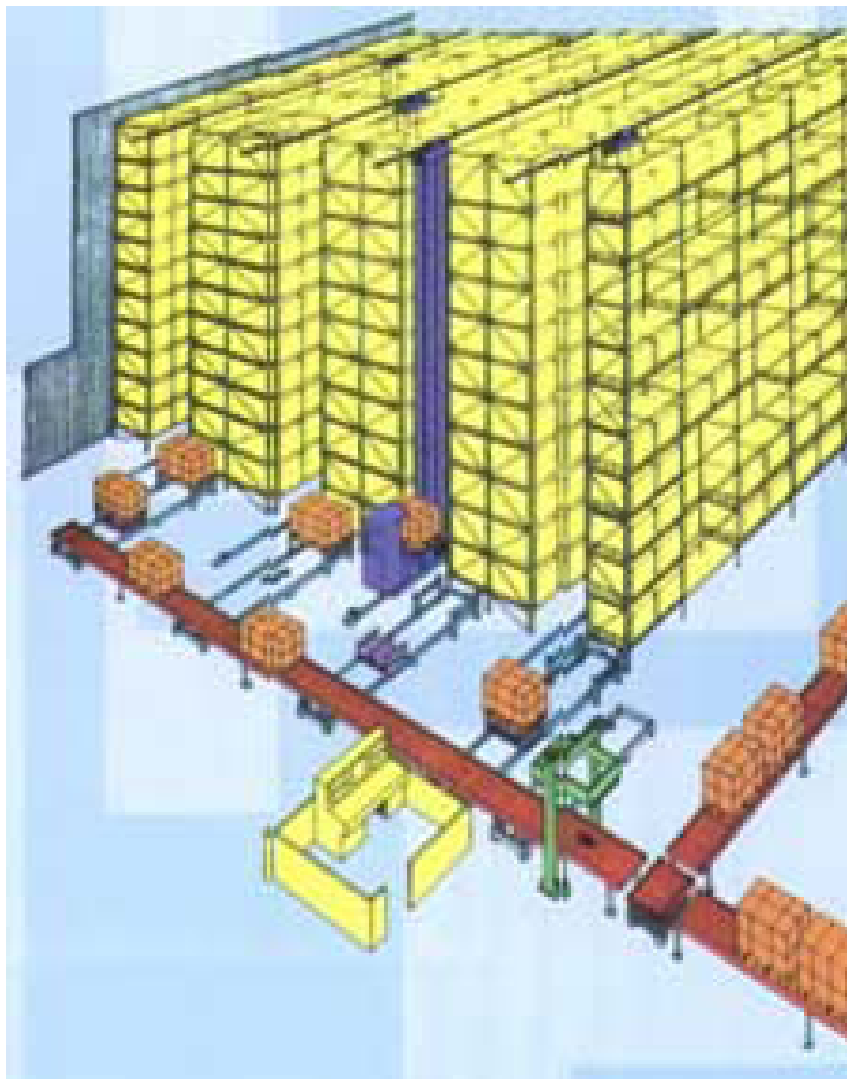
**Slika 3.** Klasično skladište

Automatizirani skladišni (AS/RS) sustavi su sustavi kod kojih je proces (ili dio procesa) odlaganja i izuzimanja automatiziran, tj. upravljano od strane računala.

Podjelu AS/RS - a možemo napraviti prema dimenzijama i načinu rada na:

- Unit Load AS/RS
- Mini Load AS/RS
- Person on Board AS/RS
- VLMS
- Karuseli AS/RS

Na slici 4. prikaz je jednog automatiziranog skladišta.



**Slika 4.** Automatizirano skladište



Postojanje skladišta znači zastoj robe, a sa time je povezan i gubitak u financijskom smislu (JIT).

JIT (*just in time*) su načela koja se primjenjuju u proizvodnji sa ciljem da se smanje troškovi skladištenja i držanja zaliha. S druge strane nepostojanje skladišta materijala i gotovih proizvoda može prouzročiti puno veće gubitke zbog zastoja proizvodnje ili ne plasmana proizvoda na tržište u pravo vrijeme. U današnje vrijeme kad je prisutna sveopća globalizacija i velika konkurentnost, ne postojanje zaliha proizvoda, predstavlja financijski gubitak, ali još važnije je gubitak dijela tržišta što uvelike mijenja buduće poslovanje poduzeća.

Projektiranje skladišta je zahtjevan posao, zbog dvije činjenice (veličina skladišta i uložena financijska sredstva u izgradnju skladišta) koje su međusobno kontradiktorne, traži se kompromis u izgledu, vrsti i veličini skladišta.

Optimalan izgled skladišta ne postoji u realnim uvjetima, te se projektanti u svojim projektima nastoje u što većoj mjeri približiti nekom teoretski optimalnom izgledu. Veliku važnost u skladišnom sustavu ima i sustav komisioniranja.

Komisioniranje je jedna od najvažnijih aktivnosti u skladištu. U što je moguće kraćem vremenu potrebno je odgovoriti na zahtjev (narudžbu) s tržišta i pripremiti robu za otpremu. Danas je sve više prisutan trend povećanja broja usitnjenih narudžbi koje je potrebno isporučiti u što kraćem vremenu. Zahtjevana kakvoća i brzina rada može se postići primjenom pogodne tehnologije te uvođenjem računalskog upravljanja komisioniranjem. Dva su načina na koja se komisioniranje može odvijati: „komisionar k robi“ i „roba ka komisionaru“. Kako sam proces komisioniranja nije predmetom ovog rada, on nije detaljnije razrađen u radu.

Razvoj računala i simulacijskih paketa uvelike nam olakšava da najpreciznije moguće odredimo tip i veličinu skladišta za naše potrebe, uzevši u obzir realna ograničenja koja se pojavljuju.

### 3. SIMULACIJE U PROJEKTIRANJU SKLADIŠNIH SUSTAVA

#### 3.1. Kratki osvrt na simulacije

Simulacija je oponašanje realnih stvari, stanja ili procesa. Simulacijom želimo odrediti utjecaj promjene određenih 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.

Postoji više vrsta simulacija, a kao najvažnije koriste se fizička, interaktivna i računalna simulacija. Fizička simulacija je simulacija u kojoj su stvarni objekti zamijenjeni za objekte manjih dimenzija i od jeftinijeg materijala nego što je stvarni sustav. Veličina objekata ovisi o stvarnom sustavu te koje varijable tog stvarnog sustava želimo ispitati, ali veličine moraju biti takove da daju vjerodostojne rezultate u realno kratkom vremenu. Primjer su različite makete postrojenja, građevina ili prirodnih pojava. Interaktivna simulacija može se shvatiti kao jedna vrsta fizičke simulacije, za razliku od pravih fizičkih simulacija u interaktivnoj se pojavljuje i čovjek u interakciji sa nekim od sustava. Primjer interaktivne simulacije je simulator letenja za pilote ili simulacija svemirske šetnje. Na slici 5. prikazana je simulacija svemirske šetnje.



**Slika 5.** Simulacija svemirske šetnje astronauta

Računalna simulacija je najčešće korištena i za ovaj rad najvažnija. Računalna simulacija je pokušaj da se stvarna pojava, stanje ili proces prebaci u računalu razumljiv niz naredbi i funkcija. U takvome modelu mogu se proučavati promjene utjecajnih varijabli, te konačan odgovor sustava na te promjene.

Računalne simulacije postale su korisne za modeliranje mnogih prirodnih sustava iz fizike, kemije i biologije. Društvene znanosti također koriste računalne simulacije za predviđanje društvenih pojava, postupaka i načina ponašanja.

Povijest simulacija seže u 1947. kada su prve simulacije za let projektila simulirali Thomas T. Goldsmith Jr. i Estle Ray Mann. Varijable koje su se mogle mijenjati bile su putanja i brzina projektila. Godine 1958. nastaje prva računalna igra koja koristi grafički prikaz, "Tennis for two", što samo jedan od primjera simulacije. Neprestani razvoj računala prati i razvoj simulacija od 80-ih godina do danas. U početku se simulacije koriste samo u računalnim igrama, kasnije ulaze u sferu cjelokupnog ljudskog djelovanja. Tako se primjena simulacija može vidjeti na filmu, u zabavnim parkovima, inženjerstvu, financijama, zdravstvu, itd.

U ovom radu naglasak će biti na primjeni računalnih simulacija u inženjerstvu, posebno u projektiranju skladišnih sustava. Skladišni sustav predstavlja jedan od najvećih troškova u proizvodnom procesu, te povezano s time vrlo je važan odabir tipa i veličine skladišta. Simulacijom se može na jednostavan i jeftin način dobiti rješenje za zadane uvjete proizvodnje.

U nastavku će biti pobliže prikazana i obrađena tri simulacijska paketa koja se koriste u projektiranju skladišnih sustava. Ti paketi su Dosimis-3, FlexSim i Taylor Enterprise Dynamics 2000.

## 3.2. Simulacijski paketi za modeliranje i simulaciju skladišta

### 3.2.1. Dosimis-3

Trenutno na tržištu među vodećim simulacijskim paketima za simulacije u inženjerstvu. [4]

Od svog osnutka, prije 25 godina, neprekidan razvoj aplikacije je doveo do vodeće uloge u svijetu simulacija.

Rad u Dosimis-3 nam je omogućen preko jednostavnog i intuitivnog korisničkog sučelja, visokih performansi, gdje se posebno stavlja naglasak na statističke metode koje su dostupne korisnicima. Alat koji je univerzalan i svestran da zadovolji sve zahtjeve vezane uz planiranje i optimizaciju procesa, proizvodnju i lance nabave.

Sa DOSIMIS-3, korisnici mogu simulirati proizvodnju za cijelu godinu u roku od samo nekoliko minuta. Također je moguće simulirati i sve potrebne logističke procese koji se pojavljuju u određenoj proizvodnji ili skladišnim procesima, od početnog prijema sirovine, pa kroz proizvodnju sve do isporuke kupcu.

Iako je DOSIMIS-3 razvijen za logističke inženjere, može se koristiti i kao matematički alat, jednostavan kalkulator. Na slici 6. prikazan je logo DOSIMIS-3 simulacijskog paketa, dok na slici 7. vidljiv je 3D model izrađen u istom simulacijskom paketu.



**Slika 6.** Logo Dosimis-3



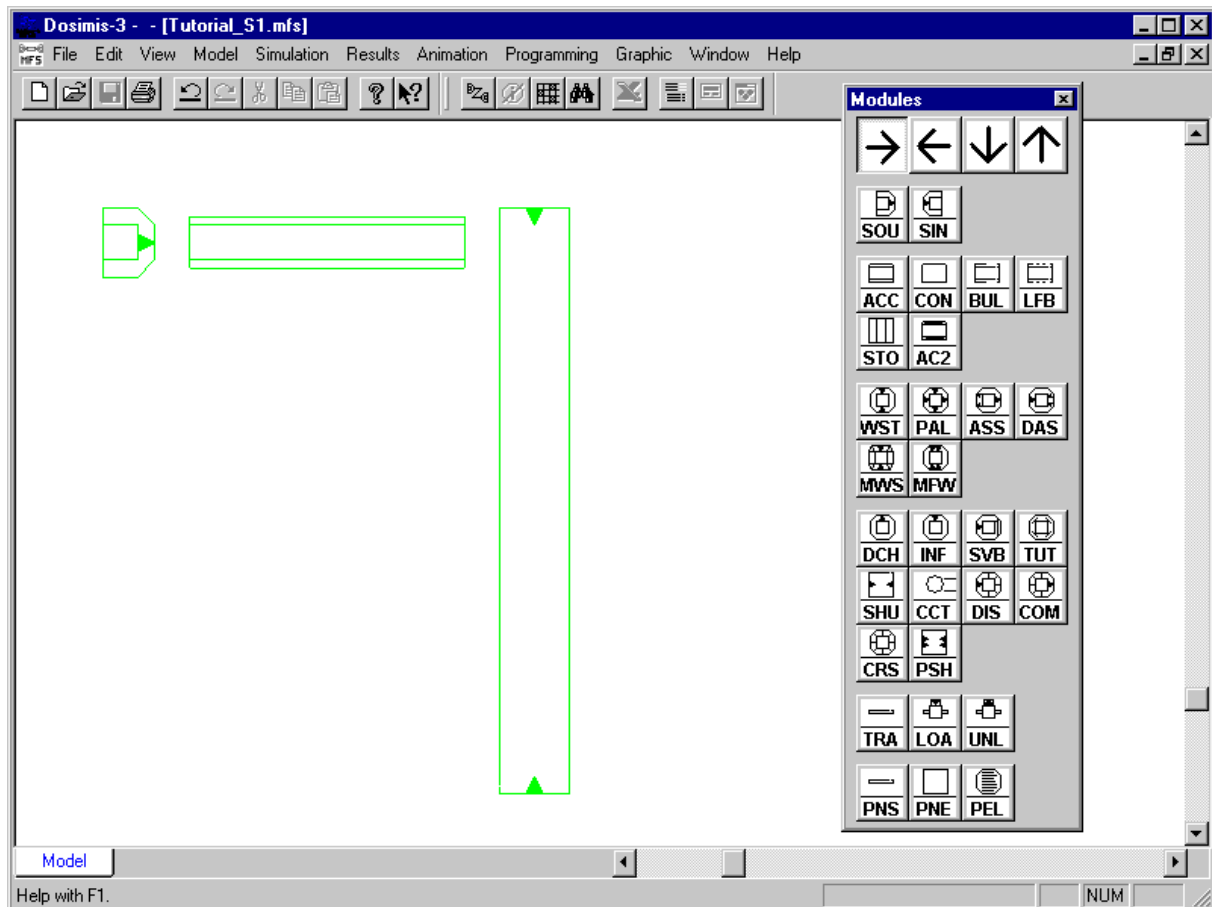
**Slika 7.** Prikaz 3D modela izrađenog u Dosimis-3

DOSIMIS-3 odlikuju sljedeće značajke:

- jednostavan za korištenje
- brzo izvršenje traženih upita
- visoka 3D animacija, kao podrška koristi se 3D Studio Max
- rezultati u nekoliko standardnih statističkih dijagrama toka
- mogućnost prezentiranja rješenja u više sučelja- MS-Excel, COM, C++
- simulacija troškova
- posebna ponuda aplikacije za obrazovanje
- odlična podrška, 24 sata on-line

Korisnici Dosimis-3 simulacijskog paketa su neke od vodećih poduzeća u svijetu u svojem poslovanju: Audi, Bayer Chemicals, Berger, BMW, Bosch, DHL, Deutsche post, Electrolux, Nokia, Porsche Leipzig, SAS France, Seat, Siemens, Škoda auto, VW i mnogi drugi.

Na slici 8. prikazano je sučelje Dosimis-3 simulacijskog paketa.



**Slika 8.** Prikaz sučelja paketa Dosimis-3

Sučelje Dosimis-3 paketa sastoji se od dva prozora: Modules-objekti i Work area-radni prostor. U prozoru "Modules" imamo mogućnost biranja potrebnih atoma za izradu simulacije te određivanja toka materijala kroz sam proces. Atomi koji se pojavljuju u "Modules" prozoru su većinom karakteristični za sve simulacijske pakete koji se koriste za projektiranje logističkih procesa. To su atomi: Accumulation conveyor(BFS), Source(SOU), Shuttle(SHU), Work station(WST), Combining Station(COM), Distributor(DIS) i Sink(SIN).

Nakon postavljanja potrebnih atoma u prostor za model, uspostavljaju se odnosi između atoma, te se podešavaju parametri na svakom pojedinom atomu. Na slici 9. prikazan je prozor za unos parametara atoma.

Parameter input for module type shuttle

Number: 3 Name: SHU 3 Comment:

Parameter Strategy Attributes Costs Layer selection  Info-Element

Loading path [m]: 1.1 Loading speed [m/s]: 0.2 Slow/Fast  
 Unloading path [m]: 0.1 Unloading speed [m/s]: 0.2 Basic position: 0  
 Slowly driven path [m]: 0.5 Speed fast [m/s]: 1 Speed slow [m/s]: 0.1  
 Y-slowly driven path [m]: 0 Y-speed high [m/s]: 0 Y-speed low [m/s]: 0

Entrance(s)				Exit(s)			
No.	Junction	From module	No.	No.	Junction	To module	No.
1	2	rcpgoods	2	1	15	ACC_Above	6
2	14	ACC_13	13	2	16	ACC_Below	4

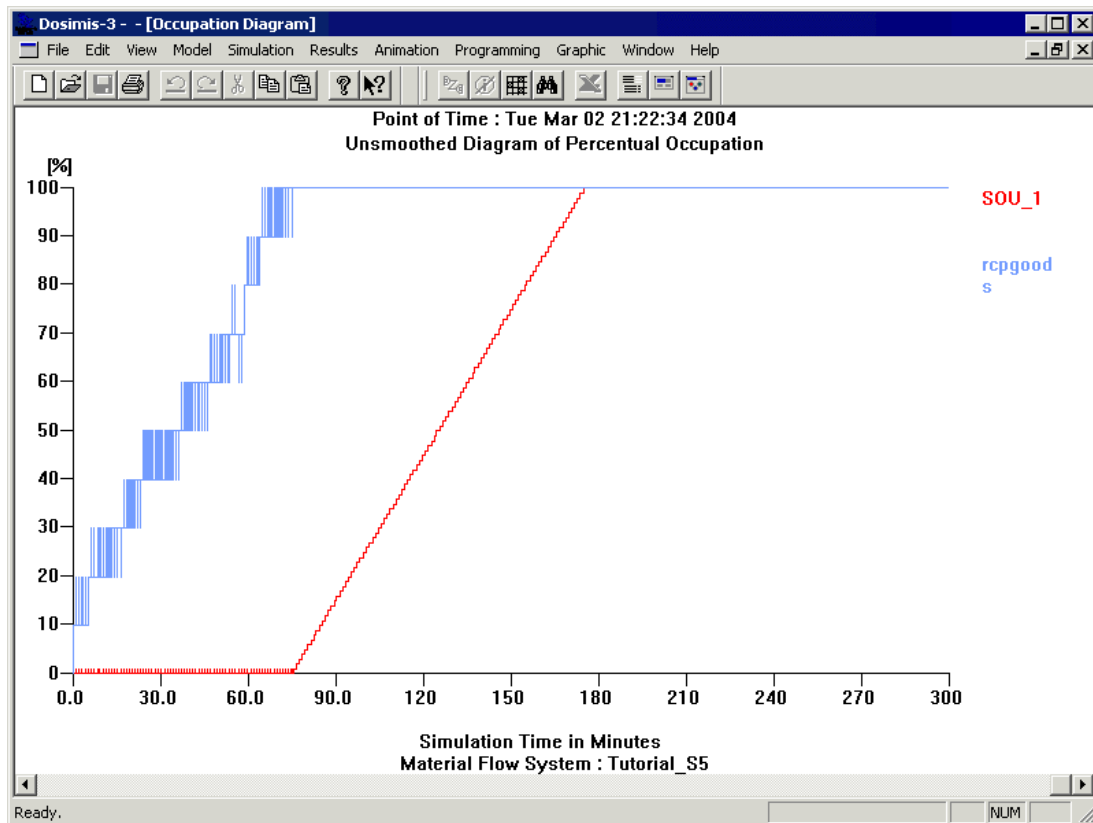
Entrance	Pos [m]	Height [m]	Exit	Pos [m]	Height [m]
1	0	0	1	20	0
2	15	0	2	25	0

