

Primjena simulacijskog modeliranja u analizi skladišnog procesa

Mlakić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:528845>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-31**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**PRIMJENA SIMULACIJSKOG MODELIRANJA U ANALIZI SKLADIŠNOG
PROCESA**

**APPLYING SIMULATION MODELING IN ANALYSIS OF THE WAREHOUSE
PROCESS**

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

Student: Luka Mlakić
JMBAG: 0135248760

Zagreb, srpanj 2024.

Zahvala

Posebna zahvala mentoru izv. prof. dr. sc. Ratku Stankoviću koji je omogućio izradu ovog rada i pomoć prilikom pisanja rada.

Zahvala kolegama iz Rimca za sve slobodne dane koje sam koristio prilikom polaganja ispita.

Zahvala mojoj obitelji za podršku tijekom svih ovih godina.

Zahvala mojoj supruzi Mileni za bezbrojne savjete, podršku i strpljenje.

SAŽETAK

Simulacijsko modeliranje primijenjeno je u svrhe analize i poboljšanja logističkog procesa u skladištu, te je u tu svrhu evaluirana učinkovitost procesa i mogućnost optimiranja pojedinih segmenata procesa. Prikazane su prednosti i nedostaci simulacijskih metoda, kao i simulacijski programski paketi koji se primijenjuju u logistici. Za izradu simulacijskog modela i izvođenje simulacijskih eksperimenata korišten je programski paket *Arena Simulation Software*.

KLJUČNE RIJEČI: simulacijsko modeliranje, skladišni proces, *Arena Simulation Software*

SUMMARY

Simulation modeling was applied for the purposes of analysis and improvement of the logistics process in the warehouse, and for this purpose, the efficiency of the process and the possibility of optimizing individual segments of the process were evaluated. Advantages and disadvantages of simulation methods are presented, as well as simulation software packages that are used in logistics. The Arena Simulation Software package was used to create a simulation model and perform simulation experiments.

KEY WORDS: simulation modeling, warehouse process, *Arena Simulation Software*

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 13. ožujka 2024.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7440

Pristupnik: **Luka Mlakić (0135248760)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Primjena simulacijskog modeliranja u analizi skladišnog procesa**

Opis zadatka:

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

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

izv. prof. dr. sc. Ratko Stanković

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PREDNOSTI I NEDOSTATCI SIMULACIJSKIH METODA.....	2
2.1. Prednosti simulacijskih metoda.....	2
2.2. Nedostatci simulacijskih metoda.....	4
3. SIMULACIJSKI PROGRAMSKI PAKETI U LOGISTICI.....	5
3.1. Arena Simulation Software	5
3.2. FlexSim.....	6
3.3. ExtendSim.....	7
4. SIMULACIJA PROCESA PRIJEMA ROBE U SKLADIŠTE	9
4.1. Elementi logističkog procesa prijema robe.....	9
4.2. Analiza ulaznih podataka i parametri simulacijskog modela.....	11
4.3. Definiranje procesa simulacijskog modela	16
4.4. Dijagram toka simulacijskog modela	20
5. PLANIRANJE I IZVOĐENJE SIMULACIJSKOG EKSPERIMENTA	21
6. PRIKAZ REZULTATA SIMULACIJSKOG EKSPERIMENTA	22
7. ZAKLJUČAK	24
LITERATURA.....	25
POPIS SLIKA.....	26
POPIS TABLICA.....	27
PRILOZI.....	28
<i>Prilog 1.</i> Prikaz iskorištenosti pojedinog skladištara	28
<i>Prilog 2.</i> Prikaz podataka vezanih za entitet	29
<i>Prilog 3.</i> Prikaz podataka procesa u simulaciji.....	30

1. UVOD

Skladišni procesi predstavljaju jednu od glavnih logističkih funkcija u lancu opskrbe svake organizacije, igraju ključnu ulogu u upravljanju zalihama, ispunjenju narudžbi i pružanju kvalitetne usluge kupcima. U suvremenom poslovnom okruženju, efikasnost i fleksibilnost skladišnih procesa postaju sve važnije kako bi se zadovoljile sve zahtjevnije potrebe tržišta. Simulacijsko modeliranje je alat za analizu i optimizaciju skladišnih procesa jer omogućuje simuliranje varijantnih scenarija, testiranje različitih strategija i evaluaciju optimalnih rješenja.

Analiza skladišnih procesa uz pomoć simulacijskog modeliranja omogućuje dublje razumijevanje dinamike procesa prijema, pohrane, komisioniranja i otpreme robe. Kroz izvođenje simulacijskih eksperimenata mogu se identificirati uska grla, neefikasnosti i potencijalna poboljšanja u operativnim logističkim procesima skladišta.

Cilj i tema ovog završnog rada je primjena simulacijskog modeliranja na konkretnom primjeru procesa prijema robe u skladište kako bi se prikazale njegove mogućnosti u analizi i unaprjeđenju učinkovitosti skladišnih procesa.

Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Prednosti i nedostaci simulacijskih metoda
3. Simulacijski programski paketi u logistici
4. Simulacijski model procesa prijema robe u skladište
5. Planiranje i izvođenje simulacijskog eksperimenta
6. Prikaz rezultata simulacijskog eksperimenta
7. Zaključak

2. PREDNOSTI I NEDOSTATCI SIMULACIJSKIH METODA

Simulacijske metode repliciraju događaje i procese u stvarnom sustavu ili sustavu zamišljenom u projektnoj fazi. Rezultati simulacije trebali bi odgovarati podacima koji se mogu dobiti na izlazu iz stvarnog sustava. Simulacijske metode primjenjuju se u analizi postojećeg sustava, kao i pri dizajniranju sustava koji tek treba izgraditi.

2.1. Prednosti simulacijskih metoda

Glavne prednosti simulacijskih metoda sastoje se u tome što omogućuju [1]:

1. Ispravan odabir – simulacija dozvoljava testiranja svakog gledišta ponuđene promjene ili dodatka bez obvezujućeg izbora njihove nabavke. Takav pristup je ključan, jer jednom kada je zahtjevna odluka donesena na koju se oslanja cijeli proces ili je sustav rukovanja materijalima postavljen, promjene ili ispravke mogu biti ekstremno skupe. Simulacija dozvoljava simuliranje dizajna bez izvršavanja resursa nabave.
2. Skraćivanje ili produljenje vremena – skraćivanjem ili produljenjem vremena, simulacija dozvoljava ubrzavanje ili usporavanje fenomena kako bi mogao biti duže istražen. Moguće je ispitati cijelu smjenu u vrijednostima minute ako želimo, ili možemo potrošiti dva sata ispitivanjem cijelih događaja koji se odvijaju unutar jedne minute simulirane aktivnosti.
3. Razumjevanje procesa – voditelji najčešće žele znati zašto trenutni fenomen pojavljuje se u realnom sustavu. Sa simulacijom može se utvrditi odgovor na sva upitna pitanja rekonstruirajući mogućnost uzimanja minornog ispitivanja sustava kako bi se utvrdilo zašto se fenomen odvija. Međutim, to se ne može ostvariti u slučaju realnog sustava zato jer ne možemo vidjeti ili kontrolirati sustav u cijelosti.
4. Istraživanje mogućnosti – jedna od najvećih prednosti korištenja simulacijskih softwera je ta da kada je jednom razvijen ispravan simulacijski model, moguće je istraživati nove smjerove, radne postupke ili metode bez nadogradnje ili prekida ispitivanja unutar realnog sustava. Promjene su pripojene modelu i promatra se utjecaj tih promjena na računalu više nego u realnom sustavu.
5. Utvrđivanje problema – organizacijski sustav je toliko kompleksan da je nemoguće uzeti u obzir sve činjenice u datom trenutku.

Simulacija omogućava bolje razumjevanje svih interakcija među varijablama koje čine kompleksni sustav. U današnje vrijeme organizacija logističkih sustava je vrlo složena, a velika složenost onemogućuje da se uzmu u obzir sve interakcije koje se odvijaju u određenom vremenu.

