

Simulacijski model "radio shuttle" regalnog sustava

Fišter, Dražen

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:235:705379>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Dražen Fišter

Zagreb, 2019. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Goran Đukić, dipl. ing.

Student:

Dražen Fišter

Zagreb, 2019. godina

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Goranu Đukiću na stručnoj pomoći i strpljenju tijekom pisanja diplomskoga rada.

Također, zahvaljujem se svim zaposlenicima tvrtke čiji je skladišni sustav opisan u ovome radu na suradnji i potrebnim podacima, a posebno rukovoditelju jedinice za skladištenje unutar odjela logistike.

Najviše se zahvaljujem svojoj obitelji na pruženoj podršci i razumijevanju tijekom cijelog mog školovanja kao i mojoj djevojci i prijateljima koji su sa mnom dijelili studentske brige i najljepše trenutke.

Dražen Fišter



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za diplomске radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **DRAŽEN FIŠTER** Mat. br.: **0035199052**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Simulacijski model "radio shuttle" regalnog sustava**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Simulation model of radio shuttle racking system**

Opis zadatka:

Jedno od novijih rješenja regalnih sustava u ponudi više proizvođača su regalni sustavi pod imenom "radio shuttle" sustavi. Radi se o primjeni vozila unutar regalnih konstrukcija. Isti se mogu naći u primjeni i kao polu-automatizirani regalni sustav i kao dio potpuno automatiziranih sustava pod imenom eng. "Shuttle-based Storage and Retrieval System", SBS/RS. Uz proračun ostvarenog skladišnog kapaciteta, u projektu je potrebno osigurati i traženi protok takvih sustava s obzirom na zahtjeve uskladištenja i komisioniranja.

U radu je potrebno:

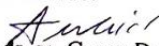
- Napraviti prikaz "radio shuttle" i SBS/RS sustava.
- Dati kraći pregled teorije projektiranja skladišta.
- Prikazati osnove simulacijskog modeliranja u oblikovanju i analizi skladišnih sustava.
- Za primjer idejnog projekta skladišta s "radio shuttle" regalnim sustavom napraviti simulacijski model, te provesti simulaciju u cilju osiguravanja potrebnog protoka određivanjem potrebnog broja viličara i "shuttle"-ova.

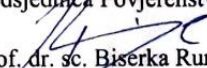
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu te eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
26. rujna 2019.

Rok predaje rada:
28. studenog 2019.

Predviđeni datum obrane:
04. prosinca 2019.
05. prosinca 2019.
06. prosinca 2019.

Zadatak zadao:

prof. dr. sc. Goran Đukić

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA I KRATICA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. POJAM I ULOGA SKLADIŠTA.....	2
2.1 Funkcija skladišta	2
2.2 Skladišni procesi	4
2.2.1 Ulazni procesi.....	4
2.2.2 Proces čuvanja robe u skladištu	5
2.2.3 Izlazni procesi	5
2.2.4 Aktivnosti dodavanja vrijednosti proizvodima	6
3. PLANIRANJE I IZGRADNJA NOVOGA SKLADIŠTA.....	7
3.1 Odabir lokacije skladišta	7
3.2 Izgradnja i unutrašnje uređenje skladišta	9
3.3 Skladišna regalna oprema.....	10
3.4 Informatizacija i računalno upravljanje skladištem	12
4. RADIO SHUTTLE REGALNI SUSTAVI	13
4.1 Usporedba Radio Shuttle regalnog sustava s ostalim izvedbama regala	15
4.2 Uloga Radio Shuttle regalnog sustava	17
4.3 Zahtjevi u fazi konstrukcije Radio Shuttle regalnih sustava	18
4.4 Specijalizirana vozila – Shuttle-ovi.....	20
4.5 Proizvođači i ponuda Radio Shuttle regalnih sustava	21
4.6 Upravljanje Radio Shuttle sustavom	24
4.7 Prednosti i nedostaci Radio Shuttle regalnih sustava.....	26
4.8 Potpuno automatizirani Radio Shuttle regalni sustavi	27
5. RAČUNALNE SIMULACIJE LOGISTIČKIH PROCESA	29
5.1 Vrste modela	30
5.2 Vrste računalnih simulacija	31
5.3 Faze simulacijskog procesa	32
5.4 Softveri za izradu računalnih simulacija	34
5.4.1 FlexSim	35
5.4.2 Plant Simulation	36
5.4.3 Arena	36
5.4.4 Enterprise Dynamics	37
6. PRIKAZ IDEJNOG PROJEKTA SKLADIŠNOG SUSTAVA	39
7. SIMULACIJSKI MODEL IDEJNOG PROJEKTA SKLADIŠNOG SUSTAVA	43
7.1 Izrada simulacijskog modela	45
7.1.1 Transportni putevi	45

7.1.2 Ulaz proizvoda u skladište	45
7.1.3 Podna skladišta	47
7.1.4 Modeliranje Radio Shuttle regala	48
7.1.5 Transportna sredstva	53
7.1.6 Izlaz proizvoda iz skladišta	58
7.2 Izgled cjelokupnog simulacijskog modela	61
8. REZULTATI PROVEDENE SIMULACIJE	62
8.1 Testiranje kapaciteta skladišta	62
8.2 Određivanje optimalnog broja transportnih sredstava	67
8.2.1 Broj viličara za uskladištenje proizvoda iz punionice	67
8.2.2 Broj visokoregalnih viličara	69
8.2.3 Broj viličara u zoni izlaska robe iz skladišta	70
8.2.4 Viličari u Exchange zoni	71
8.2.5 Viličari za utovar i istovar kamiona	72
8.2.6 Potreban broj Shuttle-ova	72
8.3 Rezultati simulacije rada skladišnog sustava izvan sezone	74
8.4 Prikaz potrebne skladišne opreme u sezoni i izvan sezone	75
9. ZAKLJUČAK	77
LITERATURA	78
PRILOZI	80

POPIS SLIKA

Slika 1.	Usporedba lanca opskrbe bez skladišta i sa skladištem [5]	3
Slika 2.	Prikaz skladišnih procesa [5]	4
Slika 3.	Troškovi skladišnih aktivnosti (izrađeno prema izvoru [4])	6
Slika 4.	Shematski prikaz različitih regala (izrađeno prema izvoru [1])	10
Slika 5.	Euro paleta [1]	11
Slika 6.	Različite izvedbe paletnih regala (izrađeno prema izvoru [1])	11
Slika 7.	Prikaz Radio Shuttle regalnog sustava [7]	13
Slika 8.	Visokoregalni viličar u suradnji s Radio Shuttle-om [7]	14
Slika 9.	Usporedba klasičnog paletnog i Radio Shuttle regalnog sustava	15
Slika 10.	Usporedba prolaznog i Radio Shuttle regalnog sustava	15
Slika 11.	Razlika između FIFO i LIFO principa izuzimanja paleta [10]	16
Slika 12.	Usporedba protočnog i Radio Shuttle regalnog sustava	16
Slika 13.	Položaj Radio Shuttle regalnog sustava unutar cjelokupnog skladišnog procesa (preuzeto iz izvora [6] i prevedeno)	17
Slika 14.	Zahtjevi u fazi konstrukcije Radio Shuttle regalnog sustava	19
Slika 15.	Radio Shuttle [7]	20
Slika 16.	Radio Shuttle unutar staze u regalnom sustavu [9]	20
Slika 17.	SSI Orbiter Radio Shuttle [10]	22
Slika 18.	Ferretto Flexy 800 [7]	22
Slika 19.	Radio Shuttle Link 51 [11]	23
Slika 20.	Upravljanje Mecalux Radio Shuttle-ovima [9]	23
Slika 21.	Upravljanje Shuttle-ovima iz kabine viličara [9]	24
Slika 22.	AS/RS sustav s dizalicom [2]	27
Slika 23.	Automatiziran SBS/RS [6]	27
Slika 24.	Faze simulacijskog procesa [16]	32
Slika 25.	FlexSim grafičko sučelje [19]	35
Slika 26.	Usporedba korisničkih sučelja simulacijskih programa	36
Slika 27.	Enterprise Dynamics softver logo [2]	37
Slika 28.	Korisničko sučelje softvera Enterprise Dynamics	37
Slika 29.	Planirani izgled i prostorni raspored skladišta [23]	39
Slika 30.	AutoCad nacrt skladišta [23]	40
Slika 31.	Shematski prikaz toka proizvoda kroz skladišni sustav	41
Slika 32.	Simulacijski model u 2D prikazu	43
Slika 33.	Povezivanje elemenata putem kanala	44
Slika 34.	Izgradnja transportnih puteva	45
Slika 35.	Ulazne linije	46
Slika 36.	Proizvodi koji dolaze iz uvoza	46
Slika 37.	Korištenje elementa <i>Empirical Distribution</i>	47
Slika 38.	Podna skladišta	48
Slika 39.	Model Radio Shuttle regalnog sustava	49
Slika 40.	Simulacija rada Radio Shuttle regalnog sustava	50
Slika 41.	ABC krivulja [26]	51
Slika 42.	Kod za popunjavanje regala	52
Slika 43.	Popunjavanje Radio Shuttle regalnog sustava	52
Slika 44.	Električna punionica	53
Slika 45.	Korištenje elemenata <i>Dispatcher</i> i <i>Destinator</i>	54

Slika 46.	Dvopaletni električni viličar [27]	55
Slika 47.	Podešavanje performansi viličara.....	55
Slika 48.	Usmjeravanje viličara.....	56
Slika 49.	Visokoregalni električni viličar [27]	56
Slika 50.	Jednopaletni električni viličar [27].....	57
Slika 51.	Ferretto Flexy 800 Radio Shuttle [7].....	57
Slika 52.	Zona za komisioniranje i zona za otpremanje proizvoda	58
Slika 53.	Programiranje zone za odlaganje proizvoda	59
Slika 54.	Takt za izlaz proizvoda iz skladišta.....	60
Slika 55.	Kod u elementu <i>Prestage</i>	60
Slika 56.	Izlaz proizvoda iz skladišta	60
Slika 57.	Prikaz cjelokupnog modela skladišnog sustava	61
Slika 58.	Simulacijski model skladišnog sustava iz drugog kuta gledanja	61
Slika 59.	Kapacitet zone za otpremanje proizvoda.....	64
Slika 60.	Praćenje kapaciteta jednog regala u Radio Shuttle regalnom sustavu	65
Slika 61.	Iskoristivost dvopaletnog viličara 1	68
Slika 62.	Iskoristivost dvopaletnog viličara za odvoz paleta iz podnog skladišta.....	68
Slika 63.	Iskoristivost visokoregalnog viličara.....	69
Slika 64.	Učinkovitost jednopaletnog viličara u izlaznoj zoni	70
Slika 65.	Iskoristivost jednopaletnog viličara u zoni za komisioniranje	70
Slika 66.	Iskoristivost viličara u <i>Exchange zoni</i>	71
Slika 67.	Iskoristivost viličara nakon promjene	72
Slika 68.	Učinkovitost Radio Shuttle-a	73
Slika 69.	Graf s podacima o prodaji kroz godinu [23]	74

POPIS TABLICA

Tablica 1. Aktivnosti u procesu komisioniranja (izrađeno prema izvoru [4])	5
Tablica 2. ABC analiza [23].....	51
Tablica 3. Usporedba kapaciteta skladišta po broju paleta nakon osmosatne simulacije	63
Tablica 4. Prosječan rad jednog Radio Shuttle-a u jednoj smjeni.....	65
Tablica 5. Usporedba ukupnih tokova proizvoda u paletama	66
Tablica 6. Protok proizvoda u paletama u radu skladišta izvan sezone	75
Tablica 7. Popis potrebnih transportnih sredstava.....	76

POPIS OZNAKA I KRATICA

Oznaka/kratika	Objašnjenje
JIT	eng. Just in Time – točno na vrijeme
WMS	eng. Warehouse Management System – sustav računalnog upravljanja skladištem
DC	eng. Distribution Center - distributivni centar
SKU	eng. Stock Keeping Units – jedinice skladištenja
VAS	eng. Value Adding Services – aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvoda
AHP	eng. Analytical Hierarchy Process – analitička metoda za rješavanje problema
ISO	eng. International Organization for Standardization - Međunarodna organizacija za standardizaciju
FIFO	eng. First in - First out – način protoka robe “prvi unutra - prvi van”
LIFO	eng. Last in - First out – način protoka robe “prvi unutra- posljednji van”
LHD	eng. Load Handling Device – uređaj za rukovanje teretom
IT	Informatička tehnologija
SBS/RS	eng. Shuttle Based Storage and Retrieval System – Radio Shuttle regalni sustav
AS/RS	eng. Automated Storage and retrieval System – Automatizirana skladišta za pohranu i izuzimanje proizvoda
GPSS	eng. General Purpose Simulation System – Simulacijski softver opće namjene
RGB	eng. Returnable Glass Bottle – povratna staklena ambalaža
PET	Polietilentereftalat
CAN	eng. Can - Limenka
BRK	eng. Brick - Tetrapak ambalaža
NRGB	eng. Non-returnable Glass Bottle – nepovratna staklena ambalaža
FEFO	eng. First Expire - First Out – način protoka robe gdje iz skladišta najprije izlaze najstariji proizvodi

SAŽETAK

Ovaj rad bavi se primjenom računalnih simulacija logističkih procesa, a u užem smislu analizira se računalna simulacija skladišnog procesa. Računalne simulacije često su korišteni alat u analizi logističkih sustava zbog njihove složene i dinamične prirode, a koriste se u projektiranju još neizgrađenih ili analizi stvarnih sustava. Pomoću simulacijskih modela moguće je evaluirati efikasnost sustava i svih njegovih dijelova, odrediti moguće nedostatke te testirati razna rješenja za poboljšanje.

Zadatak ovog diplomskog rada je izrada simulacijskog modela Radio Shuttle paletnog regalnog skladišnog sustava koji se tek planira izgraditi. Radio Shuttle regalni skladišni sustav moderan je skladišni sustav u kojem se proizvodi transportiraju pomoću specijalno dizajniranih vozila koja putuju kroz regale i omogućavaju brz protok proizvoda i prilagodbu na različite zahtjeve kupaca. Simulacijskim modelom testiralo bi se takvo zamišljeno rješenje u vidu potrebnog kapaciteta i protoka te pronašao optimalan broj transportnih sredstava za uspješno funkcioniranje skladišnog sustava.

Ključne riječi: Radio Shuttle regalni sustav, skladište, simulacijski model, računalna simulacija

SUMMARY

The main aim of this thesis is to explore the application of computer simulations of logistics processes with the emphasis on the simulations of warehousing processes. Logistics processes are often simulated because of their dynamics and complexity. Computer simulations are frequently used as tools for designing potential systems and for the analysis of already existing systems. It is possible to evaluate the performance of all system components, identify possible deficiencies and test various solutions for improvement by using simulation models.

The purpose of this project is to create a simulation model of the Radio Shuttle Pallet Rack System which is planned to be built. Radio Shuttle Rack System is a modern storage system where products are transported by specially designed vehicles that travel through the racks, thus enabling rapid product flow and quick adaptation to different customer's requirements. The required storage capacity and flow rate of the aforementioned storage system are tested by the simulation model. Also, the results of the simulation are used for determining the optimal number of vehicles required for the storage system's adequate functionality.

Key words: Radio Shuttle Rack System, warehouse, simulation model, computer simulation

1. UVOD

Skladištenje i djelatnosti upravljanja skladištem dijelovi su logističkog sustava odgovorni za smještaj i čuvanje sirovina, alata, poluproizvoda i gotovih proizvoda. Logistika je proces koji se bavi planiranjem, implementacijom i kontrolom toka u fizičkom, informacijskom i organizacijskom pogledu, od točke izvora do točke potrošnje, kako bi se zadovoljili zahtjevi korisnika. Glavni ciljevi logistike jesu optimizacija (logističkih) troškova i ispunjenje zahtjeva korisnika. [1] Bez obzira na veličinu poduzeća, uspješnom logistikom efikasno se smanjuju troškovi i podiže uspješnost poslovanja. Zbog širine i složenosti, logistika je područje u kojem se procesi često modeliraju i simuliraju. Modeliranje je korištenje modela kao osnove za simulaciju s ciljem dobivanja podataka kao temelja za odlučivanje, dok je simulacija proces oponašanja operacija procesa ili sustava realnog svijeta, odnosno eksperimentalna metoda koja omogućuje proučavanje stvarnih procesa pomoću njihovih modela na računalu. [2]

Zadatak ovog diplomskog rada je izrada simulacijskog modela budućeg skladišnog sustava tvrtke koji se bavi proizvodnjom i distribucijom pića. Na temelju podataka dobivenih od kompanije, čije ime zbog povjerljivosti podataka nije otkriveno, izradit će se simulacijski model u softveru Enterprise Dynamics 10.2. Središnji dio promatranog skladišnog sustava činit će Radio Shuttle regalni sustav u koji će se skladištiti najveći dio proizvoda. Simulacijom će se analizirati cjelokupan rad budućeg skladišnog sustava u uvjetima koji se očekuju u stvarnome svijetu kao i učinkovitost svakog pojedinog dijela. Cilj ovog projekta je testirati može li zamišljeni dizajn skladišta funkcionirati u realnim uvjetima te odrediti optimalnu količinu skladišne opreme za uspješan rad skladišnog sustava.

Rad je podijeljen u nekoliko cjelina. Na samome početku rada objašnjavaju se temeljni skladišni procesi i opisuje proces planiranja i izgradnje novog skladišnog sustava. Detaljno se objašnjava način rada Radio Shuttle tehnologije koja će se koristiti u promatranom skladišnom sustavu. Nakon toga slijedi teoretski dio o računalnim simulacijama logističkih procesa koji se nastavlja prikazom izgrađenog simulacijskog modela koji će poslužiti kao osnova za proučavanje i kasniju izgradnju stvarnog skladišnog sustava. Detaljno se opisuje način izgradnje simulacijskog modela kao i funkcija svakog dijela skladišnog sustava. Na samome kraju prikazuju se rezultati računalne simulacije na temelju kojih će se evaluirati Radio Shuttle regalni sustav prema zahtjevima kompanije te odlučiti o eventualnim promjenama i planu izgradnje promatranog sustava.

2. POJAM I ULOGA SKLADIŠTA

Skladišta su izgrađeni objekti ili pripremljeni prostori za smještaj i čuvanje roba od trenutka njihova preuzimanja do vremena njihove upotrebe i otpreme. Dakle, skladište predstavlja prostor u kojem se roba preuzima, čuva od raznih fizičkih i kemijskih utjecaja, izdaje i otprema. [3] Svrha je skladišta omogućiti siguran i tehnički ispravan smještaj robe bez ugrožavanja njezinih svojstava i kvalitete uz mogućnost prilagođavanja prihvata i otpreme. Osnovni su zahtjevi dobrog skladišnog poslovanja kvalitetna organizacija unutrašnjeg protoka robe i tehnološka koncepcija prilagođena zahtjevima korisnika, odgovarajući raspored slaganja robe i pravilan smještaj tereta, precizno i redovno vođenje dokumentacije, ažurna evidencija ulaska i izlaska robe, pregled stanja skladišta s obzirom na količinu i vrstu robe, nadzor i dobro čuvanje robe, posebice kod opasnih i pokvarljivih tereta te usklađena suradnja s poslovnim partnerima. Najveće promjene i izazovi u razvijanju skladišnog poslovanja su [3] :

- zahtjevi korisnika za visokom razinom usluga
- zahtjevi za poboljšanjem učinkovitosti i iskoristivosti prostora
- zahtjevi za smanjenjem količine zaliha
- potreba za višim stupnjem integracije skladišta u logističkom sustavu
- povećani zahtjevi za posebnim uslugama (npr. JIT - *eng.* Just in Time)
- povećan broj sustava i opreme koji se razmatra pri planiranju skladišnih usluga
- primjena informatičkog sustava za upravljanje skladištima (WMS - *eng.* Warehouse Management System)

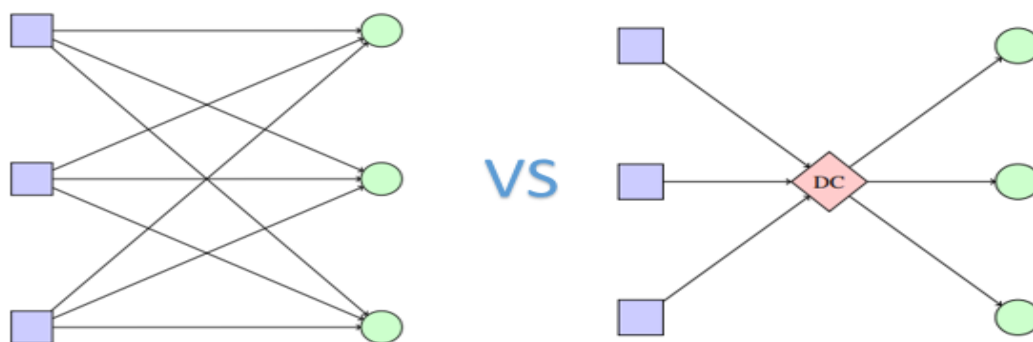
Za uspješno vođenje i poslovanje jednog modernog skladišnog sustava nužna je visoka razina obrazovanja i osposobljenosti osoblja te organizacijska razina koja odgovara postavljenim zahtjevima i zadanim ciljevima. [3]

2.1 Funkcija skladišta

Skladištenjem robe i držanjem zaliha povećava se broj koraka u opskrbnome lancu što predstavlja dodatne troškove. Prostor i njegovo održavanje, energija i radna snaga samo su neki od mnogobrojnih troškova u skladišnim sustavima. Postavlja se pitanje mogu li se ti troškovi izbjeći, no uloga skladišta u opskrbnome lancu jako je bitna. Glavne funkcije skladišta su [4]:

- 1) skladište kao međuspremnik
- 2) bolje udovoljavanje zahtjevima korisnika
- 3) konsolidacija robe

Zahtjevi korisnika brzo se mijenjaju, a skladištenje proizvoda omogućava pravovremeni odgovor na zahtjeve modernog tržišta. Uloga skladišta kao međuspremnik robe bitna je zbog promjenjivog tržišta i nepredvidivog odnosa ponude i potražnje. Na taj način štiti se od naglih poskupljenja i nedostatka robe na tržištu. Također, skladištenjem robe sprječavaju se problemi koji mogu nastati zbog zastoja i grešaka u proizvodnom procesu. S druge strane, držanje zaliha ne mora u svim slučajevima predstavljati samo trošak. Čest je slučaj popust na kupnju veće količine proizvoda pa se narudžbom velikih količina koje se skladište ostvaruju uštede. Također, neki proizvodi kao što su vino, umjetnine ili nakit mogu s vremenom povećati svoju vrijednost pa se nazivaju investicijskim zalihama. Jedan od čestih problema u logistici je sezonalnost proizvoda, odn. povećana potreba za nekim proizvodom u određenim vremenskim intervalima. U sezoni najveće prodaje izrazito je teško proizvesti potrebne količine pa se proizvodi unaprijed pripremaju i skladište za sezonu. Konsolidacija robe predstavlja sve skladišne aktivnosti koje pripremaju robu prema zahtjevima kupaca. [4] Roba koja dolazi u skladište u velikom se broju slučajeva mora reorganizirati i prilagoditi željama korisnika. Skladišne zone služe za pretovar i slaganje različitih pošiljki. Ovisno o narudžbama, veća se pakiranja pojedinih proizvoda transformiraju u manja ili obrnuto te se kombiniraju s drugim proizvodima iz različitih izvora. Sve te aktivnosti dodaju vrijednost robi i omogućuju fleksibilnost cijelog sustava. Tako se omogućuju i uštede u transportu jer se prijevozom većih količina proizvoda koje se kasnije skladište smanjuje fiksni trošak transporta. Na *Slici 1* shematski je prikazana važnost skladišta odn. distributivnih centara (DC) u lancu opskrbe.

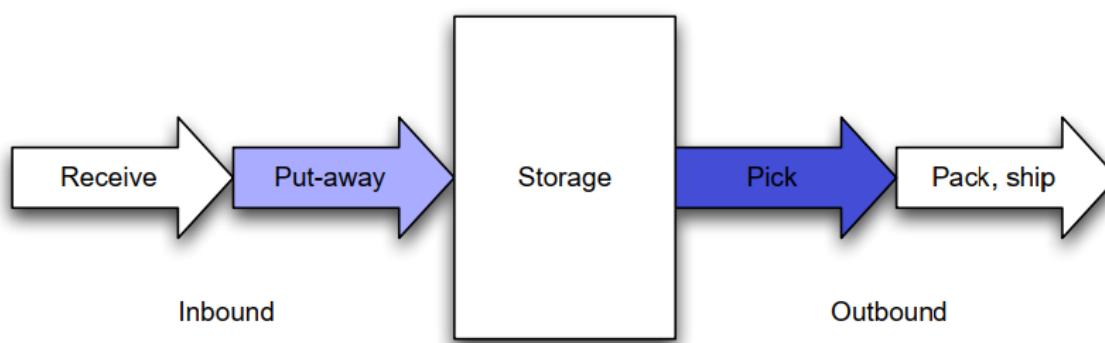


Slika 1. Usporedba lanca opskrbe bez skladišta i sa skladištem [5]

Iz *Slike 1* može se zaključiti kako skladišta uvelike pojednostavljaju cjelokupni distributivni proces. Naime, skladišta su mjesta gdje se objedinjuju različite skladišne aktivnosti koje pripremaju robu za daljnju distribuciju. Tako se sprječavaju mnogi koraci koji bi se morali obavljati na različitim lokacijama kako bi se isporuka oblikovala prema zahtjevima kupaca.

2.2 Skladišni procesi

Iako postoje razne izvedbe skladišta koje se razlikuju po izvedbi, vrsti robe koja se skladišti i stupnju mehanizacije i automatizacije, u svima se provode gotovo identični procesi. Ukratko, roba se zaprima u velikim pošiljkama i skladišti na za to pripremljenim lokacijama. Nakon što se dobije zahtjev kupca, roba se izuzima iz skladišnih pozicija, slaže u pošiljke i priprema za daljnju distribuciju. Podjela skladišnih aktivnosti shematski je prikazana na *Slici 2*.



Slika 2. Prikaz skladišnih procesa [5]

Na *Slici 2* vidljiva je podjela skladišnih aktivnosti na ulazne i izlazne, a između njih nalazi se proces čuvanja proizvoda u skladištu (*eng.* Storage). Prema tome, aktivnost čuvanja proizvoda u skladištu središnji je dio skladišnog procesa kojeg čine [5]:

- Ulazni procesi: zaprimanje robe (*eng.* Receive)
odlaganje robe (*eng.* Put-away)
- Izlazni procesi: komisioniranje (*eng.* Pick)
pakiranje i distribucija robe (*eng.* Pack and ship)

2.2.1 Ulazni procesi

Skladišni proces započinje zaprimanjem robe. Nakon što prijevoznik stigne u prostor namijenjen za istovar, roba se istovaruje. Način i brzina istovara uvelike ovise o vrsti robe i načinu na koji je ona zapakirana, tj. nalazi li se roba na paletama, u kartonskim kutijama ili se svaki predmet mora pojedinačno prenositi. Roba se može istovariti u zonu za odlaganje (*eng.* Exchange area) ili direktno na skladišne pozicije pripremljene za te proizvode. Korištenje zone za odlaganje povećava broj koraka u rukovanju materijalom, ali omogućuje brži istovar robe s prijevoznog sredstva. Prilikom zaprimanja, roba se kontrolira kako ne bi bila oštećena i kako bi se provjerila dostavljena količina. Roba se zatim uvodi u sustav, najčešće putem skeniranja. Na proces prijema robe otpada otprilike 10 % ukupnih skladišnih troškova. [4] Svi različiti proizvodi koji se pohranjuju u skladištu nazivaju se SKU (*eng.* Stock Keeping Units). Prije

nego se proizvodi mogu pohraniti potrebno im je odrediti skladišnu lokaciju. To je vrlo važno jer o skladišnoj lokaciji ovisi brzina i cijena kasnijeg izuzimanja proizvoda. U svakom se trenutku mora znati koje skladišne lokacije su slobodne, koliko su velike, koliko tereta mogu podnijeti itd.. Nakon što se proizvodima dodijele njihove pozicije, one se moraju skenirati kako bi se u svakom trenutku znao položaj robe u skladištu i kako bi se ubrzalo i olakšalo planiranje i sam proces izuzimanja robe. Na proces smještaja robe u skladište otpada otprilike 5 % od ukupnih troškova skladištenja. [4]

2.2.2 Proces čuvanja robe u skladištu

Nakon što su proizvodi smješteni na svoje lokacije, ostaju tamo sve dok ne dođe zahtjev za njihovim izuzimanjem i daljnjom distribucijom. To vrijeme ovisi o vrsti proizvoda i može jako varirati. Naime, neki proizvodi zadržavaju se u skladištu samo nekoliko sati dok se neki nalaze u skladištu i po nekoliko godina. Potreban je oprez prilikom skladištenja kvarljive robe kako ne bi istekao zadani rok trajanja. Također, skladišni uvjeti moraju biti prilagođeni robi koja se u njima nalazi. [4]

2.2.3 Izlazni procesi

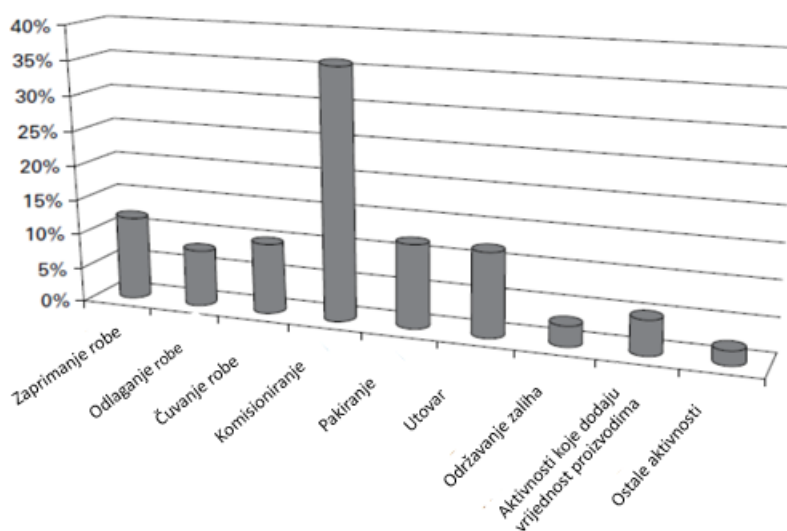
Nakon što je zaprimljena narudžba, provjerava se dostupnost proizvoda u skladištu i započinje proces slaganja pošiljke. Kupci najčešće naručuju različite proizvode koje je potrebno pronaći u skladištu i složiti u jednu pošiljku. Taj proces naziva se komisioniranje i najkompliciraniji je od svih skladišnih procesa. Na njega se uvjerljivo troši najviše vremena, a samim time na njega otpada više od 35% troškova skladišnih aktivnosti. [4] Proces komisioniranja jako je složen i može se podijeliti u nekoliko podaktivnosti koje su prikazane u *Tablici 1*.