Defaults Global DT OK Cancel

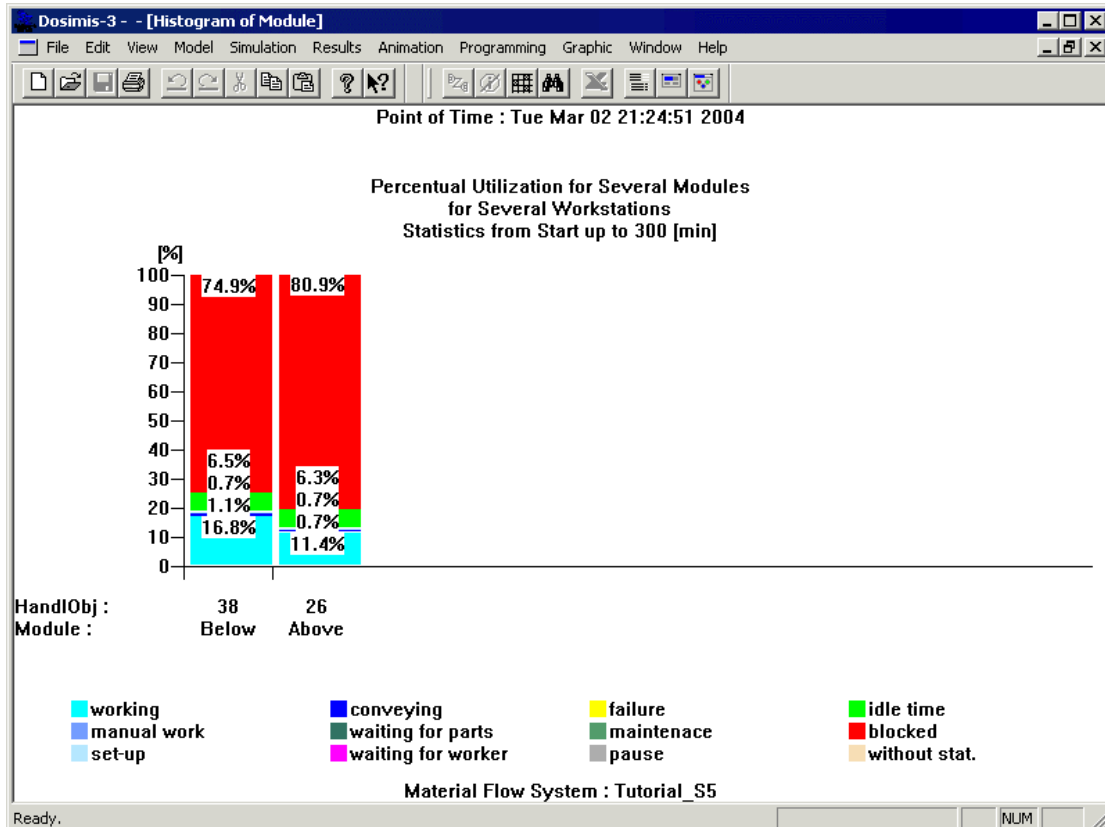
Slika 9. Prikaz unosa parametara za atom shuttle

Nakon unosa parametara atoma i uspostavljanja veza između njih, može se pristupiti simulaciji procesa. Prije pokretanja simulacije potrebno je odrediti i parametre same simulacije, kao što su vrijeme trajanja simulacije i vremenski interval nakon kojeg se skupljaju podaci za statističku obradu.

Rješenja simulacija prikazuju se pomoću dva dijagrama, dijagram zauzeća i histogram modela. Kod histograma modela najvažnije stavke za analizu su vremena "working", "set up", "idle time" i "conveying". Slike 10. i 11. ilustriraju prikaz rješenja u simulacijskom paketu DOSIMIS-3.



Slika 10. Prikaz rješenja dijagramom zauzeća



Slika 11. Prikaz rješenja histogramom



### 3.2.2. Flexsim

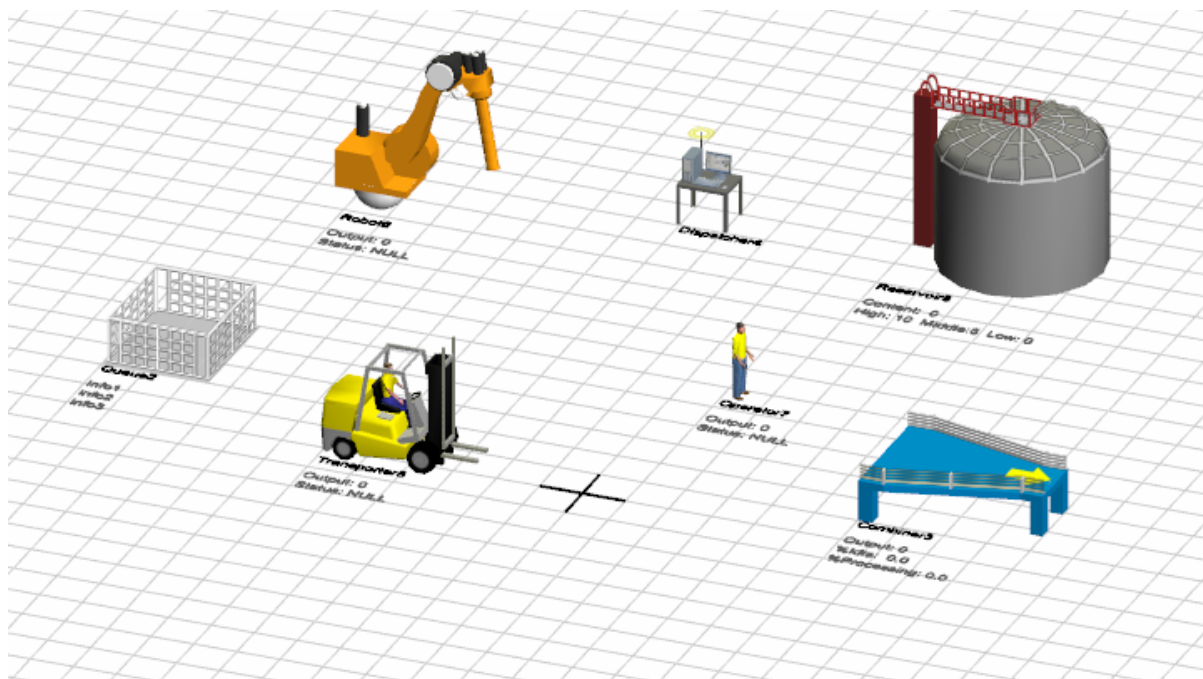
Na tržištu jedan od najboljih simulacijskih paketa za modeliranje, analizu i optimizaciju procesa proizvodnje, logističkih lanaca i ostalih problema iz realnog inženjerstva. [5]

Paket radi na principu "what-if", promjenom ulaznih parametara dobijemo brzu povratnu informaciju o utjecaju tih promjena na ukupan proces.

Razvojem Flexsim paketa nastoje se riješiti tri osnovna problema:

1. problem usluge- potreba da se zahtjevi klijenata riješe uz njihovo najveće zadovoljstvo, ali uz njanjanje moguće troškove
2. problem proizvodnje- potreba da se napravi pravi proizvod u pravo vrijeme i uz najmanje moguće troškove
3. logistički problem- nabaviti pravi proizvod u pravo vrijeme na pravom mjestu uz najmanje moguće troškove

Simulacija se izrađuje 3D objektima u 3D prostoru, koristeći pri tome grafičko sučelje koje se koristi kod suvremenih računalnih igara, sve sa ciljem što zornijeg i realnijeg prikaza simulacije. Na slici 12. prikazano je grafičko sučelje Flexsim paketa. Sama izrada modela je vrlo jednostavna te radi na principu potegni i postavi (" Drag & drop").

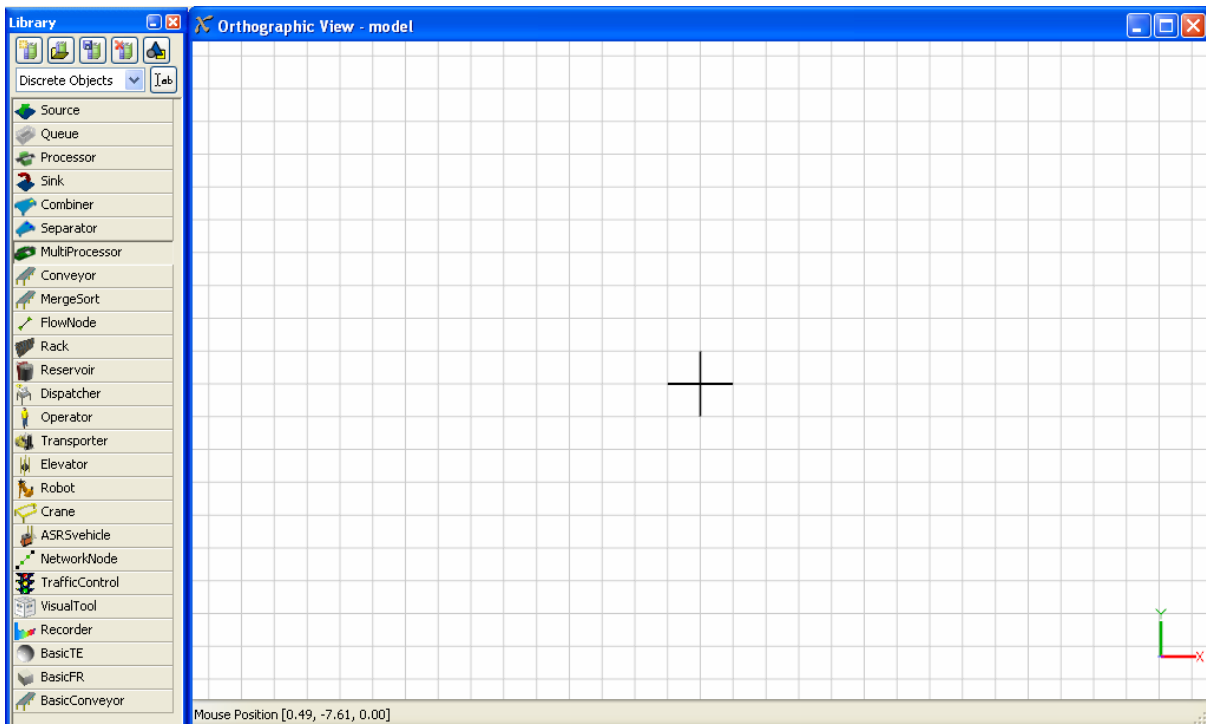


Slika 12. 3D prikaz atoma u Flexsim paketu

Flexsim simulacijski paket nam daje mogućnost da u sami model postavimo dijagrame i histograme kako bi mogli pratiti sami proces za vrijeme trajanja simulacije. Rješenja simulacija moguće je tablično prezentirati u MS Excel programu.

Ponekad projektanti modela, u kompleksnijim modelima, ne postavljaju parametre modela na način da bi nam model dao svoj optimum. Za takve slučajeve vrlo je koristan alat Optquest, koji na temelju logičkih veza predloži optimalno rješenje za model izrađen od postavljenih atom.

Sučelje Flexsim simulacijskog paketa sastoji se kao i većina paketa za simulaciju logističkih procesa od "Library" prozora i radnog prostora za izradu modela.

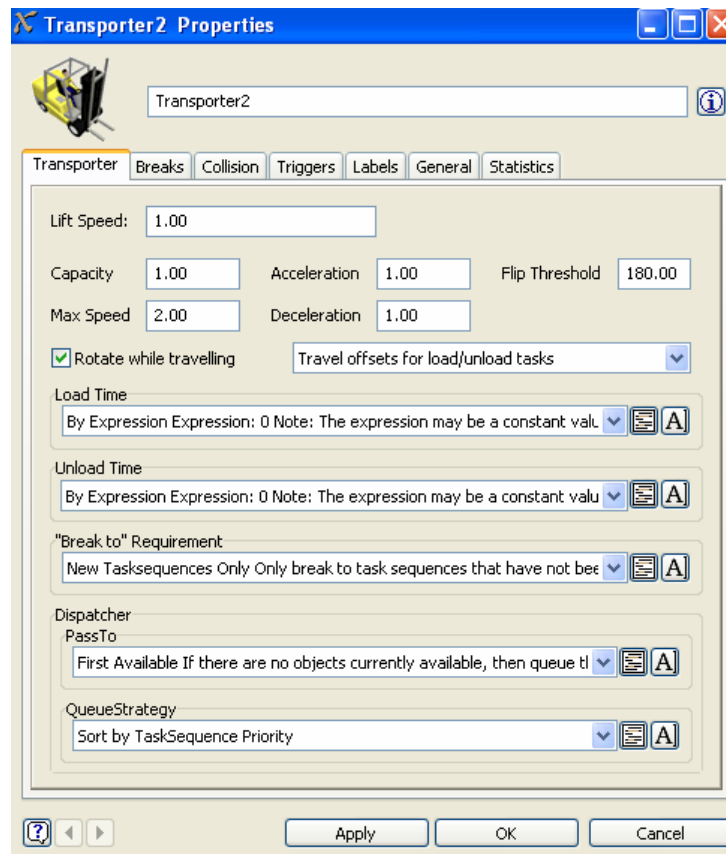


**Slika 13.** Prikaz radnog prostora u Flexsim simulacijskom paketu

Atomi koji se koriste većinom su jednaki kao i kod ostalih simulacijskih paketa: sink, transporter, source, conveyor, queue, operator i dr.

Nakon postavljanja svih potrebnih atoma u prostor za model, rade se veze između atoma. Jednostavnim povlačenjem od polaznog atoma do krajnjeg u lancu.

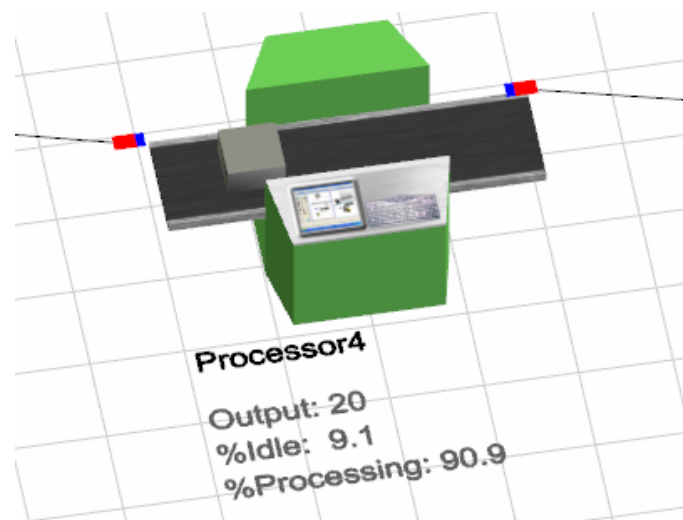
Nakon čega slijedi unasanje parametara za svaki pojedini atom. Na slici 14. ilustriran je prozor za unos parametara na atomu transporter.



**Slika 14.** Unos parametara na atomu transporter

Nakon podešavanja svih parametara na pojedinim atomima, možemo pustiti simulaciju.

Tijekom simulacije ispod svakog atoma možemo pratiti promjenu statističkih podataka vezanih uz dotični atom. Na slici 15. prikazana je analiza statističkih podataka na atomu "processor".

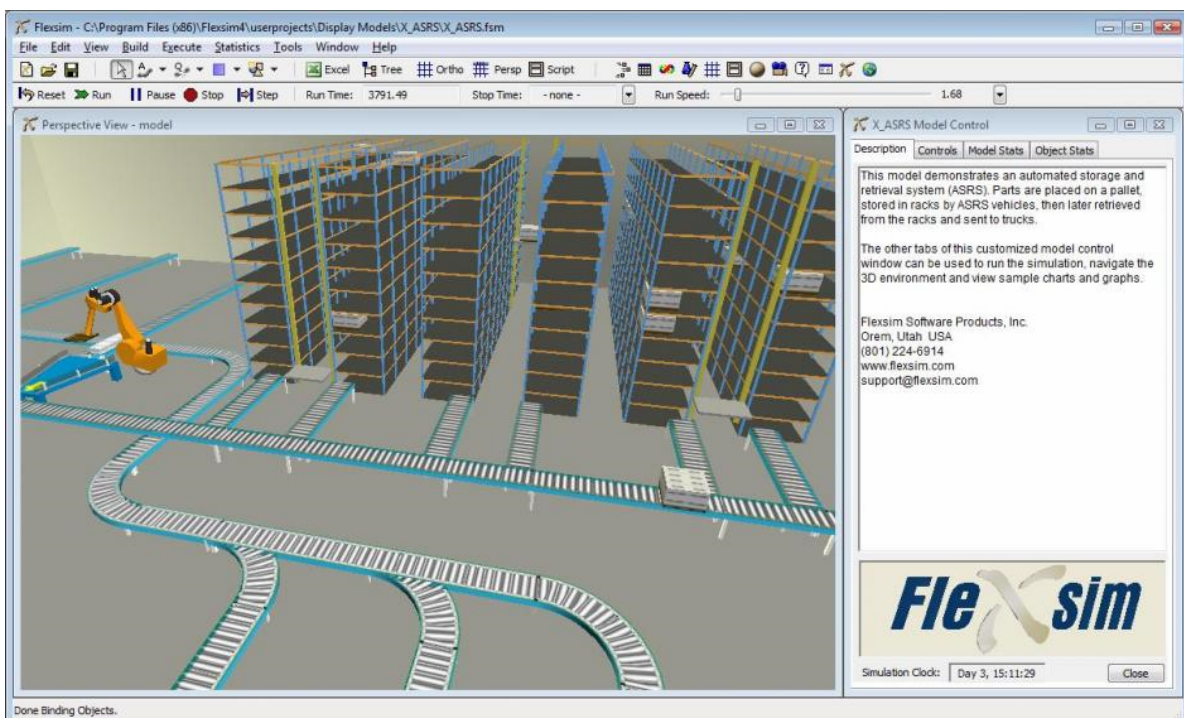


**Slika 15.** Statističko praćenje promjena na atomu procesor za vrijeme simulacije

Na slikama 16. i 17. vidljiv je realni prikaz proizvodnog procesa i skladišnog sustava.