6. Identificiranje ograničenja – uska grla u procesima predstavljaju ograničenja pri postizanju željenih vrijednosti izvedbenih pokazatelja. Korištenjem simulacija za analizu uskih grla, može se otkriti uzrok kašnjenja informacija, materijala ili drugih procesa.
7. Razvijanje razumjevanja – postoji mišljenje da korištenjem računalnih metoda i pisanjem kompleksnih izvještaja opravdava se valjanost logističkog sustava. U mnogim slučajevima takav dizajn temeljen je prvenstveno na nečijim mišljenjima, na načinu upravljanja sustavom, nego li na analizi sustava. Simulacijske studije osiguravaju razumjevanje o tome koliko je sustav zaista djelotvoran radije nego li što naznačavaju nečije pretpostavke o tome kako će sustav poslovati.
8. Vizualiziranje plana – koristeći se CAD programom koji nudi mnoge simulacijske pakete moguće je vizualizirati plan sustava. Ovisno o programu koji koristite možete biti u mogućnosti vidjeti simulacije iz različitih kuteva i razina prikazivanja čak i u tri dimenzije.
9. Izgradnja suglasnosti – korištenjem simulacije za prikazivanje dizajna promjene stvara se objektivno mišljenje. Trebalo bi izbjegavati donositi zaključke kada odobravate ili ne odobravate dizajne, jer jednostavnim odabirom dizajna i izmjena osiguravamo najbolje rezultate iako dolazi do povećanja produkcije ili smanjenja vremena čekanja. Mnogo je lakše prihvatiti realne simulacijske rezultate koji su modelirani, testirani, validirani, vizualno prezentirani, nego bazirajući se na mišljenju jedne osobe čiji se rezultati temelje na ponuđenom dizajnu.
10. Priprema za promjenu – budućnost donosi promjene. Odgovaranje na pitanje „što ako?“ je korisno i za dizajniranje sustava i za redizajniranje postojećih sustava. Interakcija svega onoga uključenog u projekt tijekom faze formuliranja problema daje nam ideju o svim mogućim ishodima. Stoga konstruiramo model koji može odgovoriti na sva pitanja uzimajući u obzir sve mogućnosti.
11. Pametno ulaganje – uobičajni troškovi simulacijske studije su znatno manji od 1 % ukupne količine koja se utoži za izvršavanje dizajna ili redizajna. Ukoliko su troškovi promjene ili modifikacije sustava nakon instalacije dovoljno dobri simulacija je mudra investicija.

12. Edukacija tima – simulacijski modeli mogu osigurati izvrstan trening kada su dizajnirani u tu svrhu. Stoga, tim osigurava odluku ulaza u simulacijski model. Tim i individualni članovi tima, mogu učiti iz svojih pogrešaka kako bi što bolje upravljali sustavom. Takav pristup je mnogo jeftiniji i manje zahtjevan nego terensko učenje [1].

2.2. Nedostatci simulacijskih metoda

Glavni nedostaci simulacijskih metoda očituju se u sljedećim elementima [1]:

1. Model u izradi zahtjeva poseban trening – to je nešto što se uči kroz vrijeme i iskustvo. Ako dva modela istog sustava su konstruirana od strane dva kompetentna individualca, mogu imati sličnosti, ali je teško moguće da će biti identični.
2. Simulacijski rezultati mogu biti teški za interpretaciju – većina simulacijskih izlaznih varijabli su najčešće nasumične varijable, temeljene na nasumičnim ulaznim varijablama, te može biti teško utvrditi razliku u tome jesu li promatrani rezultati uzrokovani slučajnošću ili su posljedica interakcija unutar sustava.
3. Simulacijsko modeliranje i analize mogu biti dugotrajne i skupe – štednja na resursima za modeliranje i analizu može rezultirati simulacijskim modelom i/ili analizom koji nisu dovoljni za zadatak.
4. Simulacija se može koristiti neprikladno – simulacija se koristi u nekim slučajevima kada je analitičko rješenje moguće ili čak poželjno. To je osobito istinito u simulaciji nekih redova čekanja gdje su dostupni modeli čekanja u zatvorenom obliku, barem za dugoročnu procjenu [1].

3. SIMULACIJSKI PROGRAMSKI PAKETI U LOGISTICI

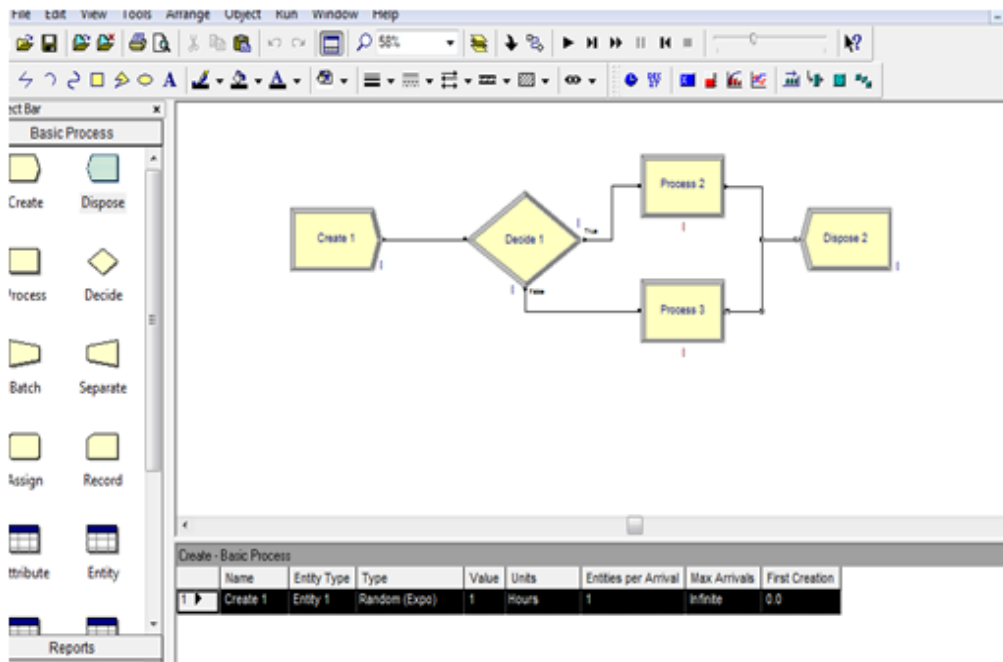
Simulacijski programski alati koriste se za izvođenje simulacija na računalu s ciljem analize i optimizacije realnih sustava. Njihova svrha je poboljšati učinkovitost procesa i smanjiti troškove kroz analizu i eksperimentiranje s različitim ishodima.

Programski alati koji se najčešće koriste za simulacije u logistici su:

- Arena
- FlexSim
- ExtendSim

3.1. Arena Simulation Software

Arena je softver za simulaciju diskretnih događaja koji je prvotno razvio *Systems Modeling Corporation*, a sada ga posjeduje *Rockwell Automation*. Primarno se temelji na metodologiji simulacije diskretnih događaja, no podržava i druge metode poput modeliranja temeljenog na agentima i tijeku. Danas *Arena* softver koriste brojne tvrtke koje se u svom poslovanju bave simulacijama, a neke od njih su *IBM*, *General Motors*, *UPS*, *Lufthansa*. *Arena* ima široku primjenu zbog mogućnosti rješavanja brojnih logističkih problema. Može se dijagnosticirati problem i omogućiti rješavanje izazova poput pojavljivanja uskih grla u pojedinim dijelovima logističkog lanca, smanjenja vremena isporuke, boljeg upravljanja zalihama ili radnom snagom, te se kroz sve operacije može poboljšati ukupna profitabilnost i poslovanje tvrtke. Rad u *Areni* temelji se na slaganju blokova u obliku dijagrama toka putem grafičkog sučelja koje sadrži sve potrebne elemente, a ne zahtjeva znanje programskih jezika, što je velika prednost jer se automatski generira nakon izrade dijagrama. Ovisno o zadanim parametrima u simulaciji, prikazuje se izvješće koje sadrži podatke o svim resursima, entitetima i obavljenim aktivnostima. Iz izvješća se može vidjeti učinkovitost pojedinih koraka (utrošeno vrijeme), moguća kašnjenja (zbog rezervacija resursa u aktivnostima), te se na temelju toga mogu dati preporuke za poboljšanje sustava. U cilju potpore studentima i profesorima, izdana je besplatna inačica *Arena Academic* s ograničenim funkcionalnostima [2].