Tablica 1. Aktivnosti u procesu komisioniranja (izrađeno prema izvoru [4])

Proces komisioniranja	
Aktivnost	% ukupnog vremena
Putovanje	55%
Traženje proizvoda	15%
Izuzimanje proizvoda	10%
Papirologija i ostale aktivnosti	20%

Prema *Tablici 1* proces komisioniranja sastoji se od putovanja na koje se troši najviše vremena, traženja i izuzimanja potrebnih artikala te papirologije i ostalih popratnih aktivnosti. Postoje različiti načini komisioniranja koji ovise o vrsti robe koje se skladišti, izvedbi i prostornom rasporedu skladišta te o tehnologiji kojom se koriste komisioneri, tj. osobe koje slažu narudžbe.

Grupiranje proizvoda u pošiljke može se raditi istovremeno s komisioniranjem ili nakon njega u zoni prilagođenoj za slaganje narudžbi. Prilikom pakiranja svaki artikl mora proći kroz ruke osobe zadužene za tu aktivnost pa se osim pakiranja vrši i kontrola kvalitete kako bi se provjerilo hoće li kupac dobiti proizvode koji zadovoljavaju očekivane standarde kvalitete. Nakon toga, proizvodi se moraju pripremiti za transport i zaštititi kako se ne bi oštetili prilikom putovanja. Ukoliko proizvodi ne izlaze odmah iz skladišta, odlažu se u otpremnu zonu (*eng.* Prestage area) gdje čekaju utovar i daljnji transport. Kako bi se smanjili troškovi transporta, u transportna sredstva utovaruje se više različitih pošiljki do popunjenja kapaciteta vozila te se nakon toga vrši transport do naručitelja. Na *Slici 3* prikazan je graf s prosječnim troškovima pojedinih skladišnih aktivnosti. Kao što je već spomenuto, uvjerljivo najviše novčanih sredstava troši se na proces komisioniranja.



Slika 3. Troškovi skladišnih aktivnosti (izrađeno prema izvoru [4])

2.2.4 Aktivnosti dodavanja vrijednosti proizvodima

Osim osnovnih skladišnih aktivnosti koje su navedene, u skladištu su moguće i aktivnosti koje povećavaju vrijednost proizvoda. Skladišta su primjerena za izvođenje takvih aktivnosti jer se ovdje rukuje sa svakim proizvodom ili grupom proizvoda pojedinačno. Te aktivnosti poznate su i pod nazivom VAS (*eng.* Value Adding Services) i one prekidaju jasnu granicu između proizvodnje i skladištenja. Aktivnosti koje dodaju vrijednost dijele se na visoke, odn. one koje dodaju veliku vrijednost za kupca i niske, odn. one koje dodaju manju vrijednost za kupca. Tako u visoke aktivnosti spadaju završna montaža, rekonfiguracija proizvoda, popravak i sterilizacija. U niske aktivnosti spadaju označavanje proizvoda, određivanje cijene, (ponovno) pakiranje i dodavanje priručnika u pakiranje. [4]

3. PLANIRANJE I IZGRADNJA NOVOGA SKLADIŠTA

Organizacija i upravljanje skladišnim procesima u osnovi polaze od prostornog uređenja i unutrašnje organizacije skladišta. U današnje vrijeme zahtjevi za organizacijom skladišnog sustava postaju sve veći jer se povećava obujam distribucije i broj artikala kojima se u skladištu manipulira. [3] Stoga se prilikom izgradnje i planiranja novog skladišta u obzir moraju uzeti razni faktori kako bi izgrađeni prostor u budućnosti mogao uspješno odgovoriti na sve zahtjeve modernog tržišta. To također obuhvaća i odabir odgovarajuće skladišne opreme, informatičkih rješenja, organizaciju rasporeda i broja operatera te organizaciju pojedinačnih i ukupnih skladišnih procesa.

3.1 Odabir lokacije skladišta

Plan pronalaska lokacije skladišta ponajprije treba temeljiti na kvaliteti skladišnih usluga i na troškovima koje uvjetuje pojedina lokacija. Pri odabiru lokacije skladišta razlikuju se šira i uža lokacija. Kod odabira šire lokacije odlučuje se o području u kojem treba postaviti skladište, dok se pri odabiru uže lokacije odlučuje o konkretnom mjestu ili čestici zemlje na kojoj treba izgraditi skladište. Pri odabiru lokacije najprije se utvrđuje šire, a potom uže područje lokacije. Na odabir šireg područja lokacije skladišta ponajprije utječu čimbenici koji su u vezi s funkcijom skladišta u logističkom sustavu [3] :

- veličina tržišta
- vrsta i obilježja robe koja se skladišti
- broj artikala
- tehnologija skladištenja
- prometna povezanost
- raspoloživost stručnog kadra
- raspoloživost skladišnog prostora

Potražnja za većinu robe neravnomjerno je raspoređena na nekom području pa se skladišta nastoje smjestiti što bliže većem broju i koncentraciji potrošača. Na taj način pokušavaju se osigurati niži troškovi dostave i zadovoljavajuća razina logističke usluge prema krajnjem korisniku. Također, vrsta i obilježja uskladištene robe imaju veliku ulogu pri odabiru lokacije skladišta. Roba s kratkim rokom trajanja ne podnosi dugo razdoblje skladištenja, stoga se skladišta za takvu robu nastoje smjestiti što bliže krajnjim korisnicima. Nasuprot tome, kod skladišta za robu trajne potrošnje, kod koje brzina isporuke nije toliko važna, vrsta robe kao čimbenik lokacije nema važnu ulogu. Širina asortimana također značajno utječe na odabir

skladišne lokacije jer u pravilu veći broj artikala podrazumijeva veći ukupni kapacitet skladišta.

U modernim je distribucijskim sustavima jedno od mjerila razine logističke usluge vrijeme isporuke koje izravno ovisi o stanju prometne infrastrukture, stoga postojeće stanje i planirani pravci razvitka cestovne i ostalih mreža prometne infrastrukture mogu imati značajan utjecaj na izbor lokacije skladišta. Današnji skladišni sustavi oslanjaju se na tehnička rješenja koja zahtijevaju određen stupanj znanja i obučenosti osoblja pa raspoloživ kadrovski potencijal na nekom području ima sve veću ulogu prilikom odabira lokacije budućeg skladišta.

Nakon odabira šireg područja lokacije pristupa se odabiru mjesta uže lokacije izgradnje skladišta. Čimbenici koji utječu na odabir uže lokacije najčešće su [3] :

- veličina i konfiguracija terena
- urbanistički plan područja i planovi razvoja
- blizina i mogućnost priključka na postojeću prometnu infrastrukturu
- cijena zemljišta i trošak izgradnje
- raspoloženje građana prema izgradnji skladišta na određenom mjestu
- dodatni elementi (utjecaj na okoliš, posebni zahtjevi gradnje i slično)

Veličina terena za izgradnju skladišta treba biti dovoljna za smještaj skladišne zgrade i pomoćnih skladišnih prostora kao što su: uredi, sobe za sastanke, kantina, odlagalište otpada i ambalaže te parkirališni prostor. Također, konfiguracija i čvrstoća tla, nagib i ostala obilježja terena mogu bitno utjecati na troškove izgradnje i funkcionalnost budućeg skladišta. Svaka izgradnja novog objekta zahtjeva usklađivanje s postojećim lokalnim urbanističkim planom i planovima razvoja određenog područja. Urbanistički planovi najčešće se odnose na ograničenje veličine i oblika skladišne zgrade te ostalih uvjeta koji mogu utjecati na funkcioniranje skladišta i troškove njegove izgradnje. Jedan od važnijih elemenata odabira lokacije je i povezanost lokacije skladišta s prometnom infrastrukturom. Blizina prometnica i njihov kapacitet mogu pridonijeti učinkovitosti u poslovanju skladišta, a time i poslovnoj odluci da se ono izgradi na nekom terenu. Prilikom odabira lokacije bitan faktor je i cijena zemljišta koja mora biti takva da omogućuje optimalno vrijeme povrata investicije. Raspoloženje građana vezano uz izgradnju skladišta na nekom užem području nije ekonomski važan čimbenik, ali ga ne treba zanemariti. Nerijetko se građani protive izgradnji određenih objekata na nekom području, što može dovesti do konfliktnih situacija i dodatnih troškova. Odluka o odabiru lokacije vrlo je važna i obuhvaća puno čimbenika. Stoga se odlučivanje temeljeno samo na iskustvu smatra prerizičnim i u suvremenom poslovanju sve se više koriste metode matematičkog programiranja, AHP metoda (*eng.* Analytical Hierarchy Process) te razni računalni alati. [3]

3.2 Izgradnja i unutrašnje uređenje skladišta

Najčešći čimbenici koje treba uzeti u obzir pri izgradnji skladišta su troškovi izgradnje te sigurnost i funkcionalnost skladišnog prostora. Općenito gledano, izgradnja skladišta obuhvaća sve projektantske i građevinske radove koji su u funkciji izgradnje skladišne zgrade, pomoćnih prostora i površina. Zbog toga je prije početka izgradnje potrebno definirati [3] :

- namjenu skladišta
- tip i veličinu skladišta
- raspored skladišnog prostora
- pristup skladištu
- obilježja i nosivost podloge
- veličinu i razmještaj zidova, prozora i vrata

Namjena skladišta ovisi o vrsti robe koja se skladišti dok tip, veličina i raspored skladišnih prostora ovise o raznim čimbenicima, a među njima se posebno ističu cijena zemljišta, kvaliteta građevinske parcele te količina, asortiman, obilježja i protok robe u skladištu. Nakon utvrđivanja tipa skladišta (otvoreno, natkriveno ili zatvoreno) potrebno je utvrditi površinu i volumen prostora za skladištenje i prostora za manipulaciju kojeg čine prijemna i otpremna zona te skladišni putevi. Ovisno o koncepciji skladišta, odn. skladišti li se roba u paletama ili pojedinačno, izračunava se i potrebna veličina skladišnog prostora. Sastavni dio prostora skladišne zgrade čine i prostor za smještaj transportnih sredstava, prostor za smještaj ambalaže, prostor za vraćenu robu, skladišni uredi, garderoba i sanitarije. Uredske prostorije uglavnom se sastoje od dijela za administraciju i računalnu obradu podataka, dvorane za sastanke i sobe za prijem stranaka. Te prostorije treba smjestiti što bliže mjestu primanja i otpreme robe. [3]

Unutrašnje uređenje i opremanje skladišta ponajprije ovise o vrsti skladišta, količini i osobinama robe, vrsti transportnih sredstava, načinu rukovanja robom, tehnici rada i metodi određivanja rasporeda robe u skladištu. Racionalnim uređenjem i dobrom opremljenošću skladišta postižu se velike uštede u vidu prostornog i vremenskog skraćenja skladišnih operacija, povećanja protoka robe i smanjenja potrebnih količina zaliha robe u skladištu. Radi uspješnijeg poslovanja, pri unutrašnjem uređenju skladišta potrebno je maksimalno iskoristiti raspoloživi prostor, održavati red koji će omogućiti lako i brzo pronalaženje robe u skladištu te održavati čistoću i higijenu prostora. Također, treba zadovoljiti sve zahtjeve sigurnosti osoblja, opreme, električnih instalacija i zgrade u cijelosti. Tijekom konstrukcije novog skladišnog prostora potrebno je ostaviti prostora za neke moguće promjene kako bi se skladište uz što manje problema moglo prilagoditi nekim novim trendovima i zahtjevima korisnika. [3]

3.3 Skladišna regalna oprema

Najčešći element opreme skladišta za odlaganje robe su regali. Kao i ostala skladišna oprema, regali su svojom izvedbom prilagođeni vrsti skladišta i robi koja se u njih pohranjuje. S obzirom na to, mogu se podijeliti na paletne, polične i konzolne regale, a sve tri izvedbe shematski su prikazane su na *Slici 4*. Paletni su regali ponajprije namijenjeni pohrani robe na paletama, dok su polični regali namijenjeni smještaju robe u manjim prekrcajnim i manipulativnim jedinicama poput kartonskih i pojedinačnih pakiranja. Konzolni regali upotrebljavaju se za pojedinačno skladištenje proizvoda karakterističnog oblika poput dugih cijevi, šipki i profila. [1]



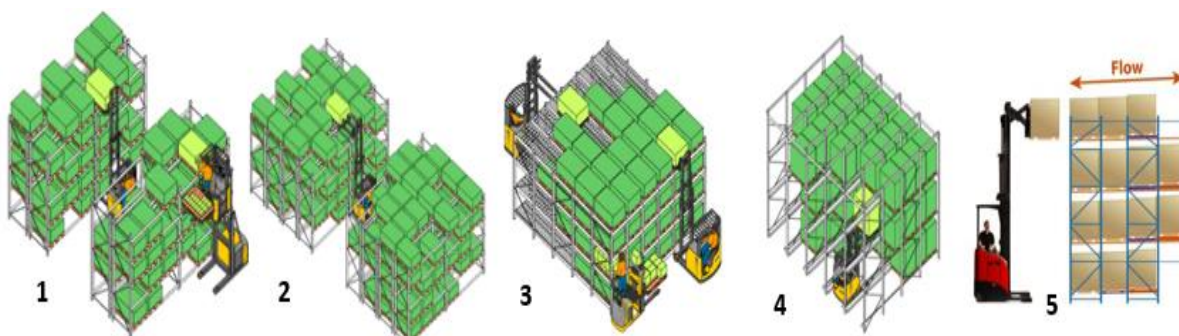
Slika 4. Shematski prikaz različitih regala (izrađeno prema izvoru [1])

U nastavku ovog poglavlja pobliže će se opisati paletni regalni sustavi. Kao što im samo ime govori, paletni regali koriste se za skladištenje paletizirane robe ili pakiranja kojima se može rukovati na isti način. Paleta je ravna struktura koja se koristi za pohranu, zaštitu te automatsko ili ručno rukovanje robom u opskrbnome lancu. Pomoću paleta omogućuje se standardizacija jediničnih tereta čime se olakšava rukovanje i manipulacija različitom vrstom robe. Roba na paleti obično se osigurava omatanjem, vezivanjem ili nekim drugim načinom. Palete mogu biti napravljene od različitih materijala pa se osim najučestalijih drvenih paleta koriste još i plastične, metalne (čelične i aluminijske), kartonske te posebne palete izrađene od prešanog drveta. Prema namjeni palete se dijele na jednokratne i višekratne te na palete univerzalne i specijalne namjene. Danas postoji velik broj različitih dimenzija paleta u svijetu što predstavlja prepreku efikasnijoj i učinkovitijoj razmjeni dobara u globalnim opskrbnim lancima. Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO) ustanovila je standarde za 6 međunarodnih dimenzija paleta. U Europi je najzastupljenija Euro paleta, standardnih dimenzija 1200x800x144 milimetra. [1] Standardna drvena Euro paleta prikazana je na *Slici 5*.



Slika 5. Euro paleta [1]

Regalna skladišta sastoje se od dugih paralelno postavljenih redova regala koji su relativno lagane čelične konstrukcije. [3] Prednost regala je u tome što omogućuju skladištenje na više razina pa se uz površinu iskorištava i visina skladišnog prostora, a pristup robi omogućen je na svakoj razini. Postoje razne izvedbe paletnih regala, a najčešće su prikazane na *Slici 6* i opisane u nastavku:



Slika 6. Različite izvedbe paletnih regala (izrađeno prema izvoru [1])

- 1) jednostruki (klasični) regali (*eng. Single-deep rack*) - omogućena je potpuna sloboda dohvaćanja bilo koje palete, na bilo kojoj razini, ali takav tip regala zahtijeva relativno više prostora za prolaze između regala
- 2) regali dvostruke dubine (*eng. Double-deep rack*) - regali u koje je moguće spremanje paleta u dvije dubine, jedne iza druge; prednost takvih regala je ta što zahtijevaju manje prolaza između regala i tako štede prostor, međutim, potrebno je malo više posla za spremanje i izuzimanje robe te planiranje rasporeda prilikom uskladištenja robe kako bi željeni proizvodi bili dohvatljivi u svakom trenutku

- 3) protočni regali (*eng.* Pallet flow rack) – vrsta regala u kojem se palete odlažu na jednoj strani, zatim pomoću gravitacije putuju prema drugoj strani regala gdje se te palete izuzimaju i na taj način omogućen je FIFO (*eng.* First in-First out - “prvi unutra - prvi van”) način protoka paletizirane robe kroz regal
- 4) prolazni regali (*eng.* Drive in rack) – konceptijski su zamišljeni tako da se artikli pohranjuju u blokove bez prolaza, a konstrukcijska izvedba ovakvih regala omogućuje kretanje viličara unutar stranica regala i odlaganje palete na potrebno mjesto; moguće izvedbe s ulazom i izlazom na istoj strani (*eng.* Drive in) ili različitim stranama (*eng.* Drive through)
- 5) protočni regali s guranjem (*eng.* Push-back rack) – vrsta regala gdje se jedna paleta uvijek potiskuje na prvu dubinu regala na način da se svaka dubina izvlači poput ladice i gura ostale dubine prema naprijed; takvi regali pogodni su samo za LIFO (*eng.* Last in-First out - “posljednji unutra - prvi van”) način protoka paleta kroz regal [5]

S obzirom na temu rada, u *Poglavlju 4* će se detaljno opisati Radio Shuttle regalni sustavi.

3.4 Informatizacija i računalno upravljanje skladištem

U segmentu organizacije skladišnog poslovanja potrebna je organizacija skladišnih procesa te njihovo poboljšanje i prilagodba s ciljem postizanja što boljeg ukupnog učinka. S obzirom na suvremene kriterije vrednovanje učinka logističke usluge i na sve veći obujam procesa koji se u skladištu odvijaju, razvijena su tehnička i informatička rješenja koja omogućuju realizaciju tako postavljenih ciljeva. Osnova ideja informatizacije skladišnih sustava je ubrzanje dviju skladišnih operacija koje imaju najveći utjecaj na ukupni učinak skladištenja, a to su pohrana robe i komisioniranje. Razvijene su različite tehnologije koje ubrzavaju i pojednostavljuju te procese, a svima im je zajedničko računalno upravljanje. Sustavi za računalno upravljanje (*eng.* WMS- Warehouse management system) zajednički je naziv za računalne alate koji se koriste za učinkovito upravljanje skladišnim procesima i aktivnostima poput prijema robe, pohrane, komisioniranja, otpreme i upravljanja zalihama. To su složeni softverski paketi koji omogućuju primjenu složenih skladišnih procesa s ciljem povećanja ukupnih učinaka skladišnoga sustava. WMS bi trebao korisniku pomoći da kroz optimizaciju skladišnih procesa poveća iskorištenje prostora skladišta, smanji broj pogrešaka tijekom realizacije skladišnih procesa, smanji vrijeme manipuliranja robom i putovanja operatera u skladištu. [3]

Informatizacijom skladišnih procesa razvijen je i Radio Shuttle regalni sustav koji u suradnji s WMS-om služi za softverski nadzirano i brzo uskladištenje i izuzimanje paletne robe iz regalnog sustava. Radio Shuttle regalni sustavi detaljnije će se opisati u sljedećem poglavlju.

4. RADIO SHUTTLE REGALNI SUSTAVI

Regalni sustavi za pohranu i izuzimanje proizvoda pomoću regalnih vozila (*eng.* Radio Shuttle Rack System) sve se češće koriste u izvedbama modernih skladišnih sustava. Radio Shuttle regalni sustav moderna je izvedba skladišnog regalnog sustava za pohranu i izuzimaju proizvoda koji se nalaze na paletama ili u kontejnerima. U takvim se sustavima proizvodi transportiraju pomoću specijalno dizajniranih vozila koja putuju u horizontalnome smjeru kroz regale. [6] Vozila se kreću horizontalno kroz regale duž posebno dizajniranih staza i prolaza koji odgovaraju veličini tereta koji se skladišti. Na *Slici 7* prikazan je izgled jednog Radio Shuttle regalnog sustava.



Slika 7. Prikaz Radio Shuttle regalnog sustava [7]

Radio Shuttle regalni sustavi najčešće se koriste u skladištima s velikim brojem raznovrsnih artikala i brzim protokom proizvoda gdje se zahvaljujući sinkroniziranom radu Shuttle-ova upravljanih WMS-om omogućuje brza priprema raznovrsnih pošiljki. [8] Također, ubrzan je i proces komisioniranja jer roba pomoću Shuttle-ova dolazi komisioneru pa se eliminira vrijeme hodanja i traženja proizvoda. Na taj način eliminira se i mogućnost ljudske pogreške koja se mogla dogoditi odabirom krivog artikla. Radio Shuttle regalni sustavi može se koristiti u ekstremnim uvjetima pa je posebno pogodan za skladištenje prehrambenih proizvoda za koje se moraju zadovoljiti određeni standardi u vidu temperature i čistoće skladišnog prostora. [7]

Radio Shuttle regalni sustav je poluautomatizirani sustav gdje se roba do regalnog sustava doprema pomoću viličara, a pomoću viličara se mijenja i razina u kojoj Radio Shuttle-ovi putuju. Naime, viličar smješta Shuttle u stazu regala u kojem paleta mora biti uskladištena. Nakon toga, paleta se diže pomoću viličara i stavlja na Shuttle koji je prevozi na zadanu lokaciju. Za vrijeme uskladištenja palete pomoću Shuttle-a, viličar ima vremena pripremiti sljedeću paletu za podizanje. Prilikom izuzimanja paleta, Shuttle dovozi paletu do ruba regala gdje je preuzima viličar i spušta na za to predviđeno mjesto. Tada se paleta priprema za daljnju distribuciju. Rad visokoregalnog viličara u jednom Radio Shuttle regalnom sustavu prikazan je na *Slici 8*.



Slika 8. Visokoregalni viličar u suradnji s Radio Shuttle-om [7]

Za implementaciju Radio Shuttle regalnog sustava potreban je WMS koji će kontrolirati cjelokupan proces. Radio Shuttle-ovima se upravlja pomoću daljinskog upravljača, a upravljanje može biti ručno ili automatsko. Operater može izabrati ručni način gdje on samostalno upravlja vozilom i ručno ga navodi. Međutim, zbog jednostavnosti i brzine, u takvim sustavima upravljanje je najčešće automatsko. U automatskom načinu upravljanja, operater pritiskom na gumb zadaje naredbu, a Shuttle navođen WMS-om samostalno izvršava zadatak. Pomoću jednog daljinskog upravljača može se kontrolirati samo jedno vozilo, ali i cjelokupni sustav. Isto tako, jednostavnim odabirom na ekranu daljinskog upravljača mogu se birati različiti načini rada prilagođeni uvjetima skladišnog sustava. [9]

4.1 Usporedba Radio Shuttle regalnog sustava s ostalim izvedbama regala

U Radio Shuttle regalnom sustavu nema prolaza između dva regala, već se Shuttle-ovi gibaju kroz sami regal. Iskorištavanjem prostora koji se u klasičnoj izvedbi paletnih regala koristio kao prolaz moguće je duplo povećati kapacitet skladišta. [10] Na *Slici 9* prikazana je ušteda prostora i povećanje skladišnog kapaciteta korištenjem Radio Shuttle regalnog sustava u odnosu na klasični paletni regalni sustav.



Slika 9. Usporedba klasičnog paletnog i Radio Shuttle regalnog sustava
(izrađeno prema izvoru [9])

Radio Shuttle regalni sustavi štede prostor jer eliminiraju potrebu za prolazima između regala i predstavljaju modernu alternativu prolaznim regalima. U prolaznim se regalima manipulacija robom odvija pomoću viličara koji ulaze u regale, dok kod Radio Shuttle regalnog sustava viličari služe samo kao ispomoć Shuttle-ovima i zadržavaju se izvan regala. Na taj način smanjuje se mogućnost oštećenja regala i povećava operativna produktivnost. Naime, Shuttle koji se kreće po posebnom putu može odraditi posao puno brže od viličara koji mora ulaziti u prostor regala. Na *Slici 10* prikazana je usporedba prolaznog i Radio Shuttle regalnog sustava.



Slika 10. Usporedba prolaznog i Radio Shuttle regalnog sustava
(izrađeno prema izvoru [7])

U protočnom regalnom sustavu palete se odlažu na jednu stranu regala te uz pomoć gravitacije putuju na drugu stranu. Tako je omogućen FIFO način protoka proizvoda u regalnom sustavu. Za razliku od protočnog regalnog sustava, Radio Shuttle regalni sustav omogućava i FIFO i LIFO način protoka proizvoda. Naime, ako se palete uskladištavaju na jednoj strani, a izuzimaju na drugoj, zadovoljava se FIFO princip. Međutim, ukoliko se palete odlažu i izuzimaju na istoj strani regala, zadovoljava se LIFO princip. Na taj način omogućena je brza prilagodba trenutnim potrebama te se roba bez problema izuzima na bilo kojoj strani regala. Na *Slici 11* prikazana je razlika u izuzimanju paleta između FIFO i LIFO principa.



Slika 11. Razlika između FIFO i LIFO principa izuzimanja paleta [10]

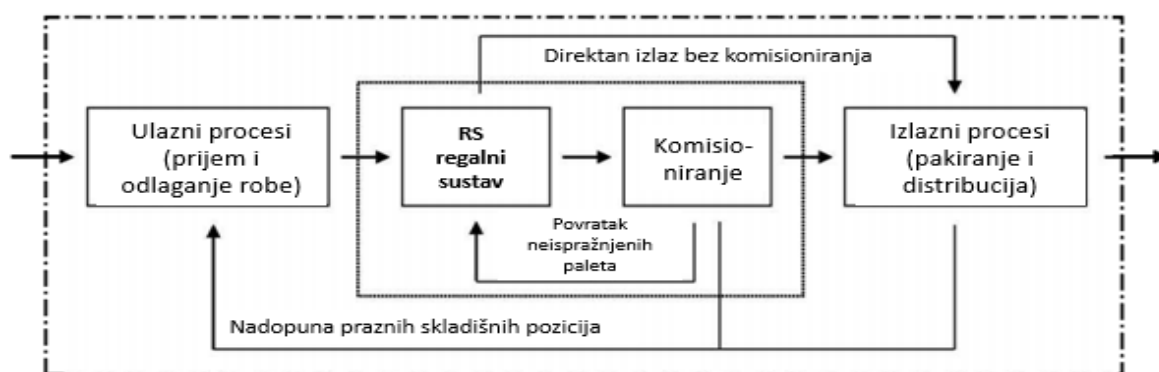
Isto tako, Radio Shuttle regalni sustav karakterizira jednostavna konstrukcija, a svu kompleksnost posla obavljaju specijalizirana vozila. S druge strane, protočni regali imaju složenu konstrukciju koja omogućuje protok paleta pomoću gravitacije. Takva konstrukcija zahtijeva strože održavanje, a ne smije se zanemariti ni mogućnost da se paleta zaglavi i zaustavi protok cijelog sustava unutar jednog reda regala. Na *Slici 12* prikazana je usporedba protočnog i Radio Shuttle regalnog sustava.



**Slika 12. Usporedba protočnog i Radio Shuttle regalnog sustava
(izrađeno prema izvoru [9])**

4.2 Uloga Radio Shuttle regalnog sustava

Zadaća Radio Shuttle regalnog sustava je skladištenje proizvoda na određenu poziciju te njegovo kasnije izuzimanje iz regalnog sustava pomoću specijaliziranih vozila koja se nazivaju Shuttle-ovi. Sustav je namijenjen za manipulaciju robom na paletama ili u nekom drugom obliku spremnika. Cijeli proces upravljan je od strane WMS-a koji kontrolira sve aktivnosti unutar Radio Shuttle regalnog sustava. Prilikom ulaska robe u skladište, ona se mora transportirati do određenog mjesta preuzimanja s kojeg je Radio Shuttle može prihvatiti i uskladištiti na unaprijed određenu lokaciju. Roba se na paleti ili kontejneru do Radio Shuttle regalnog sustava transportira pomoću viličara. WMS sustav šalje naredbu najbližem slobodnom Radio Shuttle-u te mu prosljeđuje informaciju o trenutnoj lokaciji robe koju mora uskladištiti i o skladišnoj poziciji na koju se roba sprema. Ukoliko se Shuttle nalazi u pogrešnom regalnom prolazu potrebno ga je premjestiti pomoću viličara. Radio Shuttle po nalogu prihvaća robu te je transportira i pohranjuje na zadanu lokaciju. WMS registrira da je posao uspješno obavljen te šalje Shuttle na dogovoreno mjesto odmora ili mu zadaje novi zadatak. S druge strane, kada WMS registrira određenu narudžbu, on pronalazi lokaciju potrebnog proizvoda za izuzimanje i tu informaciju šalje do najbližeg Radio Shuttle-a. Shuttle dolazi do te lokacije, utovaruje paletu s proizvodom i prevozi je do lokacije za izuzimanje. Dakle, Radio Shuttle regalni sustav omogućuje izuzimanje proizvoda po principu „roba čovjeku“. U takvome procesu zaposlenici ne gube vrijeme na traženje proizvoda po skladištu već tražena roba dolazi direktno k njima. Na taj način ostvaruju se vremenske uštede, ali i sprječava mogućnost ljudske pogreške. Ukoliko se cijela izuzeta paleta šalje kupcu, ona se pakira i priprema za danju distribuciju. Međutim, ako je potrebno izuzeti samo nekoliko proizvoda, paleta odlazi u zonu za komisioniranje gdje se slažu posebne pošiljke za kupce sastavljene od različitih proizvoda. Moguć je i povratak neispraznjenih paleta u Radio Shuttle regalni sustav, ali tada je potreban velik oprez kako ne bi došlo do urušavanja paleta u regalima.



Slika 13. Položaj Radio Shuttle regalnog sustava unutar cjelokupnog skladišnog procesa (preuzeto iz izvora [6] i prevedeno)

Kao što je prikazano na *Slici 13*, Radio Shuttle regalni sustav smješten je između ulaznih i izlaznih skladišnih procesa, a s njima je povezan pomoću mreže transportnih puteva. Radio Shuttle sustav dobiva naredbe putem virtualnih informacija od strane WMS-a i fizičke robe na paletama putem transportnih sredstava. Vrijeme izvršavanja jednog zahtjeva ovisi o mnogo faktora kao što su lokacija robe koju je potrebno uskladištiti ili izuzeti, željena lokacija odredišta, trenutni položaj Radio Shuttle-a kao i njegova brzina i ubrzanje. [6]

4.3 Zahtjevi u fazi konstrukcije Radio Shuttle regalnih sustava

Radio Shuttle regalni sustav oblikuje se prema vrsti robe koja se skladišti, mogućnostima skladišnog prostora i zahtjevima kupaca. Prema tome, postoje različite izvedbe takvih skladišnih sustava. U fazi konstrukcije potrebna je izrazita pažljivost kako bi se u obzir uzeli svi potrebni faktori i kako bi novoizgrađeni sustav mogao pozitivno odgovoriti na sve postavljene zadatke. Zbog puno utjecajnih faktora kojima je potrebno prilagoditi ovakav sustav, ali i mnogo procesa koje je potrebno uskladiti, u fazi konstrukcije tako složenih sustava koriste se složene analitičke metode ili računalne simulacije. Računalna simulacija nudi mogućnost analize rada cjelokupnog sustava kao i analize pojedinačnih dijelova u različitim razinama detaljnosti. Također, simulacijom je moguće stalno mijenjati parametre sustava kako bi se vidjelo kako se sustav prilagođava i ponaša u različitim situacijama. Ako testirani sustav zadovoljava sve uvjete, kreće se u proces izgradnje. Ukoliko se nađe na neke probleme, potrebno je uvesti određene promjene i dodatno prilagoditi sustav željama naručitelja. Naravno, izrada simulacijskog modela koji će realno opisivati stvarne uvjete rada zahtijeva mnogo vremena, znanja i rada inženjera pa stoga taj proces može biti jako skup. Računalne simulacije detaljnije će se opisati u *Poglavlju 5*.

