

Simulacija prodavaonice elektronike u FlexSimu

Pavlović, Fran

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:744247>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-07**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

FRAN PAVLOVIĆ

**SIMULACIJA PRODAVAONICE ELEKTRONIKE U
FLEXSIMU**

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**SIMULACIJA PRODAVAONICE ELEKTRONIKE U
FLEXSIMU
SIMULATION OF AN ELECTRONICS STORE IN FLEXSIM**

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Modeliranje i simulacije

Mentor: doc. dr. sc. Dario Ogrizović

Komentor: Valentina Šutalo Šamanić, mag. ing. logist.

Student: Fran Pavlović

Studijski smjer: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112071291

Rijeka, srpanj 2023.

Student/studentica: Fran Pavlović

Studijski program: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112071291

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom
Simulacija prodavaonice elektronike u flexsimu

izradio/la samostalno pod mentorstvom doc. dr. sc. Dario Ogrizović

te komentorstvom Valentina Šutalo Šamanić, mag. ing. logist.

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezao/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student

Fran Pavlović



Student/studentica: Fran Pavlović

Studijski program: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112071291

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG DIPLOMSKOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor diplomskog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa diplomskim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog diplomskog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student – autor

Pavlović

SAŽETAK

Simulacijsko modeliranje je glavna metoda modeliranja sustava. Pomoću simulacijskog modeliranja se dolazi do lakšeg razumijevanja raznih složenih dinamičkih sustava koji se nalaze unutar znanosti, uslužnih djelatnosti ili industrije. Mora se prvo izvršiti detaljna analiza sustava, kako bi se saznali svi podaci koji su važni za ispravni rad modela. Tek onda se može početi unositi te podatke u simulacijski program. Prilikom izrade modela nužne su odgovarajući alati i računalne aplikacije. Za izradu simulacijskog modela prodavaonice elektroničke opreme se rabila aplikacija FlexSim. Ona je namijenjena za simulaciju diskretnih događaja. FlexSim sadrži objektno orijentirano okruženje koje se veoma lako i efikasno koristi za napredak simulacijskog modela uz praćenje i vizualizaciju aktivnosti procesa. Nakon same izrade modela unutar aplikacije FlexSim, pokrenuta je simulacija koja je dala rezultate na postavljena pitanja putem grafova.

Ključne riječi: Simulacije, model, FlexSim, ulaz, izlaz, kupac

SUMMARY

Simulation modeling is the main method of system modeling. With the help of simulation modeling, it is easier to understand various complex dynamic systems that are found within science, service activities or industry. A detailed analysis of the system must first be performed, in order to find out all the data that is important for the correct operation of the model. Only then can you start entering this data into the simulation program. Appropriate tools and computer applications are necessary when creating models. The FlexSim application was used to create a simulation model of an electronic equipment store. It is intended for the simulation of discrete events. FlexSim contains an object-oriented environment that is very easy and efficient to use for the progress of the simulation model while monitoring and visualizing process activities. After the actual creation of the model within the FlexSim application, a simulation was started that gave results to the questions posed via graphs.

Keywords: Simulations, model, FlexSim, source, sink, customer

SADRŽAJ

| | |
|--|------------|
| SAŽETAK | II |
| SUMMARY | II |
| SADRŽAJ | III |
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA | 1 |
| 1.2. RADNA HIPOTEZA..... | 1 |
| 1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA | 1 |
| 1.4. ZNANSTVENE METODE | 2 |
| 1.5. STRUKTURA RADA | 2 |
| 2. SIMULACIJSKO MODELIRANJE | 4 |
| 3. SVRHA SIMULACIJE | 5 |
| 4. PREDNOSTI I NEDOSTACI SIMULACIJE | 7 |
| 5. SUSTAV, MODEL, SIMULACIJE | 9 |
| 5.1. SUSTAV..... | 9 |
| 5.2. MODEL | 9 |
| 5.3. OSNOVNI POJMOVI SIMULACIJE DISKRETNIH DOGAĐAJA..... | 11 |
| 6. STRUKTURIRANJE PROBLEMA | 13 |
| 6.1. FORMALIZACIJA PROBLEMA | 13 |
| 5.2.1. <i>Alati za izradu formalne izjave o problemu</i> | 14 |
| 6.2. UPOZNAVANJE SA PROBLEMOM | 14 |
| 6.3. KLASIFIKACIJA SUSTAVA | 15 |
| 6.4. KOMPONENTE MODELA | 16 |
| 6.5. CILJEVI PROJEKTA | 19 |
| 7. ULAZNI PODACI | 21 |
| 7.1. PODACI KOJE TREBA UVRSTITI U MODEL..... | 21 |
| 7.2. IZVORI ULAZNIH PODATAKA | 21 |
| 7.3. PRIKUPLJANJE ULAZNIH PODATAKA | 22 |
| 7.4. KLASIFIKACIJA ULAZNIH PODATAKA | 23 |