Slika 1. Prikaz simulacijskog alata *Arena Rockwell*

Izvor: <https://aurumuyunaas.medium.com/make-a-queuing-simulation-with-arena-software-5c2e7a511e70>

[Pristupljeno: 09. lipnja 2024.]

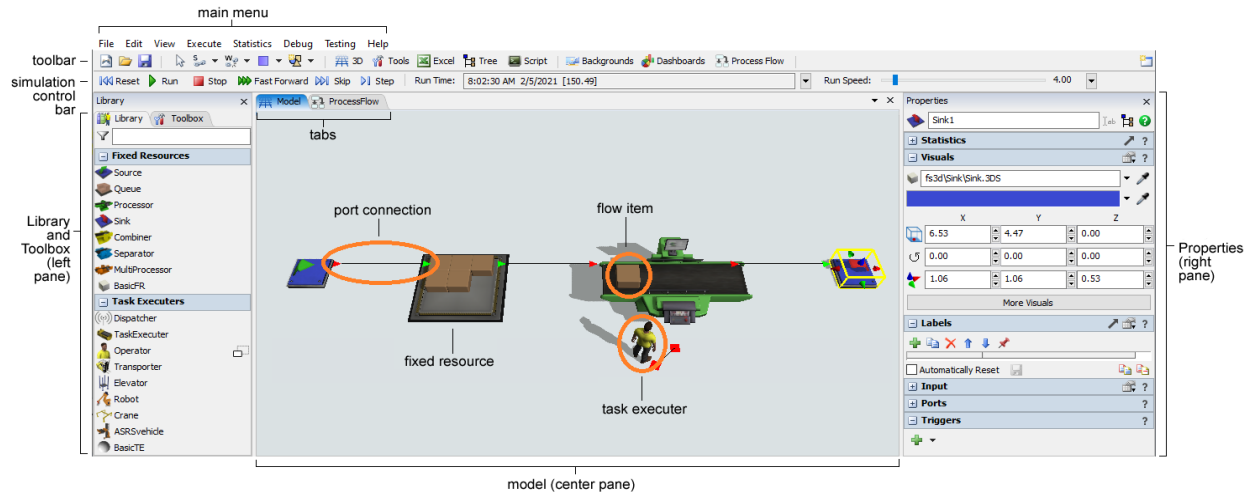
3.2. FlexSim

FlexSim se smatra jednim od najnaprednijih alata za modeliranje, analizu i optimizaciju procesa koji se mogu odvijati u stvarnom vremenu. Temelji se na trodimenzionalnom prikazu sustava, omogućuje izradu modela stvarnog sustava, njegovu simulaciju i proučavanje. Na temelju izvedenih simulacija, dobivaju se opširna izvješća o izvedbi, pomoću kojih se mogu identificirati problemi i slabosti u sustavu, te se ti problemi mogu otkloniti odabirom optimalnih rješenja u kratkom vremenskom periodu. Među logističkim tvrtkama koje koriste *FlexSim* su *FedEx*, *DHL* i *APM* terminal [3].

Glavne karakteristike *FlexSim* programskog alata uključuju:

- jednostavnu primjenu
- grafičku i statičku analizu sustava (s jednostavnom izradom tablica i grafova)

- mogućnost izrade novih proizvoda koji se lako primjenjuju u *FlexSim* sustavu
- jednostavnu implementaciju modela stvorenih s drugim simulacijskim alatima, te jednostavnu integraciju s ostalim programima, poput *Excela*.



Slika 2. Prikaz izgleda sučelja *FlexSim* s označenim elementima sučelja

Izvor: <https://docs.flexsim.com/en/24.0/FlexSimUI/OverviewUserInterface/OverviewUserInterface.html>

[Pristupljeno: 09. svibnja 2024.]

3.3. ExtendSim

ExtendSim jedan je od brojnih alata za izradu simulacijskih modela i simulaciju operativnih procesa. Karakterizira ga jednostavnost korištenja i visoka učinkovitost u simuliranju procesa. Omogućuje razumijevanje složenih sustava i pruža pouzdane rezultate simulacije u kratkom vremenu. Sadrži opsežnu biblioteku komponenti za modeliranje koja korisnicima omogućuje brzo stvaranje i istraživanje dizajna. Na primjer, aplikacija nudi napredne alate za pohranu podataka, manipulaciju i organizaciju, što korisnicima daje potpunu kontrolu. Uključuje opće alate i specifične funkcije prilagođene različitim tržišnim segmentima. Moguće je birati između nekoliko verzija *ExtendSim-a*, uključujući *ExtendSim CP*, *ExtendSim DE* i *ExtendSim Pro*, kako bi se postigli optimalni rezultati. *ExtendSim* je odličan softver za simulaciju proizvodnje koji pomaže u projektiranju, analizi i optimizaciji širokog raspona složenih procesa. Vizualno okruženje nudi 2D i 3D animacije stvarnih modela za poboljšanu prezentaciju, a kompatibilnost s mnogim platformama dodatno pojednostavljuje primjenu i korištenje gotovih primjera u drugim aplikacijama.

ExtendSim se koristi za logistiku, opskrbni lanac i transport kroz modeliranje, a njegove funkcije uključuju: nabavu, održivost, integriranu logistiku, suradničke lance opskrbe, zakazivanje, razinu usluga, mjerenje performansi, upravljanje rizicima i optimizaciju procesa. Pruža podršku za globalni logistički menadžment, te učinkovito integrira dobavljače, tvornice, skladišta i trgovine kako bi se roba proizvodila i distribuirala u pravim količinama, na pravim mjestima i u pravo vrijeme, uz smanjenje ukupnih troškova sustava. Koristi se za planiranje u hitnim slučajevima, modeliranje prtljage na aerodromima i operacija terminala, te pomaže u određivanju optimalne razine sigurnosnih zaliha i zaliha ciklusa za opskrbne lance. Također omogućuje praćenje kretanja tereta radi utvrđivanja operativne učinkovitosti i racionalizacije odluka o planiranju, te poboljšava učinkovitost sustava logistike rukovanja kontejnerima [4].