Ukratko, Radio Shuttle regalni sustavi moraju biti izgrađeni na način da mogu uspješno izvršavati trenutne i buduće zahtjeve kupaca uz dovoljan kapacitet skladišta te održavanje zadanog toka robe u skladišnom sustavu. Dakle, takvi sustavi moraju biti konstruirani na način da sprječavaju zastoje u procesu, odnosno tzv. uska grla i nedostatak kapaciteta. Također, tijekom konstrukcije i izgradnje sustava potrebno je paziti na iznos troškova izgradnje i kasnijih operativnih troškova. [6] Glavni zahtjevi u fazi projektiranja koje je potrebno zadovoljiti, prikazni su na *Slici 14*.



**Slika 14. Zahtjevi u fazi konstrukcije Radio Shuttle regalnog sustava
(preuzeto iz izvora [6] i prevedeno)**

Radio Shuttle regalni sustav trebao bi imati kapacitet u vidu broja skladišnih lokacija jednak ili malo veći od potrebnoga u slučaju nekog izvanrednog slučaja. Stoga je izuzetno važno određivanje potrebnog kapaciteta imajući u vidu i buduće poslovanje. Nadalje, dimenzije sustava potrebno je prilagoditi postojećem ili planiranom prostoru skladišta. Vrlo je bitno da izgrađeni sustav može zadovoljiti zahtjeve za potrebnim protokom i kvalitetom usluge. Protok je definiran kao broj procesa uskladištenja ili izuzimanja u određenom vremenskom periodu. Kvaliteta usluge može se mjeriti prema postotku uspješno obavljenih zadataka u zadanome roku, a može se izraziti kao brzina izvršenja zadataka, odnosno vrijeme koje prođe od trenutka primitka zahtjeva do njegovog izvršenja. [6] Isto tako, sustav mora biti dizajniran na način da ne ometa ostale skladišne procese.

S obzirom na broj redova regala, kapacitet jednog reda i broj razina, lako je zaključiti odgovara li planirani regalni sustav zahtjevima kapaciteta. Također, poznavajući broj skladišnih pozicija i potrebne dimenzije jedne skladišne pozicije lako je izračunati hoće li se planirani regalni sustav dimenzijski prilagoditi planiranom prostoru. Isto tako, analitičkim metodama ili simulacijom određuje se može li konstruirani sustav zadovoljiti postavljene zahtjeve za protokom i kvalitetom usluge. Postave se ciljevi i izračuna iskoristivost svakog elementa Radio Shuttle regalnog sustava. Ukoliko je iskoristivost elementa ispod 100 % znači da on može uspješno ispunjavati svoj posao. [6] Također, vrlo bitan dio cijelog sustava jesu mjesta za odlaganje proizvoda na ulazu i izlazu iz regalnog sustava. Naime, neophodno je postojanje nekoliko mjesta za odlaganje (*eng.* Buffer area) koje služe za ujednačavanje protoka robe i sprječavanje zastoja. U fazi konstrukcije na temelju kapaciteta skladišta, broja Shuttle-ova i načina transporta robe izvan Radio Shuttle regalnog sustava određuje se potreban broj i kapacitet zona za odlaganje. Također, često se na izlazu iz Radio Shuttle regalnog sustava nalaze i stanice za komisioniranje jer se roba nakon izuzimanja u većini slučajeva mora komisionirati i reorganizirati prema željama kupaca.

4.4 Specijalizirana vozila – Shuttle-ovi

Za prijenos robe unutar samog Radio Shuttle regalnog sustava koriste se specijalizirana vozila koja se nazivaju Shuttle-ovi. Takva vozila transportiraju palete ili kontejnere u vodoravnome smjeru istodobno i neovisno jedan o drugome. Prikaz jednog takvog Shuttle-a nalazi se na *Slici 15*.



Slika 15. Radio Shuttle [7]

Radio Shuttle-ovi putuju po posebno izrađenoj stazi unutar regala koja je dimenzijski prilagođena vrsti vozila. Ova specijalizirana vozila imaju mogućnost transporta paleta različitih dimenzija i raznih spremnika. Za skladištenje i izuzimanje robe koriste se uređaji za rukovanje teretom (*eng.* LHD- Load Handling Device) koji mogu biti raznih izvedbi. Razvijeni su uređaji u obliku steznih naprava, uređaja za hvatanje i podiznih modula. [6] *Slika 16* prikazuje jedan Radio Shuttle u njegovoj stazi unutar regala.



Slika 16. Radio Shuttle unutar staze u regalnom sustavu [9]

Zbog litij-ion baterije koja ih pogoni, Shuttle-ovi su prilagođeni za rad u zatvorenim prostorima. Takva baterija se može brzo i lako zamijeniti i staviti na punjenje. Današnji Shuttle-ovi imaju mogućnosti i do 12 sati rada uz punjenje baterije od 6 sati. Vrlo je bitno naglasiti i mogućnost rada takvih vozila u ekstremnim temperaturnim uvjetima pa Shuttle-ovi bez problema rade u hladnjačama i ekstremno toplim prostorima. Svaki je Shuttle opremljen s nizom senzora koji omogućuju siguran i učinkovit rad. Tako postoje senzori za navigaciju koji pomoću WMS-a usmjeravaju vozilo te senzori pokreta koji zaustavljaju Shuttle ako bi došlo do kolizije s nekim drugim elementom. Pomoću senzora detekcije omogućeno je i prebrojavanje paleta unutar regala pomoću Radio Shuttle-a. Na interaktivnom korisničkom sučelju daljinskog upravljača operater u svakom trenutku može vidjeti informacije o vozilu te pratiti najnovije podatke. [9] U sljedećem poglavlju navest će se neki od najpoznatiji proizvođača Radio Shuttle-ova i opisati njihovi proizvodi.

4.5 Proizvođači i ponuda Radio Shuttle regalnih sustava

Različite izvedbe Radio Shuttle regalnih sustava u svijetu postoje više od deset godina i razvijaju se iz dana u dan. Prednosti ovakve tehnologije koriste se u raznim izvedbama skladišta u industrijama poput farmaceutske, prehrambene, IT industrije itd.. Mnoge tvrtke specijalizirale su se u razvoju modernih Radio Shuttle regalnih sustava i implementiraju svoja rješenja u modernim distribucijskim centrima diljem svijeta. Međutim, svi ti različiti Radio Shuttle regalni sustavi baziraju se na istoj tehnologiji i sličnim vozilima koja se samo prilagođavaju individualiziranim potrebama kupaca. U nastavku će se prikazati primjeri implementacije Radio Shuttle tehnologije najpoznatijih svjetskih lidera u proizvodnji skladišne opreme.

Njemački div SSI Schäfer proizveo je jedan od najpoznatijih Radio Shuttle modela pod imenom Orbiter. Trajnost baterija ovog modela doseže do 16 sati rada, a u prodaji su i modeli bez baterija. Naime, Orbiter Radio Shuttle može dobivati energiju pomoću inovativne Power Cap tehnologije. Tehnologija se temelji na električnim kontaktim blokovima smještenima unutar regala koji u dodiru s Radio Shuttle-om prenose električnu energiju. Naravno, svi elementi su izolirani i regali su sigurni za korištenje. Na taj način izbjegava se potrebna promjena i punjenje baterija. Ova inovativna tehnologija implementirana je skladištu tvrtke Arla koja se bavi proizvodnjom mliječnih proizvoda u Danskoj, u skladištu švicarske tvrtke Saline de Bex koja se bavi proizvodnjom soli te za njemačku tvrtku LGI koja pruža logističke usluge u skladištu smještenom u njemačkom gradu Hünxe. [10] Implementacija Orbitera je dokaz kako se Radio Shuttle tehnologija primjenjuje diljem svijeta u različitim granama industrije. Na *Slici 17* prikazan je Orbiter njemačke tvrtke SSI Schäfer.



Slika 17. SSI Orbiter Radio Shuttle [10]

Talijanska tvrtka Ferretto Group razvila je svoj model Shuttle-ova nazvanih Flexy 800. Takav Shuttle putuje po samome regalu, eliminirajući potrebu za prolazima. Shuttle putuje po prolazu ispod paleta, a kada dođe do zadane lokacije podiže se i tako preuzima paletu koju prevozi na potrebnu lokaciju. Shuttle-ovi ne mogu sami mijenjati smjer, nego se pomoću viličara mijenja njihova staza i razina u regalu. Sustavom se upravlja pomoću softvera, odn. WMS-a, a Shuttle-ovima je moguće upravljati i ručno pomoću daljinskog upravljača. Radio Shuttle sustav pod nazivom Flexy 800 implementiran je u skladište talijanskog proizvođača dentalne opreme Euronda i skladište talijanske tvrtke Sama koja se bavi prehrambenom industrijom. [7] Ferrettov Flexy sustav prikazan je na *Slici 18*.



Slika 18. Ferretto Flexy 800 [7]

Tvrtka Link 51 najveći je britanski proizvođač paletnih regalnih sustava i skladišne opreme. Svoj Radio Shuttle paletni sustav uspješno su implementirali u skladište tvrtke Toolbank, britanskog veletrgovca alatima i hardverske opreme. U skladište tvrtke Toolbank implementiran je sustav s dva Radio Shuttle-a. Novi poluautomatizirani sustav upravljan pomoću daljinskog upravljača odlično se uklopio uz postojeće klasične paletne regale koji su zadržani u skladištu što pokazuje veliku fleksibilnost Radio Shuttle tehnologije. [11] Na *Slici 19* prikazan je Radio Shuttle proizvođača Link 51 implementiran u skladište tvrtke Toolbank.



Slika 19. Radio Shuttle Link 51 [11]

Jedan od najpoznatijih svjetskih proizvođača inovativnih skladišnih rješenja je i španjolska tvrtka Mecalux. Tvrtka prodaje svoja rješenja diljem svijeta, a jedan od najvećih projekata bila im je implementacija Radio Shuttle paletnog regalnog sustava u skladištu francuskog proizvođača i distributera medicinske opreme. Zbog strogih higijenskih uvjeta u skladištu, tvrtka Didactic odlučila je implementirati Mecalux Radio Shuttle sustav. U skladištu su instalirani visokotehnološki Shuttle-ovi opremljeni s kamerama koje olakšavaju uskladištenje i izuzimanje paleta. Svi su Shuttle-ovi opremljeni i elektromagnetskim sustavom koji olakšava rukovanje takvih vozila pomoću viličara. Cijeli sustav upravljan je pomoću samo jednog tableta koji uz pomoć WMS-a kontrolira i nadgleda rad cijelog Radio Shuttle regalnog sustava. [9] Na *Slici 20* prikazan je način upravljanja takvim sofisticiranim Radio Shuttle regalnim sustavom.



Slika 20. Upravljanje Mecalux Radio Shuttle-ovima [9]

4.6 Upravljanje Radio Shuttle sustavom

Radio Shuttle regalni sustav, kao što je već spomenuto, poluautonomni je sustav kontroliran od strane WMS-a. Sustav za računalno upravljanje nadgleda rad cjelokupnog skladišnog sustava. Radio Shuttle-ovi upravljani su pomoću daljinskog upravljača gdje operater bira između potpune ručne kontrola vozila ili automatskog upravljanje pomoću WMS-a. U takvim sustavima upravljanje je najčešće automatsko gdje operater pritiskom na gumb zadaje naredbu, a Shuttle navođen WMS-om samostalno izvršava zadatak. Zbog jednostavnosti upravljanja, Shuttle-ove mogu kontrolirati viličaristi koji stavljaju i izuzimaju palete sa Shuttle-ova pomoću uređaja smještenog u kabini viličara ili operateri zaduženi samo za upravljanje takvim specijalnim vozilima. Na *Slici 21* prikazano je upravljanje Shuttle-ovima iz kabine viličara. Postoje razni proizvođači i različite izvedbe sustava pa se tako pomoću jednog daljinskog upravljača može kontrolirati samo jedno vozilo, ali i cjelokupni sustav. Također, ovisno o izvedbi i opremi, Shuttle-ovi mogu imati različite mogućnosti rada.



Slika 21. Upravljanje Shuttle-ovima iz kabine viličara [9]

Sustav implementacije i upravljanja Radio Shuttle regalnim sustavima složeni je proces koji se mora pomno isplanirati i individualno prilagoditi skladišnim uvjetima, a može se podijeliti u nekoliko faza [6] :

- Dodjeljivanje skladišne pozicije (*eng. Storage assignment*)
- Vremensko raspoređivanje zadataka (*eng. Sequencing*)
- Raspoređivanje vozila (*eng. Resource assignment*)
- Određivanje rute vozila (*eng. Routing*)
- Određivanje mjesta odmora vozila (*eng. Dwell point strategy*)

Za dodjeljivanje skladišnih pozicija proizvodima može se primijeniti nekoliko različitih metoda. Proizvodi se mogu skladištiti prema slučajnom rasporedu ili prema unaprijed određenim strategijama. Prvi način podjele je rezervacija skladišnih lokacija prema vrsti proizvoda. Nedostatak takve podjele je rezervacija fiksnog kapaciteta skladišta iako u njemu možda trenutno nema tih proizvoda. Roba se može skladištiti i prema strategiji najbliže slobodne lokacije, ali takva strategija često rezultira konfuzijama i zastoјima te duljim vremenima prilikom izuzimanja proizvoda iz skladišta. Kako bi se smanjilo vrijeme izuzimanja, razvijena je strategija pohrane proizvoda s najvećim protokom što je bliže moguće izlazu iz regalnog sustava. U ovoj strategiji pojavljuje se problem uskladištenja novih proizvoda jer je potrebno pomicati već uskladištene palete. Kako bi se kombinirale prednosti pojedinih strategija, razvijen je način dodjeljivanja skladišnih pozicija pomoću podjele regalnog sustava u zone prema protoku. Proizvodi koji najbrže izlaze dodjeljuju se zoni A, oni normalnog protoka zoni B, a najsporiji proizvodi smještaju se u zonu C. Unutar pojedinih zona proizvodi se mogu smještati prema slučajnom ili unaprijed određenom rasporedu. U ABC klasifikaciji najteže je odrediti koliko proizvoda dodijeliti kojoj skupini i kako te skupine rasporediti u regalnog sustavu. [6]

Vozila, odn. Shuttle-ovi mogu obavljati jednostruke ili dvostruke cikluse. Primjer jednostrukog ciklusa je proces izuzimanja robe iz skladišne lokacije gdje vozilo dobiva zadatak, dolazi do skladišne lokacije, izuzima proizvod i odvozi ga na mjesto izlaza iz regalnog sustava. Kada bi vozilo nakon izuzimanja direktno produžilo do ulazne lokacije, preuzelo robu i uskladištilo je na predviđenu lokaciju radilo bi u dvostrukom ciklusu koji u jednome zadatku spaja izuzimanje i uskladištenje proizvoda. Oba načina rada imaju svoje prednosti i nedostatke. Naime, u jednostrukom ciklusu vozila putuju pola ciklusa prazna, dok se u dvostrukom ciklusu može izgubiti dosta vremena na čekanje da se operacije uskladištenja i izuzimanja vremenski usklade. Zbog toga se u sustavima prilikom vremenskog raspoređivanja zadataka često primjenjuju mješoviti ciklusi koji kombiniraju značajke opisanih jednostrukih i dvostrukih ciklusa.

Proces određivanja koje vozilo izvršava koji zadatak ponajprije ovisi o tome koje vozilo je u određenom trenutku slobodno i najbliže određenoj lokaciji. U regalnim sustavim u kojima su Shuttle-ovi striktno vezani uz svoje prolaze i razine nema problema s odabirom vozila jer u svakom redu postoji samo jedna opcija. Također, u sustavima u kojima se Shuttle-ovi mogu gibati samo u jednome smjeru duž regala nema potrebe za određivanjem i optimizacijom rute vozila. S povećanjem stupnjeva slobode gibanja Shuttle-ova povećava se i kompleksnost procesa odabira, ali se povoljnim odabirom ostvaruju uštede vremena i povećanje protoka robe.

Takvi procesi namijenjeni su najčešće za složene i automatizirane Radio Shuttle regalne sustave

s poprečnim prolazima gdje vozila mogu mijenjati svoje rute i regale duž kojih se kreću, a isto tako i razine regala pomoću raznih oblika dizala.

Ukoliko vozilo nakon izvršenja zadatka nema sljedeći zadatak, ono mora negdje stati. Lokacija odmora također je bitan faktor koji utječe na duljinu puta vozila prilikom sljedećeg zadatka. Vozilo se najčešće zaustavlja na mjestu na kojem je obavilo zadatak, na mjestu na kojem je započelo zadatak ili na sredini regala, no to mjesto može se odrediti proizvoljno i prilagoditi sustavu po željama i potrebama. [6]

4.7 Prednosti i nedostaci Radio Shuttle regalnih sustava

Radio Shuttle regalni sustavi predstavljaju poluautomatizirano rješenje skladištenja idealno za skladišta koje karakterizira velik broj različitih proizvoda i velik protok proizvoda kroz skladišni sustav. Pošto se u takvim sustavima palete transportiraju pomoću specijaliziranih vozila koja putuju po regalima, eliminira se potreba za prolazima između regala te se na taj način ostvaruju velike uštede prostora i povećanje skladišnog kapaciteta. Zbog transporta palete pomoću specijaliziranih vozila nema potrebe za ulaskom viličara unutar regala što značajno smanjuje operativno vrijeme skladišnih operacija te mogućnost ozljeda i oštećenja regala uzrokovanih ljudskom pogreškom. Pošto WMS nadgleda sve procese ovog poluautomatiziranog sustava, smanjuje se i mogućnost ljudske pogreške. Ovakav sustav pruža korisniku informacije o svim dijelovima sustava u stvarnom vremenu pa je omogućena brza reakcija u slučaju potrebe. Kako se smanjuje potreba za radom viličarista, tako se smanjuje i potreba za brojem radnika pa su uštede moguće i u tom dijelu. Također, ovakav tip regalnog skladišta pogodan je za rad u raznim uvjetima pa se posebno primjenjuje na ekstremnim temperaturama kao što su hladnjače ili u prostorima sa strogo kontroliranim higijenskih uvjetima. Radio Shuttle-ovi najčešće su pogonjeni litij-ionskom baterijom koja se puni pa se u skladištima smanjuju ispušni plinovi koji nastaju od plinskih viličara. Takvi sustavi lako se održavaju, a pokvarena i istrošena vozila mogu se vrlo lako zamijeniti. [7]

S druge strane, za uspješnu implementaciju Radio Shuttle regalnog sustava potrebno je pomno isplanirati cjelokupni način rada i individualno ga prilagoditi postojećim skladišnim uvjetima. Također, neophodna je upotreba WMS sustava koji će upravljati i kontrolirati ovakav regalni sustav. Za opsluživanje i prebacivanje Radio Shuttle-ova iz jedne razine regala u drugu i dalje su potrebni viličari. Baterije koje pogone Shuttle-ove i dalje se razvijaju, a prosječni kapacitet im je oko 8 sati rada, što znači da za neprekidan rad sustava potrebno duplo više Shuttle-ova od planiranog ili konstantno vađenje i mijenjanje istrošenih baterija koje se stavljaju na punjenje.

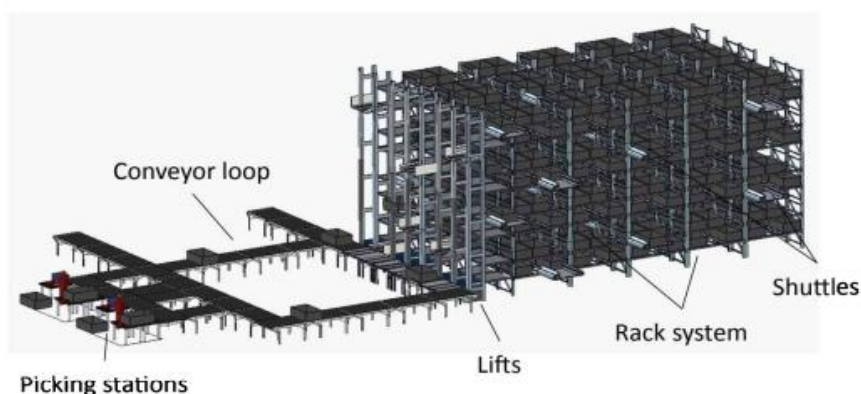
4.8 Potpuno automatizirani Radio Shuttle regalni sustavi

Potpuno automatizirani Radio Shuttle regalni sustavi (*eng.* SBS/RS-Shuttle Based Storage and Retrieval System) predstavljaju zanimljivu alternativu tradicionalnim automatiziranim sustavima za pohranu i izuzimanja proizvoda (*eng.* AS/RS-Automated Storage and retrieval System). Shematski prikaz jednog klasičnog AS/RS sustava s dizalicom prikazan je na *Slici 22*.



Slika 22. AS/RS sustav s dizalicom [2]

Za razliku od klasičnih AS/RS sustava u kojima se za uskladištenje i izuzimanje proizvoda koristi dizalica (*eng.* S/R Crane), u automatiziranim Radio Shuttle regalnim sustavima za manipulaciju robom koriste se Radio Shuttle-ovi. Radio Shuttle regalni sustavi znatno su fleksibilniji i jeftiniji od AS/RS sustava. Naime, jednom izgrađeni AS/RS sustav mnogo je teže mijenjati nakon izgradnje, dok je Radio Shuttle sustav zbog svoje jednostavnije konstrukcije uz određene modifikacije moguće prilagođavati trenutnim potrebama. Zbog Shuttle-ova koji se gibaju kroz same regale ostvaruje se ušteda skladišnog prostora i povećanje kapaciteta za razliku od specijaliziranih dizalica u AS/RS sustavima koje se kreću kroz vlastite prolaze. Na *Slici 23* shematski je prikazan izgled jednog SBS/RS sustava.



Slika 23. Automatiziran SBS/RS [6]

Oba automatizirana sustava omogućuju brže izvođenje skladišnih operacija i eliminiraju mogućnost ljudske pogreške. Radio Shuttle-ovi svojim načinom rada bolje reagiraju u sustavima s brzim protokom proizvoda i potrebom za pripremu narudžbi koje se sastoje od velikog broja raznovrsnih artikala.

Za razliku od poluautomatiziranih Radio Shuttle regalnih sustava, u SBS/RS sustavima za manipulaciju i opsluživanje Shuttle-ova ne koriste se viličari. Naime, roba na paletama ili u posebnim spremnicima do Shuttle-ova dolazi pomoću automatiziranih konvejera. Za vertikalno gibanje Shuttle-ova koriste se razne izvedbe liftova koje podižu i spuštaju vozila na željenu razinu regala. Prilikom izuzimanja robe iz skladišnog sustava, Shuttle, ponovno dostavlja paletu na konvejer pomoću kojeg se ona transportira prema mjestu pripreme za danju distribuciju.

S obzirom na vrstu Shuttle-ova koji se koriste moguće je postići različite stupnjeve automatizacije sustava. Prema slobodi gibanja Shuttle-ovi se dijele na [6]:

- Vozila zatočena u prolazu (*eng. Aisle-captive Vehicles*)
- Slobodna vozila (*eng. Aisle-to-Aisle Vehicles*)

Vozila koja mogu putovati samo u jednoj ravnini po posebno dizajniranim horizontalnim stazama unutar regala, a svoju razinu mijenjaju pomoću liftova nazivaju se vozila zatočena u prolazu. Ukoliko vozila mogu putovati u više ravnina nazivaju se slobodni Shuttle-ovi. Naime, takva vozila u prolazima između regala mogu samostalno promijeniti stazu pomoću rotacije svojih kotača ili pomoću specijaliziranih vozila koja su zadužena za prijenos Shuttle-ove na druge staze. Takvi sustavi znatno su složeniji i zahtijevaju dodatne prostore između regala namijenjene za promjenu staze Shuttle-ova. Međutim, na taj način omogućen je rad sustava s manjim brojem vozila. U sustavima sa zatočenim vozilima u prolazima potreban je najmanje jedan Shuttle u svakom redu regala koji će pomoću liftova mijenjati razine unutar regala. Ukoliko ne postoje ni liftovi, u svakom prolazu regala potreban je najmanje jedno vozilo [12]. Za skladištenje i izuzimanje robe koriste se LHD uređaji za rukovanje teretom koji mogu biti raznih izvedbi. Razvijeni su uređaji u obliku steznih naprava, uređaja za hvatanje i podiznih modula. Na jednom vozilu može se nalaziti više uređaja za rukovanje teretom pa se tako omogućuje transport više jedinica istovremeno na jednom vozilu. U novije vrijeme razvijaju se i Shuttle-ovi koji mogu doseći više razina i tako omogućuju skladištenje robe na poziciju koja se nalazi izvan njegove staze. Međutim, takvi inovativni sustavi više nalikuju klasičnim automatiziranim sustavima za pohranu i izuzimanje proizvoda, a manje Radio Shuttle regalnim sustavima. [6]

5. RAČUNALNE SIMULACIJE LOGISTIČKIH PROCESA

Modeliranje je korištenje modela kao osnove za simulacije s ciljem dobivanja podataka kao osnove za odlučivanje. Simulacijski modeli su modeli dinamičkih sistema, tj. sistema koji se mijenjaju u vremenu. [2] Simulacijski modeli moraju ponajprije omogućiti ispravan prikaz i efikasno izvođenje pomaka vremena kao i omogućavanje istovremenog odvijanja aktivnosti. Takvi zahtjevi predstavljaju znatan problem za modeliranje pa su se simulacijski modeli s vremenom razvili u posebnu vrstu modela te se ubrzano razvijaju specifični alati za konceptualno modeliranje i programski jezici za računanje simulacije. [13] Simulacija je eksperimentalna metoda koja omogućuje proučavanje stvarnih procesa pomoću njihovih modela na računalu koji se temelje na oponašanju operacija iz stvarnoga svijeta. Simulacije se mogu upotrebljavati u najrazličitijim granama znanosti, od društvenih i prirodnih pa sve do tehničkih. U industriji se simulacije koriste već dugi niz godina kao podrška inženjerima prilikom projektiranja novog izgleda pogona i odlučivanja o njegovoj veličini. Danas se simulacijsko modeliranje smatra jednim od najvećih alata za napredak i razvoj u raznim procesima od proizvodnje, skladištenja, distribucije itd. Zahvaljujući prediktivnim mogućnostima simulacije su postale jednim od ključnih faktora uspjeha i način stvaranja konkurentne prednosti između modernih kompanija. [14]

U području logistike često se koriste simulacije zbog širine i složenosti područja kao i dinamike svih procesa u lancu opskrbe. Simulacije logističkih sustava provode se kako bi se izmjerila efikasnost trenutnog sustava, odredili nedostaci te pronašla i testirala rješenja za poboljšanje. Simulacije se također koriste za proučavanje sustava u fazi projektiranja, prije nego se takvi sustavi grade. Dakle, simulacijsko modeliranje može se koristiti kao alat za analizu predviđanja učinka promjena postojećih sustava i kao alat za predviđanje izvedbe novih sustava u različitim okolnostima. Korištenjem klasičnih analitičkih metoda ne mogu se u obzir uzeti sve dinamičke promjene unutar sustava, dok je s druge strane simulacijsko modeliranje najučinkovitija metoda koja u obzir uzima sve stohastičke promjene unutar procesa lanca opskrbe. [15] Model se izrađuje na temelju ponašanja stvarnog sustava, a jednom razvijen i validiran može se koristiti za testiranje različitih scenarija. Izrada simulacijskog modela u sklopu analize sustava omogućuje velike uštede. Naime, ne ometa se rad stvarnog sustava, a metodom simulacija odrede se moguća poboljšanja prije preinaka sustava i velikih investicija kao što je kupnja novih strojeva i opreme. Nakon dobivanja željenih rezultata i određivanja optimalnih parametara gradi se novi ili mijenja postojeći stvaran sustav i po potrebi ulaže u novu opremu.

5.1 Vrste modela

Model se definira kao predstavka sustava s ciljem njegovog proučavanja kako bi se dobio uvid u performanse sustava ili predvidjelo njegovo buduće ponašanje. Model predstavlja pojednostavljenje sustava, ali sadrži komponente relevantne za problem koji se proučava pa se smatra da je model pravi i vjerodostojan prikaz sustava. Eksperiment sa stvarnim sustavom zahtijeva dostupnost sustava i oduzima puno vremena dok prilikom testiranja na modelu sustav neometano radi. Također, testiranje na stvarnom sustavu može biti opasno, prezahtjevno, preskupo ili čak i nemoguće. Testiranjem vjerodostojnog modela mogu se provesti razna testiranja i ostvariti brojne uštede. Sustavi koji se testiraju mogu se jako razlikovati pa se prema svojim obilježjima modeli mogu podijeliti u nekoliko skupina [2] :

- deterministički ili stohastički
- statički ili dinamički
- kontinuirani ili diskretni

Modeli čije je ponašanje potpuno predvidivo nazivaju se deterministički. U takvim modelima stanje sustava koji je modeliran u potpunosti je određeno prethodnim stanjem. Stohastičke modele karakterizira slučajno ponašanje, odnosno postojanje slučajne varijable u sustavu pa se njihovo ponašanje ne može unaprijed predvidjeti, ali se mogu odrediti vjerodostojnosti promjene stanja. Modeli kod kojih nema promjene stanje u vremenu nazivaju se statički, a kod dinamičkih modela vidljive su promjene varijabli stanja u vremenu. U kontinuiranim modelima varijable stanja mijenjaju se kontinuirano u vremenu dok se u diskretnim modelima stanje sustava mijenja samo u nekim vremenskim točkama. [2] S obzirom na različito ponašanje sustava i različite zadatke modeliranja, postoje i različite izvedbe modela [2] :

- fizički model
- matematički model
- analitički model
- računalna simulacija

Manja ili veća fizički opipljiva kopija sustava naziva se fizički model. Predstavka sustava u smislu logičkih i kvantitativnih odnosa naziva se matematički model. Analitički model zahtijeva mogućnost matematičkog opisa relevantnih dijelova sustava dok izrada računalne simulacije zahtijeva da se ponašanja pojedinih dijelova sustava i njihovi odnosi mogu logično opisati. Mnogi stvarni sustavi previše su složeni da bi se njihovi modeli mogli riješiti analitički pa je za modeliranje složenih struktura u dinamičkim i nestacionarnim sustavima u kojima postoje slučajne varijable najpogodnije korištenje računalnih simulacija.