| | |
|---|-----------|
| 7.5. SMJERNICE ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA | 24 |
| 8. MODELIRANJE | 25 |
| 8.1. IZBOR SIMULACIJSKOG SOFTWAREA | 26 |
| 9. SIMULACIJSKI SOFTWAREI | 28 |
| 9.1. PREGLED SIMULACIJSKIH SOFTVERA | 28 |
| 9.1.1. <i>Plant Simulation</i> | 28 |
| 9.1.2. <i>ProModel</i> | 29 |
| 9.1.3. <i>AutoMod/Autosched</i> | 30 |
| 9.1.4. <i>Renque</i> | 30 |
| 9.1.5. <i>SimCad Pro</i> | 30 |
| 9.1.6. <i>SimEvents</i> | 30 |
| 9.1.7. <i>ExtendSim</i> | 31 |
| 9.1.8. <i>GoldSim</i> | 31 |
| 9.1.9. <i>SimProcess</i> | 31 |
| 9.1.10. <i>AnyLogic</i> | 32 |
| 9.1.11. <i>Simio</i> | 33 |
| 9.1.12. <i>Simul8</i> | 33 |
| 9.1.13. <i>FlexSim</i> | 34 |
| 10. PRODAVAONICA ELEKTRONIKE | 37 |
| 11. REZULTATI SIMULACIJE | 52 |
| 12. ZAKLJUČAK | 57 |
| LITERATURA | 58 |
| KAZALO KRATICA | 59 |
| POPIS TABLICA | 60 |
| POPIS SLIKA | 60 |

1. UVOD

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

U ovom diplomskom radu problem istraživanja je: U praksi se sve primjenjuju simulacije i modeliranje za rješavanje problema i analiziranje proizvodnje ili uslužnih djelatnosti. To je zato što se dođe do bržeg rješenja nekog problema ili se mogu otkriti neka rješenja koja bi mogla potencionalno pomoći u budućnosti. Tako da je problem ovog diplomskog rada kako posluje trgovina za prodaju elektroničke opreme. Predmet istraživanja će biti same simulacije i modeliranje, kako se one izvode i do kojih rješenja nas one dovode. Za kraj objekt istraživanja je model poslovnice koji će biti sastavljen radi pobliže analize protoka proizvoda i kupaca kroz poslovicu. Ovaj rad će se primarno fokusirati da pokaže kako funkcioniraju simulacije i modeli.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Pomoću odrednica problema, predmeta i objekta istraživanja, sastavljena je i radna hipoteza, a ona je: Simulacije i modeliranje znatno olakšava proces mjerenja, vršenja eksperimenata i analize u odnosu na stvarni svijet. Pomoću njih razni stručnjaci od kuće mogu detaljno istražiti stanje u tvornicama ili u poslovnicama, analizirajući protok materijala, proizvoda ili kupaca. Napredak tehnologije je omogućio da puno brže i efikasnije dođemo no željenih rješenja kako bi se vidjeli problemi, te kako bi se moglo što prije nastaviti sa procesom pronalaska rješenja za iste.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Svrha i ciljevi ovog diplomskog rada su prikazati kako simulacije i modeli olakšavaju proces analize, prikazati kako funkcionira simulacija, te također prikazati kakvo je stanje u trgovini koja prodaje elektroniku. U nastavku će biti dani odgovori na pitanja:

- Koja je svrha simulacija?
- Koje su prednosti i mane simulacija?
- Što su to sustav, modeli i simulacija?
- Od kojih objekta se sastoji FlexSim?

- Koje sve opcije nudi FlexSim?
- Ima li uskih grla u navedenoj trgovini elektroničke opreme?

1.4. ZNANSTVENE METODE

Prilikom pisanja diplomskog rada korišten je skup raznih znanstveno istraživačkih metoda kao što su metoda indukcije i dedukcije, statistička metoda i metoda opovrgavanja i dokazivanja.