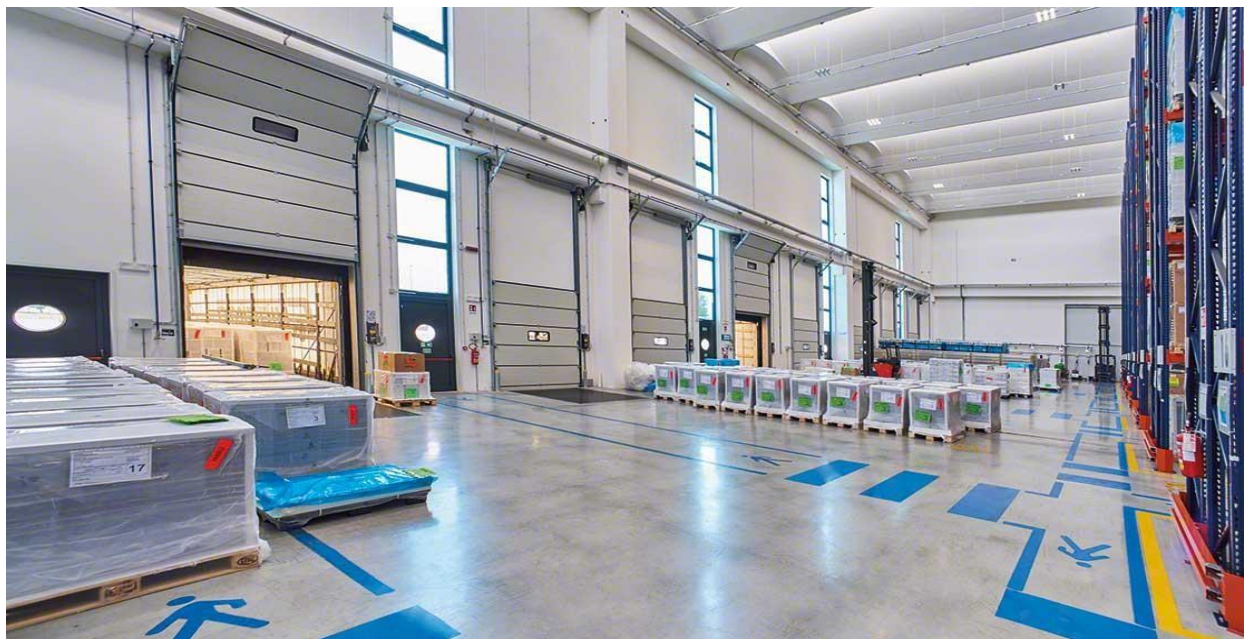
4. SIMULACIJA PROCESA PRIJEMA ROBE U SKLADIŠTE

Prijem robe je prvi logistički proces koji se obavlja u skladištima. Neke od odlika dobro uređenih skladišta jesu da skladišta na prijemu robe imaju na vrijeme dostupne i točne informacije o broju paketa ili paleta na kamionu, te broj kamiona koji će dostaviti robu. Za ovaj eksperiment definirane su performanse sustava koje su dobivene snimanjem i analizom realnog sustava pri čemu su korišteni isključivo fiktivni podaci za svaki proces u simulaciji. U ovom kontekstu, pošiljka predstavlja entitet, dok se palete smatraju atributima pošiljke. To znači da je svaka pošiljka jedinstveni entitet koji može sadržavati različit broj paleta kao svoje atribute. Početni događaj simulacijskog procesa jest dolazak kamiona na rampu, a završni događaj je smještanje robe u zonu pohrane. Dodatne aktivnosti koje su provedene su iskrcaj robe, provjera stanja i količine robe, izrada zapisnika u slučajima nepravilnosti i premještanje robe u zonu pohrane.

Svrha provođenja ovog eksperimenta je ispitivanje propusnosti promatranog sustava, identifikacija uskih grla koja mogu uzrokovati kašnjenja ili smanjenu produktivnost i iskorištenost radnika.

4.1. Elementi logističkog procesa prijema robe

Jedna od najvažnijih skladšnih operacija je prijem robe jer pokreće protok materijala. Loše upravljanje prijemom robe može rezultirati greškama na inventuri i ograničavanju produktivnosti ostalih odjela. Veoma je važno pravilno organiziranje prijema robe kako bi se postigle bolje učinkovitosti skladišta i bolja kontrola operativnih troškova. Kako bi se realizirali svi procesi, te je potrebno se upoznati sa svim obvezama koje skladištar treba obaviti prilikom prijema robe [5].



Slika 3. Zona prijema robe u skladište

Izvor: <https://www.mecalux.hr/blog/fase-prijam-robe>

[Pristupljeno: 19. svibnja 2024.]

Aktivnosti logističkog procesa prijema robe [5]:

- Planiranje i informacije – pri dobrom planiranju dolaska robe na skladište sprječavaju se uska grla skladišta. Kako bi se ubrzao proces prijema robe jedan od važnih faktora je vrhunsko upravljanje informacijama.
- Istovar i organizacija prostora za utovar – ovaj niz aktivnosti odnosi se na istovar robe i njezin transport do zona za prijem robe. Vrlo važno je da su svi radnici koji rade na poziciji prijema robe obučeni za rješavanje svake situacije.
- Kontrola kvalitete robe – prilikom prihvata robe vrši se provjera dokumentacije kako bi se utvrdilo je li roba odgovara modelu, količini i karakteristikama. U nekim slučajevima je potrebna i stroža kontrola. Mnoge tvrtke imaju vlastitu kontrolu za procjenu ulaznih sirovina. Posebni uvjeti skladištenja i kontrole u smislu vlažnosti i temperature imaju određeni lijekovi i hrana. Opasna roba također ima posebne propise prema kojima se pakira i skladišti, budući da postoji rizik pri rukovanju.

- Označavanje robe, konsolidacija i raspoređivanje na lokacije – od presudne je važnosti evidentirati sve informacije i upisati dolazak svakog novog materijala kako bi se kontrolirala sljedivost. Primjerice, uobičajni „dokument prijema robe“ integrira važne podatke poput broja narudžbe, otpremnice, rezultate provjere kvalitete, identifikaciju robe, količinu i opis [5].

4.2. Analiza ulaznih podataka i parametri simulacijskog modela

U Tablici 1, prikazana su prosječna vremena u minutama koja su potrebna određenom skladištaru za obavljanje posla.

Tablica 1. Vremena pojedinog skladištara za obavljanje određenog posla

Radnik	Vrijeme iskrcaja robe s kamiona	Vrijeme izrade zapisnika	Vrijeme provjere stanja i količine	Vrijeme premještaja u zonu pohrane	Vrijeme potvrde na lokaciju
1	0:04:27				
2	0:03:57				
3		0:03:14	0:05:32	0:03:27	
4		0:04:01	0:04:47	0:03:55	
5		0:07:09	0:05:02	0:02:56	
6					0:07:06

Tablica 2., koja je napravljena na temelju vremena iz tablice 1. i služi kao ulazni podatak za analizu (*engl.* input analyzer). Vremena prikazana u tablici 2. koriste se kao ulazni podaci. U tablici 1. vremena su prikazana u minutama i potrebna su za svaki proces, dok su u tablici 2. ta vremena pretvorena u decimalni zapis, zapisuju se redoslijedom i spremaju kao .text-MS dos datoteka. Nakon toga, taj dokument ubačen je u ulaznu analizu koja određuje teorijsku funkciju razdiobe. Svaki proces ima 50 vremenskih uzoraka koji su zabilježeni u tablici 2. Na temelju tih podataka za svaki proces zasebno određena je teorijska funkcija razdiobe.

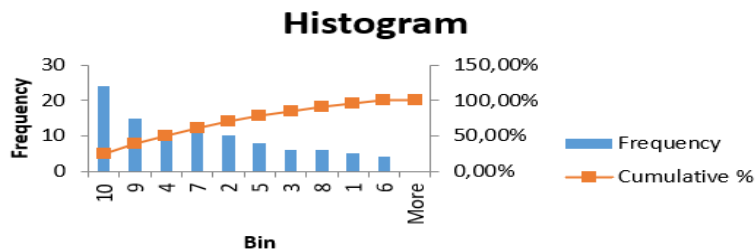
Tablica 2. Prikaz decimalnih vrijednosti koje se koriste za *Input Analyzer*

Mjerenja	Vrijeme istovara	Vrijeme izrade zapisnika	Vrijeme provjere robe	Vrijeme premještanja	Vrijeme potvrde na lokaciju
1	4,450	3,350	4,950	2,350	5,833
2	3,950	6,400	5,233	2,950	5,350
3	3,983	3,233	5,533	3,450	5,183
4	4,183	4,017	4,783	3,917	5,383
5	4,417	7,150	5,033	2,933	5,067
6	4,550	6,800	5,083	3,550	5,000
7	4,400	5,117	5,150	3,600	7,100
8	4,233	4,117	5,117	3,733	7,100
9	4,083	4,133	5,183	3,550	7,933
10	4,200	4,650	5,117	3,533	7,900
11	4,017	4,200	5,000	3,450	7,117
12	4,117	7,017	5,117	3,950	7,767
13	4,133	5,233	5,450	3,400	7,250
14	4,017	4,200	4,800	3,033	7,650
15	4,367	4,783	5,017	3,200	7,600
16	4,383	4,800	4,667	3,350	7,583
17	4,667	4,900	5,117	3,183	7,517
18	4,000	4,950	5,017	3,917	7,983
19	4,033	7,183	5,117	2,950	7,000
20	4,100	4,800	5,133	3,333	7,083
21	4,200	4,000	4,117	3,633	7,200
22	4,067	3,400	5,617	3,000	7,367
23	4,017	4,350	5,917	3,017	8,833
24	4,200	4,283	5,200	3,100	10,600
25	4,083	3,983	4,450	3,433	4,050