**Slika 16.** Realni 3D prikaz



**Slika 17.** Prikaz skladišnog sustava u Flexsim aplikaciji

### 3.2.3. Enterprise Dynamics Taylor 2000

Simulacijski paket koji je okrenut objektnom programiranju. Poduzeće Enterprise Dynamics stvorilo je simulacijski alat koji je orijentiran analiziranju i podršci prema svojim klijentima. Nastoji predvidjeti poslovne promjene u pogledu performansi, ljudi i profita, kao i smanjiti rizik zbog pogrešnih predviđanja budućih rezultata poslovanja. Taylor ED je konstruiran za određeno polje stručnosti, kako bi se olakšalo modeliranje specifičnih problema. Taylor ED 2000 je moguće koristiti kao samostalni sustav, ali isto tako i u mreži ili u intra i internet okruženju. [6]

Gospodarske grane koje najčešće koriste simulacijski paket Taylor ED 2000:

- distribucija i logistika skladištenja
- postrojenja za proizvodnju
- automobilska proizvodnja
- zračne luke, željeznička poduzeća i pomorske luke
- zdravstvena zaštita
- pozivni centri
- obrazovanje

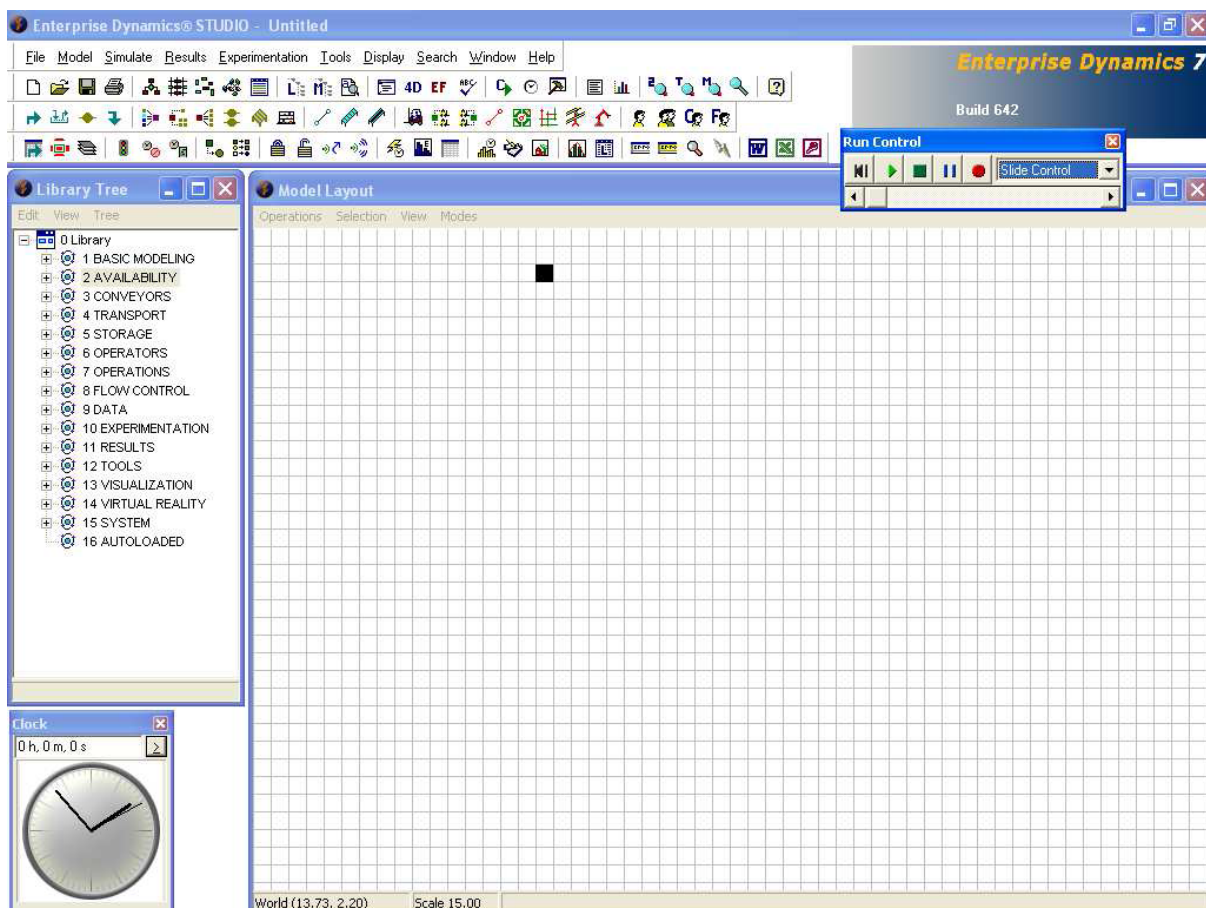
Taylor ED je simulacijski paket koji u svojem poslovanju koristi niz renomiranih svjetskih poduzeća.

Najpoznatija poduzeća koja koriste simulacijski paket Taylor ED 2000:

- KHS AG
- Knapp
- Airport & Airlines - Amsterdam
- Harbor & Shipping - STAA
- DMT GmbH
- ESG Elektroniksystem und Logistik-GmbH
- Volvo Group
- Nacco Materials Handling Group
- Philips Lighting
- TATA Steel
- Dollar Thrifty Automotive Group
- Vanderlande Industries

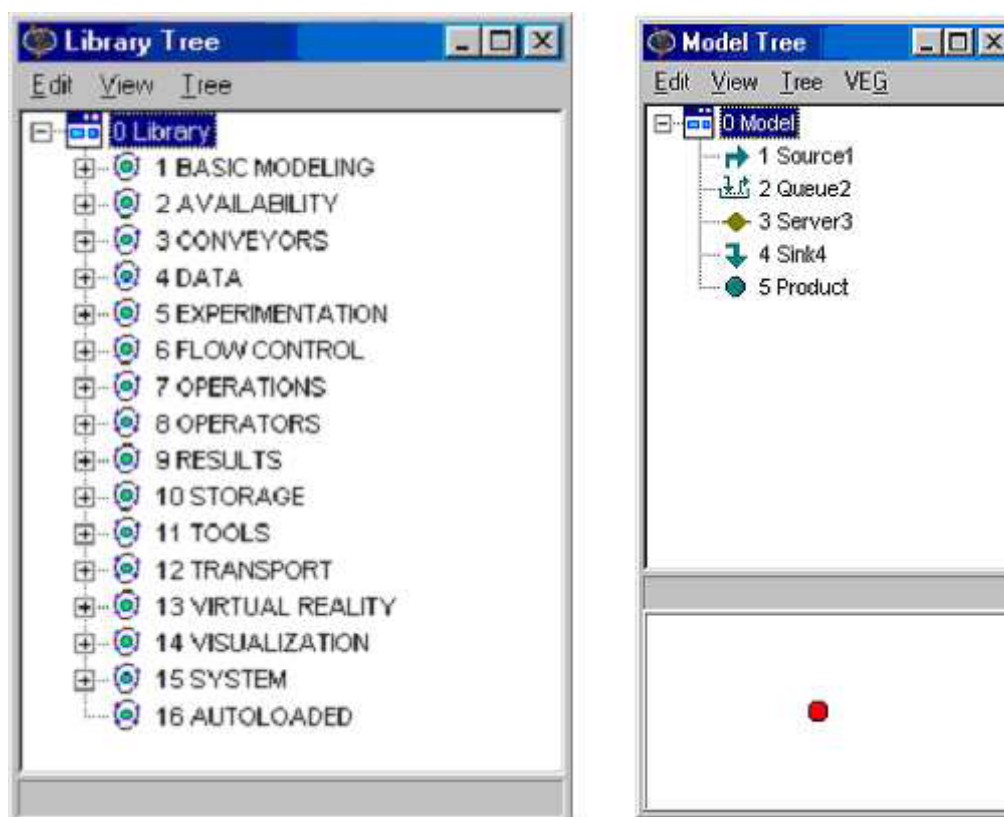
Izgled sučelja simulacijskih paketa ne razlikuje se značajno od jednog do drugog proizvođača.

U suštini radi se o istim sučeljima, sa promijenjenim nekim vizualnim detaljima. Taylor ED 2000 ima u glavnom prozoru prostor za izradu modela (model layout), prozor za odabir objekata- atoma (library tree), kontrolu simulacije (run control) i sat za određivanje trajanja simulacija. Na slici 18. vidljivo je ulazno sučelje simulacijskog paketa Taylor ED 2000.



**Slika 18.** Radno okruženje Taylor ED 2000 simulacijskog paketa

Prozor sa atomima je podijeljen na grupe atoma, tako da jednu grupu atoma čine atomi sa sličnim svojstvima i područjima primjene. Na slici 19. prikazana je podjela atoma po grupama. Najvažniji i najčešće korišteni atomi su source, queue, server, sink i product, te će biti objašnjeni detaljnije u nastavku rada.



Slika 19. Library tree za odabir atoma

Source- atom koji služi za generiranje proizvoda u proizvodni proces.

Na samom atomu mogu se mijenjati različiti parametri: ime atoma (atom name), vrijeme nakon kojeg se prvi proizvod plasira u proces (inter-arrival time), vrijeme između plasmana dva proizvoda u proces (time till first product), broj proizvoda (number of products), na koji se izlaz šalju proizvodi (send to), te na koji način atom odgovara na ulaz ili izlaz nekog atoma (triggers).

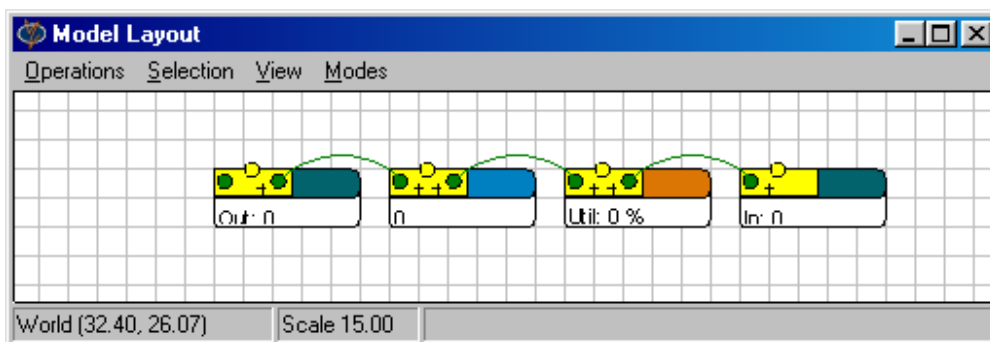
Queue- atom na kojem proizvod ili osoba "čeka", tj. na tom atomu dolazi do zadržavanja dok se ne oslobodi mjesto na sljedećem atomu. Parametri atoma su: ime atoma (atom name), kapacitet (capacity), na koji se izlaz šalju proizvodi (send to), način zadržavanja proizvoda (queue discipline), način ulaska u atom (input strategy), te na koji način atom odgovara na ulaz ili izlaz nekog atoma (trigger on).

Server- atom koji ima funkciju stroja ili brojača, na tom atomu proizvod ili osoba ostaju neko vrijeme- procesno vrijeme. Parametri atoma su: ime atoma (atom name), vrijeme pripreme (setup time), vrijeme procesa (cycletime),

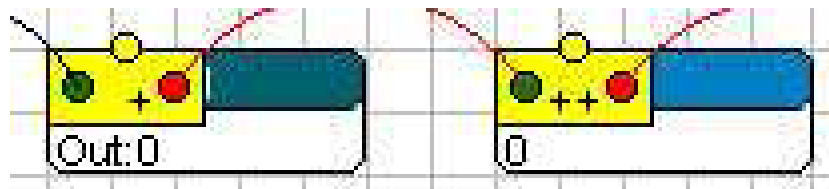
izlaz na koji se šalju proizvodi (send to), način ulaska u atom (input strategy) ) i na koji način atom odgovara na ulaz ili izlaz nekog atoma (trigger on).

Sink- kroz ovaj atom proizvod ili osoba napušta model. Na ovom atomu moguće je podesiti način na koji atom odgovara na ulaz nekog atoma (trigger on entry).

Nakon definiranja pojedinih parametara, kreće se sa spajanjem atoma u smislenu cjelinu, pomoću veza- kanala. Ovisno od atoma do atoma, atom može imati više ulaznih i izlaznih kanala. Na slikama 20. i 21. prikazan je način spajanja atoma kanalima.



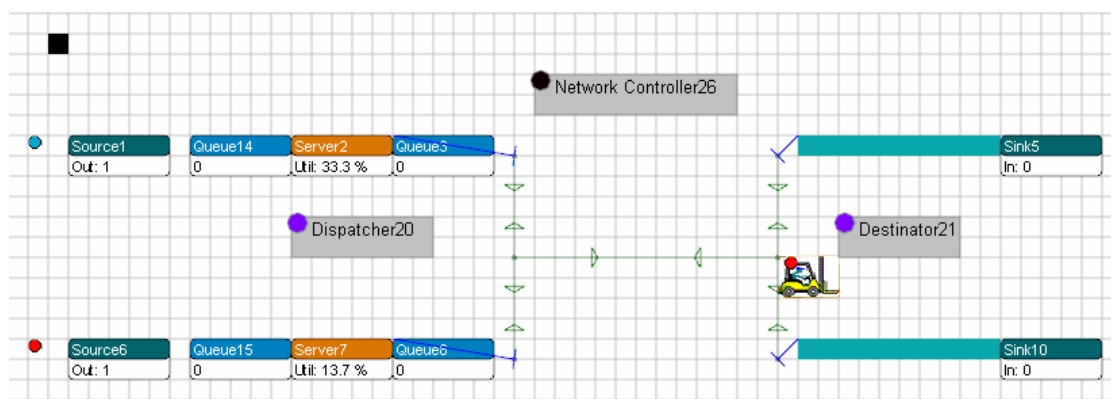
**Slika 20.** Prikaz kanala između atoma



**Slika 21.** Prikaz ulaznih i izlaznih kanala na dva atoma

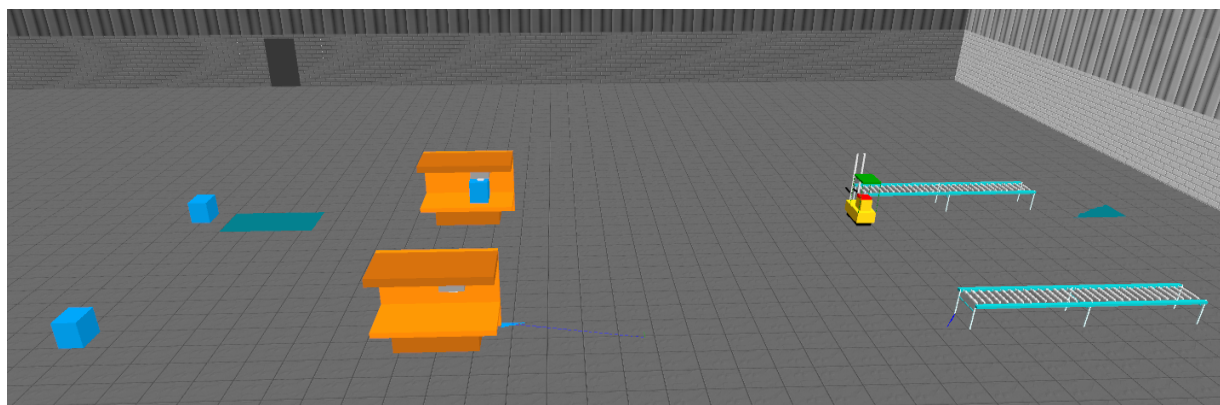
Nakon povezivanja možemo pustiti simulaciju, na kontroloru simulacije (reset- run).

Praćenje simulacije je moguće u 2D i 3D prostoru, koje se prikazane na slikama 22. i 23.



**Slika 22.** Prikaz 2D simulacije





Slika 23. Prikaz 3D simulacije

Rezultati simulacije moguće je vidjeti na nekoliko načina pomoću izvješća ili grafa po pojedinim atomima koje koristimo. U tablici 1. vidljiv je primjer ukupnog izvješća simulacije.

Tablica 1. Izvješće za provedenu simulaciju

## summary report

name	content		throughput		staytime average
	current	average	input	output	
Source1	0	0.000	5	5	0.000
Server2	0	0.149	5	5	15.950
Queue3	0	0.372	5	5	39.887
Accumulating Co	0	0.093	5	5	10.000
Sink5	0	0.000	5	0	0.000
Source6	0	0.000	5	5	0.000
Server7	1	0.193	5	4	24.698
Queue8	0	0.177	4	4	23.770
Accumulating Co	0	0.056	3	3	10.000
Sink10	0	0.000	3	0	0.000
Product	0	0.000	0	0	0.000
Product	0	0.000	0	0	0.000
Queue14	0	0.082	5	5	8.760
Queue15	0	0.000	5	5	0.000
Textbox16	0	0.000	0	0	0.000
Advanced Transp	1	0.781	17	8	50.751
Dispatcher20	0	0.202	18	9	12.038
Destinator21	0	0.002	8	8	0.125
Network Node20	0	0.000	0	0	0.000
Network Node21	0	0.000	0	0	0.000
Network Node22	0	0.000	0	0	0.000
Network Node23	0	0.000	0	0	0.000
Network Node24	0	0.000	0	0	0.000
Network Node25	0	0.000	0	0	0.000
Network Control	7	7.000	0	0	0.000

## 4. SIMULACIJSKI MODEL SKLADIŠTA

Značaj i mogućnosti simulacije u modeliranju i simuliranju skladišnih sustava biti će prikazana na primjeru skladišta gotovih proizvoda jednog proizvodnog poduzeća. U nastavku će se prvo prikazati projektirano rješenje skladišta, a nakon toga napravljen je simulacijski model istog skladišta na kojemu su provedene simulacije.

### 4.1. Podaci o projektiranom rješenju

Poduzeće za proizvodnju šećera donijelo je odluku o investiranju u novi skladišno distributivni centar (u daljnjem radu SDC). [3]

SDC ima za svrhu skladištenje proizvoda i pripremu istih za daljnu distribuciju. SDC sadrži skladišni prostor te otpremnu zonu u kojoj se najčešće vrši komisioniranje proizvoda. Nakon više predloženih varijanti mogućeg SDC-a, odabrana je ona sa klasičnim regalnim skladištem. Odabrana varijanta čini najbolji kompromis između uložene investicije i dobivenih karakteristika SDC-a. Uvjeti prema kojima je odabrana određena varijanta regalnog skladišta bili su:

- maksimalna iskoristivost skladišnog prostora (tlocrtna i visinska)
- nesmetan pristup do svakog uskladištenog artikla
- optimalna primjena tehničko-tehnoloških dostignuća s područja logistike
- optimalna informatička podrška
- nadzor i kontrola nad protokom materijala kroz skladište u svakom trenutku
- smanjenje grešaka u poslovanju
- pregled zaliha i prometa u svakom trenutku
- smanjenje troškova skladištenja

Izgled skladišta je prikazan na tlocrtnom crtežu koji se nalazi u prilogu, a izrađen je od strane projektantskog poduzeća.

Dio SDC-a koji je obrađen u ovom radu obuhvaća dolazak paletnih jedinica u skladišni prostor te manipulaciju istim od skladišta do otpremne zone.

Paletne jedinice dolaze u skladište iz proizvodne hale pomoću konvejera na visini od 4,5 metara, nakon toga se spuštaju na željenu visinu pomoću vertikalnog viličara.