1.5. STRUKTURA RADA

Ovaj diplomski rad je sastavljen od 12 međusobno povezanih cjelina. Te cjeline zajedno daju rezultate istraživanja i odgovaraju na probleme.

Uvod je prvi dio diplomskog rada. U njemu su navedeni problem, predmet i objekt istraživanja. Također tu su objašnjeni ciljevi i svrha istraživanja, te su tu navedene znanstvene metode korištene prilikom izrade diplomskog rada.

Simulacijsko modeliranje je drugi dio diplomskog rada. U ovom poglavlju se objašnjava čemu služe simulacije te obrazlaže za koje se procese simulacija koristi.

Treće poglavlje se pobliže bavi simulacijama, koja je njihova svrha, te se obrazlaže zašto je ona veoma bitna. U ovom se poglavlju objašnjava razlozi zašto je simulacija veoma koristan alat prilikom analiziranja određenog sustava.

U četvrtom ulomku se definiraju prednosti i nedostaci simulacije. Ovdje se detaljno obrazlaže svaki navedena prednost ili nedostatak sa ciljem što boljeg razumijevanja korisnosti simulacija.

Peti ulomak naziva Sustav, model, simulacija pobliže objašnjava šta su to sustavi, modeli i simulacije, te koje su im razlike.

Strukturiranje problema je šesto poglavlje i u njemu se detaljno objašnjava formalizacija problema, upoznavanje s problemom, klasifikacija sustava, komponente modela te ciljevi projekta.

Ulazni podaci je naziv sedmog poglavlja. U njemu se detaljno obrazlaže šta su to ulazni podaci. Poglavlje ulazni podaci sadrži manje ulomke među kojima su podaci koje treba uvrstiti u model, izvori ulaznih podataka, prikupljanje ulaznih podataka, klasifikacija ulaznih podataka i smjernice za prikupljanje podataka.

Osmo poglavlje se naziva Modeliranje i ono objašnjava šta je to modeliranje te navodi načine izbora simulacijskih softwarea .

Deveto poglavlje sadrži popis mnogih softwareskih opcija između kojih se može birati. Također tu se ukratko nabraja od kojih objekata se sastoji FlexSim, te se navode određeni detalji o tom softwarea.

U desetom poglavlju se prikazuje model koji je sastavljen po uzoru na trgovinu elektronike. U poglavlju ima dosta tablica koje sadrže ulazne podatke, te također ima dosta slika samog modela sa obrazloženjem zašto je na određeni način sastavljen.

Rezultati simulacije su jedanaesto poglavlje i ono sadrži grafove iz FlexSima temeljem kojih se vrši analiza ima li ikakvih problema u sustavu, te treba li išta mijenjati u istom.

Zadnje, dvanaesto poglavlje je zaključak. To je poglavlje u kojem se osvrće na cijeli diplomski rad te se navode zaključci vezani uz probleme rada.

2. SIMULACIJSKO MODELIRANJE

Svako poduzeće ili poslovnica ima svoj sustav i proces rada. Kako bi se izvršila provjera tog sustava, te kako bi se vidjelo jeli sustav efikasan i održiv trebaju se vršiti simulacije navedenog sustava.

Simulacijsko modeliranje i analiza je eksperimentiranje i stvaranje s računalnim matematičkim modelom fizičkog sustava. Simulacija računalom se vrši iz razloga što smanjuje rizik prilikom stvaranja novih sustava ili prilikom izmjene postojećih. Pomoću simulacija, koje rabe model za izradu zaključaka, se dolazi do uvida u način ponašanja različitih elemenata u realnom svijetu.

Osnovna priroda simulacije jest ta da se uporabom računalnog uređaja oponaša procese, objekte ili operacije stvarnog svijeta u skladu sa odgovarajućim pretpostavkama koje imaju oblik logističkih, matematičkih i statističkih odnosa.

Rezultatima se može lako manipulirati mijenjanjem ulaznih parametara. Time analitičar lakše može razumjeti dinamiku sustava koji se simulira. Podaci za procjenu značajka sustava se prikupljaju u stvarnom svijetu te se model najčešće procjenjuje brojučano tijekom simuliranog vremenskog razdoblja. Simulacije se upotrebljavaju za različite procese kao što su:

- sustavi proizvodnje,
- sustavi uslužnih djelatnosti,
- prognoziranje prodaje na tržištu uz promjene cijena ili dr. uvjeta,
- planiranje zaliha (npr. Monte-Carlo simulacija),
- alokacija resursa (investicijsko odlučivanje).¹

¹ <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A1037/datastream/PDF/view> (15.06.2023.)