Mjerenja	Vrijeme istovara	Vrijeme izrade zapisnika	Vrijeme provjere robe	Vrijeme premještanja	Vrijeme potvrde na lokaciju
26	4,067	4,450	4,817	3,033	8,017
27	4,183	4,483	5,117	3,433	7,100
28	4,200	4,750	4,983	3,183	7,000
29	4,233	4,783	5,400	3,700	9,050
30	4,200	4,800	5,200	3,800	12,100
31	4,450	4,800	5,350	3,567	2,083
32	4,200	4,983	5,183	3,717	7,017
33	4,400	4,800	5,267	3,983	7,083
34	4,400	6,433	5,183	3,950	7,067
35	4,183	4,400	5,217	3,400	7,833
36	4,283	4,183	5,283	3,417	8,200
37	4,200	4,000	5,283	3,367	7,000
38	4,417	4,950	5,117	3,467	7,500
39	4,233	4,200	5,133	3,483	7,667
40	4,350	4,017	5,100	3,433	6,000
41	4,200	4,900	5,017	3,200	7,000
42	4,417	4,950	5,250	3,700	7,017
43	4,433	4,917	5,050	3,700	5,833
44	4,117	5,100	5,233	3,783	7,033
45	4,167	5,800	5,950	3,400	7,650
46	4,200	4,400	4,117	3,967	7,433
47	3,867	4,900	5,117	3,200	7,000
48	3,783	4,917	5,100	3,383	5,067
49	4,067	4,000	5,350	3,433	7,583
50	4,000	5,167	5,000	3,183	8,100

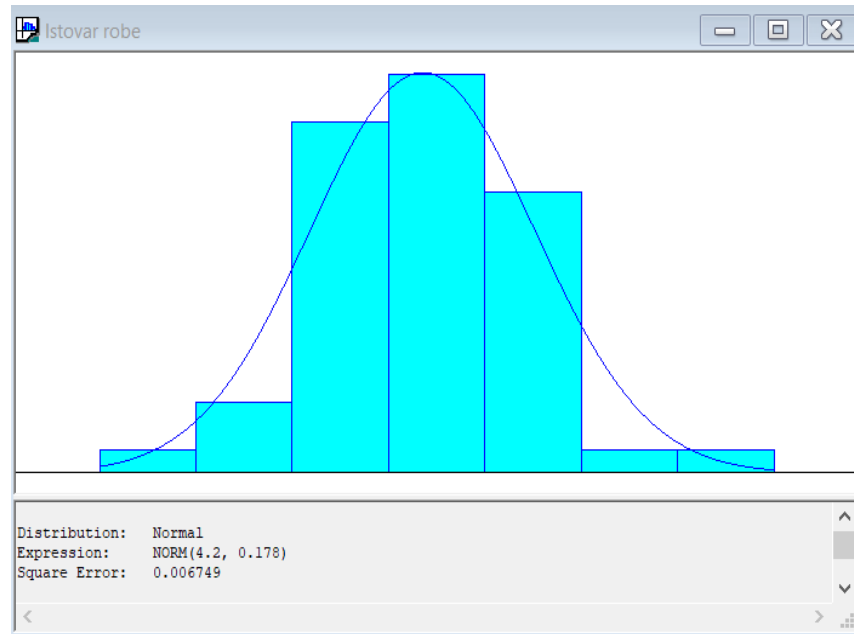
Dolazak kamiona na rampu predstavlja prvi proces, a svaki kamion prevozi pošiljke s različitim brojem paleta. Broj pošiljki po kamionu razlikuje se prema diskretnoj razdiobi, od minimalno jedne do maksimalno 10 pošiljki po kamionu. Na slici 4. prikazan je histogram za broj pošiljki.

Bin	Frequency	Cumulative %	Bin	Frequency	Cumulative %
1	5	5,00%	10	24	24,00%
2	10	15,00%	9	15	39,00%
3	6	21,00%	4	11	50,00%
4	11	32,00%	7	11	61,00%
5	8	40,00%	2	10	71,00%
6	4	44,00%	5	8	79,00%
7	11	55,00%	3	6	85,00%
8	6	61,00%	8	6	91,00%
9	15	76,00%	1	5	96,00%
10	24	100,00%	6	4	100,00%
More	0	100,00%	More	0	100,00%



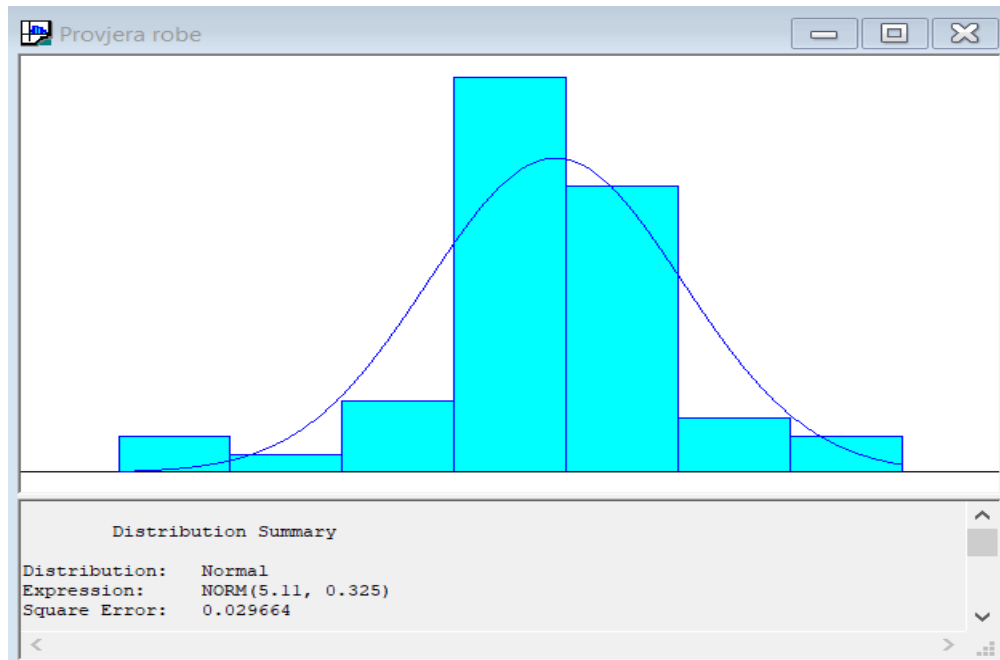
Slika 4. Podaci za broj pošiljki

Drugi provedeni proces jest iskrcaj robe s kamiona, pri čemu je roba na paletama viličarem premještena s kamiona u ulaznu zonu. Slika 5. prikazuje razdiobu vremena dobivenu pomoću alata „*input analyzer*“, pri čemu je dobivena normalna funkcija razdiobe.



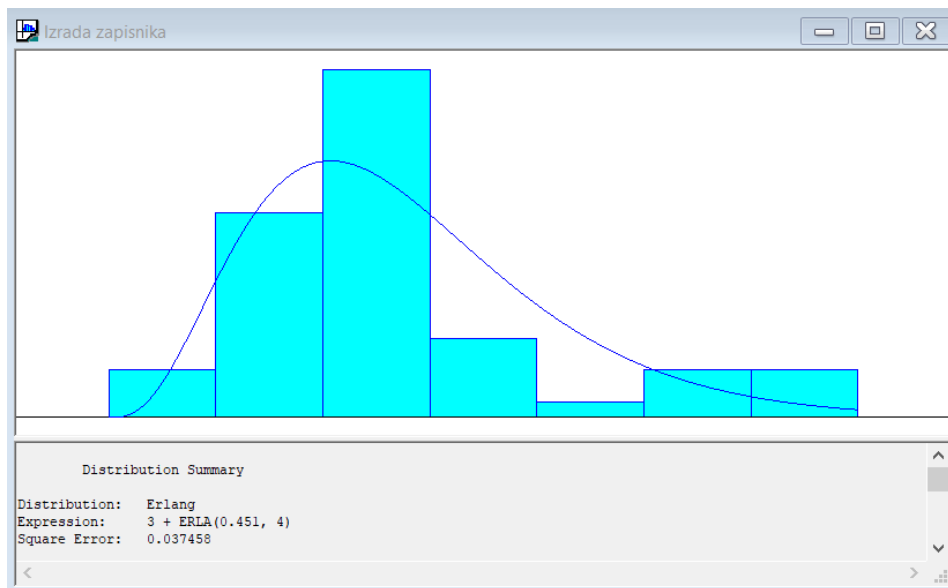
Slika 5. Razdioba vremena za proces iskrcaj robe s kamiona

Nakon iskrcaja robe s kamiona i smještanja u ulaznu zonu, roba je prošla kroz proces provjere stanja i količine. Razdioba vremena za proces provjere stanja i količine robe prikazane su na slici 6.