5.2 Vrste računalnih simulacija

Pomoću računalnih simulacija moguće je rješavati raznovrsne probleme oblikovanja sustava, analize trenutnog i predviđanja budućeg rada sustava. Testiranje sustava pomoću računalne simulacije ne ometa rad stvarnog sustava, a pomoću napredne grafike i animacije modela olakšana je analiza i vrednovanje logike i dinamike rada sustava. Međutim, razvoj simulacijskog modela može biti veoma skup i dugotrajan proces jer je za korištenje simulacijskog modeliranja potrebno poznavati različite metode i alate, a modeliranje zahtijeva specifično znanje i trening. Također, zbog statičkog karaktera simulacija potrebno je izvođenje većeg broja simulacijskih eksperimenata, a vrednovanje modela dosta je složen i zahtjevan zadatak. [2] Korištenje računalnih simulacija primjenjuje se u raznim područjima i širi se iz dana u dan. Računalne simulacije koriste se u proizvodnji, logistici, opskrbi i distribuciji, prometu, vojsci, zdravstvu i raznim drugim poslovnim procesima. Kao što postoje različiti tipovi modela, tako postoje i različiti oblici simulacija: [2]

- Monte Carlo simulacija
- kontinuirana simulacija
- simulacija diskretnih događaja
- hibridna simulacija (kontinuirano - diskretna)

Monte Carlo simulacija je statistička simulacija kod koje se u rješavanju problema koristi stvaranje uzoraka iz razdioba slučajnih varijabli. Problemi koje rješava takav tip simulacije mogu biti determinističkog i stohastičkog karaktera. Svi ostali tipovi simulacija su dinamički. Kontinuirana simulacija koristi se za događaje u kojima se promjene varijabli stanja događaju kontinuirano u vremenu, dok se kod simulacije diskretnih događaja promjene varijabli stanja odvijaju u diskretnim vremenskim trenucima, odnosno stanje sustava mijenja se samo u određenim trenucima. [2] Iako u lancu opskrbe postoji kontinuirani tok proizvoda i informacija, za simulaciju logističkih procesa najčešće se koriste simulacije diskretnih događaja. Međutim, simulacije diskretnih događaja koje se koriste za logističke procese mogu uzrokovati nekoliko problema [15] :

- nije moguć prikaz neprekidnog toka procesa
- nije moguć vjerni prikaz interakcije između svih komponenti
- kompleksnost izrade modela složenih sustava
- preveliko pojednostavljene nekih modela

Većina sustava koji imaju varijable stanja kontinuirane promjene imaju i varijable stanja diskretnih promjena. Kao primjer može poslužiti kamion čiji je dolazak u skladište diskretni

događaj, a pražnjenje njegove cisterne kontinuirani događaj. Zbog toga se razvila hibridna simulacija koja predstavlja oblik simulacije s karakteristikama kontinuirane simulacije i simulacije diskretnih događaja. Ovakvo spajanje karakteristika različitih vrsta simulacija otvara niz mogućnosti: [15]

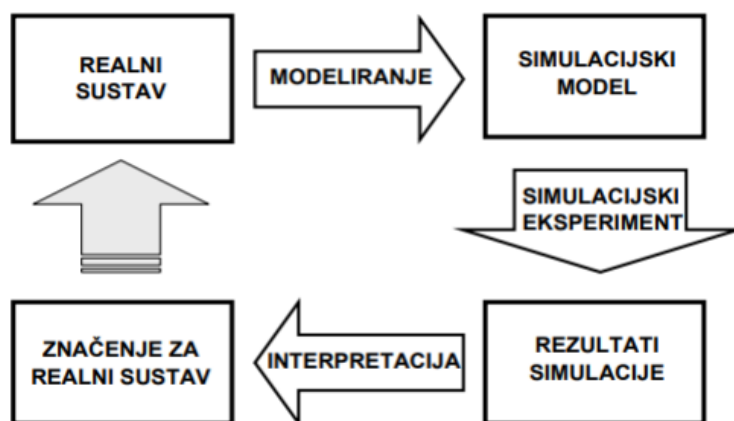
- prikaz dinamike sustava
- olakšanu evaluaciju predloženih promjena sustava
- predviđanje budućih ponašanja sustava
- kontinuirano praćenje strategija poboljšanja
- testiranje novog upravljačkog sustava
- moguć prikaz diskretne varijable pomoću kontinuirane promjene

Hibridna simulacija omogućuje modeliranje sustava koji imaju i diskretne događaje i neprekidne karakteristike koje treba modelirati. Informacije o narudžbama kupaca, protoku informacija i količini zaliha smatraju se kontinuiranim varijablama, dok se prijevoz tumači kao diskretna varijabla. Izrada modela zahtijeva veliku količinu podataka, no korištenjem hibridne simulacije može se na precizniji način prikazati kontinuirana priroda varijabli i njihove međusobne veze te protok proizvoda i informacija kroz sustav.

5.3 Faze simulacijskog procesa

Proces izrade i korištenja simulacijskog modela može se podijeliti u nekoliko faza [2] koje su shematski prikazane na *Slici 24* :

- planiranje
- modeliranje
- simulacija i analiza
- dokumentiranje i implementacija rezultata



Slika 24. Faze simulacijskog procesa [16]

U početnoj fazi planiranja potrebno je jasno razraditi problem i definirati željeni cilj. Problemi moraju biti jasno definiran i u potpunosti razumljivi korisniku i analitičaru. U mnogim slučajevima tijekom razvoja projekta nailazi se na nove probleme pa je zadaća analitičara na vrijeme detektirati potencijalne probleme i pripremiti se za njih. Također, cilj projekta od samog početka mora biti jasno definiran i razumljiv svim uključenim stranama. S jasno definiranim ciljevima olakšana je evaluacija projekta jer se trenutna situacija u bilo kojem trenutku može usporediti s krajnjim ciljem i tako se dobiva jasna slika o napretku i trenutnoj poziciji.

U fazi modeliranja postepeno se gradi simulacijski model. Prvi korak je konceptualizacija modela, odnosno pretvaranje stvarnog sustava u model. U toj fazi pokušava se pronaći koncept izgradnje modela koji će vjerodostojno oponašati stvaran sustav. Model se gradi postepeno dio po dio. Najprije se grade jednostavniji dijelovi koji međusobnim povezivanjem grade sve složeniji sustav. Također, model ne mora biti stroga replika stvarnog sustava već se samo treba ponašati kao stvarni dio sustava koji se proučava. Zbog toga su u modelu moguća razna pojednostavljenja. Za izradu vjerodostojnog simulacijskog modela potreban je i velik broj podataka o sustavu. Nakon što su podaci o sustavu prikupljeni počinje se izrađivati računalni model. Za izradu računalnog simulacijskog modela potrebno je izabrati odgovarajući softver kako bi se koncept modela uspješno pretvorio u računalni jezik. Model se kao i koncept gradi postepeno, dio po dio, i spaja u sve složenije cjeline. Nakon što je izgrađen, potrebno je provjeriti ponaša li se model kako je bilo zamišljeno. Verifikacija modela je proces koji provjerava ponaša li se model po zamišljenom konceptu, odnosno radi li računalna simulacija bez grešaka. S druge strane, proces validacije uspoređuje model sa stvarnim sustavom i provjerava oponaša li izgrađeni model dovoljno dobro stvaran sustav. Ako izgrađeni model ne zadovoljava sve kriterije ponavljaju se koraci procesa modeliranja dok se ne postigne željeni rezultat. Kada se zadovolje svi postavljeni uvjeti proces izgradnje računalnog simulacijskog modela je završen i kreće se sa simulacijom procesa. [2]

Prije pokretanje same simulacije potrebno je odrediti u kojem vremenskom intervalu će se promatrati ponašanje sustava te koliko će se ponavljanja izvesti. Također, simulacijom je moguće testirati različite scenarije kako bi se utvrdilo koji najbolje odgovara testiranome sustavu. Nakon što su sve pripreme završene pokreće se simulacija. Zahvaljujući naprednoj grafici koju pružaju moderni simulacijski softveri korisniku se omogućuje praćenje ponašanja sustava i njegovih dijelova tijekom cijelog trajanja simulacije. Softver cijelo vrijeme bilježi podatke o dijelovima sustava koji su na kraju simulacije vidljivi korisniku u obliku numeričkih podataka smještenih u tablice ili grafičkih prikaza poput raznih dijagrama. Na temelju snimljenih podataka određuju se performanse sustava i uspoređuju simulirane alternative.

Završna faza simulacijskog procesa sastoji se od dokumentiranja podataka i implementacije rezultata simulacije u realnome sustavu. Simulacijski model i rezultati simulacije pohranjuju se kako bi korisniku bili dostupni i u budućnosti. Naime, jednom izgrađeni simulacijski model može poslužiti za razne varijante i testiranje budućih promjena. Nakon što se postignu zadovoljavajući rezultati, rad simulacijskog modela prebacuje se na stvaran sustav. Na realnome sustavu obavljaju se potrebne promjene i moguće nadogradnje kako bi se dobile najbolje moguće performanse sustava otkrivene pomoću računalne simulacije.

5.4 Softveri za izradu računalnih simulacija

Postupnim razvojem računala stvoreni su uvjeti za napredak računalnih simulacija koje prelaze sferu industrije igara i počinju se koristiti u raznim područjima poput medicine, industrije, prometa, marketinga itd.. Za potrebe izrade diskretnih simulacija razvijeni su razni programski jezici i alati. Zajednička karakteristika svih softvera je ta što na model gledaju kao na niz slučajnih događaja od kojih svaki uzrokuje promjenu stanja. Softveri za razvoj simulacijskih modela mogu se podijeliti u tri grupe: [17]

- Softveri koji koriste opće orijentirane programske jezike
- Softveri koji koriste programske jezike za simulaciju
- Softveri koji koriste simulacijska okruženja

Opće orijentirani programski jezici kao što je JAVA imaju jako široku primjenu pa se tako mogu koristiti i za izradu simulacija, no danas veoma mali broj ljudi za opisivanje određenih događaja pomoću simulacijskih modela koristi takve programske jezike. U drugu skupinu spadaju softveri bazirani na procesno-interaktivnom simulacijskom jeziku koji se naziva GPSS/H (*eng.* General Purpose Simulation System). Ovaj programski jezik prvi je predstavio IBM, a danas postoje razne primjene od relativno lakih simulacija do sustava velike složenosti. [17] Međutim, danas se najviše upotrebljavaju softveri koji koriste simulacijska okruženja zahvaljujući jednostavnoj upotrebi temeljenoj na gradnji modela pomoću grafičkih elemenata. Pomoću animacijskih modela te lako razumljivih i pristupačnih grafičkih korisničkih sučelja omogućen je rad i razumijevanje simulacije korisnicima koji nemaju iskustva u programskim jezicima. [18]

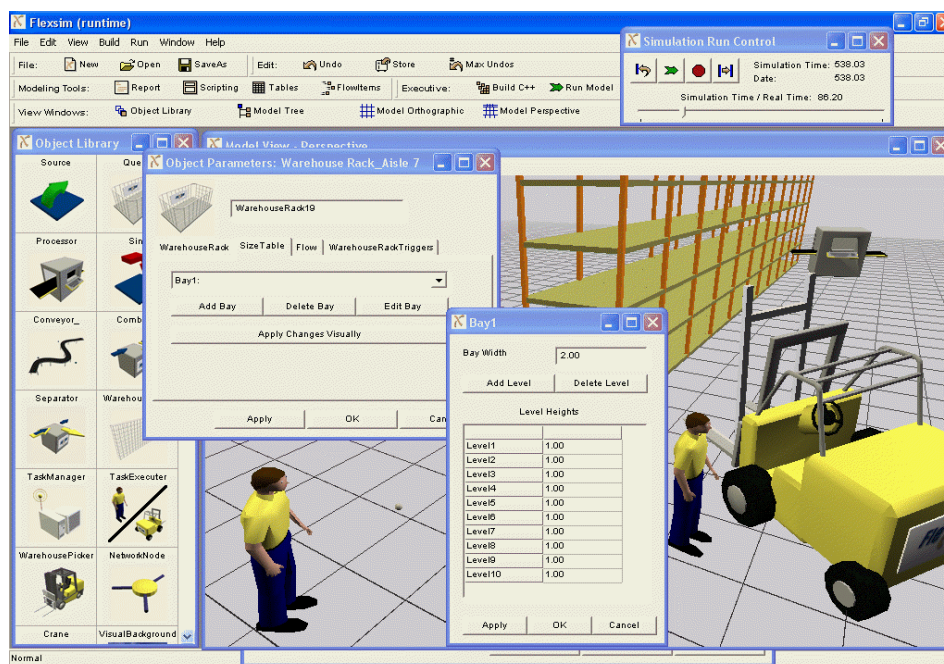
Zadaci simulacijskih softvera jesu [17] :

- formiranje modela
- provođenje simulacijskog eksperimenta
- analiza i prezentacija rezultata

U nastavku je opisano nekoliko najpoznatijih simulacijskih softvera za modeliranje logističkih problema. Svi opisani simulacijski alati baziraju se na sličnom principu rada. Karakterizira ih grafičko korisničko sučelje koje korisnicima omogućuje jednostavno snalaženje i izgradnju modela. Također, softveri omogućuju trodimenzionalni prikaz simulacije kako bi se što realnije prikazao izgrađeni sustav. Nakon simulacije korisnik dobiva niz podataka o radu i učinkovitosti svakog pojedinog dijela sustava.

5.4.1 FlexSim

Simulacijski softver FlexSim najvažniji je proizvod visokotehnološke tvrtke pod nazivom FlexSim Software Products. Ovaj napredni simulacijski alat omogućuje modeliranje procesa proizvodnje, rukovanja materijalom, skladišnih aktivnosti i ostalih logističkih usluga. Softver FlexSim pomaže u optimizaciji trenutnih i planiranih procesa, identifikaciji gubitaka, smanjenju troškova i povećanju prihoda. [19] Softver je građen na bazi C++ programskog jezika, ali ima prilagođeno korisničko sučelje za jednostavnu upotrebu gdje se model gradi na principu „potegni i postavi“ (*eng.* Drag and Drop). Korisniku je omogućen trodimenzionalni prikaz cijelog sustava. FlexSim softver sadrži eksperimentator koji se može koristiti za automatski noevisna ponavljanja različitih scenarija. Također, ovaj alat prikazuje i troškove izgrađenog modela koji omogućavaju računanje profita te troškova povezanih uz opremu i radnike. Najnovija verzija omogućuje modeliranje sustava na više razina međusobno povezanih pomoću elevatora. Na *Slici 25* prikazana je izgradnja modela u FlexSim simulacijskom softveru.



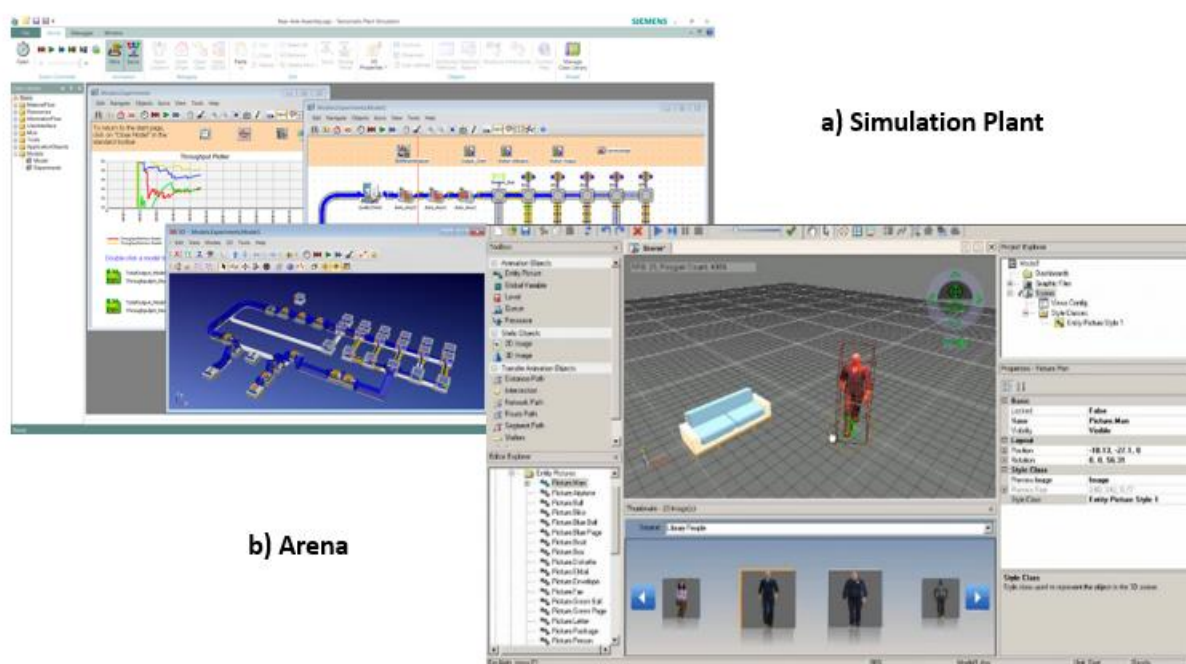
Slika 25. FlexSim grafičko sučelje [19]

5.4.2 Plant Simulation

Plant Simulation je računalna aplikacija u sklopu Siemensovog PLM softvera za modeliranje, simuliranje, analiziranje, vizualizaciju i optimiranje proizvodnih sustava, procesa, toka materijala i logističkih operacija. Softverom Plant Simulation korisnik može optimizirati razna postrojenja i posebne proizvodne linije. Aplikacija omogućava uspoređivanje kompleksnih proizvodnih alternativa, uključujući prirodne procese logistike pomoću simulacije. Siemensov Plant Simulation primjenjuje se u automobilskoj industriji, zrakoplovstvu, proizvodnim postrojenjima, procesnoj industriji, elektroničkoj industriji, zračnim lukama, logističkim kompanijama, lukama itd., a koristi se i u znanstvenim istraživanjima. [20]

5.4.3 Arena

Simulacijski softver Arena, koji omogućuje simulacije diskretnih događaja, razvijen je od tvrtke Rockwell Automation. Temeljen na programskom jeziku SIMAN, ovaj softver omogućuje simulacije poslovnih procesa u proizvodnji, vojsci, medicini, lancu opskrbe itd.. [21] Grafičko sučelje softvera Arena slično je sučelju softvera Simulation Plant. Sučelja oba simulacijska softvera prikazana su na Slici 26.



**Slika 26. Usporedba korisničkih sučelja simulacijskih programa
(izrađeno prema izvorima [20] i [21])**

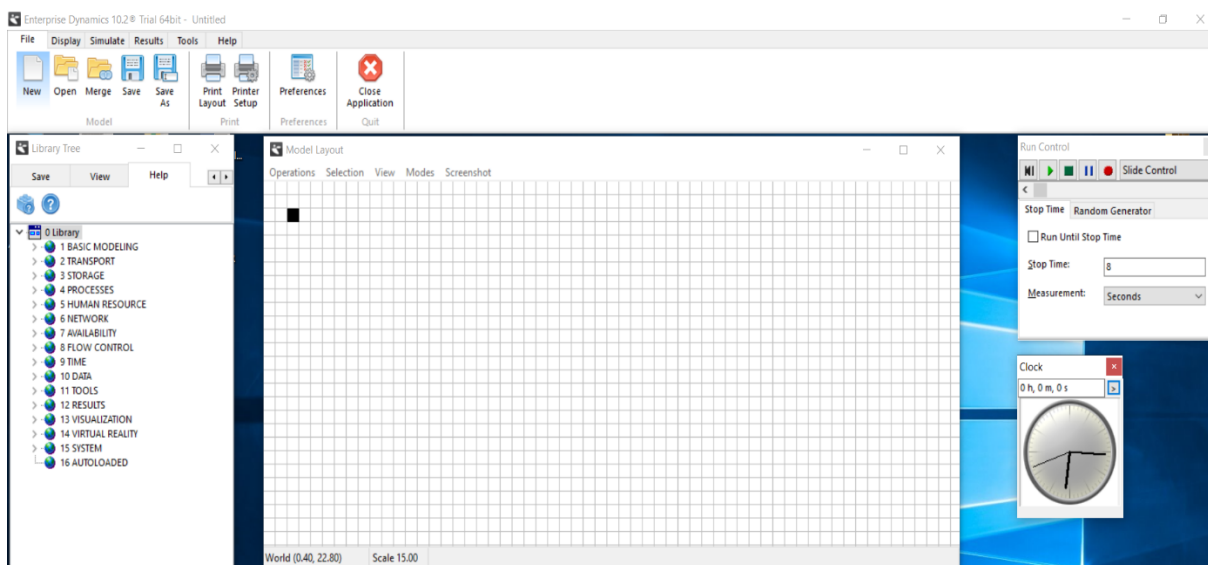
5.4.4 Enterprise Dynamics

Za izradu simulacijskog modela u sklopu ovog rada korišten je softver Enterprise Dynamics 10.2 nizozemske tvrtke pod nazivom InControl. Enterprise Dynamics danas je vodeća simulacijska softverska platforma za pomoć i podršku u modeliranju raznih problema. Može se koristiti za simulacije u proizvodnji, skladištenju i logistici, procesima rukovanja materijalom te u prometu, najčešće za izradu simulacije rada željeznice. [22] Uz simulacijski softver, čiji je logo prikazan na *Slici 27*, svaki sustav i svi povezani procesi mogu se temeljito analizirati i vrednovati.



Slika 27. Logo softvera Enterprise Dynamics [22]

Softver Enterprise Dynamics prilagođen je korisnicima koji nisu upoznati s modeliranjem simulacijskih modela i nemaju iskustva u programiranju. Korisničko sučelje softvera izrađeno je na način da se korisniku omogući što lakše snalaženje i jednostavno korištenje svih alata i mogućnosti. Prilikom pokretanja softvera, pojavljuje se nekoliko različitih prozora, kao što je prikazano na *Slici 28*.



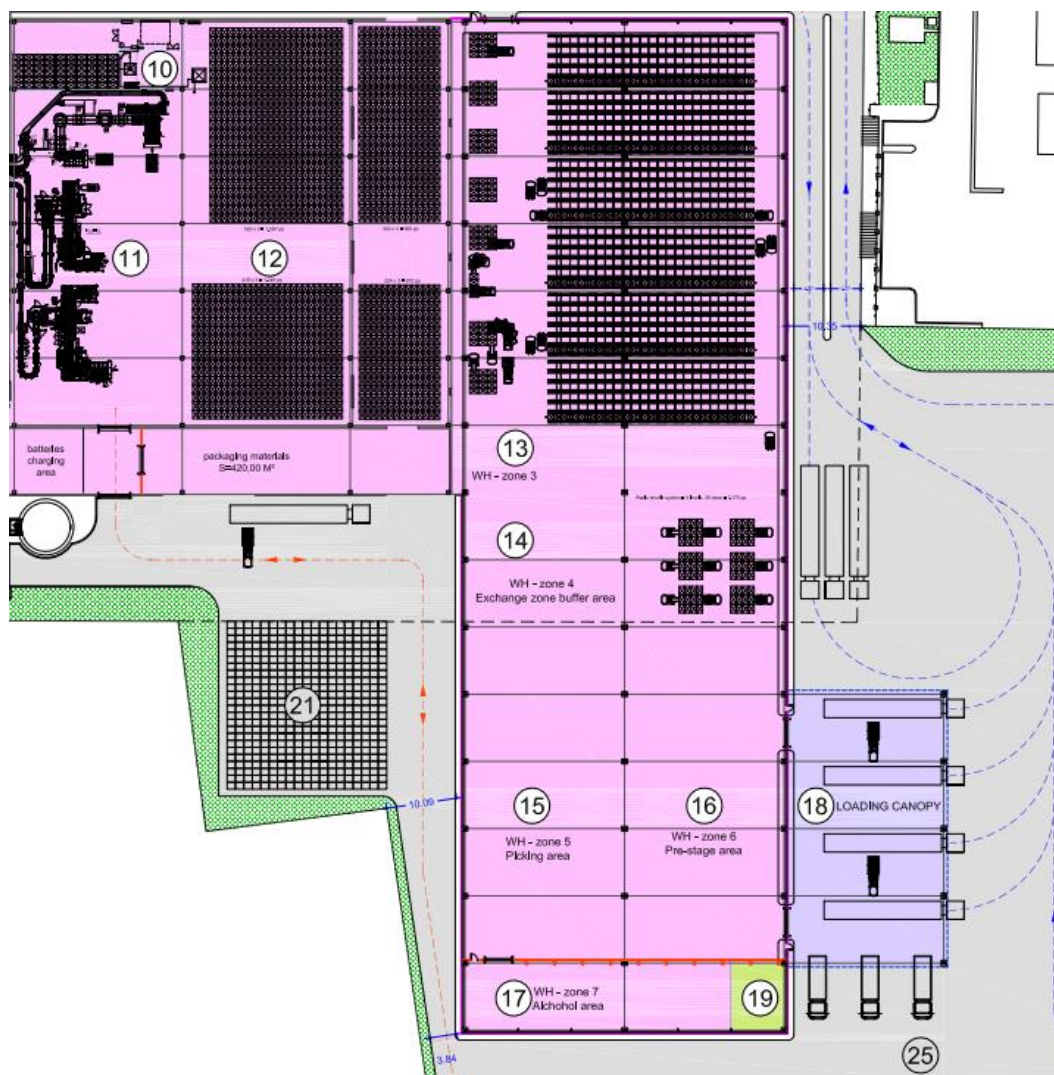
Slika 28. Korisničko sučelje softvera Enterprise Dynamics

Na samom vrhu nalazi se alatna traka sa šest različitih izbornika slična kao i kod svih ostalih računskih programa. Na toj alatnoj traci mogu se pronaći sve najvažnije opcije poput učitavanja i spremanja modela, različitih prikaza i pogleda na model, raznih alati za uređivanje modela kao i prikaz zabilježenih rezultata i podataka o radu sustava. U alatnoj traci na vrhu nalazi se i izbornik *Help* koji služi za korisničku podršku i u njemu se mogu pronaći razne brošure za pomoć pri korištenju softvera.

U korisničkom sučelju softvera s lijeve strane nalazi se izbornik *Library Tree* u kojem se nalaze svi elementi koji se mogu koristiti za izgradnju modela. Elementi su grupirani po kategorijama kako bi se korisnik što jednostavnije snašao. Tako postoje osnovni elementi koji se najčešće koriste, elementi koji predstavljaju sredstva za transport, skladišnu opremu, ljude itd.. Središnji i najveći dio ekrana zauzima prozor *Model Layout* koji služi za izgradnju modela. Ovaj prozor također posjeduje nekoliko padajućih izbornika koji omogućuju upravljanje modelima i prilagodbu grafičkog izgleda radne površine za izgradnju modela. Model se može graditi u 2D i 3D prikazu, a izgradnja se bazira na jednostavnom grafičkom modeliranju i povezivanju različitih elemenata. Elementi se iz prozora *Library Tree* u *Model Layout* jednostavno prebacuju prenošenjem (*eng.* Drag&Drop). Također, ova simulacijska platforma pruža lako i jednostavno pokretanje simulacije u željenom vremenskom periodu te mogućnostima prikaza u 2D i 3D obliku. Na taj način softver pruža uvid u rad sustava na jednostavan vizualan način koji ljudi lako razumiju. Pokretanje simulacije i njezin vremenski interval trajanja namještaju se pomoću prozora *Run Control*, smještenog na desnoj strani ekrana. Ispod prozora *Run Control* smješten je prozor *Clock* koji grafički prikazuje protok vremena kada se pokrene simulacija. Softver omogućuje snimanje rada i praćenje performansi svakog pojedinog modela te nakon simulacije pruža podatke o njihovom radu u obliku brojčanih vrijednosti u tablicama te raznih grafova koji olakšavaju tumačenje rezultata. Za programiranje u softveru Enterprise Dynamics koristi se programski jezik 4D Script.

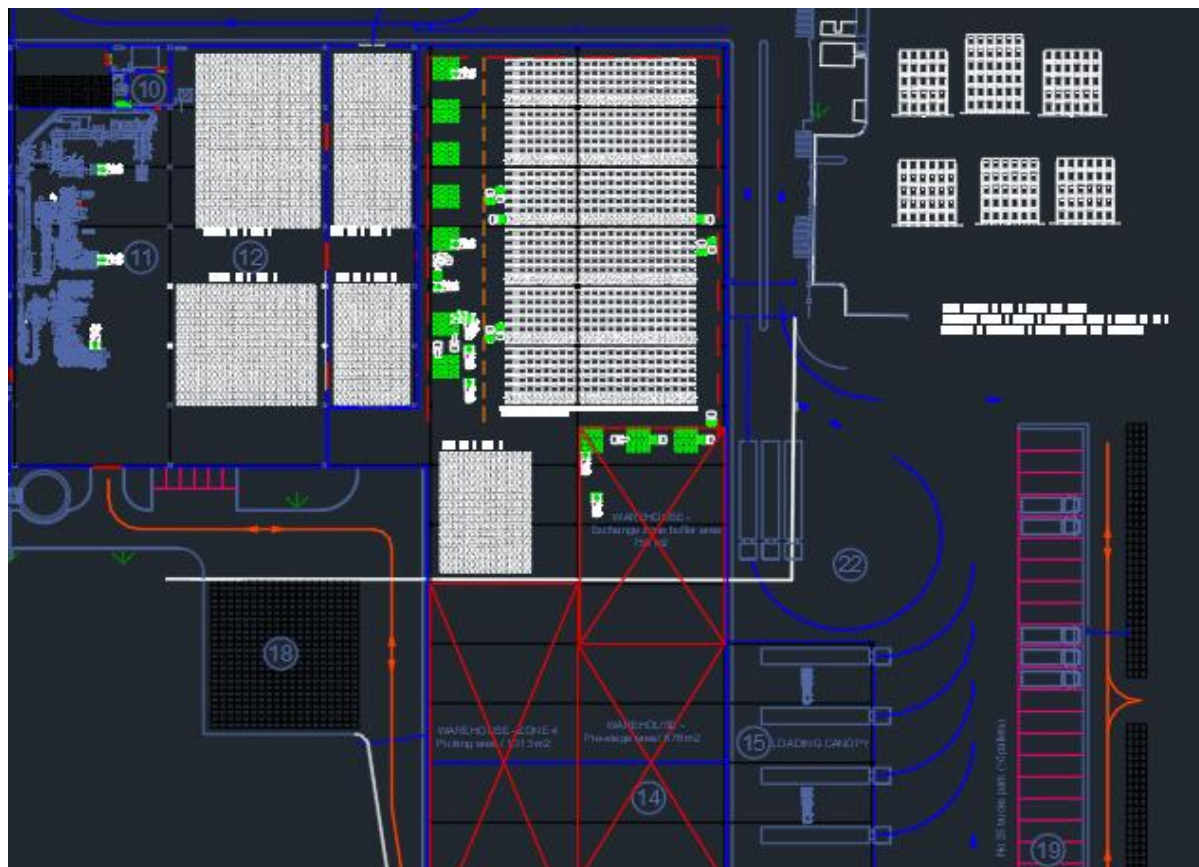
6. PRIKAZ IDEJNOG PROJEKTA SKLADIŠNOG SUSTAVA

Sustav koji je potrebno analizirati pomoću simulacijskog modela nalazi se u fazi projektiranja. Poznata je lokacija gdje će skladišni sustav biti realiziran, a izrađeni su i idejni nacrti. Simulacijski model izrađuje se na temelju planiranog prostornog rasporeda skladišta prikazanog na *Slici 29*.