3. SVRHA SIMULACIJE

Prvo treba postaviti pitanje zašto su uopće potrebne simulacije. Razloga zašto se koriste simulacije, a ne stvarni sustavi ima mnogo. Ti razlozi su:

- Neophodno je analizirati sustav tijekom dugog razdoblja
- Sustav je fizički nemoguće napraviti u svrhu simulacije
- Realni sustav ne postoji ili je prototip vrlo skup
- Realni sustav postoji, ali je eksperimentiranje skupo ili jako rizično

Sustavi koje je potrebno analizirati tijekom dugog perioda imaju logičan problem, a to je vrijeme. Period koliko treba da se taj sustav analizira je predug da bi se analizirao stvarni sustav. Zato se koristi simulacija kako bi se skratilo vrijeme analiziranja i kako bi se prije došlo do zaključka. Jedan primjer takvog sustava je epidemija korone.

Sustav koji je nemoguće napraviti u svrhu simulacije su sustavi kao što je nacionalna ekonomija. Takav sustav je nemoguće napraviti pa se zato koriste simulacijski sustavi.

Realni sustavi koji ne postoje ili je njihov prototip vrlo skup je jednostavno neisplativ u stvarnome svijetu tako da je logično da će se za analizu sustava rabiti simulacijski sustav. Jedan takav sustav su poslovni procesi tvornice.

Za kraj, tu su realni sustavi koji postoje ali je eksperimentiranje nad njima jako skupo ili rizično. To su sustavi kao npr. dobavni lanci.

Simulacijska analiza i modeliranje različitih vrsta sustava provode se u svrhu:

- Dobivanje informacija bez ometanja stvarnog sustava
- Razvijanje operativnih ili resursa za poboljšanje performansi sustava
- Dobivanje uvida u rad sustava
- Testiranje novih koncepata i / ili sustava prije implementacije

Dobivanje informacija bez ometanja stvarnog sustava omogućava eksperimentiranje sa sustavom bez prekida postojećih sustava. To je jako korisno pošto je u već postojećim sustavima testiranje novih ideja skupo, teško, a često i nemoguće. Na taj način se može napraviti željene modifikacije, te se odrediti njihov utjecaj na sustav. Potom je moguće te modifikacije primijeniti i u stvarnom sustavu ako nam je simulacija dala željene rezultate.

Razvijanje operativnih ili resursa za poboljšanje performansi sustava želi postojeći sustav poboljšati. Sustav se može poboljšati na dva temeljna načina, a to su pomoću

promjena u politici resursa ili promjena u poslovanju odnosno operacijama. Promjene u politici resursa može uključivati raspored rada dok promjene u poslovanju uključuju različite prioritete raspoređivanja poslova.

Neki sustavi su jednostavno toliko kompleksno složeni da je gotovo nemoguće shvatiti rad unutar sustava i interakciju bez dinamičkog modela. Također može biti nemoguće analizirati neki sustav ako se gledaju izolirane komponente ili kada je sustav zaustavljen. Zato je svrha simulacije dobivanje uvida u rad sustava.

Svrha simulacije je također testiranje koncepata sustava prije implementacije. Ona pokazuje koliko će predloženi sustav uistinu dobro funkcionirati. Na taj način se mogu lako procijeniti različiti učinci razina i troškova opreme te se uporabom simulacijskog modela, prije implementacije istih u stvarnom svijetu, može poboljšati konfiguracija odabrane opreme.

4. PREDNOSTI I NEDOSTACI SIMULACIJE

Kao i u svemu, i u simulacijama se mogu naći razne prednosti i nedostaci. Pod prednosti se svakako mogu staviti:

- Smanjeni analitički zahtjevi
- Eksperimentiranje u komprimiranom vremenu
- Jednostavan prikaz modela

Prije nastanka prvih računalnih simulacija, korisnici koji bi htjeli analizirati sustav su bili primorani rabiti analitički zahtjevnije alate. Upravo zbog toga su se mogli analizirati samo jednostavni sustavi koji su sadržali probabilističke elemente.

Također, eksperimentalne simulacije mogu se izvršiti u komprimiranom vremenu što znači i veliku uštedu vremena, pošto neki procesi znaju trajati mjesecima pa čak i godinama.² Pomoću simulacije je moguće veoma jednostavno pokrenuti višestruke replikacije svih simulacija kako bi se povećala statistička pouzdanost.