Sa vertikalnog viličara paletnu jedinicu (u daljnjem radu PJ) preuzima klasični regalni električni viličar (specifikacije viličara prikazane su u daljnjem dijelu rada). Viličar izuzete PJ transportira na konzolne regale ispred samih skladišnih regala. Konzolni regali su izvedeni na dvije razine, po svakoj razini kapacitet regala je 2 PJ. Odlaganje tih PJ u regale, te kasnije izuzimanje istih iz regala, vrši se sa tri regalna viličara tipa EK12 (specifikacije viličara prikazane su u daljnjem dijelu rada).

Reglano skladište obuhvaća 32 klasična regala, koji su smješteni dvoredno u skladišnom prostoru.

Kapacitet regalnog skladišta je 5527 PJ (traženi min. kapacitet skladišta od strane investitora je 5500). Regali su izvedeni u dvije varijante. Prva varijanta regala ima 35 stupaca dok druga ima 21 stupac, dok je broj redova (razina), jednak svim regalima i iznosi 5.

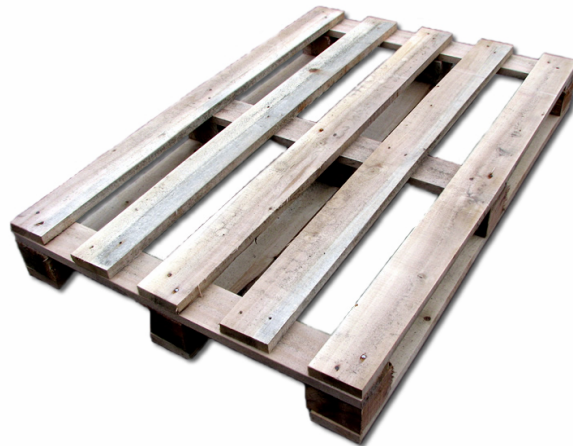
Regali unutar SDC-a su zemljopisno usmjereni JZ-SI, a na takovu usmjerenost utjecalo je više faktora (veličina zemljišne parcele, položaj prometnica prema zemljišnoj parceli, itd...). U samom SDC-u je smještena i otpremna zona sa 4 izlaza, na koje dolaze transportna sredstva za daljnji transport. Na otpremnoj zoni je smješten komiser koji provjerava točnost iskomisionirane narudžbe, te obavlja potrebne aktivnosti pripreme za otpremu.

U natavku rada bit će prikazani i objašnjeni pojmovi koji su važni za razumijevanje ovoga rada.

Proizvod koji se skladišti je šećer, prehrambeni proizvod svakodnevne upotrebe.

Pošto se radi o prehrambenoj industriji, posebnu pažnju treba staviti na rok trajanja proizvoda. Pravilo prema kojemu se iz skladišta izuzimaju PJ sa proizvodima naziva se FIFO. FIFO (eng. First In First Out), prema tome pravilu, PJ koja je prva ušla u skladište mora prva i izaći iz skladišta. Poštivanjem ovog pravila izbjegnuti su eventualni problemi sa rokom trajanja proizvoda.

Kako je osnovni materijal u koji se pakira šećer papir, potrebno je zbog mogućeg oštećenja kod manipulacije viličarima staviti proizvod na paletu. Za odlaganje se koristi standardizirana Euro paleta (800x1200x1300). Euro paleta je prikazana na slici 24.



**Slika 24.** Euro paleta

Viličar koji se koristi za prijevoz paleta sa konvejera na konzolni regal skladišta je standardan čeon električni viličar proizvođača Jungheinrich, model EFG 110. Viličar je prikazan na slici 25.



**Slika 25.** Viličar EFG 110

Viličari koji se koriste za manipulaciju PJ-ma unutar skladišta su visokoregalni elektro viličari s tropoložajnom glavom. Koriste se viličari proizvođača Linde, model EK12, prikazan na slici 26.



**Slika 26.** Viličar proizvođača Linde, tipa EK12

Osnovne karakteristike, viličara EK12 dane su u tablici .

**Tablica 2.** Prikaz karakteristika viličara EK12

<b>visina dizanja</b>	<b><math>h_3</math></b>	<b>8475 mm</b>
centar opterećenja	<b>c</b>	<b>600 mm</b>
slobodni hod		<b>1765 mm</b>
<b>nosivost na max visini</b>	<b><math>Q_{max}</math></b>	<b>1200 kg</b>
brzina dizanja sa / bez tereta		0,33/0,4 m/s
brzina kretanja sa / bez tereta		9/9 m/s
savladavanje uspona sa / bez tereta	(period 30min)	0.3/0.7 %
<b>potrebni radni hodnik</b>	<b><math>A_{st}</math></b>	<b>min.1690 mm</b>
dimenzije vilica	<b><math>l/s/e</math></b>	1200 x 100 x 50 mm
širina viličara	<b><math>B_1</math></b>	1600 mm
dužina viličara	<b><math>L_1</math></b>	3460 mm
pogonski kotač 152 mm		Ø 360 x
noseći kotač 135 mm		Ø 343 x

Kod odabira viličara najvažnije karakteristike su bile maksimalna visina dizanja tereta te maksimalna nosivost.

Skladišni prostor koji je predmetom ovog rada zamišljen je kao mjesto za odlaganje tri vrste pakiranja proizvoda.

Pakiranje šećera od 1kg, od 50 kg, te velikih vreća od 1200 kg (tzv."Big bag"). Dok se pakiranja od 1 kg i 50 kg slažu na palete, "Big bag" nije paletiziran i odprema se direktno na otpremnu zonu, bez zadržavanja u regalima, te se podno skladišti. Potrebe za takvom vrstom proizvoda na tržištu se rijetke, tako da nije potrebno osigurati poseban prostor u skladištu za tu vrstu artikla.

Trenutna frekvencija na ulazu i izlazu skladišta je max 60 paleta/dan. Tri viličara koja su trenutno zamišljena za rad unutar regalnog skladišta takvu frekvenciju mogu odraditi bez zastoja ili zagušenja. Sam broj viličara nije optimalan, ali kako je od strane investitora dobivena informacija da će se jednog dana povećati proizvodnja, a s time i frekvencija u skladištu, tri su vilčara predviđena za takvo skladište.

Nakon dolaska PJ na konzolne regale tropoložajni viličari preuzimaju iste te ih prema nalogu iz WMS-a transportiraju na određenu lokaciju.

„*Warehouse Management System*“ ili skraćeno *WMS* je informatički sustav za podršku skladišnom poslovanju. Skladište opremljeno ovakvim sustavom posjeduje točno definirane radne postupke vođene i upravljane kroz automatizirane procese informatičkog sustava.

Nakon što PJ dođu u regalno skladište, iskladištenje inicira informatički sustav kod kojeg je zaprimljena narudžba. Regalni viličari dobivaju na RF terminal lokaciju u skladištu, te kreću u izuzimanje palete. Viličari dovoze palete na otpremnu zonu, te ovisno o narudžbi komisioner cijelu ili dio palete šalje na određeni izlazni terminal na neko transportno sredstvo.

Skladišni regali kakvi se koriste u SDC prikazani su na slici 27.



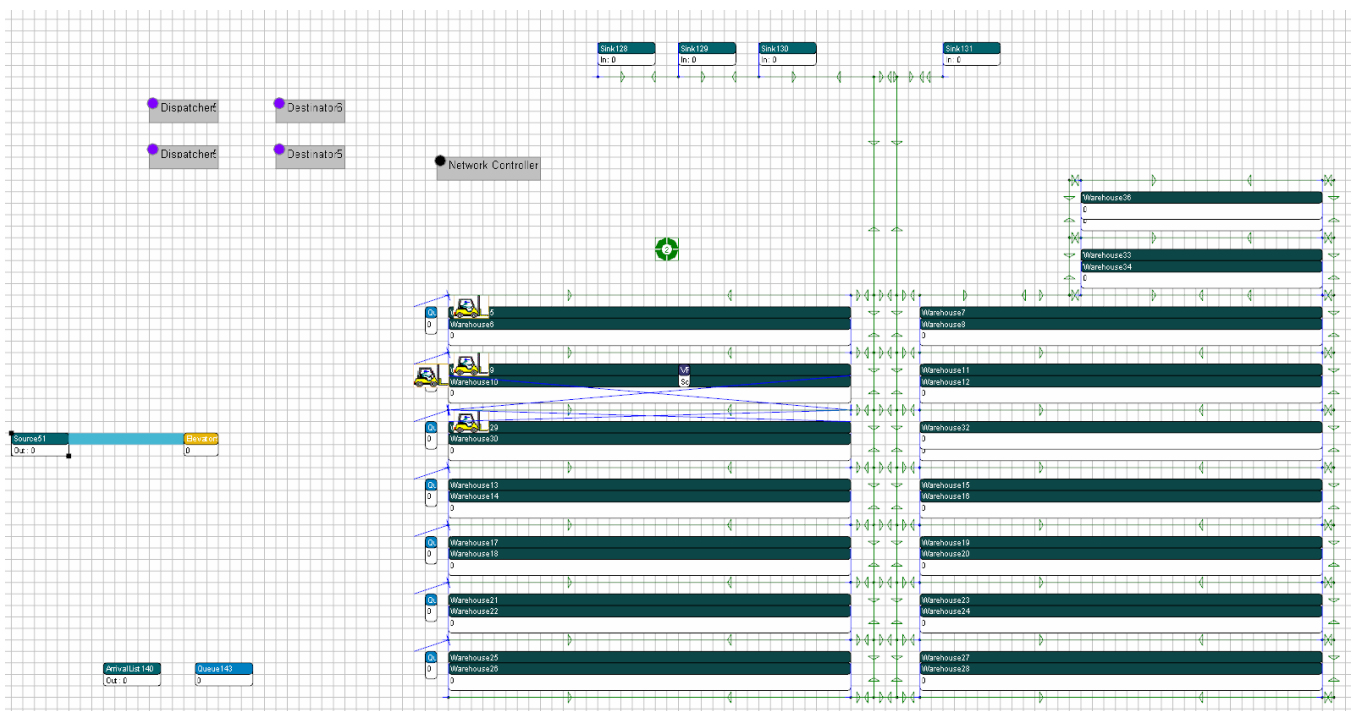
**Slika 27.** Paletna regalna konstrukcija

Regali koji se koriste u skladištu sastoje se od stranica (vertikalnih nosača) koji su međusobno povezani horizontalnim prečkama i dijagonalama. Za sastavljanje regala, također su potrebni osigurači, distantnici, nosači palete te temeljni vijci (ankeri).

## 4.2. Izgradnja simulacijskog modela

Kako su u predhodnom dijelu rada prikazani najvažniji podaci o skladištu iz projektiranog rješenja, u nastavku rada pristupit će se prikazu izgradnje simulacijskog modela u simulacijskom paketu Taylor ED 2000.

Simulacijski model Taylor ED 2000 sa svojim osnovnim karakteristikama je prikazan u prvom djelu rada, dok će se u nastavku rada detaljnije objasniti izgradnja modela za simulaciju projektirane varijante skladišta, koja je na slikama 28. i 29. i prikazana u 2D i 3D varijanti.

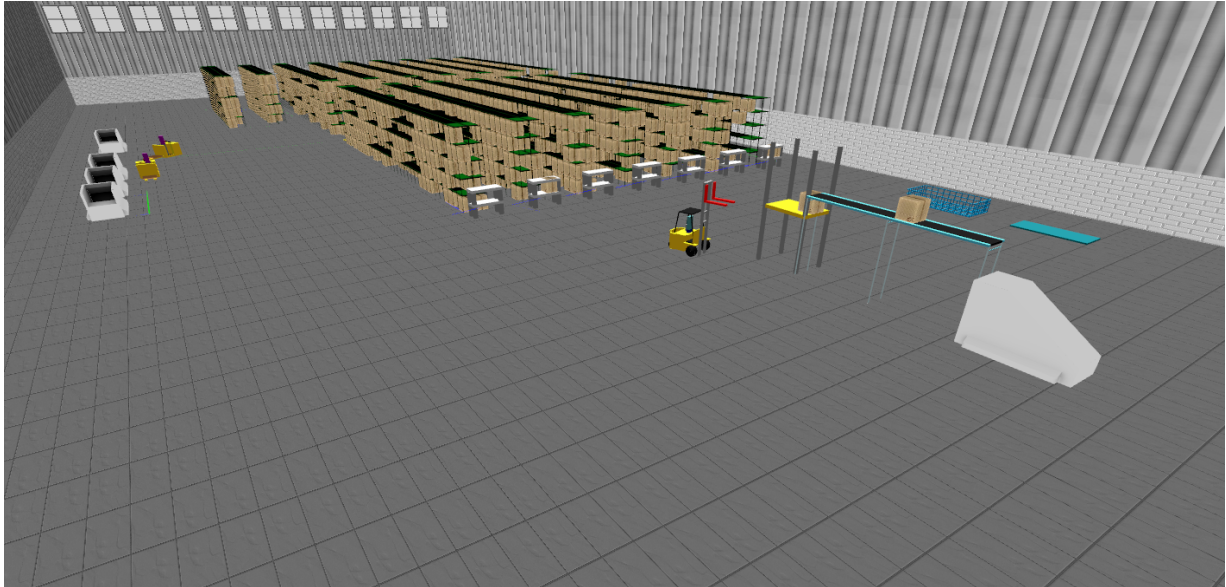


Slika 28. 2D prikaz modela skladišta

U simulaciji je iskorišteno oko 150, što jednakih što različitih atoma.

Atomi će biti nabrojani po redu kako se pojavljuju u simulaciji SDC-a: proizvod("Product"), izvor("Source"), konvejer("Non Acumulating Conveyor"), vertikalni transporter("Elevator"), dostavni viličar("Advanced Transporter"), konzolni regali("Queue"), skladišni regali("Warehouse"), transportni čvorovi("Node"), izlazni kanali iz skladišta("Sink"). Nabrojani atomi sami po sebi ne mogu simulirati rad skladišta, potreban je niz tzv. pomoćnih atoma koji se u 3D prezentaciji simulacije ne vide, ali su itekako potrebni. Pomoćni atomi su nabrojani abecednim redom: *Arrival List*, *Destinator*, *Dispatcher*, *Network Controller*, *Node Manipulator* i *VR Building*.





**Slika 29.** 3D prikaz modela skladišta

U daljnjem dijelu rada objašnjeni su izrazi usko povezani sa simulacijskim paketom zbog lakšeg razumijevanja simulacije, a time i diplomskog rada.

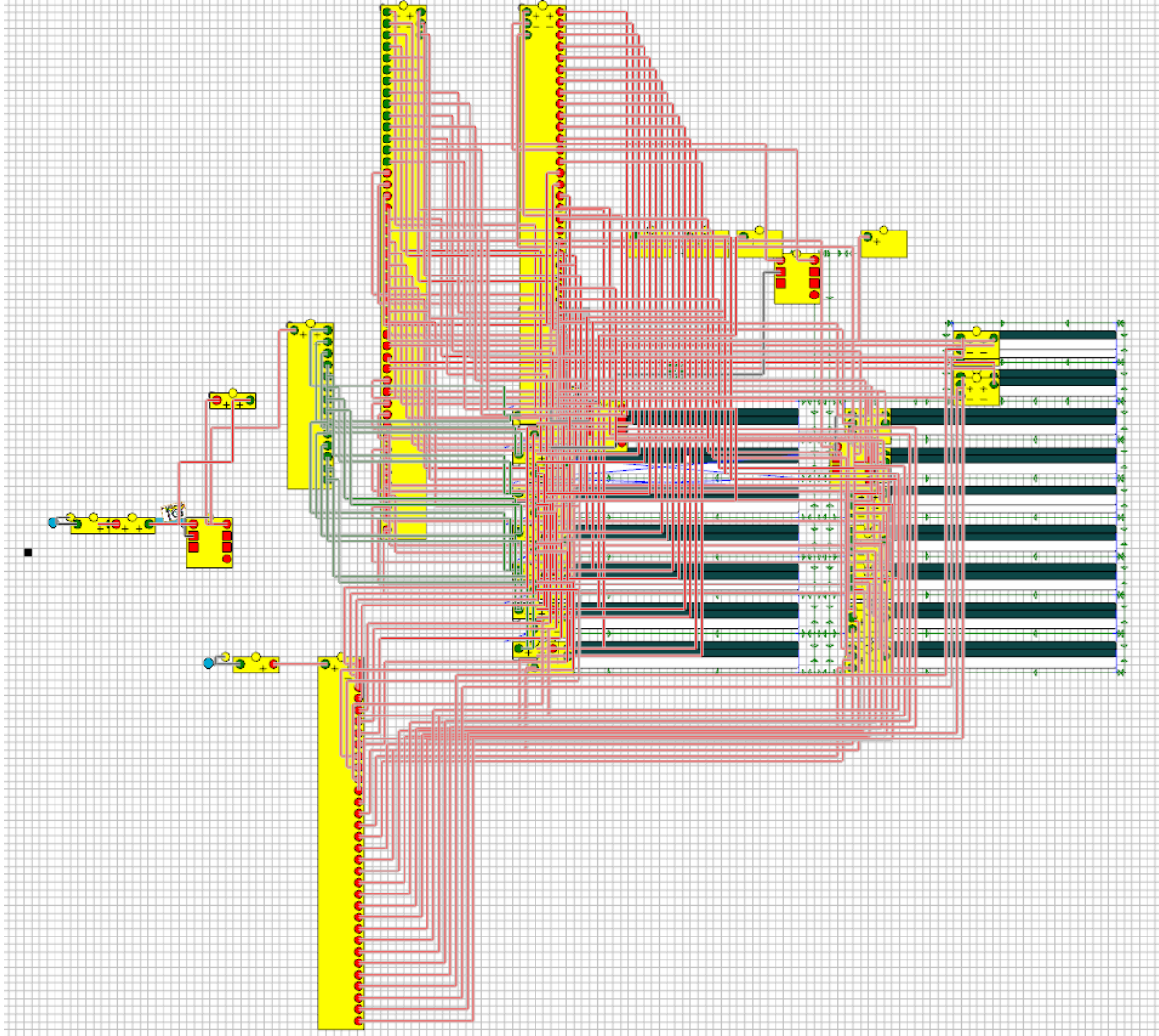
Izraz atom odnosi se na svaki objekt korišten u simulacijakom paketu, atomi se grupiraju prema primjeni te prema svojim međusobnim sličnostima. S obzirom na grupe imamo više takvih grupa, grupa atoma za transport, skladištenje, konvejeri, protok proizvoda, za prikaz rezultata itd.

Atomi sami po sebi ne funkcioniraju sve dok korisnik simulacijskog paketa ne uspostvi korelaciju između postavljenih atoma. Ta korelacija se uspostavlja pomoću veza tzv. kanala ("Channels"). Ovisno od atoma do atoma, atom može imati od 1 do 255 ulaznih i izlaznih kanala. Atomi se povezuju da bi se dobila smisljena logistička cjelina, koja na kraju prikazuje traženi model. U konkretnoj simulaciji SDC-a korišteno je nekoliko stotina veza. Korišteni atomi povezani kanalima prikazani su na slici 30.