Slika 29. Planirani izgled i prostorni raspored skladišta [23]

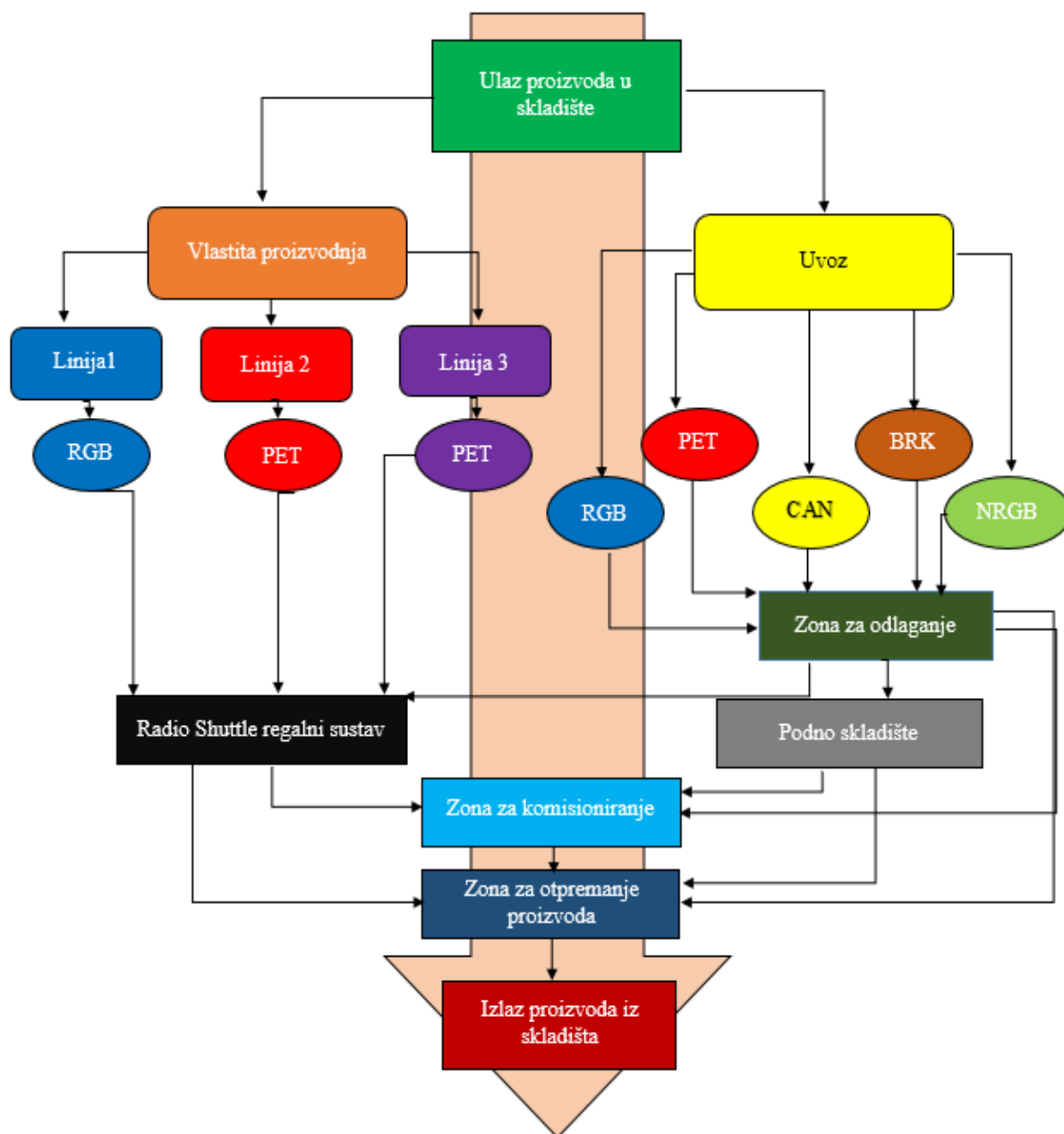
Cilj ovog projekta je izrada simulacijskog modela koji će vjerno prikazati rad Radio Shuttle regalnog skladišnog sustava. Na temelju rezultata simulacije vidjet će se može li planirani izgled i kapacitet skladišta zadovoljiti sve uvjete pravovremenog zaprimanja, obrade i izdavanja robe. U nacrtu su definirane skladišne zone i njihov raspored. Također, unaprijed je poznata ukupna površina skladišta kao i površina svake pojedine zone. Na temelju željenog prostornog rasporeda skladišta napravljen je i nacrt u programskom paketu AutoCad prikazan na *Slici 30*.



Slika 30. AutoCad nacrt skladišta [23]

Željeni izgled skladišta unaprijed je definiran, a poznat je i ukupni kapacitet skladišta od 11 750 paletnih mjesta. Na temelju tih podataka potrebno je odrediti optimalan broj transportnih sredstava koji će moći obavljati zadani posao u određenom vremenu. Zadani sustav jako je složen i sastoji se od velikog broja varijabli. Poduzeće prodaje i distribuira široku paletu proizvoda od koji se neki proizvode u samom poduzeću, dok se neki dostavljaju iz inozemstva i samo distribuiraju na hrvatsko tržište. Također, proizvodi su pakirani u različita pakiranja. Neki proizvodi nalaze se u povratnoj staklenoj ambalaži (*eng.* RGB - Returnable Glass Bottle), neki u nepovratnoj staklenoj ambalaži (*eng.* NRGB - Non-returnable Glass Bottle), neki u plastičnoj, točnije PET (Polietilentereftalat) ambalaži te u limenkama (*eng.* CAN) ili tetrapaku (*eng.* BRK- Brick). Isto tako proizvodi se pakiraju u ambalaže drugačijih volumena u rasponu od 0,125 litara do 2,5 litra. Proizvodi koji dolaze iz vlastite punionice, u skladište stižu valjčanim konvejerima na tri različite linije, a na svakoj liniji nalaze se drugačiji proizvodi. Proizvodi u skladište stižu i iz vanjskih izvora pomoću sredstava cestovnog prometa, najčešće kamiona s prikolicom i tegljača s poluprikolicom. Ti se proizvodi istovaruju i ulaze u skladište preko zone koja se naziva ulazna zona za odlaganje ili *eng.* Exchange area. Na nacrtu,

prikazanom na Slikama 29 i 30 vidljive su i različite skladišne zone u koje se odlažu različiti proizvodi. Većina skladišnih zona podnog je tipa i u njih će se skladištiti proizvodi pakirani u staklu. Središnji i najveći dio skladišta zauzima regalno skladište s Radio Shuttle sustavom. Na Slici 31 shematski je prikazan tok proizvoda u skladištu i složenost cjelokupnog sustava.



Slika 31. Shematski prikaz toka proizvoda kroz skladišni sustav

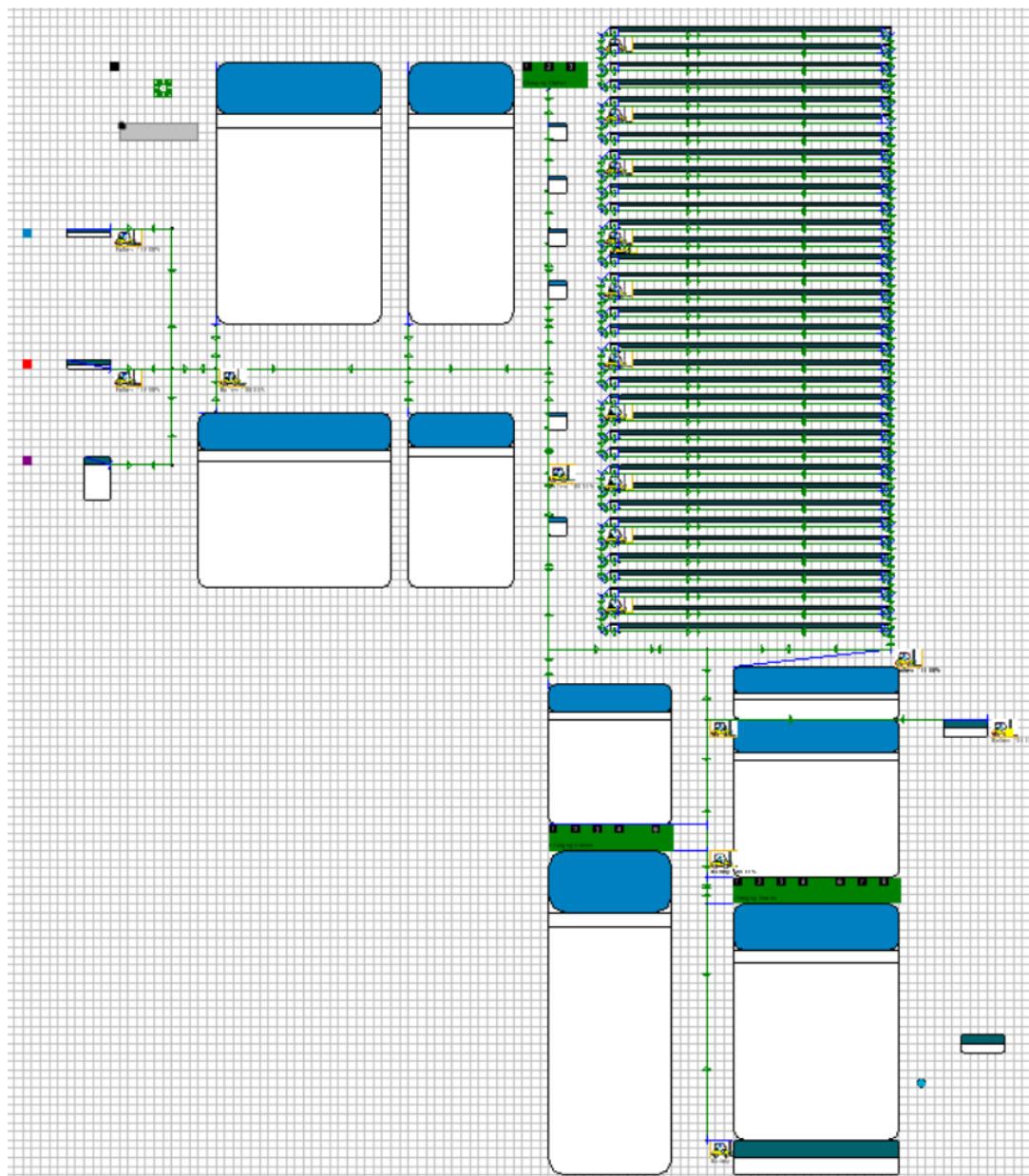
Cilj ove simulacije je određivanje potrebnog broja Radio Shuttle-ova koji će moći obavljati zadani posao. Važno je napomenuti kako će se u skladištu koristiti transportna sredstva i Radio Shuttle vozila s električnim pogonom pa je u obzir potrebno uzeti i vrijeme punjenja baterija takvih vozila i njihovu nedostupnost u tom razdoblju.

Proizvodi u ovom skladišnom sustavu isključivo su prehrambeni proizvodi, a svaki prehrambeni proizvod ima svoj rok trajanja. Zbog toga u skladištu mora biti zastupljen FEFO (*eng.* First Expire - First Out) način rada. To znači da artikli kojima najprije istječe rok trajanja i koji su najstariji moraju i prvi napustiti skladište. To je još jedan od uvjeta koji se nipošto ne smije zanemariti u fazi projektiranja ovog skladišnog sustava. Također, proizvodi ove kompanije izrazito su podložni sezonalnosti, odnosno njihova prodaja uvelike ovisi o dobu godine i vremenskim uvjetima. Vrhunac prodaje događa se u ljetnim mjesecima, dok je zimi prodaja i distribucija proizvoda osjetno niža. Zbog toga je potreban veliki oprez i snalažljivost pri planiranju potrebnih kapaciteta skladišta kako bi ono moglo odgovoriti na sve zahtjeve i promjene tijekom godine. Skladište je potrebno projektirati na način da ono uspješno može funkcionirati tijekom najveće potražnje proizvoda uz veliku produktivnost, a da se tijekom manje potražnje uz korištenje manjeg broja transportnih sredstava i kapaciteta ostvare što manji troškovi. Radom cijelog sustava upravljat će WMS temeljen na sustavu SAP. To je sustav koji pruža sveobuhvatnu podršku poslovanju i upravlja radom cjelokupnog skladišta. WMS je tzv. mozak skladišta koji nadzire, kontrolira i automatizira različite skladišne operacije. Glavna zadaća takvog softvera je kontrola kretanja materijala kroz skladište od njegovog primanja, preko uskladištenja, komisioniranja i pakiranja. Cilj takvih sustava je povećanje ukupne produktivnosti skladišta na način da se minimiziraju pogreške, a maksimizira iskoristivost opreme, prostora i ljudskog rada. Ovakvi napredni softveri prikupljaju podatke o svim skladišnim operacijama te na taj način omogućuje pregled cijelog procesa i olakšano upravljanje. Isto tako, korisniku je omogućen uvid u podatke o radu sustava u stvarnom vremenu. [24]

Svi ovi nabrojeni faktori izrazito otežavaju planiranje rada cjelokupnog skladišnog sustava i čine nemogućim izračun optimalnog broja transportnih uređaja i skladišne opreme pomoću običnih matematičkih i analitičkih metoda. Zbog toga se izrađuje simulacijski model pomoću softvera Enterprise Dynamics koji ima mogućnost unosa i programiranja svih varijabilnih faktora koji utječu na rad i funkcioniranje sustava. U softver se unose sve moguće kombinacije toka proizvoda kroz sustav pomoću matematičkih razdioba i vjerojatnosti događaja. Na temelju simulacije u kojoj će se model sustava testirati u očekivanim stvarnim uvjetima rada odlučit će se o daljnjim postupcima u razvoju i eventualnim promjenama zamišljenog skladišnog sustava.

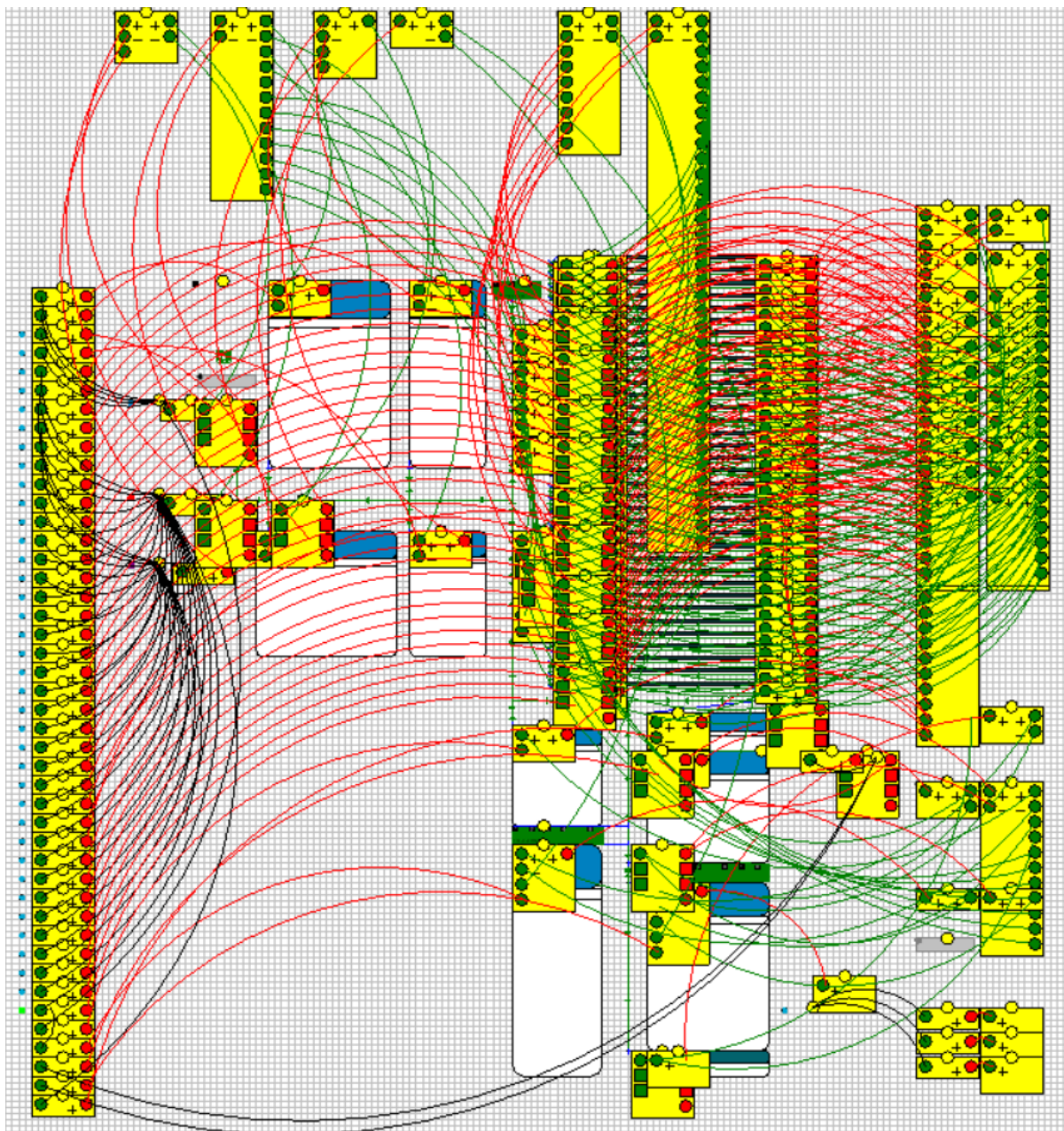
7. SIMULACIJSKI MODEL IDEJNOG PROJEKTA SKLADIŠNOG SUSTAVA

Simulacijski model izrađuje se na temelju nacрта iz kojeg se saznaje izgled cijelog skladišta, njegove dimenzije te izgled svake pojedine skladišne zone. Model izgrađen u programu Enterprise Dynamics prikazan je na *Slici 32* u 2D prikazu.



Slika 32. Simulacijski model u 2D prikazu

Kao što prikazuje *Slika 32*, model je sastavljen od velikog broja različitih elemenata koje je trebalo povezati i uskladiti njihov rad kako bi se realno prikazao rad cjelokupnog skladišnog sustava. Modeli su međusobno povezani preko kanala (*eng. Channels*) prikazanih na *Slici 33*.



Slika 33. Povezivanje elemenata putem kanala

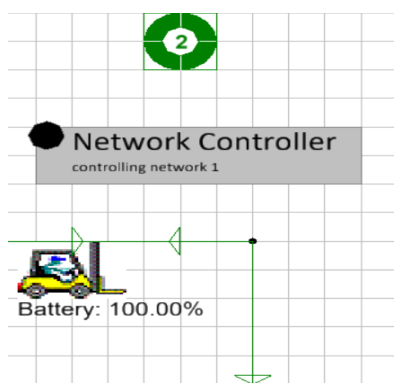
Slika 33 prikazuje sve veze između elemenata potrebne da sustav funkcioniра kao jedna cjelina i uspješno simulira ponašanje realnog sustava. Zbog kompleksnosti izrade, sustav se gradi dio po dio, međusobnim povezivanjem elemenata koji tvore jedan složeniji dio skladišnog sustava te nakon toga povezivanjem više dijelova u jednu smislenу cjelinu. Tok proizvoda u skladištu postiže se povezivanjem proizvoda i elementa putem oznaka odn. *Labela*, a tijekom simulacije potrebno je i programiranje kako bi se elementi ponašali u skladu s njihovom stvarnom zadaćom. U nastavku slijedi opis izgradnje simulacijskog modela prikazanog na Slici 32.

7.1 Izrada simulacijskog modela

Kako bi se ostvarila funkcionalnost simulacije, model je građen dio po dio. Grafičko sučelje programa Enterprise Dynamics sastoji se od mreže kvadratića gdje svaki kvadratić predstavlja površinu od 1 metra kvadratnog (dimenzija 1x1 metar) pa se na temelju toga određuju ostale dimenzije i odnosi pojedinih elemenata.

7.1.1 Transportni putevi

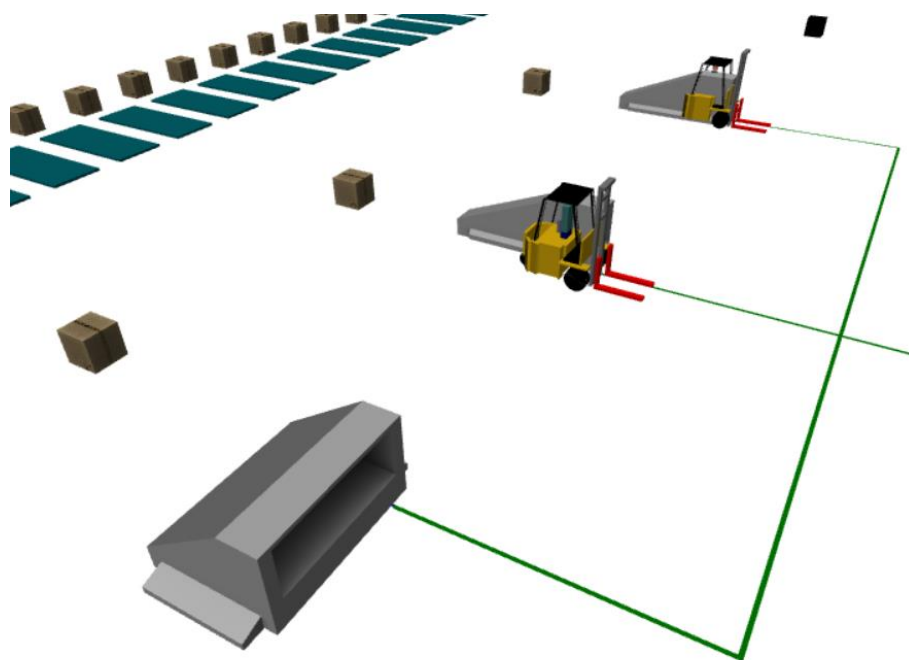
Kako bi se transportna sredstva u skladištu, u ovom slučaju viličari i Radio Shuttle-ovi, gibali po planiranim transportnim putevima, potrebno je izgraditi stazu po kojoj će putovati. Ta staza gradi se od velikog broja točaka odn. *Network Node*-ova koji se spajaju u jednu cjelinu čineći transportni put. Točke transportnog puta spajaju se pomoću dva operatora koji se nazivaju *Node Manipulator* i *Network Controller* prikazanih na Slici 34 uz dio transportnog puta.



Slika 34. Izgradnja transportnih puteva

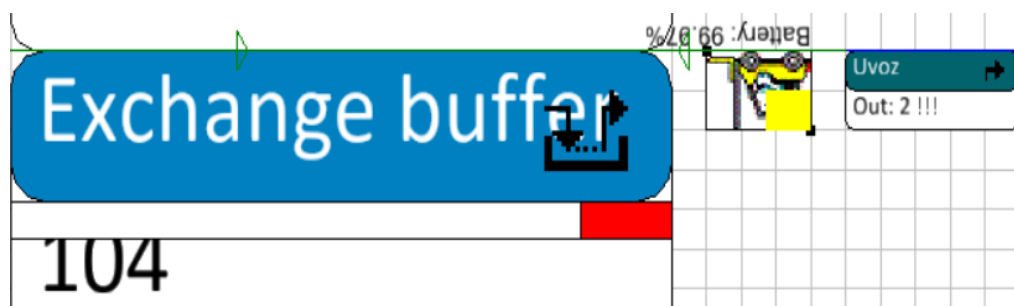
7.1.2 Ulaz proizvoda u skladište

Kao što je već spomenuto u *Poglavlju 6*, proizvodi u skladište dolaze iz vlastite proizvodnje i iz uvoza. Svi proizvodi nalaze se na paletama pa je cijela simulacije bazirana na transportu punih paleta. U 3D prikazu softvera nije moguće ubaciti izgled punih paleta pa se stoga koristi izgled zatvorenih kutija koje predstavljaju palete pune proizvoda. Pošto se u skladištu nalazi široka paleta proizvoda, u 2D prikazu su različite ambalaže proizvoda prikazane drugačijim bojama kako bi se jednostavnije mogao pratiti tok pojedinih proizvoda. Proizvodi koji se pune u vlastitoj punionici šalju se iz proizvodnje preko valjčanih konvejera u skladište. U poduzeću postoje tri različite linije za punjenje pa proizvodi u skladište dolaze na tri različite linije. Ulazne linije u simulacijskom modelu izrađene su pomoću elementa *Source* i prikazane su u 3D prikazu na Slici 35. Element *Source* predstavlja ulaznu liniju i izbacuje proizvode u vremenskom razmaku kojim se simulira stvarna brzina dolaska jedne pune paleta na valjčanom konvejeru.



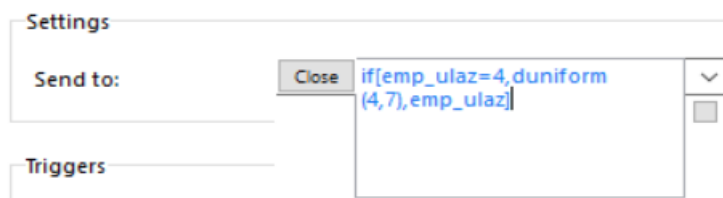
Slika 35. Ulazne linije

Proizvodi se s ulaznih linija dvopaletnim viličarima prevoze do njihovog mjesta za skladištenje. Proizvodi u staklenoj ambalaži skladište se u podnome skladištu, dok se proizvodi u PET ambalaži skladište u Radio Shuttle regalnom sustavu. Proizvodi koji se uvoze iz inozemstva u skladište dolaze cestovnim transportnim sredstvima. Dolazak proizvoda iz uvoza također je simuliran elementom *Source* koji izbacuje proizvode dinamikom kojom i u stvarnosti ulaze u skladište. Kamioni dolaze na mjesto namijenjeno za istovar gdje se dvopaletnim viličarom proizvodi prebacuju u zonu namijenjenu za prijem robe koja se u simulacijskom modelu naziva *Exchange buffer*, prikazan elementom *Queue*, odnosno spremnikom u koji se odlažu proizvodi. Ta je zona namijenjena za odlaganje tek pristigle robe, ali ne i za njeno trajno skladištenje. Roba iz uvoza kasnije se odlaže na mjesto namijenjeno za njeno uskladištenje. Uvoz robe u 2D pogledu prikazan je na Slici 36.



Slika 36. Proizvodi koji dolaze iz uvoza

Roba se iz zone za odlaganje, odnosno Exchange zone, transportira na određenu skladišnu lokaciju koja ovisi o vrsti proizvoda, odnosno njegovom pakiranju. Prema tome, proizvodi pakirani u staklenu ambalažu skladištiti će se u podnome skladištu, dok će proizvodi u PET boci i limenkama ići u Radio Shuttle regalni sustav. Također, moguće je da roba pristigla iz uvoza odmah završi u zoni za komisioniranje (*eng.* Picking area) ili zoni za otpremanje proizvoda (*eng.* Prestage area). Kako bi viličar zadužen za transport znao kamo treba uskladištiti koji proizvod koristi se element *Empirical Distribution*. Pomoću tog elementa zadaje se razdioba po kojoj se transportiraju proizvodi na skladišne lokacije. Prema dobivenim podacima, 35 % uvoznih proizvoda skladištiti će se u podnome skladištu, 50 % u Radio Shuttle regale, 10 % će ići u zonu za komisioniranje dok će se 5 % proizvoda direktno transportirati u zonu za otpremanje proizvoda i pripremati za daljnju distribuciju. Element *Empirical Distribution* s viličarem se povezuje putem naredbe *Send to* u njegovim postavkama. Način povezivanja viličara i empirijske razdiobe prikazan je na *Slici 37*.



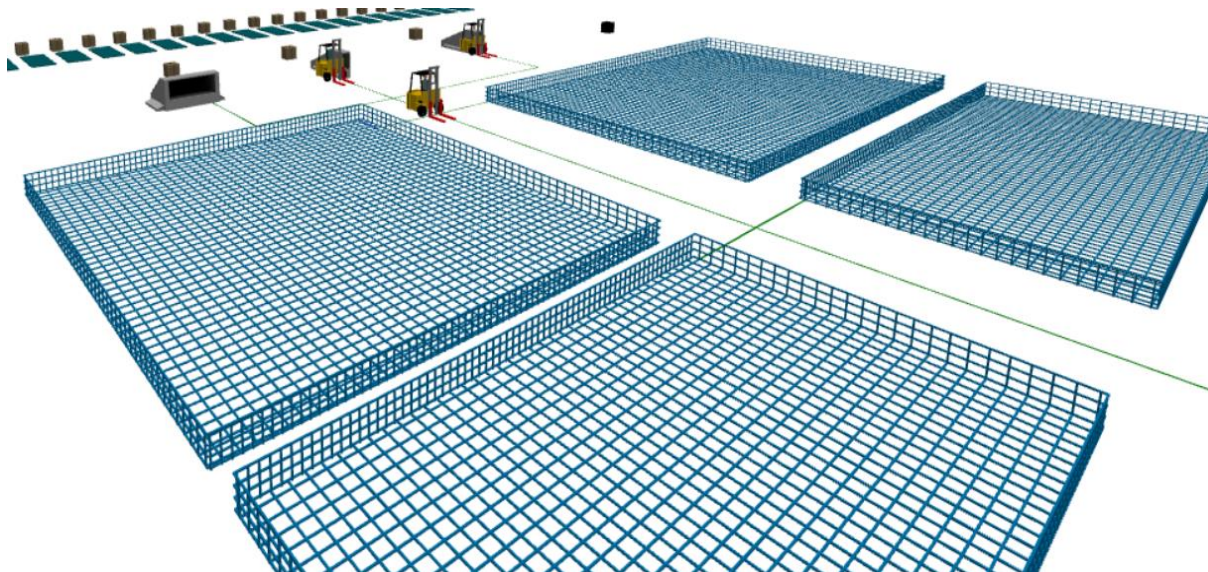
Slika 37. Korištenje elementa *Empirical Distribution*

7.1.3 Podna skladišta

Svi proizvodi pakirani u staklenu ambalažu u promatranom skladišnom sustavu skladište se u podnim izvedbama skladišta. Podno skladištenje predstavlja najjednostavniji oblik skladištenja gdje su proizvodi uskladišteni na paletama koje leže na podu, odnosno nasložene jedna na drugu, a izuzimanje materijala je isključivo u paletnim količinama pomoću viličara. Budući da bilo koji način skladištenja treba omogućiti izravan pristup svakoj vrsti materijala, to vrijedi i za podna skladišta pa se ovisno o veličini asortimana koristi raspored u blokove ili u redove. [25] U promatranom skladišnom sustavu, palete će biti raspoređene u redove, a slagat će se na dvije razine prema rasporedu dvije palete jedna do druge, a na trećoj, najvišoj razini, stavljat će se jedna paleta. Prema tome, proizvodi se u skladištu slažu na tzv. 2,5 visine. Veličina i kapacitet pojedinih skladišnih zona unaprijed su određeni i prikazani u nacrtima.

Podna skladišta u simulacijskome modelu izgrađena su pomoću elementa *Queue*. Iako softver nudi element *Ground Storage*, on u ovom simulacijskom modelu nije korišten jer omogućuje uskladištenje samo jedne palete na pod bez mogućnosti slaganja dodatnih paleta na nju.

Veličina pojedinog podnog skladišta određuje se pomoću broja kvadratića pozadinske mreže, dok se kapacitet određuje u postavkama svakog elementa. U 3D prikazu podna su skladišta simbolizirana pomoću žičanih spremnika prikazanih na *Slici 38*.