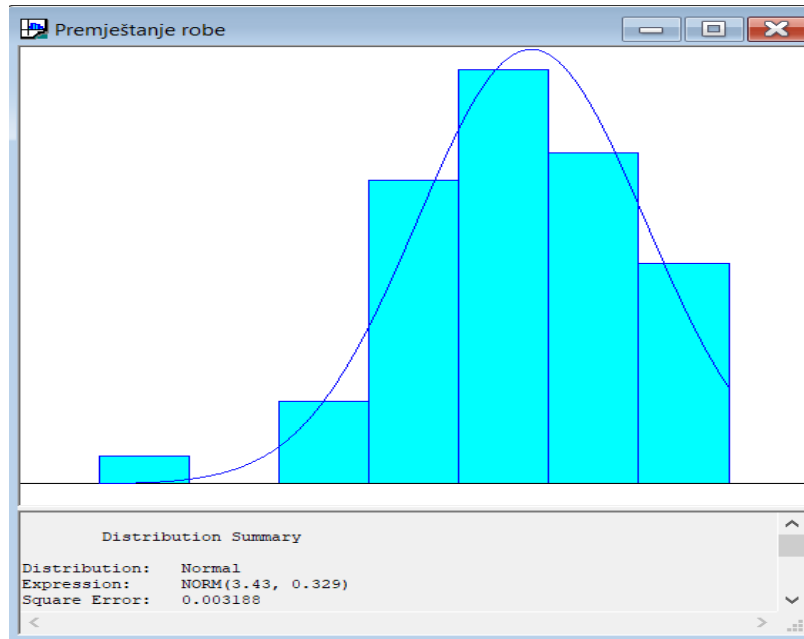
Slika 6. Razdioba vremena za proces provjera stanja i količine robe

Slika 7. prikazuje razdiobu vremena dobivenu pomoću alata „input analyzer“ za proces izrade zapisnika. Ulaznim podacima dobivena je teorijska funkcija razdiobe „erlang“.



Slika 7. Razdioba vremena procesa izrade zapisnika

Proces potvrde robe na lokaciju odvijao se prema normalnoj funkciji razdiobe, što je prikazano na slici 8.



Slika 8. Razdioba vremena za proces potvrde robe na lokaciju u skladištu

Postotak nepravilnosti u slučajevima kada stanje robe ne odgovara pratećim dokumentima iznosi 10 %, dok 90 % pošiljki odgovara pratećim dokumentima.

4.3. Definiranje parametara simulacijskog modela

Temeljem rezultata analize ulaznih podataka definirani su parametri pojedinih modula simulacijskog modela. Slika 9. prikazuje postavke modula koji generira entitete, tj. predstavlja dolaske kamiona na rampu (ulaz modela).

The screenshot shows a 'Create' dialog box with the following fields and values:

- Name: Dolazak kamiona na rampu
- Entity Type: Pošiljka
- Time Between Arrivals:
 - Type: Constant
 - Value: 1
 - Units: Hours
- Entities per Arrival: DISC(0.24,1,0.39,2,0)
- Max Arrivals: Infinite
- First Creation: 0.0
- Comment: (empty text box)

Buttons: OK, Cancel, Help

Slika 9. Prikaz postavki modula dolaska kamiona na rampu

Postavke modula koji predstavlja proces iskrcaja robe s kamiona prikazane su na slici 10. iz koje je vidljivo da na tom procesu rade dva skladištara.

Process ? X

Name: Iskrcaj robe s kamiona Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

- Resource, Skladištar 1, 1
- Resource, Skladištar 2, 1
- <End of list>

Add... Edit... Delete

Delay Type: Normal Units: Minutes Allocation: Value Added

Value:(Mean): 4.2 Std Dev: 0.178

Report Statistics

Comment:

OK Cancel Help

Slika 10. Postavke modula procesa iskrcaja robe s kamiona

Postavke procesa modula koji predstavlja provjere stanja i količine robe prikazane su na slici 11.

Process ? X

Name: Provjera stanja i količine robe Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

- Resource, Skladištar 3, 1
- Resource, Skladištar 4, 1
- Resource, Skladištar 5, 1
- <End of list>

Add... Edit... Delete

Delay Type: Normal Units: Minutes Allocation: Value Added

Value:(Mean): 5.11 Std Dev: 0.325

Report Statistics

Comment: NORM(5.11, 0.325)

OK Cancel Help

Slika 11. Postavke modula procesa provjera stanja i količine robe

Na slici 12. prikazane su postavke modula koji predstavlja proces izrade zapisnika, gdje su prikazana tri skladištara koja su radila na tom procesu.

Process

Name: Izrada zapisnika Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

- Resource, Skladištar 3, 1
- Resource, Skladištar 4, 1
- Resource, Skladištar 5, 1
- <End of list>

Buttons: Add... Edit... Delete

Delay Type: Expression Units: Minutes Allocation: Value Added

Expression: 3 + ERLA(0.451, 4)

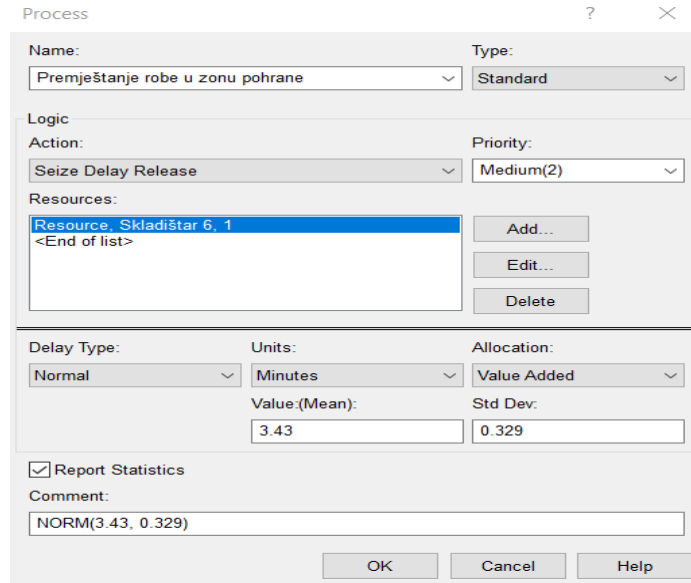
Report Statistics

Comment:

Buttons: OK Cancel Help

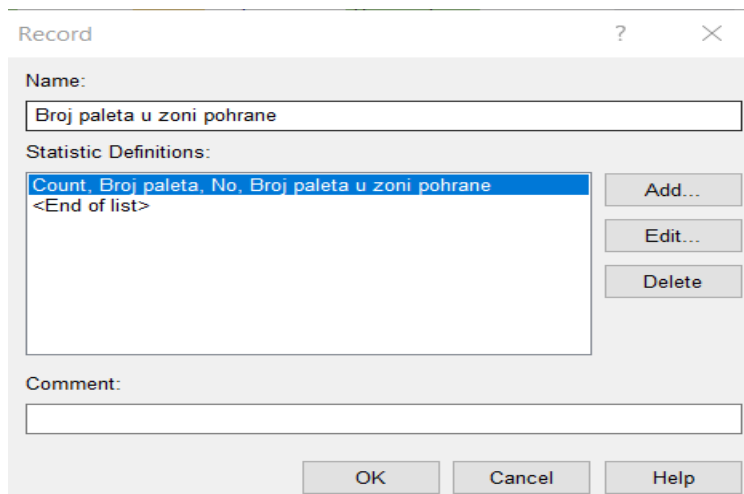
Slika 12. Postavke modula procesa izrade zapisnika

Slika 13. prikazuje postavke modla koji predstavlja proces pohrane robe na lokaciju u skladištu.