Sljedeći izraz koji je vrlo važan kod atoma je definiranje labela. Labele su oznake koje dodijelimo proizvodu, te prema toj oznaci manipuliramo proizvodom u nekom dijelu simulacije. Atomi sami po sebi već imaju definirane neke labele, no da bi simulacija što točnije i preciznije prikazala stvarni problem potrebno je definirati i neke specifične labele na pojedinim atomima. U daljnjem radu labele će biti prikazane i objašnjene po atomima, te će se bolje shvatiti njihova funkcija i važnost.

Mnoge labele su definirane u samom simulacijskom paketu, no neke je potrebno definirati pisanjem koda za specifičnu situaciju problema.

Kod se upisuje u 4Dscrip programskom jeziku. Programski jezik 4Dscrip koristi većinu naredbi i funkcija iz osnovnih programskih jezika(*do, set, if, else,...*).



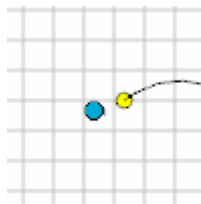
**Slika 30.** Prikaz kanala između atoma

#### 4.2.1. Detaljna razrada korištenih atoma u simulacijskom modelu

U predhodnim poglavljima bili su prikazani atomi koji se koriste u simulaciji, u nastavku će biti razrađen svaki pojedini atom, sa pripadajućim labelama i programskim kodom.

##### Atom *Product*-proizvod

Atom koji u prikazanoj simulaciji predstavlja naš proizvod, u konkretnom problemu to je paleta sa šećerom.

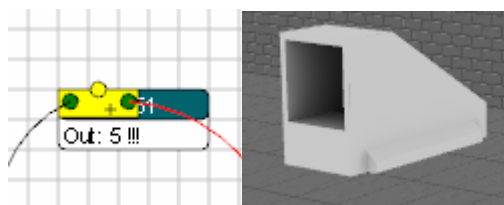


**Slika 31.** 2D prikaz atoma

Kao što je vidljivo iz 2D prikaza ima samo jedan izlazni kanal, spaja se na atome koji generiraju proizvode, najčešće je to atom *Source*-izvor. Na tom atomu može definirati naziv proizvoda, vanjske dimenzije našeg proizvoda, te njegov izgled u 3D prikazu (*Visualization*).

##### Atom *Source*-izvor

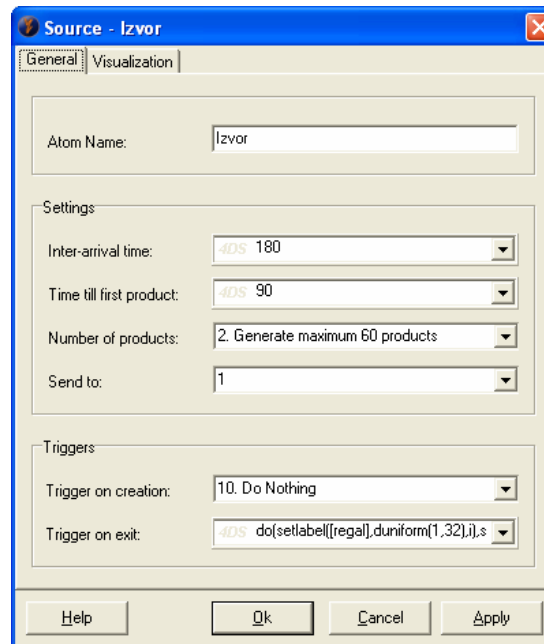
Jedan od najvažnijih atoma simulacijskog paketa Taylor ED. Atom kojim započinje većina simulacija, atom koji u logističkom lancu generira proizvode.



**Slika 32.** 2D i 3D prikaz atoma *Source*

Na samom atomu moguće je definirati više opcija i funkcija. Kao što su naziv atoma, vrijeme između generiranja dva proizvoda u lanac, vrijeme do izlaska prvog proizvoda iz izvora, broj proizvoda, te na koji se izlazni kanal šalju proizvodi.

Atom može imati više izlaznih kanala (max 255), dok je ulazni kanal samo jedan. Na slici 33. je prikazan prozor za unos parametara atoma.



**Slika 33.** Unos opcija na atomu *Source-izvor*

Kao što je vidljivo sa predhodne slike, vrijeme između dva proizvoda je 90 s, dok je vrijeme do izlaska prvog proizvoda 180 s. Kako je zadano od strane investitora trenutno ulazi max 60 paleta dnevno u SDC. Izlazni kanal je samo jedan, te se svi atomi šalju na taj kanal. Na donjoj strani slike 33. vidljive su opcije *Triggers*. Opcije koje na proizvod stavljaju neku od labela(oznaka). U prikazanoj simulaciji u trenutku stvaranja proizvoda (*Trigger on creation*) nema stavljenе oznake.

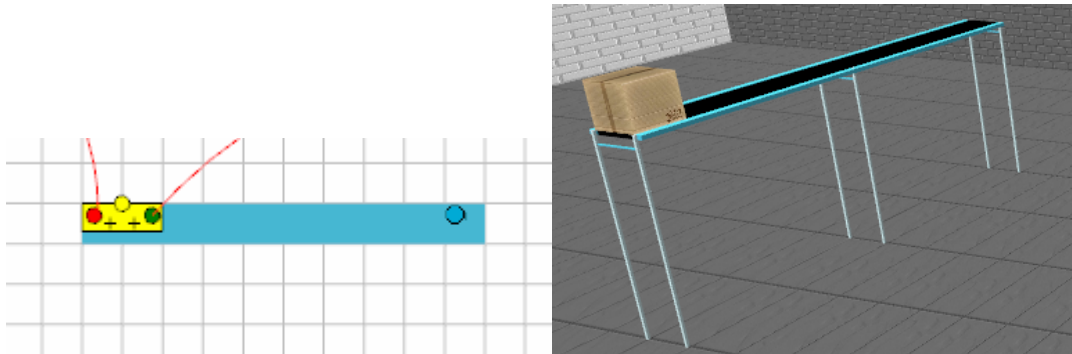
Naredba upisana na izlazu sa atoma *Source-izvor*:

```
do(setlabel([regal],duniform(1,32),i),setlabel([row],duniform(1,5),i))
```

U trenutku izlaza sa atoma *Source-izvor*, na proizvod se stavlja oznaka koja proizvod smješta slučajnim rasporedom u 1 od 32 regala, također je definiran slučajni raspored proizvoda po labeli red (*row*) u regalu, jer svaki regal ima 5 redova (razina).

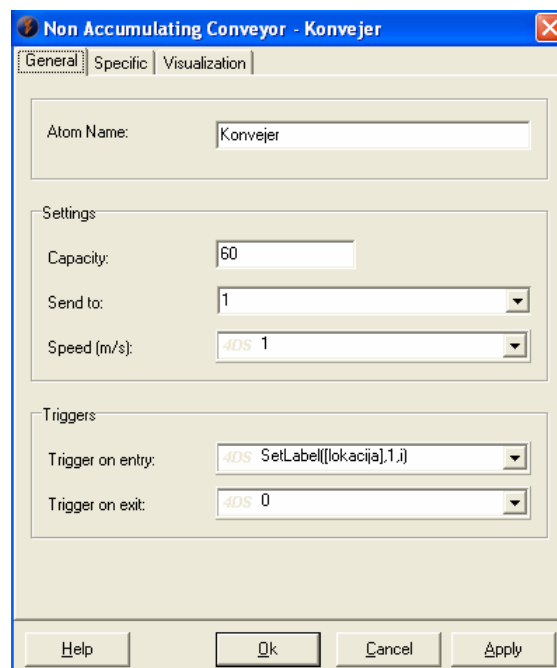
Na opciji *Visualization*, definiramo 3D izgled atoma.

## Atom Non Accumulating Conveyor-konvejer



**Slika 34.** 2D i 3D prikaz atoma *Non Accumulating Conveyor*-konvejer

Atom koji predstavlja jedan od načina neprekidnog transporta u procesima. Kako tip i opcije konvejera nisu definirani od strane investitora opcije konvejera ostaju jedanke početnim postavkama simulcijskog paketa, samo se mijenja visina konvejera, jer je poznato da proizvodi ulaze u SDC na visini od 4,5 m. Ulazni kanal mu je spojen na atom *Source*-izvor, dok mu je izlazni kanal spojen na atom *Elevator*-vertikalni transporter. Slika 35. prikazuje prozor za unos parametara na atomu konvejer.

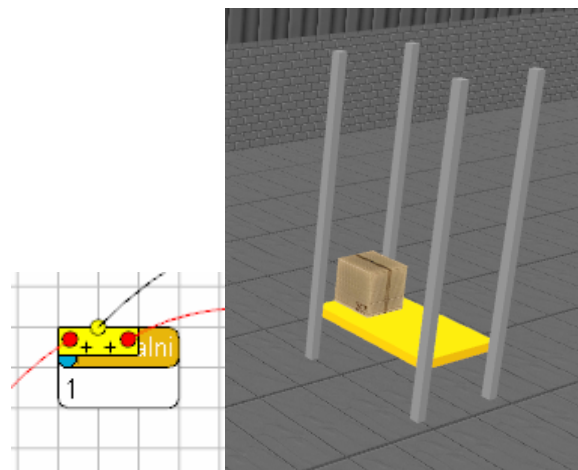


**Slika 35.** Unos opcija na atomu konvejer

*SetLabel([lokacija],1,i)*

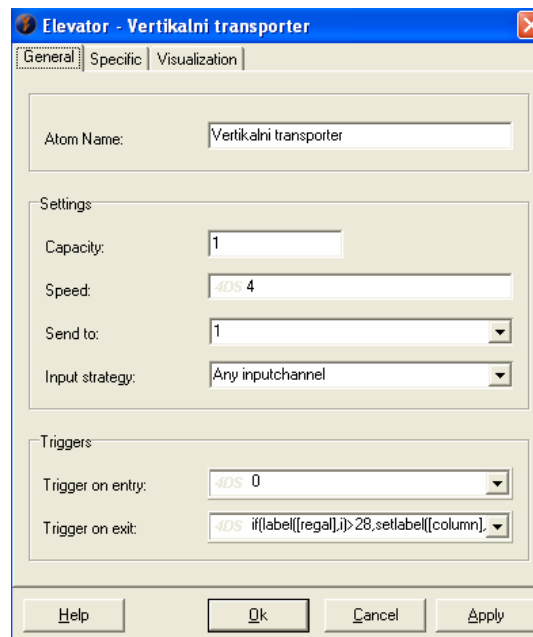
Na ulazu prikazanog atoma na proizvod se stavlja oznaka(labela) lokacija, sa vrijednosti 1. Ova oznaka nam je potrebna za kasniji dio simulacije kod skladištenja u regal.

Atom Elevator-vertikalni transporter



**Slika 36.** 2D i 3D prikaz atoma Elevator-vertikalni transporter

Atom koji u simulaciji služi za spuštanje proizvoda sa visine od 4,5 m na visinu s koje taj proizvod može biti izuzet sa viličarem. Atom može imati više ulaznih i izlaznih kanala, u konkretnom primjeru ima samo jedan ulazni i jedan izlazni kanal. Ulaz mu je spojen na atom konvejer, dok mu je izlaz spojen na atom *Dispatcher*-upravljački atom viličara. Slika 37. prikazuje prozor za unos parametara na atomu elevator.



**Slika 37.** Unos opcija za atomu Elevator-vertikalni transporter

Osnovne opcije ostaju ne promijenjene (brzina, ubrzanje,...) jer nam nisu poznate, podešena je tek visina podizanja-spuštanja 6 m (ona mora biti veća ili jednaka 4,5 m). Na izlazu sa atoma Elevator, proizvod dobiva oznaku koja je opisana kodom:

$$\begin{aligned} & \text{if}(\text{label}([\text{regal}],i) > 28, \text{setlabel}([\text{column}], \text{duniform}(1,21),i), \\ & \text{setlabel}([\text{column}], \text{duniform}(1,35),i)) \end{aligned}$$

Kako nam regali SDC-a, zbog prostorne ograničenosti, nisu jedanki po broju stupaca, 28 regala ima 35 stupaca, a 4 imaju 21 stupac. Kodom upisanim na izlazu sa atoma dobivamo slučajni raspored proizvoda s obzirom na labelu stupac (*column*), prema labeli *regal*.

### Atom *Dispatcher*-upravljački atom viličara

Atom koji nije vidljiv u 3D prikazu, služi za upravljanje viličarom. Na njemu je moguće definirati način sortiranja i kanal na koji se šalju proizvodi.

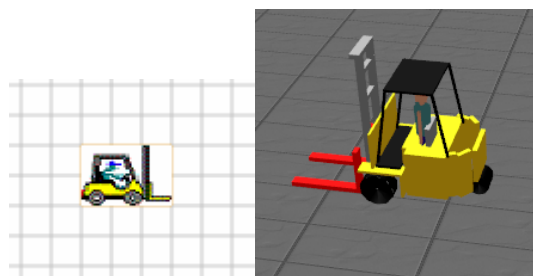


**Slika 38.** Unos opcija na atomu *Dispatcher*

Kao što je vidljivo sa slike, atom šalje proizvode na određeni kanal, u ovom slučaju je to jedini kanal. Dolazne proizvode sortira po FIFO načelu.

### Atom *Advanced transporter*-dostavni viličar

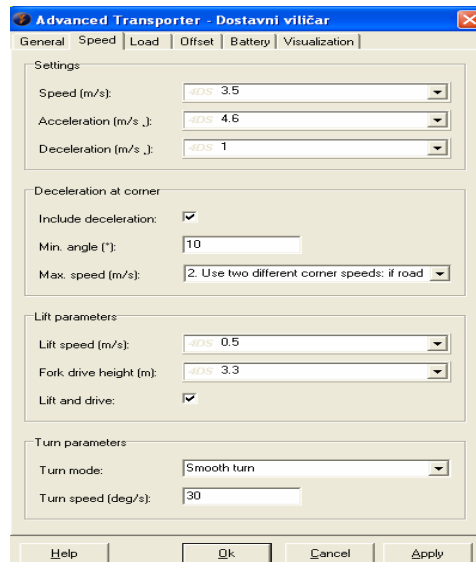
Dostavni viličar u simulaciju služi za transport proizvoda sa vertikalnog transportera do konazalnih regala koji su smješteni ispred skladišnih regala.



**Slika 39.** 2D i 3D prikaz atoma dostavnog viličara

Viličar ima jedan ulazni kanal, koji je uvijek spojen na *Dispatcher*, te jedan izlazni kanal koji je uvijek spojen na *Destinator*. Za dostavu se koristi viličar tipa Jungheinrich EFG 110. Kako je poznata većina karakteristika viličara, one su upisane u opcijama viličara u simulaciji.





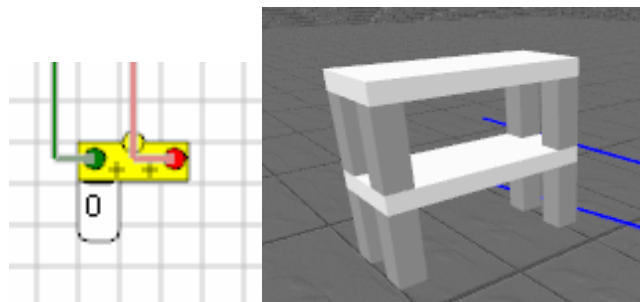
**Slika 40.** Unos opcija na atomu dostavnog viličara

Od ostalih opcija koje nisu vidljive na slici, valja spomenuti da je prosječno vrijeme utovara i istovara palete 15 s. Viličar izuzete palete sa vertikalnog transportera transportira na slobodne lokacije konzolnih regala po slučajnom rasporedu.

Viličar je povezan sa konzolnim regalima preko atoma *Destinator*, koji određuje lokaciju preko svojih izlaznih kanala.

#### Atom *Queue*-konzolni regali

Funkcija konzolnih regala je da prihvate proizvod sa viličara, te ga šalju u određeni regal preko regalih viličara.

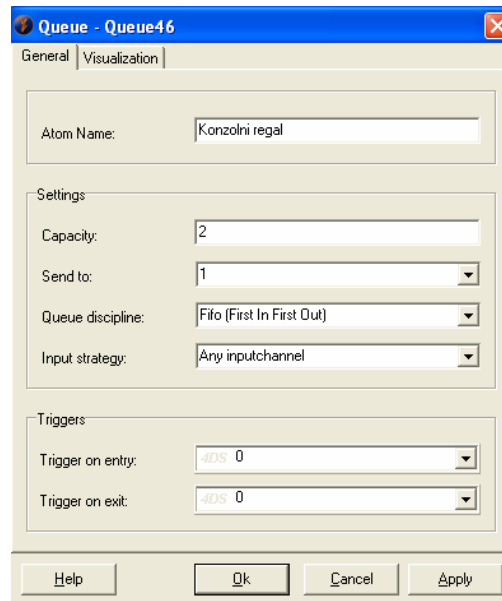


**Slika 41.** 2D i 3D prikaz atoma *Queue*-konzolni regali

Ispred svakog skladišnog regala nalazi se konzolni regal. Konzolni regali su izvedeni sa dva reda, sa kapacitetom od 2 PJ u svakom redu.

Opcije koje je moguće podesiti na atomu su: kapacitet, način izuzimanja sa atoma, način pristizanja proizvoda na atom te zadavanje oznaka proizvodima na ulazu i

izlazu atoma. Slika 42. prikazuje prozor za unos parametara na atomu konzolnog regala.



**Slika 42.** Unos opcija na atomu *Queue*-konzolni regal

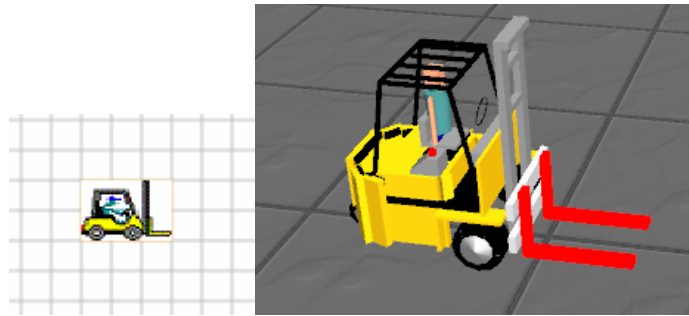
Svaki konzolni regal je spojen sa *Dispatcherom* regalnih viličara, koji poziva određeni viličar da izuzme proizvod. Atom može imati više ulaznih i više izlaznih kanala.

#### *Atomi Dispatcher, Advanced Transporter, Destinator*-regalni viličari

Regalni viličar ima dvije funkcije preuzimanje proizvoda sa konzolnih regala te smještanje istih u skladišne regale, također imaju funkciju izuzimanja proizvoda iz skladišnih regala i transport istih do jednog od 4 izlaza otpremne zone.