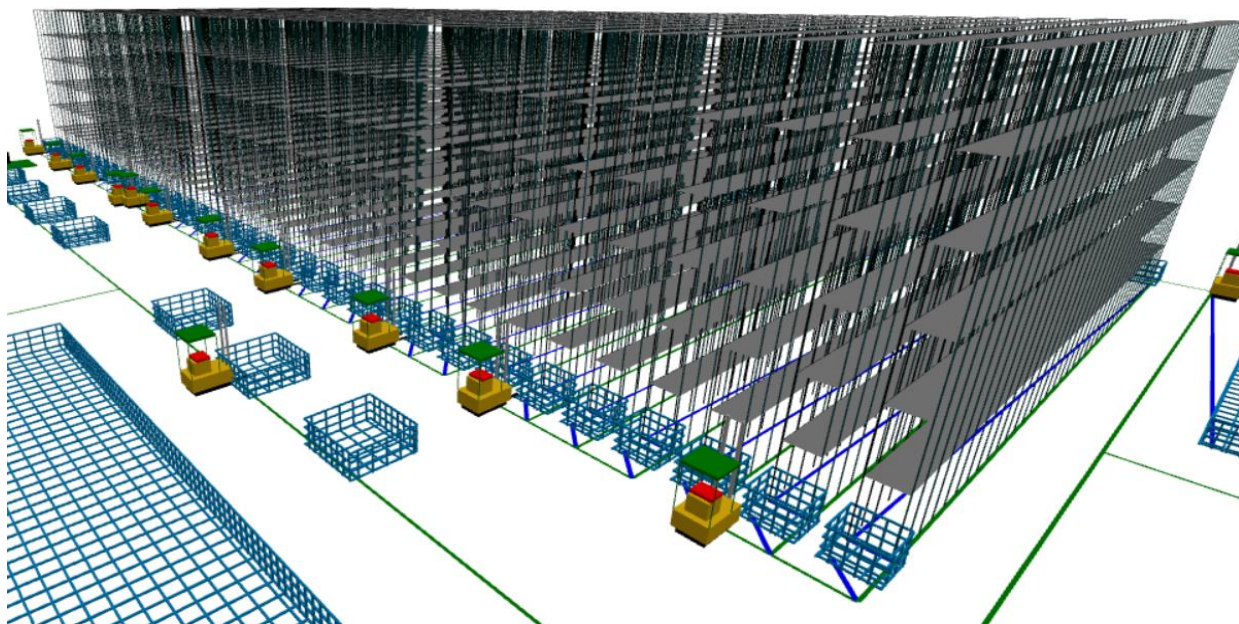
Slika 38. Podna skladišta

Podna skladišta, prikazana na *Slici 38*, služe za uskladištenje proizvoda u staklenoj ambalaži koji dolaze iz vlastite punionice i uvoza. U promatranom skladišnom sustavu i neke ostale zone su izvedene u obliku podnog skladišta i simbolizirane elementom *Queue*. Zona za prijem, zona za komisioniranje, zona za otpremanje proizvoda, podno skladište za određenu robu iz uvoza i ostali spremnici proizvoda prije ulaza i nakon izlaza proizvoda iz Radio Shuttle regalnog skladišnog sustava također su izvedena u obliku podnog skladišta.

7.1.4 Modeliranje Radio Shuttle regala

Središnji dio budućeg skladišnog sustava činit će paletni regalni sustav s Radio Shuttle regalima. Prema raspoloživom prostoru i nacrtima skladišta, regalni sustav sastojat će se od 35 regala. Svaki regal imat će 35 paletnih mjesta po dužini te mogućnost skladištenja na 6 razina visine što čini ukupni kapacitet Radio Shuttle regala od 7350 paletnih mjesta. Zbog Radio Shuttle-ova koji se gibaju kroz regal i tako prenose palete, uštedjet će se prostor koji bi inače bio potreban za prolaz transportnih sredstava između dva regala. Radio Shuttle regalni sustav zamišljen je kao jednosmjernan sustav. Naime, s jedne strane nalazi se ulaz u regalni sustav, a s druge strane izlaz. Na ulazu u sustav nalaze se zone za odlaganje proizvoda odn. *Bufferi* iz kojih se pomoću visokoregalnih viličara pune palete proizvoda dižu do Radio Shuttle-ova zaduženih za njihovo uskladištenje. Te male zone za odlaganje modelirane su pomoću elementa *Queue* i

svaka ima kapacitet od 10 paletnih mjesta. Prije ulaza u Radio Shuttle regalni sustav smješteno je sedam takvih malih zona za odlaganje. S druge se strane na kraju svakog reda regala također nalaze *Bufferi* kapaciteta jednog paletnog mjesta gdje se odlažu proizvodi dostavljeni pomoću Shuttle-ova i gdje čekaju daljnji transport. U stvarnosti će se proizvodi pri izlasku iz Radio Shuttle regalnog sustava direktno preuzimati putem visokoregalnih viličara bez potrebe za zonom za odlaganje. U realnosti će radom cijelog sustava upravlja WMS sustav temeljen na sustavu SAP koji će usmjeravati Radio Shuttle-ove prema njihovom položaju i potrebi te bilježiti lokaciju svake palete. Kada se pojavi potreba za izlazom neke palete iz regala, SAP će pozvati najbliži slobodni Shuttle za prijenos potrebnih proizvoda. Simulacijski model Radio Shuttle regalnog sustava u 3D pogledu prikazan je na *Slici 39*.

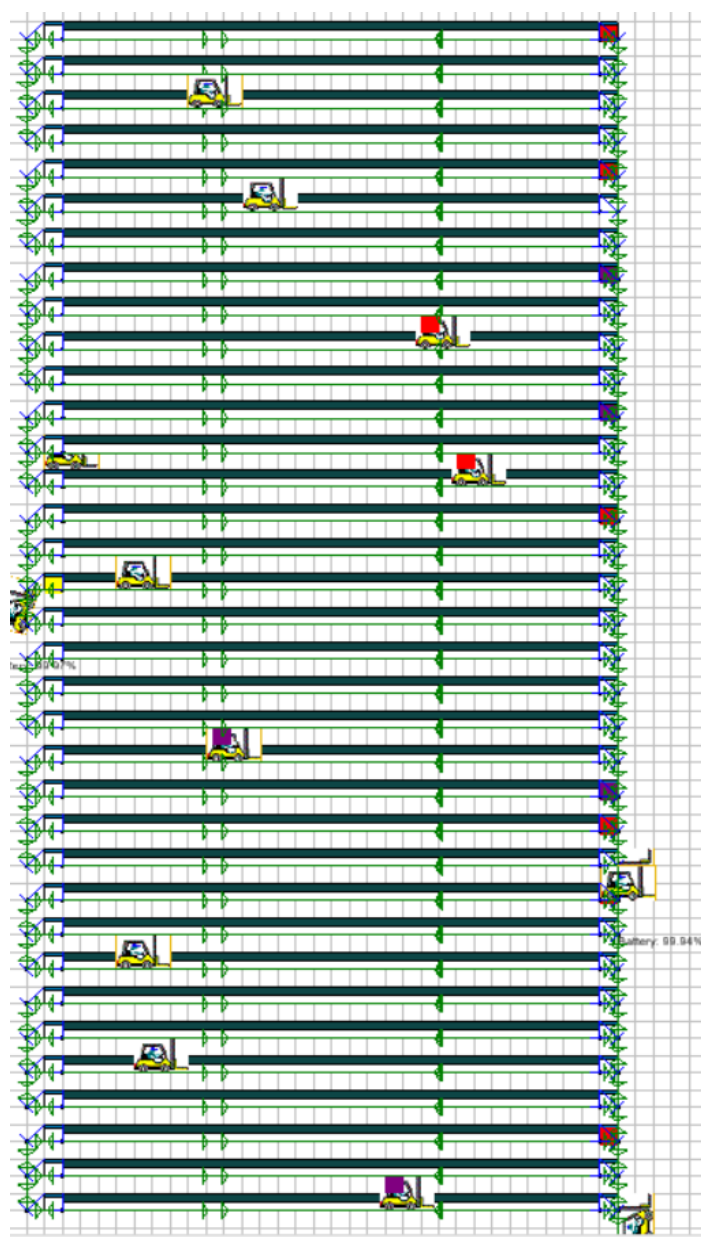


Slika 39. Model Radio Shuttle regalnog sustava

Nažalost, softver Enterprise Dynamics u svojim ponuđenim elementima nema Radio Shuttle regalni sustav. Zbog tog razloga u simulaciju nije bilo moguće ubaciti element koji će vjerno prikazivati izgled stvarnog sustava. Kako bi se vjerodostojno simulirao rad i ponašanje Radio Shuttle regalnog sustava u simulacijskom je modelu korišteno puno aproksimacija i prilagodbi ostalih elemenata sustava. Zadaća svi elemenata, spojenih u jednu cjelinu, je vjerodostojno i realno oponašanje rada Radio Shuttle regalnog sustava.

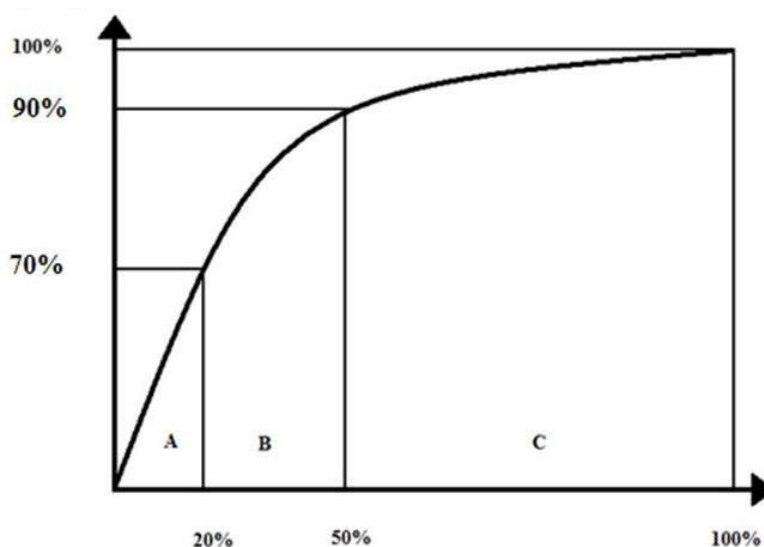
Regalni sustav u simulacijskome modelu izgrađen je pomoću 35 regala, odnosno elemenata pod nazivom *Warehouse* koji svojim kapacitetom odgovaraju stvarnom stanju. Umjesto Shuttle-ova, u simulaciji se za prijenos paleta unutar regalnog sustava koriste viličari simulirani pomoću

elementa *Advanced Transporter* koji svojim radom i kretanjama oponašaju kretanje Radio Shuttle-ova. Pošto je za kretanje viličara potreban prostor između regala, u simulacijskom modelu moralo se ostaviti malo prostora između svakog regala za prolaz viličara, iako u stvarnom sustavu, kako je već spomenuto ranije, nema potrebe za takvim prolazima. Dakle, za svaki viličar koji predstavlja jedan Shuttle napravljena je mreža transportnih puteva između regala po kojoj se giba. Kako će se i Shuttle gibati kroz nekoliko redova regala, tako se gibaju i viličari u simulaciji. Brzina viličara identična je brzini stvarnog Shuttle-a, a brzina dizanja viličara odgovara brzini visokoregalnog viličara zaduženog za dizanje i spuštanje Shuttle-a prilikom promjene razine regala. Način aproksimacije Radio Shuttle regalnog sustava u softveru prikazan je na *Slici 40* u 2D pogledu iz tlocrta.



Slika 40. Simulacija rada Radio Shuttle regalnog sustava

Kako bi se ostvarila najveća produktivnost i brzina rada, Radio Shuttle regalni sustav podijeljen je na 3 zone prema podacima dobivenim iz ABC analize. ABC analiza je analitička metoda koja kategorizira proizvode po kriteriju važnosti. Postupak analize omogućava razvrstavanje proizvoda u tri skupine, što dovodi do podataka o najprofitabilnijim proizvodima, odnosno omogućuje prilagođavanje cjelokupnog procesa te u krajnjem slučaju dovodi do smanjenja troškova. [26] Općenita ABC krivulja prikazana je na *Slici 41*.



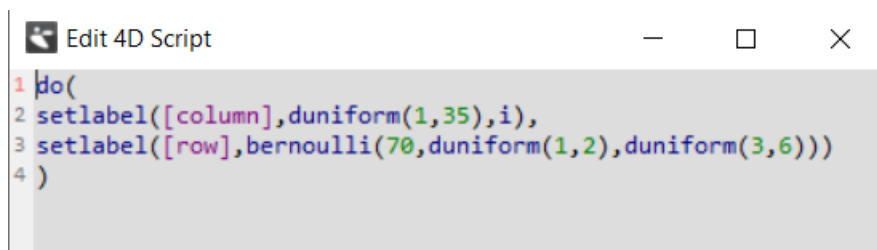
Slika 41. ABC krivulja [26]

Na *Slici 41* prikazana je ABC krivulja koja dijeli proizvode u 3 skupine. Skupina A sastoji se od 20% različitih proizvoda koji čine 70 % prometa. Ti proizvodi su najvažniji i zahtijevaju najveću pažnju i kontrolu. Skupinu B sačinjava 30 % različitih proizvoda koji čine 20 % prometa dok je u skupinu C smještena široka paleta proizvoda koji zajedno čine samo 10 % prometa. Na temelju tih saznanja u promatranom poduzeću napravljena je ABC analiza kako bi se što uspješnije upravljalo skladištenjem proizvoda. ABC analiza proizvoda promatrane kompanije prikazana je u *Tablici 2*.

Tablica 2. ABC analiza [23]

ABC group	%	SKU
A	70%	32
B	20%	42
C	10%	155
		229

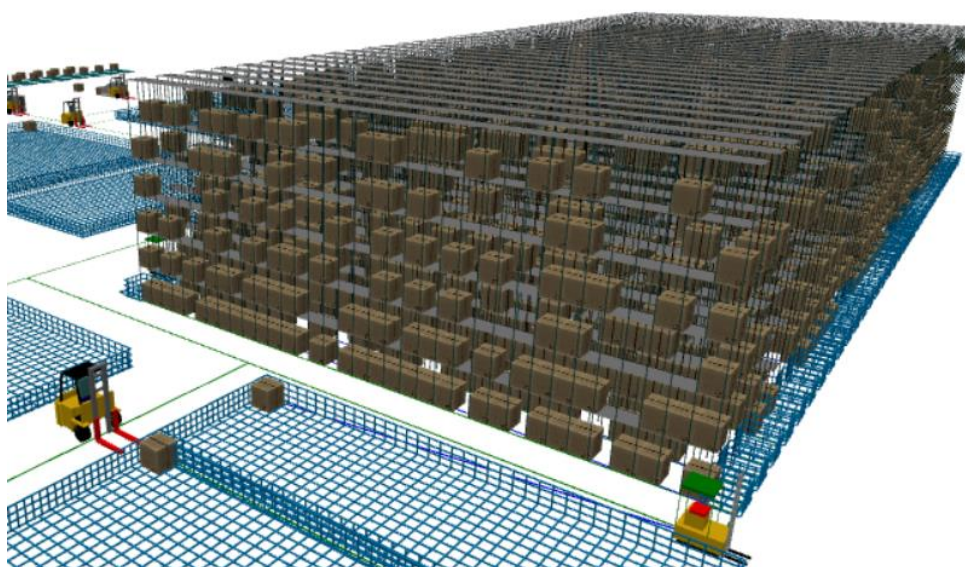
Iz *Tablice 2* vidljiva je podjela artikala u skladišnom sustavu kompanije. U trenutku izrade analize, u skladištu je bilo 229 različitih bezalkoholnih proizvoda koji su podijeljeni prema postotku prometa prema *Slici 41*. Na temelju ABC analize organizira se Radio Shuttle regalni sustav. Zona A, u koju su smješteni najfrekventniji proizvodi smještena je na najniže dvije razine regala. Zona B smještena je na treću i četvrtu razinu, dok je zona C, u koju pripadaju proizvodi koji su najrjeđe traženi, smještena na dvije najviše razine u regalima. S takvom podjelom želi se ostvariti veća brzina i produktivnost rada Radio Shuttle regalnog sustava jer će se manje vremena gubiti na premještanje Shuttle-ova između različitih razina. Smještaj najfrekventnijih proizvoda na najniže razine također će smanjiti vrijeme utovara i istovara paleta jer će se smanjiti potreba za dizanjem na više razine. Na *Slici 42* prikazan je kod za programiranje popunjavanja regala u 4D Script programskom jeziku gdje se najfrekventniji proizvodi šalju na dvije najniže razine u regalima.



```
1 do(
2 setlabel([column],duniform(1,35),i),
3 setlabel([row],bernoulli(70,duniform(1,2),duniform(3,6)))
4 )
```

Slika 42. Kod za popunjavanje regala

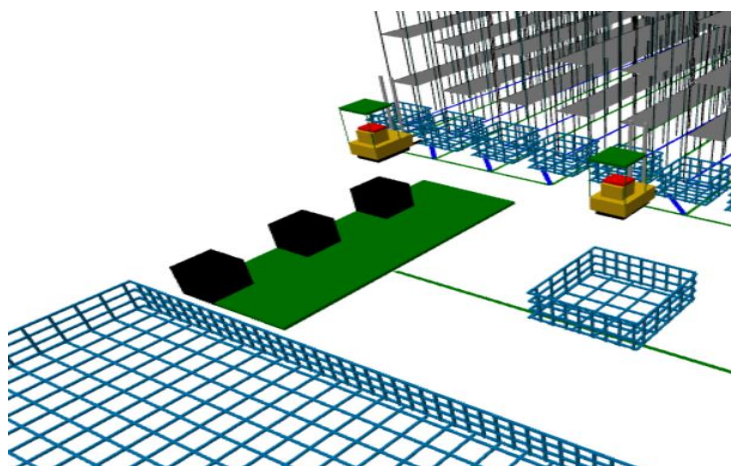
Slika 43 prikazuje popunjavanje regala u 3D pogledu gdje se vidi najveća popunjenost dvije najniže razine.



Slika 43. Popunjavanje Radio Shuttle regalnog sustava

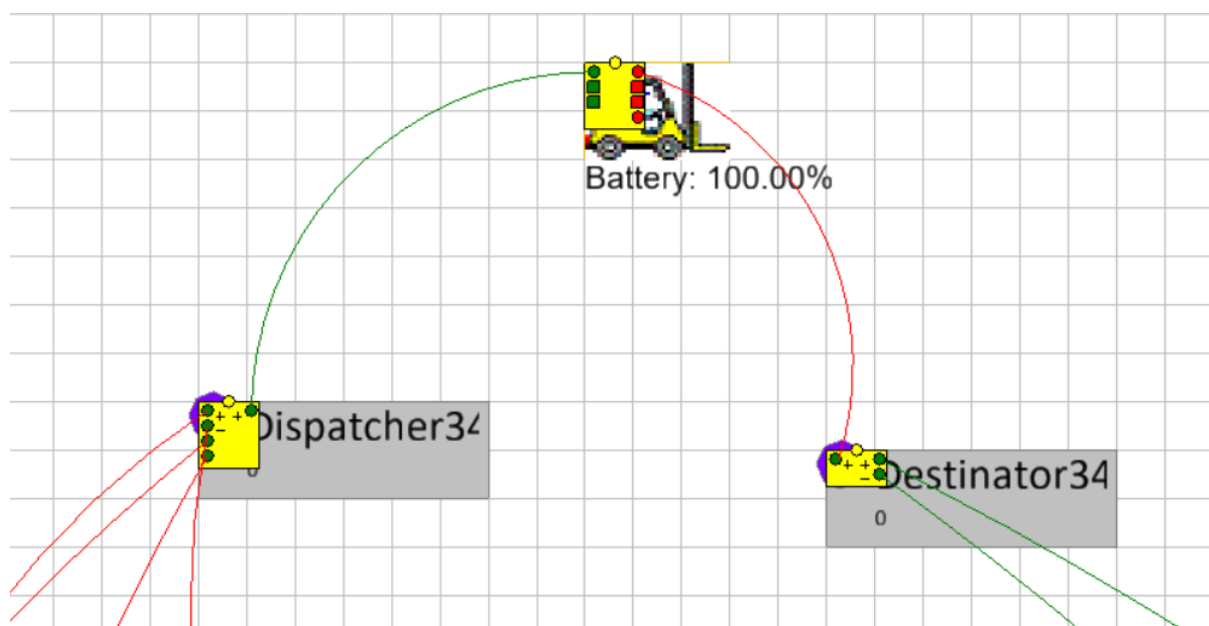
7.1.5 Transportna sredstva

Transport između različitih dijelova skladišnog sustava obavlja se pomoću viličara. Pošto u skladištu postoje razne zone koje su različitih dimenzija i zahtjeva, isto tako javlja se potreba za različitim vrstama viličara specijaliziranim za određene zadatke. Kompanija je odabrala dobavljača koji će isporučiti traženi broj viličara japanskog proizvođača Toyota. Za potrebe rada cjelokupnog skladišnog sustava nabavit će se potreban broj jednopaletnih, dvopaletnih, te visokoregalnih viličara. Sva transportna sredstva koja će se koristiti na otvorenom imat će pogon na plin, a ona koja će raditi isključivo u zatvorenom prostoru bit će na električni pogon. Zbog toga se u simulacijski model ubacuje i mjesto za punjenje baterija. Odlučeno je da će se po skladištu rasporediti 3 punionice kako viličari ne bi trebali daleko putovati od područja svoga rada do punionice te da bi u svakom slobodnom trenutku mogli dopuniti svoju bateriju. Na *Slici 44* prikazana je jedna električna punionica smještena između Radio Shuttle regalnog sustava i podnoga skladišta.



Slika 44. Električna punionica

Za modeliranje svih viličara u simulacijskome modelu koristi se element *Advanced Transporter*. S obzirom na stvarne specifikacije viličara, svakom se transportnom sredstvu u simulacijskom modelu u njegovim postavkama podešavaju brzina, ubrzanje, brzina podizanja tereta, broj paleta koje može istovremeno transportirati te kapacitet njegove baterije. Prosječna brzina utovara i istovara jedne palete određena je na temelju praćenja rada viličara i mjerenja potrebnog vremena utovara i istovara. Na temelju provedenog praćenja određuje se vrijeme za manipulaciju jedne palete od 10 sekundi. Viličari se kreću izgrađenim transportnim rutama opisanim u *Poglavlju 7.1.1*. Kako bi se viličare usmjeravalo na željeni način koriste se dva elementa koja se nazivaju *Dispatcher* i *Destinator*. Način spajanja viličara s ova dva elementa prikazan je na *Slici 45*.



Slika 45. Korištenje elemenata *Dispatcher* i *Destinator*

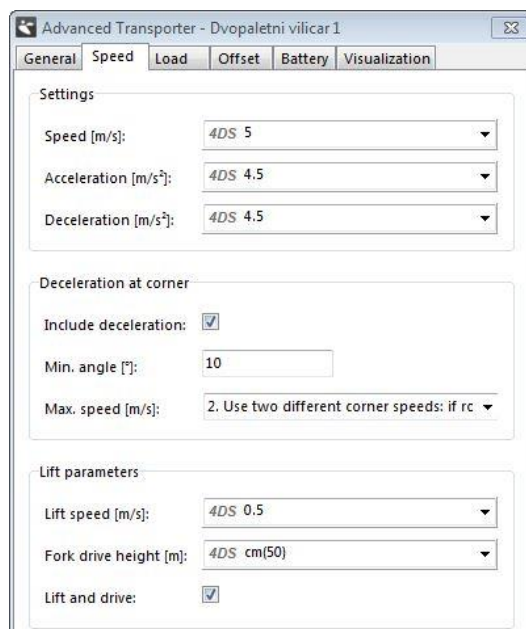
Dispatcher je element na koji se spajaju svi elementi koji sadrže proizvode koje je potrebno transportirati. Ti elementi spajaju se na njegov ulaz, dok se na izlaz spajaju transportna sredstva zadužena za prijevoz proizvoda. Na Slici 45 za transport je zadužen samo jedan viličar, no u mnogim slučajevima se na *Dispatcher* spaja mnogo više transportnih sredstava. S druge strane, *Destinator* je element koji spaja transportna sredstva s lokacijama na koje se proizvodi moraju transportirati. Element *Destinator* također može imati više ulaza i izlaza.

U nastavku će se opisati različite vrste viličara odabrane za rad u stvarnom skladišnom sustavu i način prilagodbe takvih transportnih sredstava u simulacijskome modelu. Za uskladištenje proizvoda koji dolaze iz vlastite proizvodnje putem valjčanih konvejera na 3 različite linije koriste se dvopaletni viličari s električnim pogonom. Za prikaz takvih viličara u modelu se koristi model *Advanced Transporter* kojem se u postavkama podesi da istovremeno prevozi 2 palete. Takva vrsta viličara najbolje odgovara zoni u skladištu u kojoj djeluje jer između ulaznih linija i podnog skladišta ima dovoljno mjesta za manipulaciju s dvije palete istovremeno. Palete se u podnom skladištu slažu u redove prilagođene dvopaletnim viličarima. Dvopaletni viličari također se koriste i za utovar i istovar uvozne robe s kamiona te njen transport do zone za odlaganje. Pošto takvi viličari većinu vremena provode na otvorenom, za njihov pogon koristi se plin. Na Slici 46 prikazan je električni dvopaletni viličar koji će se koristiti u podnome skladištu.



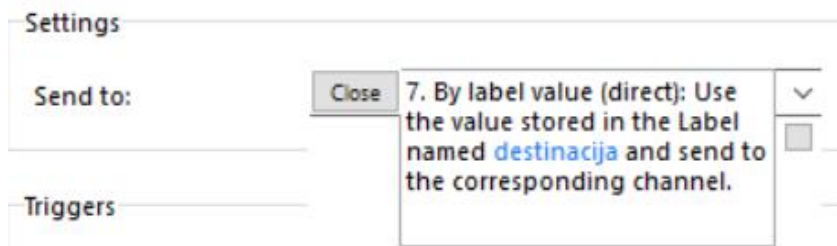
Slika 46. Dvopaletni električni viličar [27]

U simulacijskome modelu viličaru se podešavaju karakteristike u njegovim postavkama koje se otvaraju dvostrukim klikom na željenom transportnom sredstvu. Postavke viličara prikazane su na Slici 47.



Slika 47. Podešavanje performansi viličara

Ruta i način rada viličara podešavaju se u postavkama pomoću *Labela*, odn. oznaka po kojima viličar raspoznaje proizvode koje transportira, kako je i prikazano na *Slici 48*.



Slika 48. Usmjeravanje viličara

Za ulazak i izlazak robe iz Radio Shuttle regalnog sustava koristit će se bočni visokoregalni viličari. Zbog mogućnosti rada u uskim prostorima, zahvaljujući bočnom položaju vilica te mogućnostima dizanja tereta na velike visine, visokoregalni viličari mogu obavljati potrebne zadatke pri manipulaciji i predaji paleta Shuttle-ovima. Također, visokoregalni viličari koristit će se za dizanje i spuštanje Shuttle-a prilikom potrebe za promjenom razine regala. Toyota visokoregalni viličari također će biti na električni pogon. Izabrani viličari imaju bočni pomak za hidraulično pomicanje vilica lijevo-desno čime se dodatno olakšava manipulacija paletama [27]. Izgled visokoregalnog viličara prikazan je na *Slici 49*. Pošto simulacijski softver nema mogućnost odabira ovakvog tipa viličara, visokoregalni viličari se također prikazuju pomoću elementa *Advanced Transporter*.



Slika 49. Visokoregalni električni viličar [27]

U skladišnim zonama gdje nema previše prostora za manipulaciju koristit će se jednopaletni električni viličari. Takvi su prostori zona za komisioniranje te zona za odlaganje paleta nazvana *Queue RS* u kojoj se odlažu proizvodi izašli iz Radio Shuttle sustava. Takve viličare, čiji je primjerak prikazan na *Slici 50*, karakterizira manja nosivost od dvopaletnih viličara, ali i mogućnost dizanja tereta na veće visine kao i bolja okretnost uz jednostavnije upravljanje. [27]



Slika 50. Jednopaletni električni viličar [27]

Kao što je spomenuto u *Poglavlju 7.1.4*, Radio Shuttle-ovi se zbog nepostojanja takvih elemenata u softveru prikazuju pomoću viličara. U stvarnosti su odabrani Shuttle-ovi talijanske tvrtke Ferretto Group. Odabrani Ferreto Flexy 800 Shuttle prikazan je na *Slici 51* uz njegove glavne specifikacije.

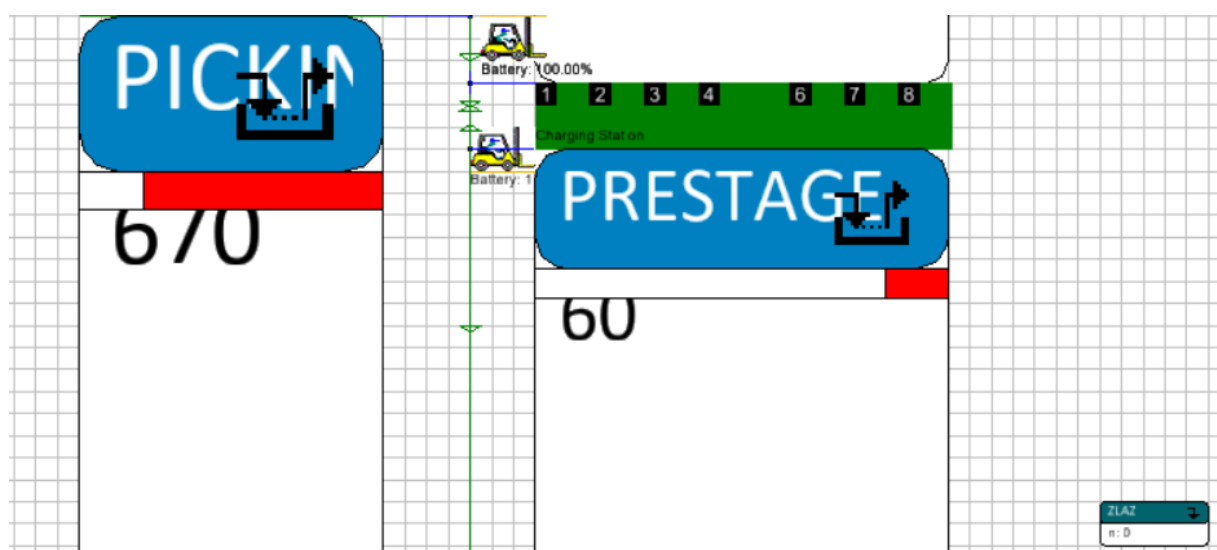


Slika 51. Ferretto Flexy 800 Radio Shuttle [7]

Iz Slike 51 vidljivo je kako je Shuttle opremljen raznim senzorima koji su zaduženi za snalaženje u prostoru te sprječavanje kolizija i sudara s nekim drugim elementima. Shuttle-om upravlja WMS sustav koji s njime ostvaruje komunikaciju putem internetske veze, no operateru je omogućeno upravljanje i pomoću daljinskog upravljača. Kao i sva transportna sredstva u skladištu i Shuttle-ovi imaju električni pogon pa ih je potrebno puniti u određenim vremenskim intervalima. Zabrinjava činjenica da je za neprekidan rad Shuttle-a u trajanju od 8 sati potrebno puniti njegovu bateriju čak šest sati. Međutim, baterije je moguće mijenjati i zatim napuniti izvađenu bateriju. [7] Shuttle marke Ferretto ima nosivost od 1500 kg, a pogodan je za prijenos 3 tipa paleta, među kojima je i Euro paleta koja se koristi u promatranom skladišnom sustavu. Radio Shuttle-ovi talijanske tvrtke Ferretto detaljnije su opisani u *Poglavlju 4.5*.