Slika 13. Postavke modula procesa pohrane robe na lokaciju u skladištu

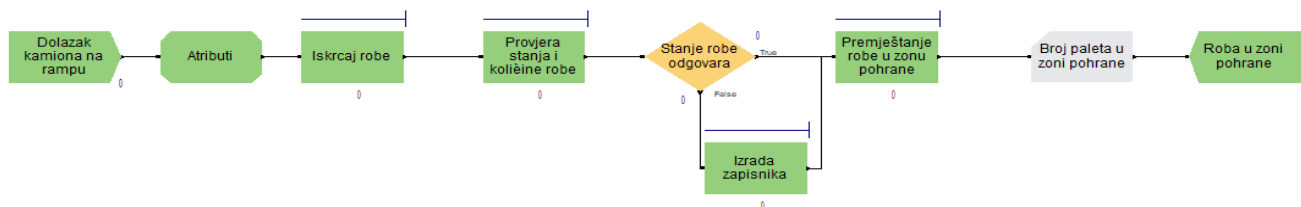
Nadalje, u simulacijskom modelu dodan je modul *Record* koji evidentira i zbraja palete koje su prošle proces *Premještanje robe u zonu pohrane*, tj. koje su pohranjene u skladištu, čije su postavke prikazane na slici 14.



Slika 14. Postavka „record“ koja služi za zbrajanje paleta na skladištu

4.4. Dijagram toka simulacijskog modela

Dijagram toka (Slika 15.) izrađen je u korisničkom sučelju Arene, a sastoji se od modula simulacijskog modela kojima se prikazuje i simulira funkcioniranje procesa prijema robe u skladište.



Slika 15. Dijagram toka simulacijskog modela prijema robe

Iskorištenost radnika također je praćena pomoću simulacijskog alata *Arena Rockwell*, koji bilježi koliko su radnog vremena radnici proveli u aktivnostima vezanim uz prijem robe u odnosu na vrijeme kada nisu bili zauzeti.

Rezultati su prikazani u obliku izvještaja koji pokazuju postotak radnog vremena u kojem su radnici aktivno radili na prijemu robe. Parametri čekanja pošiljki praćeni su kroz simulacijski model, bilježeći vrijeme od dolaska kamiona do završetka procesa prijema robe. Posebna pažnja posvećena je vremenima čekanja u različitim fazama procesa, uključujući iskrcaj robe, provjeru stanja i količine robe, te smještanje robe na skladišne lokacije. U simulaciji praćeno je gdje se pošiljke najduže zadržavaju kako bi se identificirala potencijalna uska grla. Uskim grlima smatrani su procesi gdje dolazi do značajnih kašnjenja ili zagušenja.

U skladištu radi šest skladištara koji su raspoređeni u svoje zone rada. Dva skladištara rade na iskrcaju robe, tri skladištara rade na provjeri stanja i količine robe, te izradi zapisnika, dok jedan skladištar radi na premještanju robe u zonu pohrane.

Ovim pristupom omogućeno je precizno praćenje i optimizacija svakog koraka u lancu opskrbe unutar skladišta, s ciljem poboljšanja ukupne učinkovitosti i smanjenja vremena obrade.

5. PLANIRANJE I IZVOĐENJE SIMULACIJSKOG EKSPERIMENTA

Za izvođenje simulacijskog procesa prijema robe primijenjen je simulacijski alat *Arena Rockwell*. Prvo su odrađeni parametri procesa i simulacije unutar simulacijskog modela. Zatim je provjerena razdioba svakog procesa i procijenjeno vrijeme trajanja svakog koraka. Za izvođenje simulacijskog eksperimenta zadano je radno vrijeme od osam sati dnevno i ukupno trajanje od pet radnih dana, što je prikazano na slici 16.

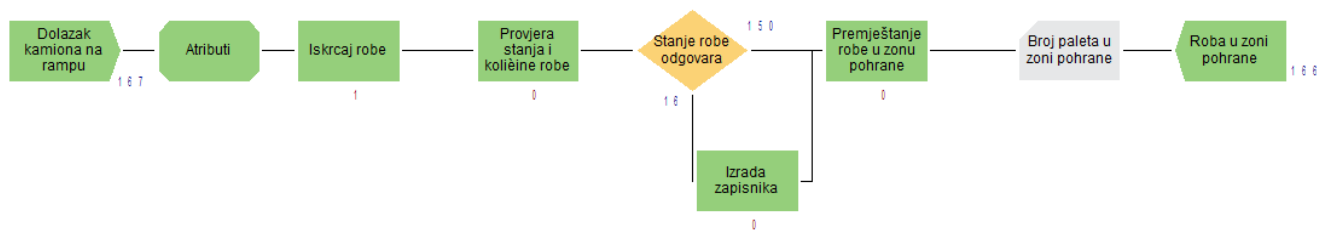
Replication Parameters	
Number of Replications:	<input type="text" value="1"/>
Start Date and Time:	<input type="text" value="18. lipnja 2024. 21:41:07"/>
Warm-up Period:	<input type="text" value="0.0"/> Hours
Replication Length:	<input type="text" value="5"/> Days
Hours Per Day:	<input type="text" value="8"/>
Terminating Condition:	<input type="text"/>
Base Time Units:	Minutes

Slika 16. Parametri simulacijskog eksperimenta

6. PRIKAZ REZULTATA SIMULACIJSKOG EKSPERIMENTA

Na slici 17. prikazan je dijagram toka iz sučelja *Arene* nakon završetka simulacijskog eksperimenta, na kojemu je prikazano:

- Broj generiranih entiteta na ulazu u proces iznosi 167
- Broj entiteta izašlih iz procesa je 166
- Broj entiteta zadržanih u pojedinim aktivnostima je jedan, pri čemu je jedan entitet zadržan u procesu iskrcaja robe



Slika 17. Prikaz završene simulacije

Kao rezultati simulacijskog eksperimenta promatrano je iskorištenje radnika, broj entiteta na izlazu iz sustava, te propusnost sustava. Prema dostupnim podacima iz izvještaja generiranog iz *Arene*, danog u Prilogu 1. zapažena je iskorištenost skladištara na iskrcaju robe za samo 29 %, što ukazuje da su ostatak vremena proveli na čekanju. Iskorištenost skladištara koji su obavljali provjeru robe i izradu zapisnika nešto je veća i iznosi 38 %, dok je iskorištenost skladištara koji su smještali robu na lokacije u skladištu najniža i iznosi svega 24 % (Prilog 1). Ovi podaci jasno pokazuju nisku iskorištenost skladištara u svim fazama procesa prijema robe u ovom eksperimentu. Za poboljšanje iskorištenosti, preporučuje se optimizacija procesa i osiguranje bolje pripreme i obuke radnika radi povećanja njihove produktivnosti. Time bi se mogla smanjiti potreba za brojem zaposlenih na prijemu robe i omogućiti njihovo preusmjerenje na druge pozicije unutar skladišta.

Ukupno vrijeme zadržavanja entiteta u sustavu od njegovog ulaska do njegovog izlaska smatrano je izrazito bitnim. Zapaženo je da se pošiljka prosječno zadržala u sustavu 13,17 minuta, s najduljim zadržavanjem od 19,58 minuta i najkraćim od 11,31 minute (vidjeti Prilog 2).

Analizom svakog procesa zasebno vidljivo je da su vrijednosti za proces „iskrcaj robe“ najviše. Najduže trajanje tog procesa je 43,25 minuta, najkraće 3,98 minuta, dok je prosječno vrijeme izvršenja 14,69 minuta. Također, vrijeme čekanja pošiljke u sustavu je također najdulje u procesu „iskrcaj robe“ i iznosi najviše 38,96 minuta, dok je prosječno vrijeme 10,5 minuta (Prilog 3).

Ovi podaci jasno pokazuju nisku iskorištenost skladištara u svim fazama procesa prijema robe u ovom eksperimentu. Za poboljšanje iskorištenosti, preporučuje se optimizacija procesa i osiguranje bolje pripreme i obuke radnika radi povećanja njihove produktivnosti. Time bi se mogla smanjiti potreba za brojem zaposlenih na prijemu robe i omogućiti njihovo preusmjeravanje na druge pozicije unutar skladišta.

Da bi ubrzali protok pošiljki kroz sustav, potrebno je bolje uskladiti raspored radnika kroz kontinuirano praćenje njihove iskorištenosti i vremena čekanja. Tehnologije poput automatskih sustava za praćenje i upravljanje zalihama treba postupno uvoditi kako bi se smanjila potreba za ručnim radnjama i ubrzao proces prijema robe. Ovim pristupom osigurano je efikasnije korištenje resursa i optimizacija operativnih aktivnosti, što može rezultirati poboljšanjem ukupne produktivnosti sustava prijema robe.