Regalni viličari su povezani u informacijski sustav preko RF veze, preko te veze javlja se vozaču viličara točna lokacija na kojoj treba izuzeti proizvod.

U skladištu su tri jednaka viličara koji su spojeni na jedan *Dispatcher*, koji poziva slobodni viličar po potrebi. *Dispatcher* ima 46 ulaznih kanala (spojen je na konzolne regale te na svaki skladišni regal). Na izlazu ima tri kanala, prema svakom viličaru po jedan. *Destinator* ima 3 ulazna kanala sa svakog viličara, te 36 izlaznih kanala prema svakom skladišnom regalu te prema 4 ulazna kanala otpremne zone.



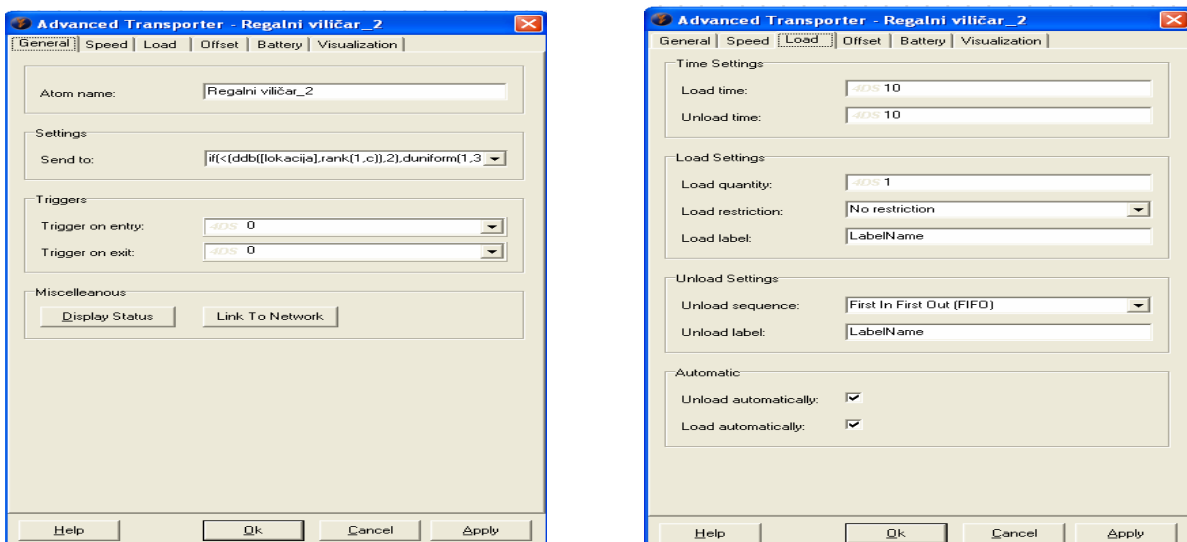
Slika 43. 2D i 3D prikaz regalnog viličara

Jedan od najvažnijih opcija na atomu *Advanced Transporter* je grupiranje izuzetih proizvoda prema labeli *lokacija*.

$$if(<(ddb([lokacija],rank(1,c)),2),duniform(1,32),duniform(33,36))$$

Prema ovom kodu kad regalni viličar izuzme proizvod, očita oznaku(labelu) na njemu, te prema njoj izuzeti proizvod dostavlja na određenu lokaciju. Vrijednost oznake(labela) 1, nedvosmisleno mu govori da zaprimljeni proizvod šalje u skladišne regale, a ako je vrijednost oznake 2 šalje proizvod prema otpremnoj zoni.

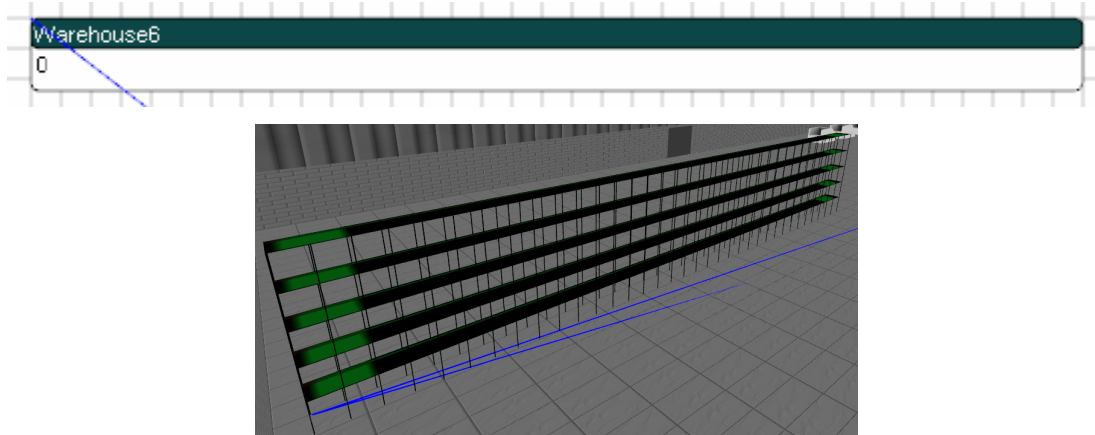
Viličari koji se koriste kao regalni viličari su tipa EK12. Opcije koje su podešene na viličarima su: brzina kretanja viličara sa/bez tereta(9 m/s), brzina dizanja vilica viličara(0,4 m/s), maksimalna visina na koju može podići maksimalnu masu tereta(8475 mm). Vrijeme izuzimanja i istovara paleta je u prosjeku oko 10 s.



Slika 44. Unos parametara na atomu regalnog viličara

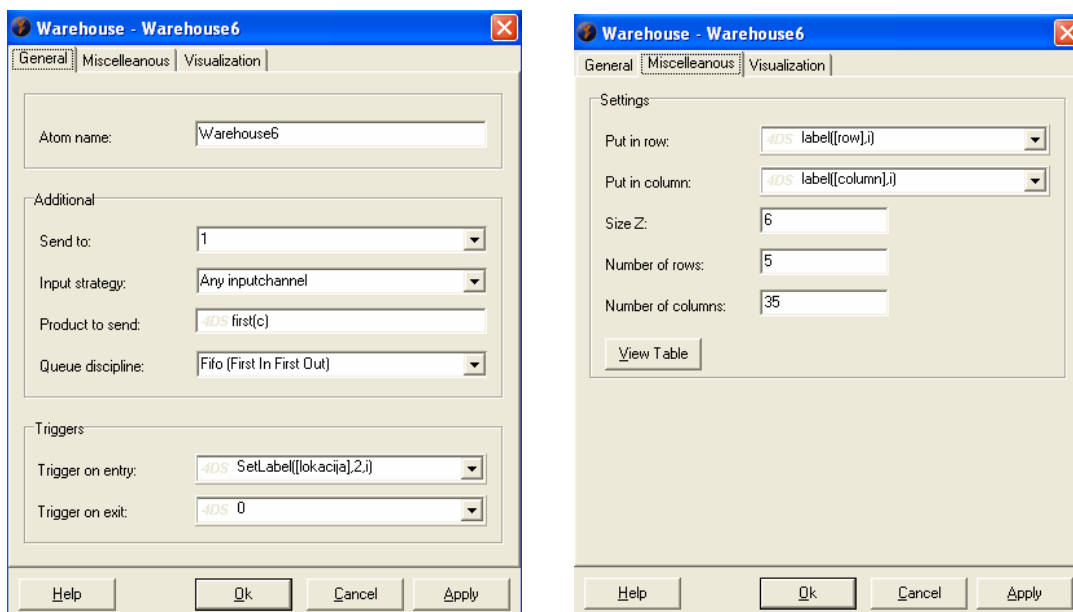
Atom *Warehouse*-skladišni regal

Atom koji predstavlja mjesto za odlaganje proizvoda, te su u simulaciji korištena 32 atoma tipa *Warehouse*.



**Slika 45.** 2D i 3D prikaz atoma *Warehouse*-skladišni regal

Atom *Warehouse* su stvarna preslika skladišnih regala, sa točnim brojem stupaca i redova. Ulazni kanali skladišnog regala su spojeni na atom *Destinator* regalnih viličara, također i na atom *Queue* koji preko atoma *Arrival list* inicira početno punjenje skladišta. Izlazni kanal je spojen na atom *Dispatcher* preko kojeg se vrši pražnjenje regala pomoću regalnih viličara. Izuzimanje proizvoda iz regala se vrši po FIFO (First In First Out) načelu. Slika 46. prikazuje prozor za unos parametara na atomima skladišnih regala.



**Slika 46.** Unos parametara na atomu *Warehouse*

Jedno od najvažnijih opcija na ovom atomu je da se na ulazu na ovaj atom proizvodu promijeni oznaka(labela) *lokacija* iz vrijednosti 1 u 2. Važnost ove promjene je u tome da ne dolazi do eventualne pogreške kod viličara, jer bi sa istom vrijednošću dolazilo do kružnog preslagivanja proizvoda.

### Atom *Sink*

Atom u simulaciji služi kao prikaz otpremne zone sa 4 izlaza iz SDC-a.

Na ulazne kanale je spojen sa *Destinatorom* regalnih viličara, koji transportiraju proizvod iz regala do otpremne zone.



Slika 47. 2D i 3D prikaz atoma *Sink*

### Atom *Arrival List*

Atom koji nam služi za početno punjenje skladišta proizvodom. Izlaznim kanalom je spojen na *Queue* koji prikuplja proizvode i šalje u regale.

Na atomu *Arrival List* je podešeno da se proizvodi šalju slučajnim rasporedom na 32 regala, isti tako slučajnim rasporedom u redove tih regala. To se postiže upisivanjem sljedećeg koda na *Trigger on exit*:

```
do(setlabel([regal],duniform(1,32),i),setlabel([row],duniform(1,5),i))
```

S obzirom na broj regala, proizvodi se slučajnim rasporedom šalju po stupcima skladišnih regala. Takav raspored proizvoda se postiže sljedećim kodom koji je upisan na *Trigger in exit* atoma *Queue*:

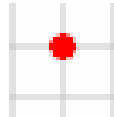
```
if(label([regal],i)>28,setlabel([column],duniform(1,21),i),
setlabel([column],duniform(1,35),i))
```

U samom početku simulacije preko *Arrival Liste* se šalje 2000 proizvoda u skladište.

## Atomi *Node*, *Node Manipulator* i *Network Controller*

### *Node*-točka

Jednostavan atom koji nam omogućuje stvaranje mreže putova unutar skladišnog prostora. Spajanjem dva *Noda* dobivamo put između dvije točke. U opcijama atoma moguće je postaviti kapacitete prema atomima s kojima je izravno spojen.



**Slika 48.** 2D prikaz atoma *Node*

### *Node Manipulator*

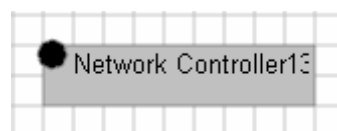
Pomaže nam pri spajanja *Nodeva* međusobno, kao i spajanje *Nodeva* na pojedine atome. Na ovom atomu moguće je podesiti način spajanja, jednosmjerno ili dvosmjerno.



**Slika 49.** 2D prikaz atoma *Node Manipulator*

### *Network Controller*

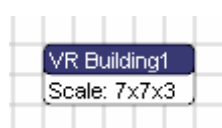
Atom koji nam služi za optimizaciju postavljene mreže, kao i za izvršavanje rada mreže.



**Slika 50.** 2D prikaz atoma *Network Controller*

### *VR Building*

Atom koji nam omogućuje realan prikaz građevine koja je sastavni dio simulacije. Na atomu je moguće mijenjati parametre veličine zgrade, te 3D prikaz zgrade.



**Slika 51.** 2D prikaz atoma *VR Building*

### 4.3. Provedene simulacije skladišnog sustava

Nakon završetka izgradnje modela skladišta, potrebno je provjeriti rad istog kroz simulaciju.

Proizvodno poduzeće koje je investiralo u novo skladište trenutno radi u jednoj smjeni od osam sati.

Sve simulacije koje će se provesti na modelu bit će provedene na vremenskom intervalu od osam sati. Poznati su nam i trenutni protoci na ulazu te izlazu iz skladišta (max 60 paleta/dan). Na samom modelu bit će prikazane četiri simulacije, trenutno stanje skladišta te stanja u kojima bi se moglo naći skladište u budućem poslovanju. Prva simulacija će se provesti na trenutnom modelu skladišta. Druga simulacija će biti provedena na trenutnom stanju protoka, ali uz uvjet da dolazi do kvara jednog od tri regalna viličara.

Kako nam je poznato da će skladište jednog dana trebati odgovoriti na veći protok od trenutnog, treća simulacija simulira problem da se trenutni protok poveća za 100 %.

Četvrta simulacija prikazuje presjek druge i treće simulacije, odnosno kad se jednog dana poveća protok (za 100%), te da dođe do kvara jednog od regalnih viličara.

U simulacijskom paketu Taylor ED 2000 postoji mogućnost prezentiranja rješenja ukupnim izvješćem (*Summary Report*), te raznovrsnim grafovima po pojedinim atomima (histogram, pie chart... ).

U izvješću simulacija naglasak će se staviti na iskoristivost dostavnog i regalnih viličara, te po jedan atom iz grupe atoma (konzolni regal i skladišni regali).

Zbog lakšeg razumijevanja simulacija, grafovi će pored ilustracija biti objašnjeni i riječima.

## 4.3.1. Simulacija trenutnog stanja skladišnog sustava

Kako je rečeno ova simulacija prikazuje trenutno stanje u skladišnom sustavu. Trajanje simulacije je 8 sati. Rezultati su prezentirani ukupnim izvješćem, te grafovima za atome iz svake karakteristične grupe atoma. Ukupno izvješće prikazuje tablica 3.

**Tablica 3.** Ukupno izvješće za 1. simulaciju

### summary report

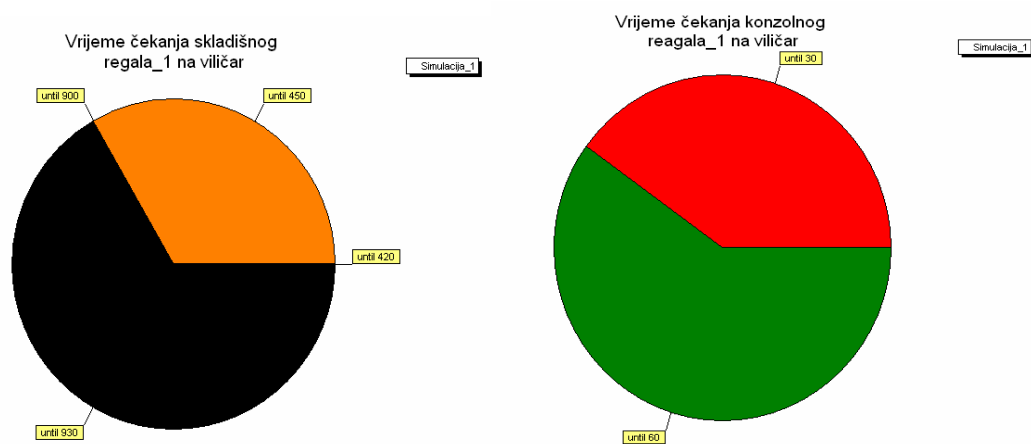
name	content		throughput		staytime
	current	average	input	output	average
Skladišni regal	63	63.009	64	1	273.336
Skladišni regal	59	59.024	64	5	2386.387
Skladišni regal	65	65.032	70	5	3327.044
Skladišni regal	48	48.014	50	2	4096.980
Skladišni regal	68	68.013	70	2	2561.030
Skladišni regal	54	54.015	59	5	4379.337
Skladišni regal	60	60.012	62	2	2900.985
Skladišni regal	47	47.021	50	3	3067.837
Skladišni regal	56	55.643	59	3	1070.186
Skladišni regal	66	66.012	68	2	4333.666
Skladišni regal	53	53.007	56	3	4119.300
Skladišni regal	64	64.020	66	2	956.582
Skladišni regal	60	60.019	61	1	537.710
Skladišni regal	62	62.015	63	1	443.636
Skladišni regal	69	69.006	71	2	3440.631
Skladišni regal	69	69.004	71	2	4401.898
Skladišni regal	68	68.016	72	4	5109.415
Skladišni regal	83	83.020	88	5	5422.643
Skladišni regal	55	55.002	57	2	1851.802
Skladišni regal	69	69.006	70	1	171.544
Skladišni regal	50	50.025	53	3	4360.673
Skladišni regal	54	54.022	56	2	4041.179
Skladišni regal	62	62.014	64	2	2472.792
Skladišni regal	63	63.012	67	4	1295.200
Skladišni regal	60	60.008	64	4	5592.866
Skladišni regal	74	74.016	78	4	6903.440
Skladišni regal	68	68.014	73	5	4624.079
Skladišni regal	64	64.021	65	1	617.062
Skladišni regal	64	64.009	66	2	880.193
Skladišni regal	53	53.036	58	5	6090.145
Skladišni regal	55	55.037	60	5	5191.493
Konzolni regal_0	0	0.005	5	5	30.747
Konzolni regal_0	0	0.006	6	6	28.370
Konzolni regal_0	0	0.003	3	3	27.419
Konzolni regal_0	0	0.005	6	6	25.587
Konzolni regal_0	0	0.003	3	3	26.464
Konzolni regal_0	0	0.005	5	5	30.991
Konzolni regal_0	0	0.005	5	5	28.057
Konzolni regal_0	0	0.004	3	3	40.066
Konzolni regal_0	0	0.003	3	3	25.727
Konzolni regal_0	0	0.007	7	7	29.239
Konzolni regal_0	0	0.003	3	3	30.226
Konzolni regal_0	0	0.003	3	3	27.285
Konzolni regal_0	0	0.002	2	2	27.405
Konzolni regal_0	0	0.006	6	6	30.979
Izvor	0	0.000	60	60	0.000
Konvejer	0	0.049	60	60	23.416
Vertikalni tran	0	0.081	60	60	38.738
Dostavni viličar	0	0.062	120	60	29.732
Dispatcher_dost	0	0.000	120	60	0.000
Destinator_dost	0	0.000	60	60	0.000
Dispatcher_reg_0	0	0.324	303	151	61.884
Regalni viličar	0	0.061	118	59	29.633
Regalni viličar	0	0.022	44	22	28.910
Regalni viličar	0	0.066	140	70	27.082
Destinator_reg_0	0	0.000	151	151	0.000



Kao što je vidljivo u tablici 3., iz izvješća možemo dobiti informacije vezane uz količinu proizvoda na pojedinom atomima (trenutna i prosječna), protok koji se ostvaruje na ulazu u atom te na izlazu iz atoma, te možemo isčitati prosječno vrijeme zadržavanja proizvoda na atomu.

Kao što je vidljivo u skladište je ušlo 60 paleta proizvoda, te je jednak broj paleta i izašao iz skladišta.