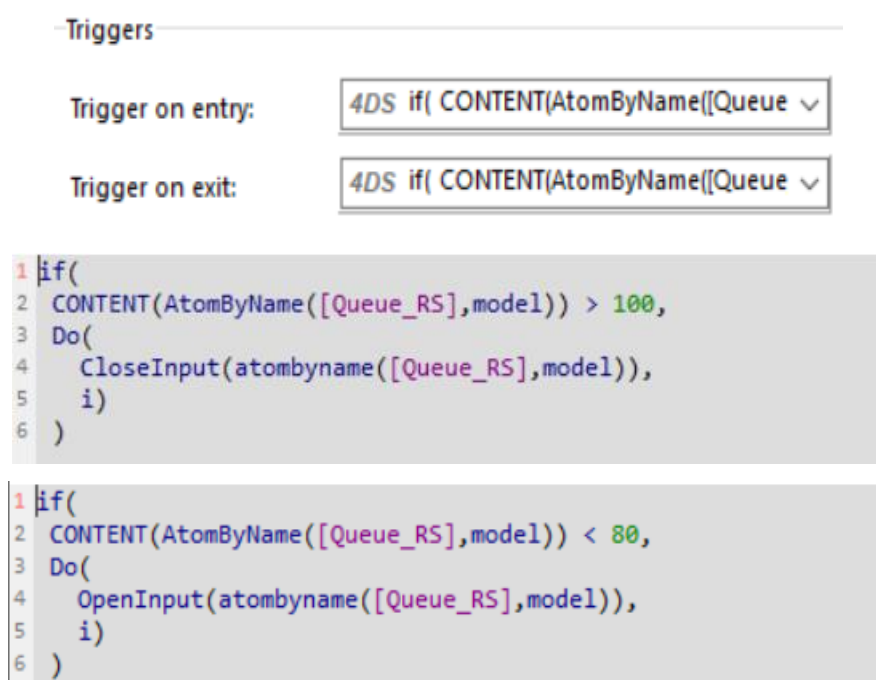
7.1.6 Izlaz proizvoda iz skladišta

Proizvodi iz skladišta mogu izlaziti kao pune palete istovrsnih proizvoda ili palete na kojima se nalaze raznovrsni proizvodi. Palete koje sadrže raznovrsne proizvode slažu se u zoni za komisioniranje, odnosno zoni koja je u modelu nazvana *Picking zona*. U zoni za komisioniranje nalazi se jedna ili nekoliko paleta svakog proizvoda koji je u skladištu. Iz tih paleta slažu se narudžbe za kupce koje sadrže nekoliko različitih proizvoda na jednoj paleti. Narudžbe za takve mješovite palete jako su česte i analizom je utvrđeno da one čine čak 45 % izlaznog volumena. [23] Nakon što su palete složene i pripremljene za kupca transportiraju se u zonu za otpremanje proizvoda odn. zonu koja je u modelu nazvana *Prestage zona*. Ta zona služi za odlaganje pripremljenih pošiljaka koje čekaju na utovar i daljnji transport. Palete koje iz skladišta izlaze cijele zaobilaze zonu za komisioniranje te direktno dolaze u zonu za otpremanje proizvoda. *Picking* i *Prestage zona* prikazane su na Slici 52 u 2D pogledu.



Slika 52. Zona za komisioniranje i zona za otpremanje proizvoda

Kada se pojavi potreba za određenim proizvodima, oni se izuzimaju sa svojih skladišnih pozicija i odvoze transportnim sredstvima. Proizvodi smješteni u podnome skladištu direktno se voze u jednu od dvije izlazne zone nakon izuzimanja. Proizvodi smješteni u Radio Shuttle regalni sustav izuzimaju se iz regala te se visokoregalnim viličarima prevoze do zone za njihovo odlaganje nazvana *Queue RS*. Iz te zone proizvodi se dalje odvoze po potrebi u zonu za komisioniranje ili otpremanje pomoću jednopaletnih viličara. Kako bi se spriječilo prebrzo punjenje zone za otpremanje, u simulacijskome modelu morao se uskladiti izlazni tok proizvoda. *Buffer zona* u koju se odlažu proizvodi iz Radio Shuttle regala i čekaju daljnji transport morala se volumno ograničiti. Ograničenje je napravljeno pomoću programiranja stavki *Trigger on entry* i *Trigger on exit*. Te stavke omogućuju izvođenje određenih radnji prilikom ulaska i izlaska robe u odabrani element. Pomoću „if“ naredbe u 4D Script programskome jeziku ograničen je volumen zone na maksimalno 100 paleta, a programski kod prikazan je na *Slici 53*.



Slika 53. Programiranje zone za odlaganje proizvoda

Nadalje, programirati su se morali i elementi *Picking* i *Prestage* kako bi im se ograničio volumen te uskladio takt izlaska proizvoda. Takt izlaska proizvoda određen je vanjskim elementima gdje element *Source* proizvodi palete u željenim intervalima od 80 sekundi čime se želi simulirati dolazak proizvoda u sezoni najvećeg protoka. Element *Sink* nepovratno prima te palete i uništava ih. Elementi *Source* i *Sink* prikazani su na *Slici 54*.



Slika 54. Takt za izlaz proizvoda iz skladišta

Izlazni takt proizvoda se s elementom *Prestage* povezao pomoću koda u 4D Script jeziku prikazanom na Slici 55. Također, volumen elementa koji simulira rad zone za otpremanje proizvoda ograničen je između 200 i 250 paleta nakon početnog punjenja. Na taj način omogućuje se pražnjenje elementa *Prestage* i sprječavanje nagomilavanja paleta. Relativno mali raspon granica namjerno je zadan kako bi se pražnjenje brzo izvelo i da ne bi pretjerano utjecalo na rad ostalih dijelova simulacije.

```

1 do(
2   if(
3     CONTENT(AtomByName([PRESTAGE],model)) < 200,
4     Do(
5       OpenInput(atombyname([PRESTAGE],model)),
6       i)
7     ),
8     Name(i) := [Sink za takt]
9   )
10 )

```

Slika 55. Kod u elementu *Prestage*

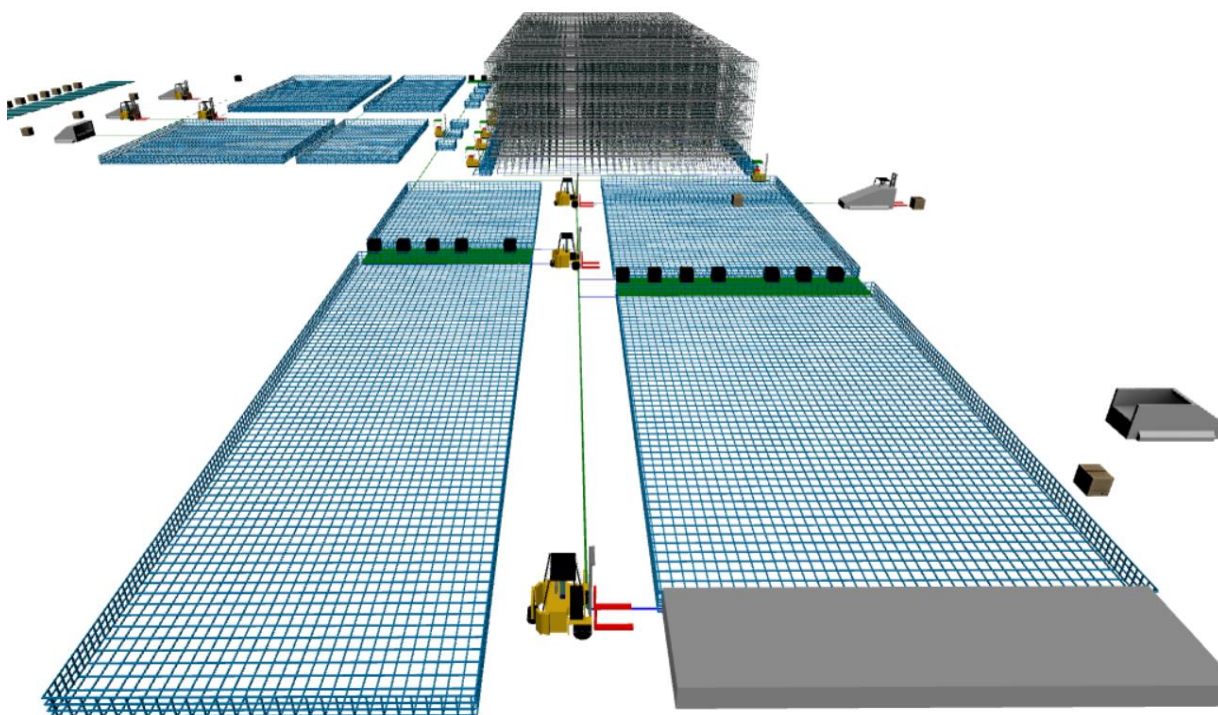
Proizvodi iz skladišta, odnosno zone za otpremanje proizvoda koja se u modelu naziva *Prestage*, odlaze pomoću vozila cestovnog transporta i dostavljaju se kupcima. Utovar robe u kamione u simulacijskome modelu prikazan je jednostavno pomoću elementa *Sink* koji prima i uništava proizvode, ali bilježi njihov izlaz. Na taj način nije bilo potrebe za modeliranjem transportnog puta i viličara koji tovari pune palete u kamion. Izlaz proizvoda u simulacijskome modelu prikazan je na Slici 56.



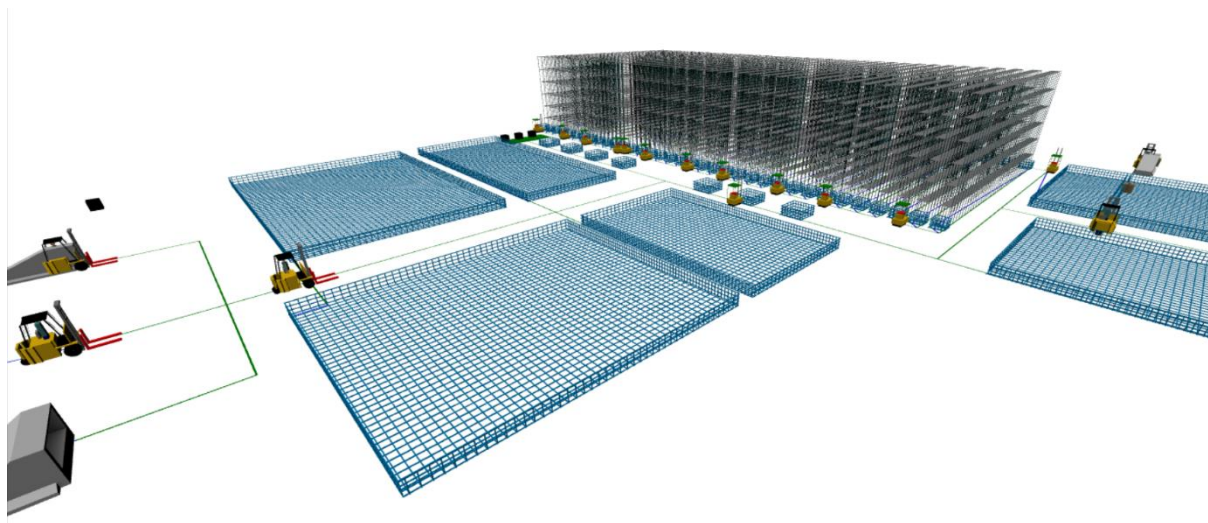
Slika 56. Izlaz proizvoda iz skladišta

7.2 Izgled cjelokupnog simulacijskog modela

Simulacijski model građen je dio po dio. Nakon što su u model ubačeni svi elementi, podešene su njihove postavke kako bi se postiglo željeno ponašanje svih dijelova i što vjerodostojnije prikazao stvaran sustav. Nakon toga, međusobno su se povezale sve cjeline pomoću toka proizvoda ostvarenog pomoću viličara koji se kreću na unaprijed sagrađenim transportnim putevima. Konačan izgled cijelog 3D modela skladišnog sustava prikazuju *Slika 57* i *Slika 58*.



Slika 57. Prikaz cjelokupnog modela skladišnog sustava



Slika 58. Simulacijski model skladišnog sustava iz drugog kuta gledanja

8. REZULTATI PROVEDENE SIMULACIJE

Na temelju izrađenog simulacijskog modela Radio Shuttle regalnog skladišnog sustava potrebno je odrediti može li planirani skladišni sustav sa svojim kapacitetom uspješno odgovoriti na zahtjeve protoka proizvoda u sezoni najveće prodaje te koliko je skladišne opreme, odnosno transportnih sredstava, potrebno za nesmetani rad cijelog skladišnog sustava.

Kako bi se sustav testirao u realnim uvjetima kakvi se očekuju, protok proizvoda kroz skladište određuje se na temelju prošlogodišnje prodaje u vrhuncu sezone. Zbog strategije kontinuiranog rasta koju kompanija slijedi iz godine u godinu, prošlogodišnje vrijednosti uvećavaju se za dodatnih 10 % kako bi se sustav testirao u najzahtjevnijim uvjetima. Prema tome, povećava se rad proizvodnih linija, broj paleta koje dolaze u skladište iz uvoza, ali i broj isporuka, odnosno paleta koje izlaze iz skladišnog sustava. Ukoliko sustav može podnijeti nametnutu dinamiku protoka dokazat će se da je sustav dobro isplaniran i da se može krenuti s projektom njegove izgradnje. Ako se u radu sustava pojave određeni problemi, to će biti jasan znak da su u sustavu potrebne određene modifikacije. Simulacija rada skladišnog sustava upravo se provodi iz razloga pronalaska i rješavanja problema skladišnog sustava prije njegove izgradnje kako bi se spriječili veliki financijski gubici.

Kako bi se dobio najbolji uvid u iskoristivost skladišta i skladišne opreme simulacija se pokreće u vremenskom periodu od 8 sati koji predstavlja jednu radnu smjenu. Naime, trenutno u sezoni skladište radi bez prestanka 6 dana u tjednu, a rad je organiziran u osmosatnim smjenama. Na temelju rada jedne smjene moći će se zaključiti o uspješnosti skladišnog sustava. Iako postoje određene varijacije u volumenu ulaska i izlaska paleta po smjenama, u simulacijskom modelu uzimaju se prosječne vrijednosti protoka temeljene na prošlogodišnjim podacima koji su uvećani za 10 %. Zbog objektivnosti, simulacija se pokreće tri puta.

8.1 Testiranje kapaciteta skladišta

Kako bi se sustav testirao u realnim uvjetima, skladište se u trenutku pokretanja automatski puni na 80 % maksimalnog kapaciteta. Na taj način moći će se usporediti kapacitet skladišta nakon osmosatnog rada s početnim stanjem. Početno punjenje skladišnih kapaciteta omogućeno je pomoću elemenata *Arrival list* koji se posebno modelira za svaki dio skladišnog prostora. Radio Shuttle regalni sustav također se puni na operativni kapacitet od 80 % kako bi se proučio njegov rad u realnim uvjetima. Simulacije rada jedne smjene na temelju popunjenosti skladišnih kapaciteta jasno će pokazati je li protok proizvoda kroz skladište dobro izbalansiran. Ukoliko se količina paleta u skladištu osjetno smanji, to će biti jasan znak da proizvodnja i uvoz ne mogu

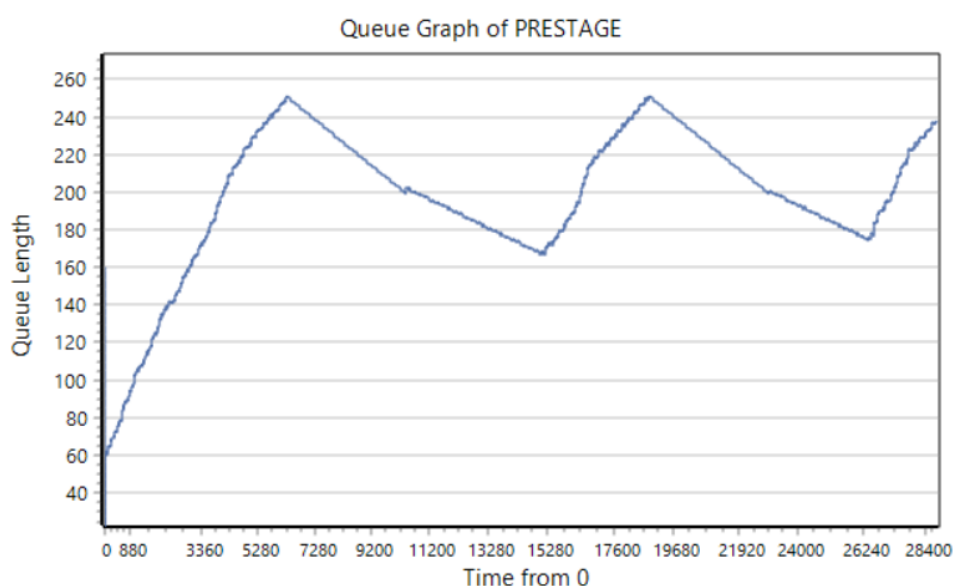
odgovoriti na zahtjeve koje postavlja prodaja. S druge strane, pretjerano gomilanje robe u skladištu značit će da skladišni sustav ne može dovoljno brzo obraditi narudžbe i ispoštovati rokove isporuke. Naravno, skladište mora biti spremno na neujednačenost ulaska i izlaska robe. Zbog toga skladište uslijed slabije prodaje mora posjedovati dovoljno kapaciteta za prijem nove robe. Također, skladište mora biti spremno na kašnjenja u dolasku robe i posjedovati dovoljno zaliha svih proizvoda kako bi se mogle ispoštovati sve dogovorene isporuke. U *Tablici 3* prikazani su podaci o kapacitetu skladišta po skladišnim zonama nakon provedenih simulacija. Ti podaci uspoređuju se s početnim stanjem skladišta. Kapacitet je izražen pomoću broja paleta u skladištu.

Tablica 3. Usporedba kapaciteta skladišta po broju paleta nakon osmosatne simulacije

Skladišna zona	Početno stanje	Završno stanje 1	Završno stanje 2	Završno stanje 3
Podno skladište 1	1050	1029	1043	1037
Podno skladište 2	644	626	625	631
Podno skladište 3	832	798	813	795
Podno skladište 4	448	415	439	433
Podno skladište uvoz	544	522	534	531
RS regal 1 (kapacitet ostalih regala približno jednak)	162	163	163	164
Zona za odlaganje	120	34	20	13
Zona za komisioniranje	720	796	799	795
Zona za otpremanje proizvoda	60	249	243	209
Popunjenost cijelog skladišta	10 088	10 174	10 221	10 184

Iz podataka u *Tablici 3* vidljivo je da se popunjenost cijelog skladišta i pojedinih skladišnih zona nije puno promijenila nakon 8 sati rada. Najveća promjena kapaciteta u podnim skladištima vidljiva je u zoni za otpremanje gdje se odlažu proizvodi spremni za izlazak iz skladišta. U prvoj provedenoj simulaciji ta je promjena najveća i iznosi 189 paleta. Takvo povećanje kapaciteta zone možda izgleda kao veliko za razdoblje od 8 sati, ali ipak nema razloga za zabrinutost. Zona za otpremanje proizvoda zadnja je stanica za robu u skladišnom sustavu prije utovara i daljnje distribucije. U svakoj provedenoj simulaciji u zoni za otpremanje

proizvoda bilježi se porast paleta što je znak da skladišni sustav bez problema priprema narudžbe za kupce, odnosno izuzima proizvode s njihovih skladišnih lokacija i priprema ih za daljnju distribuciju. U stvarnosti je planirani kapacitet zone za otpremanje proizvoda 400 paletnih mjesta kako ne bi došlo do problema u slučaju nekog zastoja i kašnjenja utovara robe koja izlazi iz skladišta. Kako bi se u simulaciji spriječilo pretjerano nagomilavanje robe u zoni za otpremanje proizvoda, kapacitet zone se ograničio na 250 paleta i na taj se način omogućio ujednačeni protok robe kroz cijeli skladišni proces. Pomoću grafa na *Slici 59* prikazano je punjenje zone za otpremanje proizvoda do maksimalnog kapaciteta i nakon toga pražnjenje koje simbolizira utovar robe u kamione i njen odlazak iz skladišta.

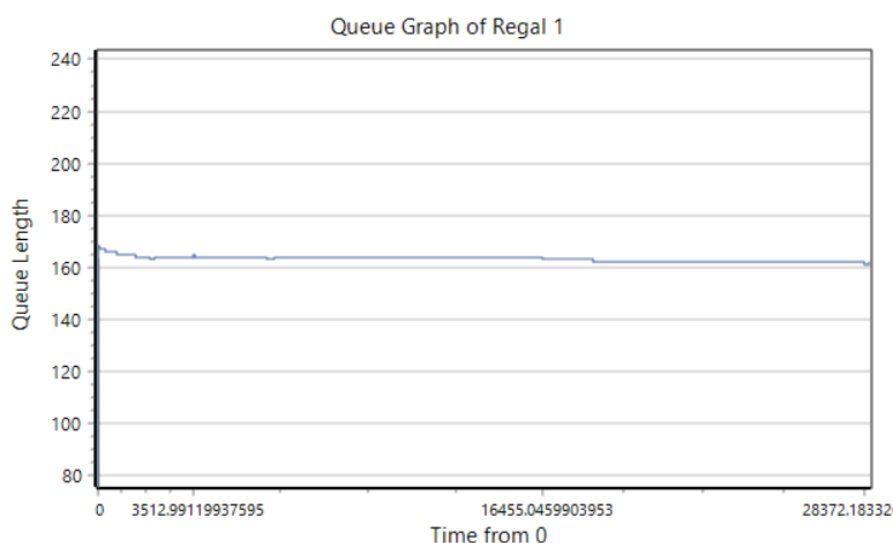


Slika 59. Kapacitet zone za otpremanje proizvoda

Količina proizvoda u zoni za odlaganje, u koju se odlažu proizvodi iz uvoza nakon istovara kamiona i čekaju daljnji transport na njihove skladišne pozicije, u svakoj se simulaciji smanjila te je zona na kraju smjene gotovo prazna. Pravovremeno pražnjenje zone za odlaganje pokazuje da se viličari mogu nositi s nametnutim ulaznim volumenom.

U zoni za komisioniranje potrebno je u svakom trenutku imati sve vrste proizvoda, odnosno svaki SKU koji se nalazi u skladištu. Prema tome, kapacitet zone za komisioniranje potrebno je održavati približno konstantnim. Zbog toga se u simulacijskome modelu ograničava kapacitet te skladišne zone između početnih 720 i maksimalnih 800 paleta. U svim provedenim simulacijama zona za komisioniranje popunjava se gotovo do maksimalnog kapaciteta što znači da viličaristi imaju dovoljno vremena za nadopunu paleta i održavanje stalnog kapaciteta zone za komisioniranje što je vrlo važno za normalno funkcioniranje skladišnog sustava.

Najvažniji dio analiziranog skladišnog sustava je Radio Shuttle regalni sustav čiji je kapacitet prikazan pomoću samo jednog regala jer se cijeli sustav popunjava ujednačeno. Kapacitet Radio Shuttle regalnog sustava ostao je gotovo nepromijenjen. To je jasan pokazatelj dobrog funkcioniranja regalnog sustava u cjelini i dovoljnog broja Radio Shuttle-ova. Uz nametnuti maksimalan protok robe kakav se očekuje u najzahtjevnijem dijelu godine, Radio Shuttle-ovi bez problema odrađuju poslove uskladištenja i izuzimanja paleta održavajući kapacitet cijelog regalnog sustava nepromijenjen. Kapacitet regala u kojem se transport paleta vrši pomoću Radio Shuttle-ova prikazan je pomoću grafa na *Slici 60*.



Slika 60. Praćenje kapaciteta jednog regala u Radio Shuttle regalnog sustavu

Iz statistike koja je dostupna nakon prve provedene simulacije može se vidjeti kako je iz jednog regala u 8 sati izašlo 9 paleta, a približno ista količina je i ušla. U *Tablici 4* prikazan je prosječan izračun rada jednog Radio Shuttle-a.

Tablica 4. Prosječan rad jednog Radio Shuttle-a u jednoj smjeni

Rad jednog Radio Shuttle-a u smjeni od 8 sati	
Broj uskladištenih paleta	10
Broj izuzetih paleta	9
Ukupan broj manipulacija paleta	19
Prosječan broj regala po jednom Radio Shuttle-u	3,5
Prosječan broj manipulacija paleta	66.5
Vrijeme za izvršavanje jednog zadatka (manipulacije)	433 sek = 7 min i 12 sek

Iz *Tablice 4* saznaje se prosječno vrijeme koje Radio Shuttle ima za izvršavanje jednog zadatka. U vrijeme koje prosječno iznosi 7 minuta uključen je dolazak Shuttle-a na početak regala, izuzimanje Shuttle-a pomoću visokoregalnog viličara i postavljanje na potrebnu poziciju unutar regalnog sustava, stavljanje palete na Shuttle pomoću viličara, putovanje natovarenog Shuttle-a do zadane pozicije te uskladištenje palete na zadanu skladišnu poziciju. Vrijeme od 7 minuta je više nego dovoljno za izvršavanje tih zadataka. Ovim proračunom dokazalo se da Radio Shuttle regalni sustav s ovakvim brojem i rasporedom Shuttle-ova može bez problema odrađivati tražene zadatke. Prema ovim je podacima Radio Shuttle regalni sustav sposoban obraditi mnogo veći protok robe i odgovoriti na najzahtjevnije zahtjeve kupaca.

Kako bi se protok proizvoda kroz skladišni sustav jasnije izrazio, u *Tablici 5* prikazani su svi ulazni i izlazni kanali. Količina ulaska i izlaska robe prikazana je u broju punih paleta.

Tablica 5. Usporedba ukupnih tokova proizvoda u paletama

Kanal	Simulacija 1	Simulacija 2	Simulacija 3
Ulaz robe iz uvoza	135	135	135
Ulaz robe iz proizvodnih linija (ukupno)	310	357	320
Ukupni ulaz robe	445	492	455
Ukupni izlaz robe	359	359	359
Razlika	+86	+133	+96

Iz *Tablice 5* može se zaključiti da analizirani skladišni sustav može pozitivno odgovoriti na sve zahtjeve tijekom sezone najveće prodaje i najvećeg protoka proizvoda kroz skladište. Od provedene 3 simulacije, svaka pokazuje da se nakon osmosatne smjene broj paleta u skladištu povećao. Međutim to povećanje u vidu ukupnog kapaciteta skladišnog sustava nije zamjetno, pogotovo kada se zna da najveći broj paleta ostaje u zoni za otpremanje proizvoda gdje čeka utovar i danju distribuciju. Najveći prirast paleta u skladištu zabilježen je u drugoj provedenoj simulaciji i on iznosi 1,13 %. U obzir se mora uzeti varijacija ulaska i izlaska robe. U nekim danima u tjednu pojačan je ulazak, a u nekim danima izlazak robe. Također, dani oko državnih praznika i blagdana, kao i zadnji dani u mjesecu, odnosno dani prije kraja obračunskog razdoblja puno su zahtjevniji po protoku od ostalih. Dakle, rezultati u *Tablici 4* i *Tablici 5* jasno pokazuju da je cjelokupni skladišni sustav sa svojim Radio Shuttle regalnim sustavom spreman za najveće izazove u obliku skladišnog kapaciteta i zadovoljavanje zahtjeva kupaca.

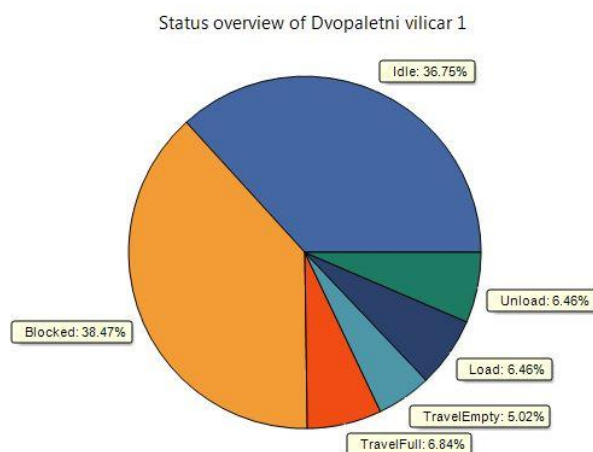
Potrebno je prokomentirati i ulazak robe u skladište iz vlastite punionice. U simulaciji je zadan takt dolaska proizvoda na svakoj od tri linije. Prema tom taktu, u skladište se tijekom 8 sati maksimalno može isporučiti 700 paleta. Nakon simulacije vidljivo je da je u skladište tijekom osam sati rada iz punionice pristiglo manje od polovice toga iznosa. Razlog leži u tome što softver Enterprise Dynamics povlači onoliko proizvoda koliko je potrebno za normalno funkcioniranje simulacije. S druge strane, programiranjem je zadan prosječni takt izlaska kako proizvodi ne bi prebrzo izlazili iz skladišta. Prema ovim podacima može se zaključiti da je promatrani skladišni sustav u stanju provoditi još brži protok proizvoda od zadanog. Punionica je sposobna proizvesti mnogo veći volumen proizvoda, a roba može još brže izlaziti iz skladišta što se u simulaciji dokazalo gomilanjem proizvoda u zoni za otpremanje proizvoda. U ovoj simulaciji namjerno se ograničio taj protok kako bi se postiglo što realnije stanje i stvarni podaci o iskoristivosti. Informacija o mogućnosti rada s još većim kapacitetom jako je korisna jer sustav u budućnosti ima prostora za napredak i dodatna opterećenja.

8.2 Određivanje optimalnog broja transportnih sredstava

Jedan od ciljeva izrade simulacijskog modela i provođenja simulacije također je bilo određivanje optimalnog broja transportnih sredstava u promatranome skladišnom sustavu, točnije, optimalan broj viličara i Radio Shuttle-ova. Nakon provedene simulacije, softver Enterprise Dynamics pruža cjelokupnu statistiku svakog elementa sustava. Podaci o radu sustava i njegovih dijelova prikazuju se pomoću tablica i raznih oblika grafova. Na kraju simulacije vidljiv je cjelokupan protok proizvoda te produktivnost svakog pojedinog elementa. Softver prati svako vozilo tijekom njegovog rada i bilježi vrijeme kada je zaposleno, kada stoji ili kada je blokirano te koliko mu vremena treba za određenu radnju. Iz podataka o produktivnosti pojedinih vozila moći će se donijeti odluka o optimalnom broju transportnih sredstava za normalno funkcioniranje skladišnog sustava.