7. ZAKLJUČAK

Simulacijski modeli primjenjuju se u logistici za analizu postojećih sustava i u planiranju novih sustava ili procesa. Sama prednost modeliranja je što se eksperimenti mogu ponavljati s različitim parametrima, te pružaju pregled nad modelom koji pokušavamo implementirati. Simulacijski modeli mogu otkriti nedostatke sustava, te pružiti uvid gdje se može uštedjeti i otkriti moguće greške u radu. Danas je izrazito široka primjena simulacijskog modeliranja u logistici, a za svaki logistički proces može se izraditi model koji odgovara dobivenim parametrima tog modela, s mogućnostima dodavanja ili oduzimanja parametara. Prijem robe je manje kompleksan u usporedbi s nekim drugim logističkim procesima, ali na njegovo obavljanje mogu utjecati različiti nepredviđeni čimbenici koje nije moguće prikazati u simulaciji kao što su na primjer kvar viličara, kvar ulaznih rampi, nestanak struje, pad sustava i slične situacije koje mogu značajno utjecati na tijek i efikasnost procesa prijema robe. Zbog svih tih mogućih dodatnih otežavajućih okolnosti, simulacijski modeli ne mogu pružiti stopostotno rješenje. Simulacija može doprinijeti boljem razumjevanju cjelokupnog procesa i pomoći nam u prepoznavanju potencijalnih izazova s kojima se stvarni sustav može susresti. Kako bismo učinkovito simulirali procese bez utjecaja na troškove i vrijeme tvrtke, te bez usporavanja protoka robe, važno je koristiti simulacijske alate koji omogućuju precizno modeliranje bez stvarnih operativnih smetnji.

Svrha ovog rada je bila prikazati mogućnosti primjene simulacijskog modeliranja na primjeru analize logističkog procesa prijema robe u skladište. Temeljem rezultata simulacije, dane su preporuke za poboljšanje pojedinih elemenata logističkog procesa prijema robe.

LITERATURA

- [1] BANKS, Jerry (ed.). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. John Wiley & Sons, 1998., Preuzeto s:
<https://juancarlosvergaras.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/09/handbook-of-simulation-principles-methodology-advances-applications-and-practice.pdf> [Pristupljeno: 02.svibnja.2024]
- [2] Arena Simulation Software [Online], Dostupno na:
<https://www.rockwellautomation.com/enus/products/software/arena-simulation.html>
[Pristupljeno: 05.svibnja.2024]
- [3] <https://www.flexsim.com/> [Pristupljeno: 11.lipnja.2024]
- [4] <https://www3.technologyevaluation.com/solutions/53971/extendsim> [Pristupljeno: 14.lipnja.2024]
- [5] <https://www.mecalux.hr/blog/fase-prijam-robe> [Pristupljeno: 12.svibnja.2024]

POPIS SLIKA

SLIKA 1. PRIKAZ SIMULACIJSKOG ALATA <i>ARENA ROCKWELL</i>	6
SLIKA 2. PRIKAZ IZGLEDA SUČELJA <i>FLEXSIM</i> S OZNAČENIM ELEMENTIMA SUČELJA	7
SLIKA 3. ZONA PRIJEMA ROBE U SKLADIŠTE	10
SLIKA 4. PODACI ZA BROJ POŠILJKI.....	12
SLIKA 5. RAZDIOBA VREMENA ZA PROCES ISKRCAJ ROBE S KAMIONA	13
SLIKA 6. RAZDIOBA VREMENA ZA PROCES PROVJERA STANJA I KOLIČINE ROBE	14
SLIKA 7. RAZDIOBA VREMENA PROCESA IZRADE ZAPISNIKA	14
SLIKA 8. RAZDIOBA VREMENA ZA PROCES POTVRDE ROBE NA LOKACIJU U SKLADIŠTU	15
SLIKA 9. PRIKAZ POSTAVKI PROCESA DOLASKA KAMIONA NA RAMPU.....	16
SLIKA 10. POSTAVKE PROCESA ISKRCAJA ROBE S KAMIONA.....	17
SLIKA 11. POSTAVKE PROCESA PROVJERA STANJA I KOLIČINE ROBE	17
SLIKA 12. POSTAVKE PROCESA IZRADE ZAPISNIKA	18
SLIKA 13. POSTAVKE ZA PROCES POTVRDE ROBE NA LOKACIJU U SKLADIŠTU	19
SLIKA 14. POSTAVKA „ <i>RECORD</i> “ KOJA SLUŽI ZA ZBRAJANJE PALETA NA SKLADIŠU	19
SLIKA 15. DIJAGRAM TOKA SIMULACIJSKOG MODELA PRIJEMA ROBE.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
SLIKA 16. SETUP SIMULACIJE	21
SLIKA 17. PRIKAZ ZAVRŠENE SIMULACIJE	22

POPIS TABLICA

TABLICA 1. VREMENA POJEDINOG SKLADIŠTARA ZA OBAVLJANJE ODREĐENOG POSLA	11
TABLICA 2. PRIKAZ DECIMALNIH VRIJEDNOSTI KOJE SE KORISTE ZA <i>INPUT ANALYZER</i>	12

PRILOZI

Prilog 1. Prikaz iskorištenosti pojedinog skladištara

Završni rad

Replications: 1 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
	Skladištar 2	0.2901	(Insufficient)	0.00
Skladištar 1	0.2901	(Insufficient)	0.00	1.0000
Skladištar 3	0.3839	(Insufficient)	0.00	1.0000
Skladištar 4	0.3839	(Insufficient)	0.00	1.0000
Skladištar 5	0.3839	(Insufficient)	0.00	1.0000
Skladištar 6	0.2371	0,050049993	0.00	1.0000

Number Busy	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
	Skladištar 2	0.2901	(Insufficient)	0.00
Skladištar 1	0.2901	(Insufficient)	0.00	1.0000
Skladištar 3	0.3839	(Insufficient)	0.00	1.0000
Skladištar 4	0.3839	(Insufficient)	0.00	1.0000
Skladištar 5	0.3839	(Insufficient)	0.00	1.0000
Skladištar 6	0.2371	0,050049993	0.00	1.0000

Prilog 2. Prikaz podataka vezanih za entitet

Završni rad

Replications: 1 Time Units: Minutes

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Pošiljka	13.1742	(Insufficient)	11.3242	19.5811
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Pošiljka	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Pošiljka	13.7966	(Insufficient)	0.00	50.8691
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Pošiljka	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Pošiljka	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Pošiljka	26.9709	(Insufficient)	11.3242	63.3485

Other

Prilog 3. Prikaz podataka procesa u simulaciji

Završni rad

Replications: 1 Time Units: Minutes

Process

Time per Entity

VATime Per Entity				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Iskrcaj robe	4.1949	(Insufficient)	3.7127	4.7309
Izrada zapisnika	4.8013	(Insufficient)	3.4139	6.5830
Premještanje robe u zonu pohrane	3.4284	(Insufficient)	2.5174	4.2481
Provjera stanja i količine robe	5.0882	(Insufficient)	4.2215	6.0857
Wait Time Per Entity				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Iskrcaj robe	10.4974	(Insufficient)	0.00	38.9610
Izrada zapisnika	4.1427	(Insufficient)	0.00	5.3789
Premještanje robe u zonu pohrane	0.00238113	(Insufficient)	0.00	0.3953
Provjera stanja i količine robe	2.8975	(Insufficient)	0.00	11.9081
Total Time Per Entity				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Iskrcaj robe	14.6923	(Insufficient)	3.9847	43.2466
Izrada zapisnika	8.9440	(Insufficient)	4.5627	11.5078
Premještanje robe u zonu pohrane	3.4308	(Insufficient)	2.5174	4.2481
Provjera stanja i količine robe	7.9857	(Insufficient)	4.2258	16.9804

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je **ZAVRŠNI RAD**
(vrsta rada)
isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom _____ PRIMJENA SIMULACIJSKOG MODELIRANJA U ANALIZI SKLADIŠNOG PROCESA _____, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 10.srpnja.2024

Student/ica:



(ime i prezime, potpis)