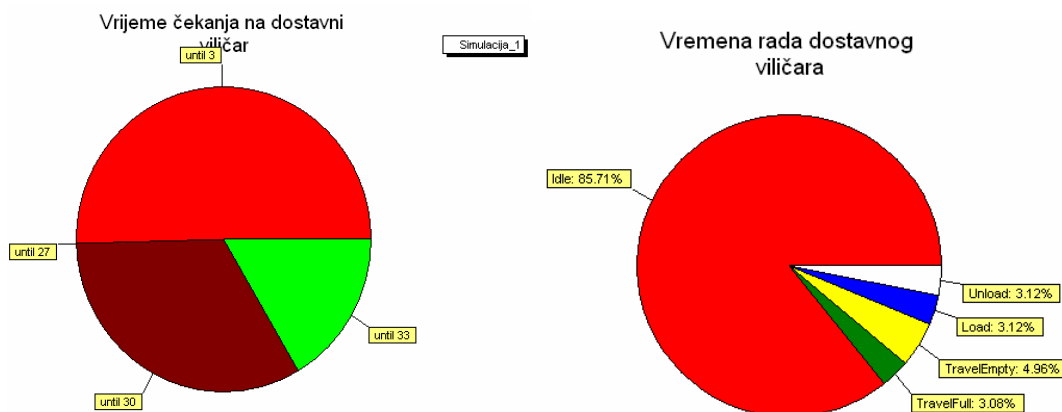
Pravi uvid u iskorištenje opreme daju nam grafovi po pojedinim atomima. Na slikama 52., 53., 54. ilustrirano je iskorištenje viličara (regalnih i dostavnog), te vrijeme odziva viličara prema konzolnom i skladišnom regalu pomoću tortnih dijagrama (pie chart).



**Slika 52.** Vrijeme odziva regalnog viličara prema konzolnom i skladišnom regalu

Na grafovima je vidljivo da viličar brže regaira kad je u pitanju zagušenje konzolnog regala, jer su za prioritetno izuzimanje, na atomu *Dispatcher*, kod regalnih viličara navedeni konzolni regali.

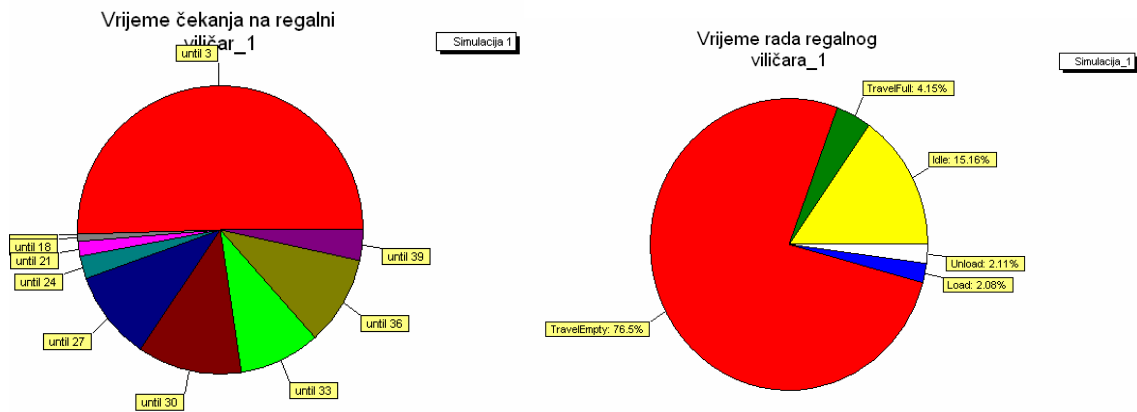
Na slici 53. prikazano je vrijeme rada, te vrijeme čekanja dostavnog viličara za trenutni protok od 60 paleta/dan.



**Slika 53.** Vremena rada i čekanja dostavnog viličara

Na slici 53. (lijevo) je vidljivo da na većinu proizvoda iz proizvodnje dostavni viličar odgovara u vremenu od 3 s. Možemo zaključiti da ne dolazi do zagušenja, odnosno do čekanja dostavnog viličara. Na slici 53. (desno) može se vidjeti da dostavni viličar prema trenutnom protoku 85.71% radnog vremena stoji ne iskorišten, te da efektivno radi samo 14.29%.

U nastavku na slici 54. bit će prikazana vremena čekanja na regalni viličar kao i vremena rada viličara.



**Slika 54.** Vrijeme čekanja i rada regalnog viličara

Kao što je vidljivo sa dijagrama na slici 54. (lijevo) regalni viličar odgovori na većinu unutar 3 s. Razlog tome je što postoje tri regalna viličara. Od ukupnog vremena od osam sati 15.16% vremena viličar je neiskorišten, te se još 76.5% vremena vozi prazan. Razlog velikom vremenu ne iskorištenja je broj viličara (3), te relativno mali protok od 60 paleta/dan.

## 4.3.2. Simulacija stanja skladišta nakon kvara jednog od regalnih viličara

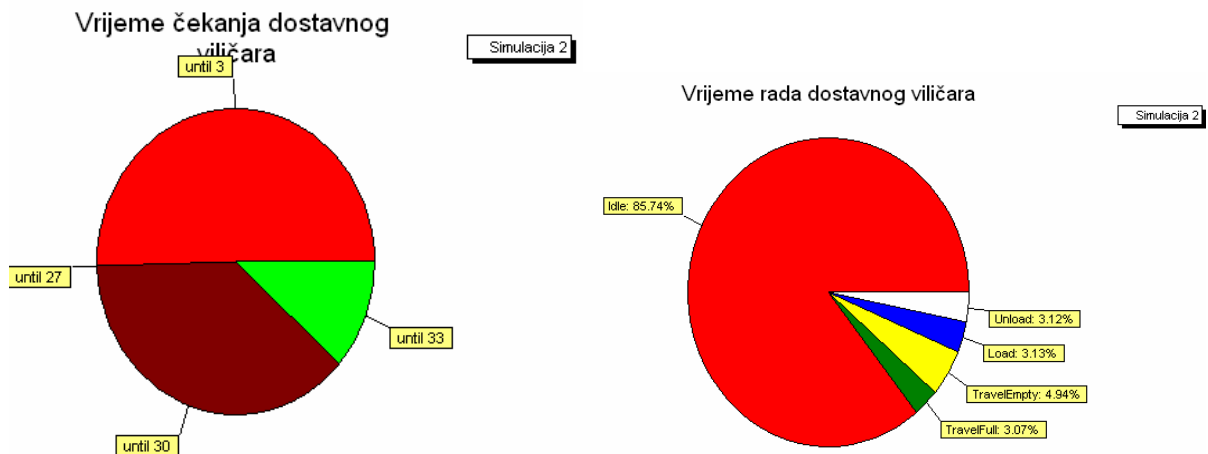
Realna situacija koja bi se pojavila u slučaju kvara jednog od regalnih viličara. Prestankom rada jednog regalnog viličara, povećalo bi se opterećenje na preostala dva viličara. Trajanje simulacije je 8 radnih sati. U tablici 4. prikazano je ukupno izvješće 2. simulacije.

**Tablica 4.** Ukupno izvješće za 2. simulaciju

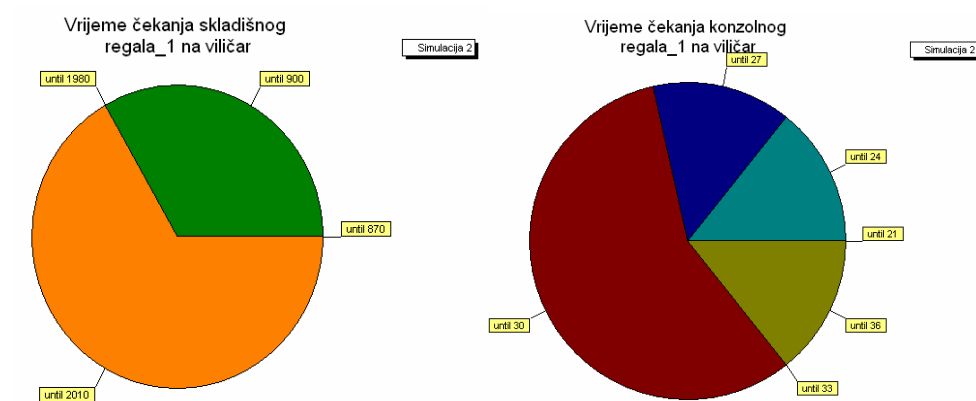
## summary report

name	content		throughput		staytim
	current	average	input	output	average
Skladišni regal	60	60.003	61	1	898.395
Skladišni regal	51	51.037	54	3	3691.176
Skladišni regal	59	59.026	60	1	740.671
Skladišni regal	54	54.006	56	2	1820.089
Skladišni regal	64	64.009	65	1	251.768
Skladišni regal	63	63.005	65	2	4508.957
Skladišni regal	57	57.020	63	6	3350.798
Skladišni regal	57	57.032	63	6	6469.795
Skladišni regal	50	50.036	52	2	5312.151
Skladišni regal	75	75.041	77	2	1610.971
Skladišni regal	57	57.019	59	2	2910.185
Skladišni regal	79	79.020	82	3	2385.464
Skladišni regal	62	62.006	64	2	2006.396
Skladišni regal	58	58.034	62	4	5321.538
Skladišni regal	55	55.007	57	2	3911.570
Skladišni regal	61	61.034	66	5	4054.458
Skladišni regal	44	44.027	46	2	3474.661
Skladišni regal	89	89.025	91	2	3715.362
Skladišni regal	59	59.011	61	2	1617.756
Skladišni regal	57	57.017	61	4	4103.097
Skladišni regal	62	62.035	65	3	5229.152
Skladišni regal	56	56.017	58	2	3964.993
Skladišni regal	61	61.012	63	2	4702.122
Skladišni regal	74	74.017	77	3	3383.356
Skladišni regal	63	63.010	68	5	5875.076
Skladišni regal	61	61.004	63	2	1613.090
Skladišni regal	63	63.029	68	5	6262.833
Skladišni regal	67	67.016	69	2	731.862
Skladišni regal	64	64.013	67	3	5323.619
Skladišni regal	59	59.007	60	1	188.001
Skladišni regal	62	62.043	65	3	4535.198
Konzolni regal_0	0	0.003	3	3	28.563
Konzolni regal_0	0	0.002	2	2	27.388
Konzolni regal_0	0	0.005	5	5	27.866
Konzolni regal_0	0	0.003	2	2	41.600
Konzolni regal_0	0	0.006	6	6	26.845
Konzolni regal_0	0	0.003	3	3	28.975
Konzolni regal_0	0	0.005	4	4	37.249
Konzolni regal_0	0	0.001	1	1	33.277
Konzolni regal_0	0	0.006	6	6	28.699
Konzolni regal_0	0	0.005	5	5	27.990
Konzolni regal_0	0	0.007	8	8	26.698
Konzolni regal_0	0	0.005	6	6	25.812
Konzolni regal_0	0	0.007	6	6	32.046
Konzolni regal_0	0	0.003	3	3	26.881
Izvor	0	0.000	60	60	0.000
Konvejer	0	0.049	60	60	23.416
Vertikalni tran	0	0.081	60	60	38.742
Dostavni viliča	0	0.062	120	60	29.734
Dispatcher_dost	0	0.000	120	60	0.000
Destinator_dost	0	0.000	60	60	0.000
Dispatcher_reg_0	0	0.557	298	149	107.606
Regalni viličar	0	0.066	128	64	29.873
Regalni viličar	0	0.080	170	85	26.991
Destinator_reg_0	0	0.000	149	149	0.000

U tablici 4. je vidljivo da u skladištu rade 2 regalna viličara. Kako je u predhodnoj simulaciji navedeno također su vidljivi i ulazni i izlazni protoci po pojedinim atomima. Broja paleta s proizvodima koje ulaze u skladište je 60. Kako je ulazni protok ostao jednak onom u prošloj simulaciji, vremena čekanja i vremena rada dostavnog viličara bit će jednaka kao i u 1. simulaciji, te su ilustrirani na slici 55.

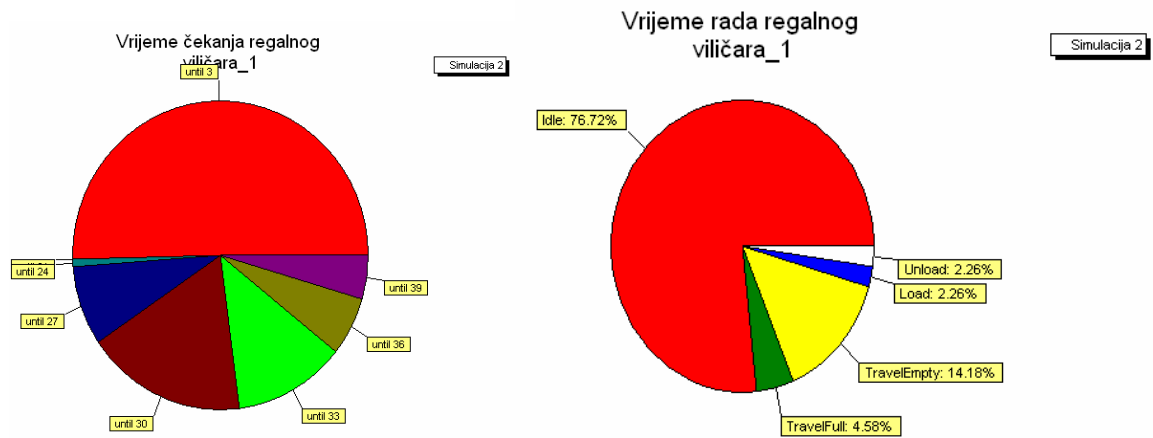


Slika 55. Vremena čekanja i rada dostavnog viličara



Slika 56. Vrijeme odziva regalnog viličara prema konzolnom i skladišnom regalu

U provedenoj simulaciji vidljivo je da su regalni viličari pod većim opterećenjem nego u 1. simulaciji. Iako je opterećenje viličara veće, regalni viličari uspijevaju na većinu poziva za izuzimanjem odgovoriti unutar 3 s.



Slika 57. Vremena čekanja i rada regalnog viličara

Na slici 57. vidljivo je da se vremena čekanja i rada regalnog viličara nisu povećana, razlog tome je protok koji je ostao isti (60 paleta/dan).

## 4.3.3. Simulacija skladišta sa povećanjem protoka za 60 paleta/dan

Sljedeća simulacija prikazuje problem eventualnog povećanja protoka jedano dana. Kako je investitor najavio povećanje proizvodnje u budućnosti, ova simulacija bit će od velike pomoći kako bi se provjerilo stanje SDC-a. U simulaciji protok je povećan za 60 paleta/dan, te sada iznosi 120 paleta/dan. U tablici 5. prikazano je ukupno izvješće 3. simulacije.

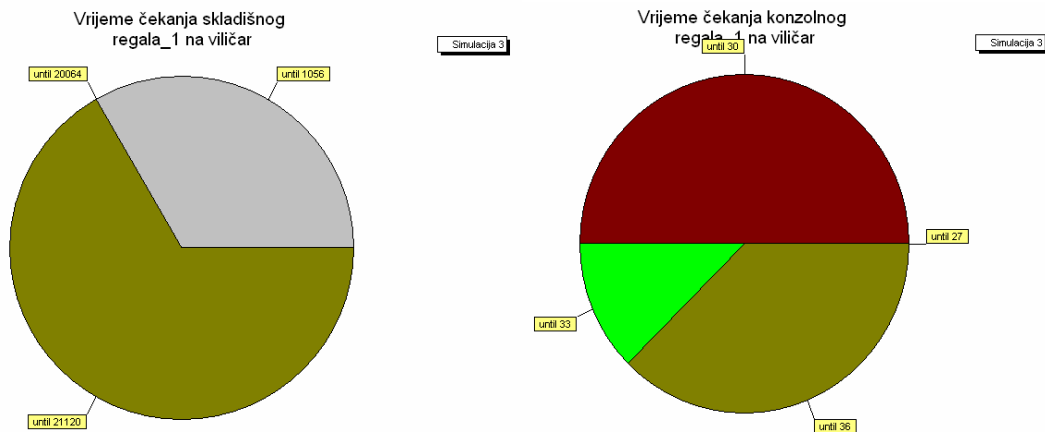
**Tablica 5.** Ukupno izvješće za 3. simulaciju

**summary report**

name	content		throughput		staytime average
	current	average	input	output	
Skladišni regal	47	47.033	52	5	6500.491
Skladišni regal	60	60.017	63	3	5381.471
Skladišni regal	72	72.028	75	3	5350.031
Skladišni regal	58	58.007	61	3	9702.177
Skladišni regal	59	59.049	65	6	10992.517
Skladišni regal	50	50.023	52	2	11156.390
Skladišni regal	66	66.014	70	4	12334.698
Skladišni regal	57	57.010	65	8	9649.240
Skladišni regal	51	51.027	56	5	9419.717
Skladišni regal	63	63.052	71	8	10583.815
Skladišni regal	62	62.018	70	8	11561.351
Skladišni regal	58	58.016	63	5	6288.406
Skladišni regal	70	70.029	74	4	7178.578
Skladišni regal	67	67.058	76	9	10734.129
Skladišni regal	55	55.008	61	6	6652.815
Skladišni regal	68	68.018	71	3	6913.728
Skladišni regal	78	78.025	81	3	2256.264
Skladišni regal	60	60.019	64	4	13900.641
Skladišni regal	60	60.007	67	7	10281.923
Skladišni regal	74	74.006	79	5	7385.373
Skladišni regal	61	61.037	65	4	11111.506
Skladišni regal	60	60.023	64	4	5874.998
Skladišni regal	58	58.025	63	5	7672.833
Skladišni regal	76	76.006	78	2	656.143
Skladišni regal	61	61.016	66	5	11440.338
Skladišni regal	50	50.014	55	5	12794.309
Skladišni regal	53	53.008	57	4	4552.412
Skladišni regal	60	60.019	61	1	559.069
Skladišni regal	59	59.028	62	3	6724.183
Skladišni regal	64	64.029	69	5	7450.208
Skladišni regal	68	68.006	70	2	5603.222
Konzolni regal_0	0	0.012	12	12	29.982
Konzolni regal_0	0	0.005	6	6	23.648
Konzolni regal_0	0	0.011	12	12	25.469
Konzolni regal_0	0	0.013	13	13	27.858
Konzolni regal_0	0	0.006	7	7	26.131
Konzolni regal_0	0	0.006	6	6	27.477
Konzolni regal_0	0	0.009	9	9	28.121
Konzolni regal_0	0	0.011	12	12	26.391
Konzolni regal_0	0	0.008	8	8	27.835
Konzolni regal_0	0	0.010	10	10	27.476
Konzolni regal_0	0	0.006	7	7	26.290
Konzolni regal_0	0	0.004	4	4	26.824
Konzolni regal_0	0	0.008	9	9	26.850
Konzolni regal_0	0	0.005	5	5	29.725
Izvor	0	0.000	120	120	0.000
Konvejer	0	0.098	120	120	23.416
Vertikalni tran	0	0.161	120	120	38.747
Dostavni viliča	0	0.124	240	120	29.749
Dispatcher_dost	0	0.000	240	120	0.000
Destinator_dost	0	0.000	120	120	0.000
Dispatcher_reg_0	0	0.347	542	271	36.843
Regalni viličar	0	0.114	218	109	30.205
Regalni viličar	0	0.032	64	32	28.762
Regalni viličar	0	0.118	260	130	26.202
Destinator_reg_0	0	0.000	271	271	0.000

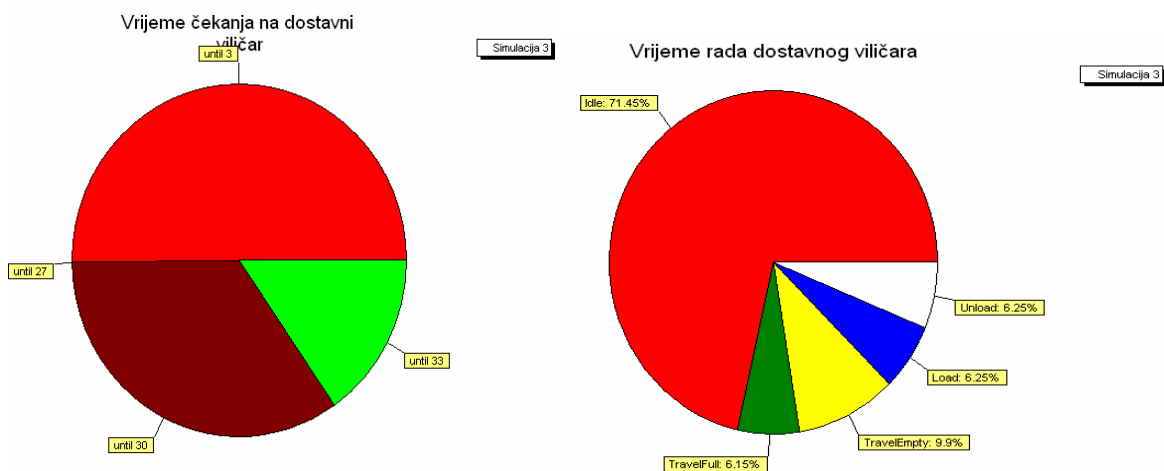
U tablici 5. vidljivi su protoci po pojedinim segmentima skladišnog sustava.