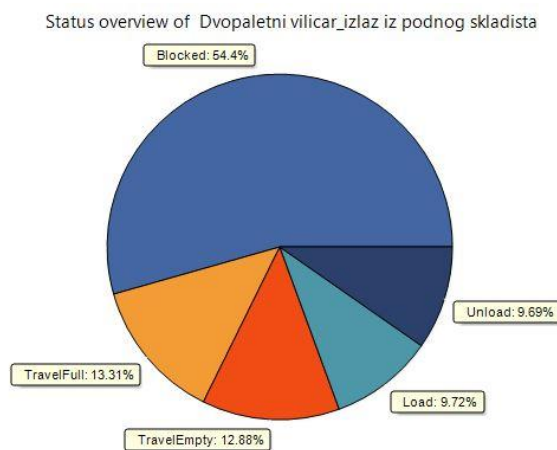
8.2.1 Broj viličara za uskladištenje proizvoda iz punionice

Proizvodi iz vlastite proizvodnje se s proizvodnih linija do skladišnih lokacija transportiraju pomoću električnih dvopaletnih viličara. Proizvodi koji su u staklenoj ambalaži skladište se u jednoj od podnih skladišnih zona, dok se proizvodi u PET ambalaži transportiraju do mjesta za odlaganje ispred Radio Shuttle regalnog sustava gdje čekaju uskladištenje u regale. U simulacijskome modelu za obavljanje tih zadataka koristila su se dva viličara. Nakon osmosatne simulacije dobivaju se podaci o iskoristivosti viličara koji su gotovo identični za oba vozila. Graf o iskoristivosti dvopaletnih viličara prikazan je na *Slici 61*.



Slika 61. Iskoristivost dvopaletnog viličara 1

Iz grafa je vidljivo kako je viličar potpuno iskorišten samo 25 % vremena. Ostatak vremena viličar je ili nezaposlen ili blokiran. Kada u simulaciji neki element ne može obavljati svoj rad softver bilježi da je blokiran. U stvarnosti viličar nije blokiran nego softver povlači robu s proizvodnih linija sporije od zadanog takta pa viličar ne može transportirati robu koja nije proizvedena. Iako bi se iz iskoristivosti dvopaletnog viličara iz grafa na *Slici 61* moglo zaključiti da je za obavljanje posla dovoljan samo jedan viličar, ipak je potrebna dublja analiza. Naime, proizvodnja nije radila punim kapacitetom, a u osmosatnoj smjeni ni jedan viličar nije bio na punjenju baterije. S dva dvopaletna viličara osigurava se stalna dostupnost jednog viličar za transport proizvoda koji dolaze s linija dok drugi odlazi na punjenje. Za izlazak proizvoda iz podnog skladišta zadužen je samo jedan viličar koji transportira palete prema zoni za komisioniranje ili zoni za otpremanje proizvoda. Njegova učinkovitost prikazana je grafom na *Slici 62*.



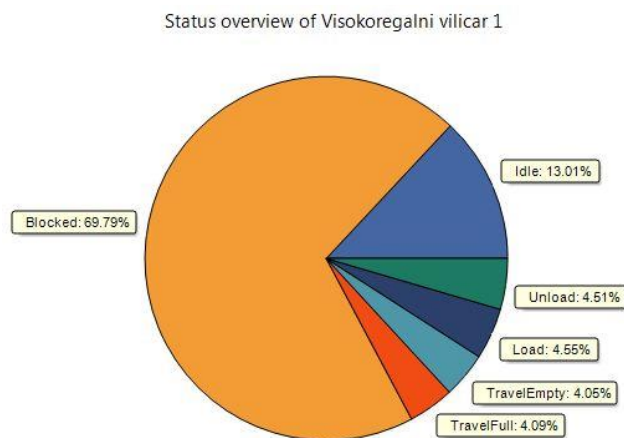
Slika 62. Iskoristivost dvopaletnog viličara za odvoz paleta iz podnog skladišta

Iz grafa je vidljivo da je viličar čak 54,4 % vremena blokiran. U stvarnosti nitko ne blokira viličar u obavljanju njegovog posla, nego jednostavno nema potrebe za dostavom proizvoda u zonu za komisioniranje ili zonu za otpremanje proizvoda. Ostalih 45 % vremena viličar obavlja svoju zadaću transporta paleta. Ne smije se zanemariti činjenica da viličar u osam sati trajanja simulacije nije bio na punjenju. Kada viličar ode na punjenje, netko drugi treba obaviti njegov posao.

Nakon analize ostaje se pri opciji u kojoj se koriste ukupno tri dvopaletna viličara za obavljanje posla u ovom dijelu skladišta. U takvoj raspodjeli posla dva viličara mogu preuzeti posao od trećeg koji se nalazi na punjenju i obavljati sve potrebne zadatke bez kašnjenja i zastoja.

8.2.2 Broj visokoregalnih viličara

U simulacijskome modelu na ulazu i izlazu iz Radio Shuttle paletnog regalnog sustava nalaze se po dva viličara sa svake strane. Iskoristivost svih visokoregalnih viličara gotovo je jednaka i prikazana je grafom na *Slici 63*. Kao i kod dvopaletnih viličara, softver je zabilježio da su visokoregalni viličari većinu vremena blokirani. Simulacijski model zbog nedostatka potrebe ne dostavlja kapacitet paleta koji viličari zapravo mogu izmanipulirati pa se to bilježi kao zastoj.

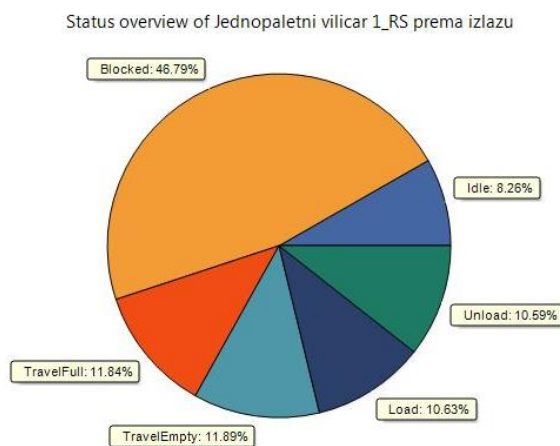


Slika 63. Iskoristivost visokoregalnog viličara

Međutim, simulacijski model ne daje jasnu sliku iskoristivosti visokoregalnih viličara. Za razliku od simulacijskog modela, u stvarnosti će se visokoregalni viličari koristiti za prijenos Radio Shuttle-ova prilikom potrebe za promjenom reda ili visine regala. Zbog toga će biti puno zaposleniji nego to prikazuje simulacijski model. Dakle, zaključuje se da će u stvarnom radu skladišnog sustava biti potrebna minimalno 4 visokoregalna viličara raspoređena po dva sa svake strane regalnog sustava. Zbog potrebe za punjenjem baterija, nabavljaju se još dva visokoregalna električna viličara koji će se koristiti kao zamjena za viličare koji se pune.

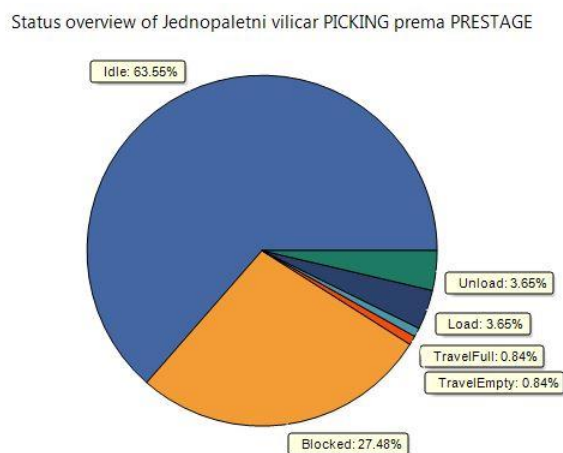
8.2.3 Broj viličara u zoni izlaska robe iz skladišta

Ukoliko iz skladišta izlazi istovrsna puna paleta, ona nakon izuzimanja direktno odlazi u zonu za otpremanje proizvoda gdje čeka utovar i daljnji transport. Čest je slučaj da kupac naručuje više različitih proizvoda u količinama manjima od jedne palete pa je potrebno preslagivanje robe. Takve se palete nakon izuzimanja iz skladišnih pozicija šalju u zonu za komisioniranje. Za transport robe prema izlazu iz skladišta u simulacijskome modelu koristi se jedan jednopaletni viličar za transport robe koja dolazi iz Radio Shuttle regala te jedan jednopaletni viličar koji transportira robu iz zone za komisioniranje u zonu za otpremanje robe. Prema provedenoj simulaciji ti viličari bez problema stižu obaviti sav zadani posao. Graf učinkovitosti jednopaletnog viličara koji transportira palete iz Radio Shuttle regalnog sustava prikazan je na *Slici 64*.



Slika 64. Učinkovitost jednopaletnog viličara u izlaznoj zoni

Iskoristivost jednopaletnog električnog viličara koji je zadužen za transport komisioniranih paleta prema zoni otpremanja prikazana je na *Slici 65*.

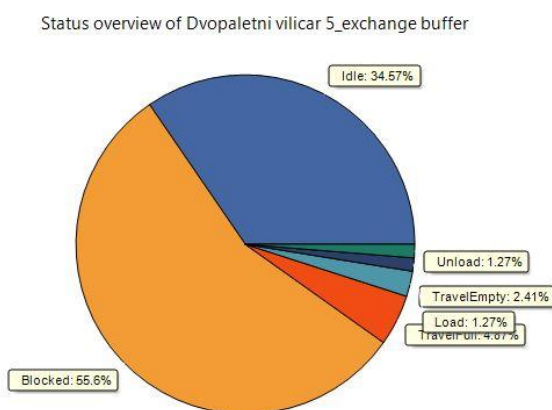


Slika 65. Iskoristivost jednopaletnog viličara u zoni za komisioniranje

Iz grafa na *Slici 65* vidljivo je da je jednopaletni viličar nezaposlen više od 60% vremena. Takav podatak ne čudi jer se komisionirane palete ne prevoze kontinuirano nego u određenim vremenskim intervalima kada komisioneri pripreme robu za jednu narudžbu. Taj viličar ostatak vremena može pomagati drugom jednopaletnom viličaru za transport robe koja dolazi iz Radio Shuttle regalnog sustava. Na taj način osigurat će se neometan transport proizvoda i za vrijeme punjenja baterije jednome od viličara.

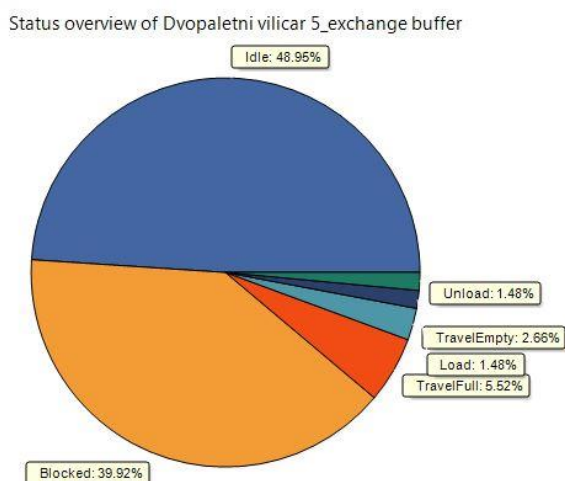
8.2.4 Viličari u Exchange zoni

Proizvodi koji u skladište dolaze iz uvoza najprije se skladište u zoni za odlaganje, odn. Exchange zoni iz koje se dvopaletnim viličarima transportiraju do skladišnih pozicija. U simulacijskome modelu korištena su dva dvopaletna električna viličara za obavljanje toga posla. Graf na *Slici 66* pokazuje jako malu produktivnost viličara pa se zaključuje kako je dovoljan jedan viličar za obavljanje posla.



Slika 66. Iskoristivost viličara u *Exchange zoni*

Također, moguća je i kombinacija u kojoj će se koristiti dva jednopaletna viličara. Jednopaletni viličari su okretniji i lakše upravljivi, a dva takva viličara omogućit će neometano punjenje baterija i nadopunjavanje u radu. Kako bi se provjerila ta mogućnost, simulacija je ponovno pokrenuta. Rezultati iskoristivosti dva jednopaletna viličara prikazani su na *Slici 67*. Iz slike je vidljivo kako se učinkovitost nije puno promijenila jer simulacija bilježi kako je viličar većinu vremena blokiran. Međutim, jednopaletni viličari ipak u manjem postotku vremena stoje nezaposleni. Iz grafa se može zaključiti kako dva jednopaletna viličara mogu obaviti sav potreban posao u transportu proizvoda iz zone za odlaganje uz potrebno nadopunjavanje baterija.



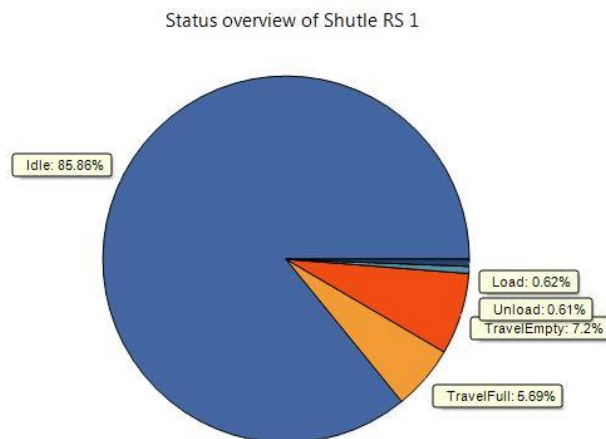
Slika 67. Iskoristivost viličara nakon promjene

8.2.5 Viličari za utovar i istovar kamiona

Za utovar i istovar kamiona koristit će se dvopaletni viličari. U simulaciji se za utovar koristi dvopaletni viličar koji radi cijelo vrijeme, dok se istovar aproksimira nestajanjem proizvoda u elementu *Sink* bez potrebe za viličarima u simulacijskom modelu. Prema rezultatima simulacije potrebna su minimalno četiri dvopaletna viličara koja će se koristiti za utovar i istovar kamiona. Pošto se utovar i istovar kamiona događaju na otvorenome, moguće je korištenje plinskih viličara pa se na taj način eliminira vrijeme punjenja baterija i potrebe za dodatnim brojem transportnih vozila. Za utovar i istovar robe s kamiona razmatrano je i korištenje četveropaletnih plinskih viličara. Njihovom upotrebom ubrzao bi se proces utovara i istovara, ali oni su puno veći, manje okretni te im je potrebno više prostora od dvopaletnih viličara. Kako bi se u zoni utovara i istovara uštedjelo na prostoru odlučeno je kako će se koristiti dvopaletni plinski viličari.

8.2.6 Potreban broj Shuttle-ova

Središnji dio skladišta čini Radio Shuttle paletni regalni sustav. Zbog toga je jako bitan zadatak pomoću izrađenog simulacijskog modela odrediti optimalan broj Shuttle-ova za uspješan rad skladišnog sustava. U simulacijskom modelu inicijalno je postavljeno deset Shuttle-ova koji moraju djelovati u 35 regala od kojih svaki ima 6 razina u visinu. Prema tim podacima, jedan Shuttle prosječno mora djelovati u 21 prolazu. Nakon provedene simulacije dobiveni su podaci o učinkovitosti Shuttle-ova. Svi Shuttle-ovi imaju približno jednake statističke podatke, a na Slici 68 prikazana je učinkovitost jednog od njih.



Slika 68. Učinkovitost Radio Shuttle-a

Graf na *Slici 68* pokazuje kako je Radio Shuttle 86 % svojeg vremena nezaposlen. Međutim, za simulaciju rada Radio Shuttle regalnog sustava korišteno je puno aproksimacija te se ovakvi podatci o iskoristivosti Shuttle-ova ne mogu smatrati relevantnima. Naime, u stvarnosti će se pozicija Shuttle-a mijenjati pomoću visokoregalnog viličara pa će se tako gubiti puno više vremena nego se gubi u simulacijskome modelu gdje Shuttle samostalno mijenja regal i visinu prolaza u regalu. Također, Shuttle će u stvarnosti gubiti puno vremena kako bi si oslobodio put za transport željene palete, odnosno trebat će slagati palete po pravilnom redoslijedu kako bi se osigurao neometan tok paleta i spriječio zastoje u pojedinom dijelu regala. Prilikom takvog rada i slaganja paleta gubit će se puno vremena. Vrijeme koje je na grafu prikazano kao neiskorišteno u stvarnosti će se trošiti na navedene radnje promjene pozicije Shuttle-a i stalnog preslagivanja paleta unutar regalnog sustava. Također, vrlo bitan faktor u izboru optimalnog broja Shuttle-ova jest vrijeme njihova rada. Naime, svi Shuttle-ovi su električni te je za njihov rad potrebno punjenje baterije. Prema dobivenim podacima od tvrtke Ferreto Group, dobavljača Shuttle sustava za promatrano skladište, za punjenje punog kapaciteta baterije koja omogućuje osmosatni rad Shuttle-a potrebno je 6 sati. Zbog toga je potrebno nabaviti i zamjenske baterije ili rezervne Shuttle-ove koji će u radu zamijeniti one koji se u određenom trenutku pune.

Nažalost, ovaj simulacijski model nije u mogućnosti prikazati stvaran rad Radio Shuttle sustava. Zbog korištenja raznih pojednostavljenja i aproksimacija prilikom simulacije rada, ne može se sa sigurnošću utvrditi optimalan broj Shuttle-ova. Na temelju ovog modela pokazalo se kako 10 Shuttle-ova mogu obaviti zahtijevani posao u vrhuncu sezone rada skladišta. Međutim, u stvarnosti je potrebno nabaviti i bar jedan rezervni Shuttle koji će se koristiti ako dođe do nekog kvara. Isto tako, zbog potrebe za punjenjem baterija gdje će se trošiti puno

vremena, potrebno ja nabaviti i nekoliko zamjenskih baterija. Zahvaljujući mogućnosti zamjene i vanjskog punjenja baterija ne moraju se kupovati zamjenski Shuttle-ovi. Pomoću 5 pričuvnih baterija omogućit će se stalno punjenje i neometan rad cijelog sustava, a s jednim rezervnim Shuttle-om spriječit će se mogući zastoji u slučaju nekog kvara.

8.3 Rezultati simulacije rada skladišnog sustava izvan sezone

Za razumijevanje skladišnih i logističkih procesa potrebno je shvatiti da intenzitet rada varira u vremenu te da većina proizvoda ima svoj prirodni ciklus koji se ponavlja tijekom godine, kvartala, mjeseca ili tjedna. Prehrambeni proizvodi koje stvara i distribuira promatrana kompanija izrazito su podložni sezonalnosti. Na *Slici 69* grafički je prikazana količina prodaje kroz 2018. godinu. Količina prodanih paleta prikazana je u postocima i podijeljena po mjesecima kako bi se rezultati mogli najlakše usporediti.



Slika 69. Graf s podacima o prodaji kroz godinu [23]

Iz grafa na *Slici 69* može se vidjeti varijacija prodaje proizvoda kroz godinu. Sezona najveće prodaje nastupa u ljetnim mjesecima, a povećanje prodaje zabilježeno je i u prosincu zbog blagdana i praznika. Prema dobivenim podacima, u ljetnim mjesecima protok proizvoda u skladištu otprilike raste za 40 %.

Kako bi se odredio optimalan broj transportnih sredstava potreban za rad skladišnog sustava izvan sezone mijenjaju se parametri izgrađenog simulacijskog modela. Brzina proizvodnje, uvoza proizvoda te izlaza proizvoda iz skladišta smanjuje se za 40 %. S obzirom na smanjeni protok, skladište se u trenutku pokretanja simulacije puni na 60 % ukupnog kapaciteta. Zbog objektivnosti se također provode 3 simulacije osmosatnog rada skladišnog sustava, a rezultati protoka proizvoda prikazani su u *Tablici 6*.

Tablica 6. Protok proizvoda u paletama u radu skladišta izvan sezone

Kanal	Simulacija 1	Simulacija 2	Simulacija 3
Ulaz robe iz uvoza	85	85	85
Ulaz robe iz proizvodnih linija (ukupno)	214	212	228
Ukupni ulaz robe	299	297	313
Ukupni izlaz robe	221	221	221
Razlika	+78	+76	+92

Nakon svake provedene simulacije povećava se broj paleta u skladištu. Najveće povećanje zabilježeno je u Simulaciji 3, no takvo povećanje od 0,7 % ukupnog skladišnog kapaciteta je zanemarivo, pogotovo jer se ti proizvodi najvećim dijelom nalaze u zoni otpremanja proizvoda gdje čekaju daljnju distribuciju. Zbog smanjenog protoka proizvoda, u radu skladišnog sustava izvan sezone potrebno je i manje skladišne opreme. U sljedećem poglavlju usporedit će se optimalna količina transportnih sredstava u sezoni i izvan nje.

8.4 Prikaz potrebne skladišne opreme u sezoni i izvan sezone

Na temelju statistike i analize rezultata nakon više uzastopno provedenih simulacija rada jedne smjene skladišnog sustava u trajanju od 8 sati odlučuje se o optimalnom broju transportnih sredstava. Zbog izražene sezonalnosti u radu skladišnog sustava provode se dvije različite simulacije. Za simulaciju rada skladišnog sustava u sezoni i izvan nje koristi se isti simulacijski model, ali s promijenjenim parametrima. Broj transportnih sredstava izrazito je važan u planiranju rada skladišnog sustava. Ukoliko u skladištu ne bi bilo dovoljno transportnih sredstava čitav bi proces kasnio i stvarali bi se zastoji. Isto tako, bitno je da u jednom trenutku u skladištu nema previše vozila koja bi stvarala dodatne troškove. Naime, sva transportna sredstva osim Radio Shuttle-ova iznajmljuju se od logističkih partnera. Najam transportnih sredstava omogućuje fleksibilnost sustava i brzu prilagodbu potrebama i stanju na tržištu. Ukoliko se utvrdi da izvan sezone nije potreban isti broj viličara kao i u sezoni, određeni broj vozila vraća se logističkom partneru. Tako se ostvaruju uštede jer vozila koja nisu potrebna izvan sezone ne će biti neiskorištena i zauzimati prostor u skladištu te tako stvarati dodatne troškove. Kada se javi potreba za većim protokom proizvoda, od logističkog partnera se naručuju dodatna vozila. U *Tablici 7* prikazan je popis potrebne skladišne opreme u sezoni i izvan sezone određen na temelju simulacijskog modela.

Tablica 7. Popis potrebnih transportnih sredstava

Oprema	Optimalan broj u sezoni	Optimalan broj izvan sezone
Dvopaletni plinski viličar	4	3
Dvopaletni električni viličar	3	3
Jednopaletni električni viličar	4	2
Visokoregalni električni viličar	6	4
Radio Shuttle	11	11

S obzirom na smanjen protok proizvoda izvan sezone, smanjuje se i potreba za brojem transportnih sredstava. Broj dvopaletnih plinskih viličara zaduženih za utovar i istovar kamiona izvan sezone smanjuje se za jedan. Tri preostala dvopaletna viličara su u stanju odraditi sve potrebne utovare i istovare, a pošto su pogonjeni plinom nema potrebe za njihovim zaustavljanjem i punjenjem. Također izvan sezone nema potrebe za četiri jednopaletna električna viličara jer potrebnu manipulaciju paleta unutar skladišta mogu odraditi dva takva viličara. Ukoliko jednopaletni viličar bude nedostupan zbog punjenja baterije, njegov posao može obaviti jedan dvopaletni električni viličar. Upravo zbog toga broj dvopaletnih električnih viličara zaduženih za manipulaciju u podnome skladištu ostaje isti kao i u sezoni. Izvan sezone dovoljan je jedan visokoregalni viličar sa svake strane i dva rezervna koja će obavljati rad uslijed punjenja baterija. Radio Shuttle-ovi bit će u vlasništvu kompanije i neće se iznajmljivati od logističkog partnera. Zbog toga se i izvan sezone koristi jednak broj Shuttle-ova kao i u sezoni bez obzira na smanjen protok proizvoda u skladišnom regalnom sustavu. Bolje je da Shuttle-ovi rade nego da stoje i zauzimaju prostor u skladištu. Isto tako, održavanjem konstantnog broja Shuttle-ova u regalnom sustavu smanjuju se potreba za modifikacijama sustava upravljanja i kontrole.

Potrebno je napomenuti da je zadatak ovog rada bio odrediti optimalan broj viličara koji će omogućavati nesmetan protok proizvoda kroz skladište i rad Radio Shuttle regalnog sustava bez zastoja. U radu cjelokupnog skladišnog sustava potrebno je još mnogo skladišne opreme koja nije bila predmet istraživanja ovog rada. Tako su za rad komisionera potrebni ručni viličari za transport paleta i paketa unutar zone za komisioniranje. Za transport i manipulaciju sortirane i nesortirane ambalaže potrebno je nabaviti dodatne viličare, kao i viličar koji će se koristiti za transport promotivnih materijala. U skladištu je potrebna i oprema za održavanje čistoće i higijene skladišta poput čistilica za suho i mokro pranje.

9. ZAKLJUČAK

Logističke procese zbog njihove složenosti nije lako opisati matematičkim i analitičkim modelima. Kako bi se opisali logistički sustavi, izmjerila efikasnost postojećih ili pronašli načini za oblikovanje budućih sustava često se koriste računalne simulacije. Korištenje simulacijskih modela omogućuje mnoge uštede jer se na temelju provedenih računalnih simulacija analizira postojeći sustav i odlučuje o potrebnim promjenama i ulaganjima bez ometanja rada stvarnog sustava.

U sklopu ovog rada izgrađen je simulacijski model budućeg skladišnog sustava kompanije koje se bavi prodajom i distribucijom pića. Za izgradnju modela korišten je softver Enterprise Dynamics, a potrebni podaci dobiveni su od kompanije. Cilj ovog projekta bio je pomoću simulacijskog modela odrediti može li skladišni sustav odgovoriti na sve postavljene zahtjeve u vidu kapaciteta i protoka proizvoda. Također, bilo je potrebno odrediti i optimalan broj transportnih sredstava za nesmetano obavljanje skladišnih aktivnosti.

Središnji dio ovog skladišnog sustava čini Radio Shuttle paletni regalni sustav u koji se skladišti najveći dio proizvoda i o čijem radu ovisi cjelokupni skladišni sustav. Nažalost, korišteni softver nije imao mogućnost odabira baš takvog skladišnog sustava pa su se u izgradnji Radio Shuttle regalnog sustava koristile razne aproksimacije i pojednostavljenja. Izgrađeni simulacijski model svojim radom oponaša ponašanje Radio Shuttle regalnog sustava, ali prilikom analize u obzir se moraju uzeti pojednostavljenja modela.

Ovaj simulacijski model pokazao je kako projektirani skladišni sustav svojim kapacitetom i brzinom može uspješno odgovoriti na postavljene izazove u najzahtjevnijem dijelu godine. Također, određen je i broj viličara koji je potreban za nesmetan rad koji će se u sezoni održavati 24 sata dnevno, 7 dana u tjednu.

Na kraju se može zaključiti kako ovaj simulacijski model predstavlja osnovu za planiranje rada skladišnog sustava koji se trenutno nalazi u projektnoj fazi. Jednom kada je model izgrađen, lako ga je mijenjati i prilagođavati budućim potrebama. Zbog fleksibilnosti modela, na njemu su moguće razne modifikacije kako bi se isprobale i provjerile neke nove opcije. Zahvaljujući izgrađenom simulacijskom modelu može se pronaći najbolji način rada skladišnog sustava prilagođen potrebama korisnika prije njegove izgradnje i ulaganja velikih novčanih sredstava.

LITERATURA

- [1] Đukić, Goran: Predavanja iz kolegija „Tehnička logistika“, FSB, Zagreb, 2016.
- [2] Đukić, Goran: Predavanja iz kolegija „Modeliranje logističkih sustava“: Simulacijsko modeliranje, FSB, Zagreb, 2018.
- [3] Rogić, Kristijan: Upravljanje skladišnim sustavima, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018.
- [4] Hogenboom, T.D.: Operational Efficiency in Warehousing, Delft University of Technology, Makelweg, 2017.
- [5] Bartholdi, John; Hackman, Steven: Warehouse & Distribution Science Release 0.98, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 2017.
- [6] Epp, Martin: Performance evaluation of shuttle-based storage and retrieval systems using discrete-time queueing network models, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 2017.
- [7] Ferretto Group: Pallet Shuttle Flexy, brošura proizvoda, Verona, 2018.
<https://www.ferrettogroup.com/index.cfm/en/> (pristupljeno 20.8.2019.)
- [8] Kalyanaraman, P.; Kerthika, C.: A Review on AS/RS and SBS/RS, School of Computer Science and Engineering, VIT University, India, 2016.
- [9] Mecalux: Pallet Shuttle, brošura proizvoda, Barcelona, 2017.
<https://www.mecalux.com/catalogues> (pristupljeno 10.9.2019.)
- [10] SSI Schäfer: SSI Orbiter, brošura proizvoda, Germany, 2015.
- [11] Link 51: Toolbank, brošura proizvoda, UK, 2013.
<https://www.link51.com/contentfiles/files/Tool%20Bank.pdf> (pristupljeno 12.9.2019.)
- [12] Tappia, Elena; Roy, Debjit; De Koster, Rene; Melacini, Marco: Modeling, Analysis and Design for Shuttle-based Compact Storage Systems, Politecnico di Milano, Milano, Italy, 2015.
<https://www.ssi-schaefer.com/de-de> (pristupljeno 10.9.2019.)
- [13] Čerić, Vlatko: Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
- [14] Terzi, Sergio; Cavalieri, Sergio: Simulation in the supply chain context: a survey, Politecnico di Milano, Milano, Italy, 2003.
- [15] Lee, Young Hae; Cho, Min Kwan; Kim, Seo Jin, Kim, Yun Bae: Supply chain simulation with discrete-continuous combined modeling, Hanyang University, Ansan, South Korea, 2002.
- [16] Božikov, Jadranka; Petrovečki, Mladen; Deželić, Gjuro: Modeliranje i simulacija, Medicinska naklada, Zagreb, 2009.
- [17] Jovanović, Miomir: Simulacioni softver, Mašinski fakultet Niš, Niš, 2008.

- [18] Zekić-Sušac, Marijana: Simulacijski programi i primjena diskretne simulacije, Ekonomski fakultet u Osijeku, Osijek, 2010.
- [19] Službena internetska stranica tvrtke FlexSim Software Products: <https://www.flexsim.com> (pristupljeno 03.9.2019.)
- [20] Službena internetska stranica tvrtke Siemens: <https://www.dex.siemens.com/plm/plant-simulation> (pristupljeno 03.9.2019.)
- [21] Službena internetska stranica Arena Simulation Software: <https://www.arenasimulation.com/> (pristupljeno 03.9.2019.)
- [22] službena internetska stranica tvrtke InControl : <https://www.incontrolsim.com/software/enterprise-dynamics/> (pristupljeno 21.6. 2019.)
- [23] Podaci i dokumenti dobiveni od kompanije
- [24] Članak iz SelectHub na internetskoj stranici: <https://selecthub.com/warehouse-management/warehouse-management-faqs/> (pristupljeno 22.06.2019.)
- [25] Đukić, Goran: Doktorska disertacija: Istraživanje komisioniranja u regalnim skladištima, FSB, Zagreb, 2004.
- [26] Božić, Diana: Predavanja: Upravljanje znanjem, FPZ, Zagreb, 2009.
- [27] Skladišna logistika d.o.o.: brošura proizvoda, Zagreb, 2019.

PRILOZI

1. CD-R disk s računalnom verzijom diplomskoga rada i izrađenim simulacijskim modelom