Na slici 58. vidljiva su vremena odziva viličara prema skladišnom i konzolnom regalu.



**Slika 58.** Vrijeme odziva regalnog viličara prema konzolnom i skladišnom regalu

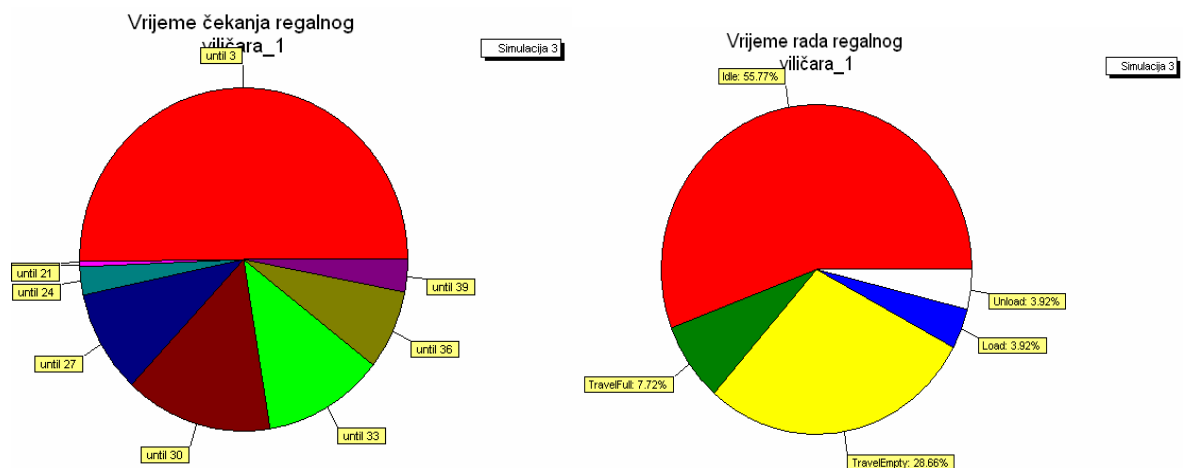
Na slici 59. prikazana su vremena čekanja i rada dostavnog viličara u tortnim dijagramima.



**Slika 59.** Vremena čekanja i rada dostavnog viličara

Očekivano vrijeme rada dostavnog viličara se promijenilo, vrijeme nerada dostavnog viličara se smanjilo na 71.45 %.

Na slici 60. vidljiva su vremena čekanja i rada regalnog viličara.



**Slika 60.** Vremena čekanja i rada regalnog viličara

Kao što je vidljivo na slici 60. (lijevo), viličar uspijeva odazvati na iskladištenja u roku od 3 s. Vrijeme rada regalnog viličara se povećalo, tako da se ovom simulacijom vidi da je vrijeme nerada regalnog viličara 55.77% radnog vremena.



## 4.3.4. Simulacija skladišta sa povećanjem protoka i kvarom jednog regalnog viličara

U tablici 6. prikazano je ukupno izvješće 4. simulacije.

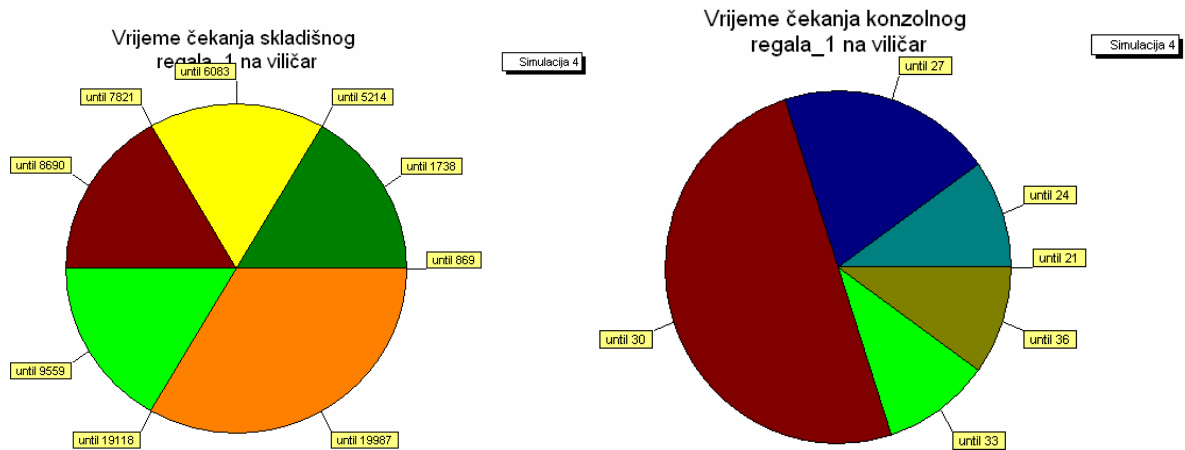
**Tablica 6.** Ukupno izvješće za 4. simulaciju

summary report

name	content		throughput		staytime
	current	average	input	output	average
Skladišni regal	58	58.056	64	6	8233.258
Skladišni regal	59	59.062	67	8	9676.625
Skladišni regal	68	68.041	70	2	10965.719
Skladišni regal	59	59.008	63	4	11550.935
Skladišni regal	55	55.037	58	3	5551.714
Skladišni regal	56	56.038	62	6	10454.528
Skladišni regal	59	59.012	64	5	12137.661
Skladišni regal	53	53.025	59	6	5356.393
Skladišni regal	49	49.030	53	4	11911.734
Skladišni regal	65	65.045	71	6	11211.223
Skladišni regal	63	63.016	65	2	980.917
Skladišni regal	55	55.006	62	7	4214.816
Skladišni regal	60	60.006	63	3	8680.313
Skladišni regal	57	57.040	61	4	13832.040
Skladišni regal	59	59.013	66	7	6969.712
Skladišni regal	45	45.027	51	6	6322.375
Skladišni regal	61	61.048	69	8	11111.123
Skladišni regal	64	64.038	69	5	8687.453
Skladišni regal	66	66.005	69	3	8120.423
Skladišni regal	73	73.027	77	4	8787.144
Skladišni regal	60	59.416	64	4	10387.614
Skladišni regal	67	66.277	73	6	10428.544
Skladišni regal	66	66.035	74	8	8617.859
Skladišni regal	69	69.006	71	2	5615.034
Skladišni regal	69	69.034	74	5	10033.617
Skladišni regal	69	69.037	74	5	7568.816
Skladišni regal	54	54.006	56	2	10641.560
Skladišni regal	63	63.030	68	5	9803.678
Skladišni regal	62	62.015	65	3	12244.247
Skladišni regal	71	71.013	74	3	8808.858
Skladišni regal	69	69.024	71	2	2085.810
Konzolni regal_0	0	0.013	12	12	32.041
Konzolni regal_0	0	0.009	10	10	27.290
Konzolni regal_0	0	0.010	9	9	31.379
Konzolni regal_0	0	0.005	5	5	27.604
Konzolni regal_0	0	0.016	17	17	26.591
Konzolni regal_0	0	0.010	10	10	29.100
Konzolni regal_0	0	0.007	8	8	26.977
Konzolni regal_0	0	0.007	7	7	28.910
Konzolni regal_0	0	0.004	4	4	27.087
Konzolni regal_0	0	0.004	4	4	27.823
Konzolni regal_0	0	0.010	10	10	27.535
Konzolni regal_0	0	0.008	8	8	30.408
Konzolni regal_0	0	0.010	10	10	28.751
Konzolni regal_0	0	0.006	6	6	29.376
Izvor	0	0.000	120	120	0.000
Konvejer	0	0.098	120	120	23.416
Vertikalni tran	0	0.161	120	120	38.755
Dostavni viliča	0	0.124	240	120	29.753
Dispatcher_dost	0	0.000	240	120	0.000
Destinator_dost	0	0.000	120	120	0.000
Dispatcher_reg_0	0	0.581	537	268	62.384
Regalni viličar	0	0.113	218	109	29.781
Regalni viličar	0	0.148	318	159	26.812
Destinator reg	0	0.000	268	268	0.000

Kako je vidljivo iz izvješća, u skladištu rade 2 regalna viličara i ulazni protok je 120 paleta/dan.

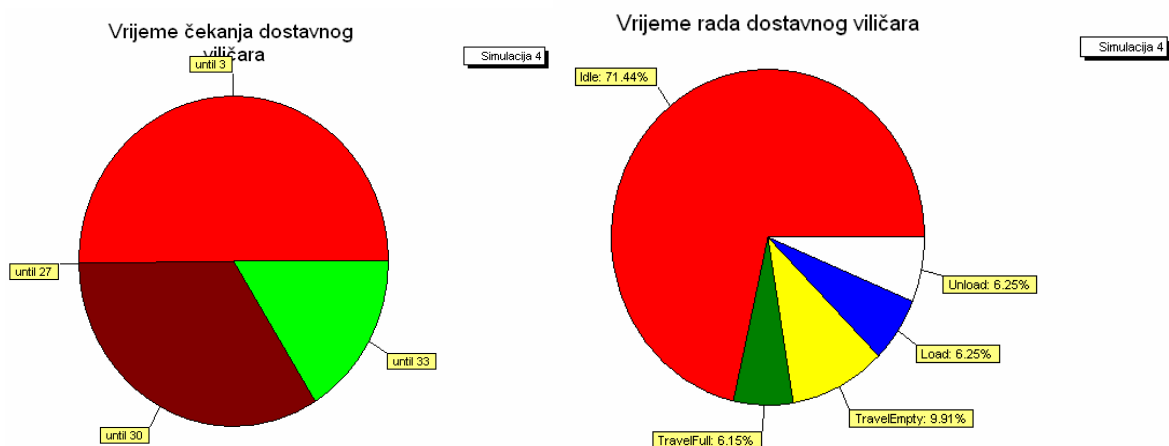
Na slici 61. ilustrirana su vremena čekanja konzolnog i regalnog regala na regalni viličar.



**Slika 61.** Vrijeme odziva regalnog viličara prema konzolnom i skladišnom regalu

Na slici 61. (lijevo) vidljivo je da se vrijeme odziva viličara prema skladišnom regalu povećalo. Razlog tome je povećanje ulaznog protoka te smanjenje broja regalnih viličara. Na konzolnim regalima vrijeme čekanja se nije promijenilo, razlog tome je dodjeljivanje prioriteta za izuzimanjem sa konzolnih regala.

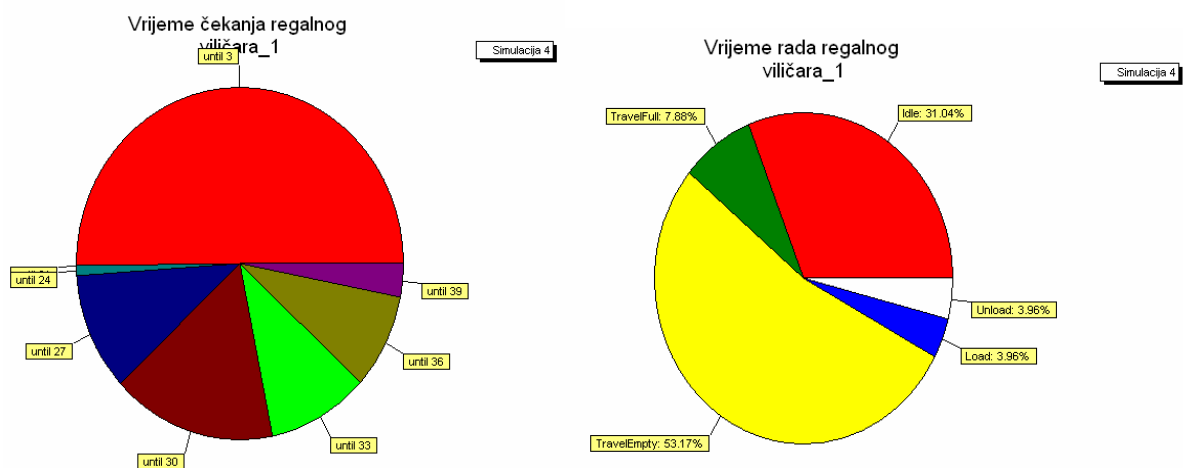
Na slici 62. ilustrirana su vremena čekanja i rada dostavnog viličara.



**Slika 62.** Vremena čekanja i rada dostavnog viličara

Kako je vidljivo na slici 62. vremena rada ostala su jedanka onima iz prošle simulacije. Razlog tome je što na vrijeme rada dostavnog viličara utječe samo ulazni protok, koji je ostao nepromijenjen.

Na slici 63. vidljiva su vremena čekanja i rada regalnog viličara.



**Slika 63.** Vremena čekanja i rada regalnog viličara

Vrijeme čekanja regalnog viličara je unutar 3 s. Vrijeme rada regalnog viličara je izmjenjeno u odnosu na prošlu simulaciju. U ovoj simulaciji povećan je protok te je jedan od regalnih viličara u kvaru, tako da je vrijeme nerada viličara 31.04% radnog vremena.

## 5. ZAKLJUČAK

Skladištenje predstavlja jedan oblik logističkih procesa u poduzeću. U ovom radu konkretan primjer obrađuje proizvodno prehrambeno poduzeće, gdje je postojanje skladišta još važnije. Nastojanjem da proizvod stoji što je manje moguće u proizvodnoj liniji primjenjuju se različiti pristupi u proizvodnji (*just in time, lean production*). No poduzeća također žele imati zalihu proizvoda za slučaj povećane potražnje na tržištu. Kako su ova dva problema kontradiktorna nastoji se pronaći najbolji mogući kompromis između njih.

U projektiranju općenito, a posebno u projektiranju logističkih procesa nastoje se maksimalno iskoristiti prednosti suvremenih tehnologija. Posao projektanta nezamisliv je bez upotrebe računala. Razvojem računala razvijaju se i razni simulacijski paketi. Računalna simulacija je alat pomoću kojega nastojimo predvidjeti ponašanje nekog sustava s obzirom na promjene nekih njegovih parametara.

U radu je dati prikaz simulacijskih paketa, te primjena jednog od njih na stvarnom problemu projektiranja skladišnog sustava. Simulacijom konkretnog problema prikazana je važnost simulacija u odlučivanju prilikom investiranja. Važnost simulacija se povećava kako raste veličina projekta s obzirom na investirana sredstva. Ulaganjem u neki novi projekt nastoji se smanjiti rizik ulaganja do najveće moguće mjere. Simuliranjem budućeg sustava može predvidjeti probleme koji bi se mogli pojaviti u budućem radu sustava. Osim pomoći pri odlučivanju o ulaganju u novi sustav, simulacije imaju jednu marketinšku prednost. U nove sustave investiraju većinom ljudi koji nisu usko povezani uz područje skladištenja. Simulacijskim paketima projektant ima mogućnost da na jednostavan način prezentira i objasni sustav u koji stranka investira. Prezentacijom rješenja u 3D prostoru projektu dajemo višu dimenziju, koja je lako razumljiva laicima.

Projektirano rješenje konkretnog problema daje velike rezerve u pogledu iskoristivosti skladišne opreme. Razlog tome je velika investicija u skladište, te se nastoje pored trenutnih zadovoljiti i buduće potrebe tržišta za proizvodom. Simulacijom budućih ulaznih i izlaznih protoka skladišta, nastoji se predvidjeti potreba za eventualnim preoblikovanjem skladišta. U primjeru su provedene 4 simulacije koji bi se mogle pojaviti u radu skladišnog sustava, te se nameće zaključak da se neće pojaviti poteškoća ni u jednom pogledu projektiranog rješenja.

Ovim radom pokušao sam prikazati kroz vlastito iskustvo značaj simulacije logističkih procesa. Simulacije će u budućnosti uzeti jedan zamah, prije svega zbog toga jer će su težiti univerzalnijim i kompleksnijim rješenjima. Rješenja kojima je teško predvidjeti moguće promjene u budućem radu bez primjene simulacija. Ulaganjem u neki novi projekt nastojimo što više smanjiti rizik od propadanja projekta i zaštititi uloženo, te će i u tom pogledu simulacije odigrati značajnu ulogu.

## LITERATURA

- [1] Oluić, Č; Đukić, G.: Predavanja iz kolegija "Tehnička logistika", Zagreb, 2007.
- [2] Pukšec, V.: Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.
- [3] Internet stranica: [www.sdz.de/dosimis-3.0.html](http://www.sdz.de/dosimis-3.0.html), 2009.
- [4] Internet stranica: [www.flexsim.com](http://www.flexsim.com), 2009
- [5] Internet stranica: [www.incontrolsim.com](http://www.incontrolsim.com), 2009
- [6] Inženjerski priručnik IP4, Školska knjiga, Zagreb, 2002.
- [7] Đukić, G.: Predavanja iz kolegija "Modeliranje logističkih procesa", Zagreb, 2008.