Valja i istaknuti da mnoštvo softwera specifičnih za simulaciju sadrži sposobnost dinamičkog animiranja rada modela. Također, smatra se da ima jednostavan prikaz modela i zato što animacija olakšava ispravljanje pogrešaka u modelu, te pokazuje način funkcioniranja modela krajnjim korisnicima.

Uz sve prednosti simulacija, valja istaknuti i glavne nedostatke simulacija. Pod nedostatke simulacija se ubrajaju:

- Simulacija ne može riješiti problem
- Izrada simulacijskog modela može zahtijevati specijaliziranu obuku.
- Simulacija ne može dati jednostavne odgovore na složena pitanja
- Rezultati simulacije uključuju puno statističkih podataka koje je potrebno analizirati.
- Simulacijsko modeliranje i analiza mogu biti skupi.
- Simulacija će dati krive rezultate ako su uneseni krivi ulazi

Veliki nedostatak kod simulacija je taj da menadžeri vjeruju da će simulacija modela i analiza podataka riješiti problem. Problem je u tome što su simulacije tu kao alat da se pomoću analize podataka modela dođe do zaključka dali naš sustav zadovoljava. Od

² <https://repository.pfri.uniri.hr/islandora/object/pfri%3A1956/datastream/PDF/view> (15.06.2023.)

simulacija se ne treba očekivati da će ona sama po sebi riješiti problem, jer je to nemoguće. Simulacija je samo tu da nudi potencionalna rješenja za rješavanje problema.

Drugi veliki problem je i neadekvatno znanje pojedinca koji radi na modelu. Cjelokupni proces simulacijskog modeliranja i analize podataka je vrlo složen proces koji može zahtijevati specijalizirano osoblje.

Jedan od problema je da simulacija na složene probleme ne može dati jednostavni odgovor. Od složenih sustava i modela, sa složenim pitanjima, mogu se očekivati složeni odgovori. Prilikom pokušaja pojednostavljenja modela, ako se pritom zanemare kritični elementi sustav, velika je vjerojatnost da će dobivena rješenja biti kriva ili neoptimalna.

Rezultati simulacije uključuju puno statističkih podataka što stvara problem pošto je pojedincima bez znanja statistike teško protumačiti sažete simulacijske rezultate.

Kao i u većinu toga u svijetu, simulacije i modeliranje mogu biti jako skupe. Razlog tomu su što proces razvoja složenih simulacijskih modela može dugo potrajati, a još k tome simulacijski software ima dosta visoku cijenu.

Također, čak i u slučaju da je model dobro razvijen, ako model nema istinite ulazne podatke, nemoguće je dobiti točne izlazne podatke. Do takvih situacija se može doći prilikom preuzimanja podataka sumnjive kvalitete kako bi se uštedjelo na vremenu koje bi se potratilo na prikupljanje ulaznih podataka, ali se ipak najčešće dođe do takvog problema kada su nepoznati uvjeti pod kojim su ti podaci prikupljeni.

5. SUSTAV, MODEL, SIMULACIJE

5.1. SUSTAV

Za sustav se može reći da je on izdvojeni dio realnog svijeta kojeg istražujemo. Sustav se sastoji od komponenti, te svaka komponenta u sustavu djeluje na barem još jednu drugu komponentu u sustavu. Komponente mogu biti dinamičke i statičke te svaka od komponenti u sustavu ima atribute. Ti atributi se opisuju s određenim vrijednostima, te je stanje sustava određeno stanjem svih komponenti sustava. Prema definiciji, sustav je zbirka entiteta koji zajednički djeluju prema nekom kraju (Schmidt i Taylor, 1970)³

Sustave možemo podijeliti na kontinuirane i diskretne sustave. U kontinuiranim sustavima se stanje varijable kontinuirano mijenja u funkciji vremena. Najbolji primjer takvog sustava je let zrakoplova. U takvom sustavu se varijable položaja i brzine kontinuirano mijenjaju. Sa druge strane diskretni sustavi sadrže statusne varijable koje se trenutačno mijenjaju u odvojenim točkama u vremenu. Savršeni primjer je model banke, gdje se promjene stanja pojavljuju samo kada gost stigne i prođe. Međutim, mnogi sustavi su djelomično diskretni i djelomično kontinuirani.

5.2. MODEL

Postoje mnoge definicije za model, ali najbolje mu pristaje definicija da je model prezentacija sustava koji se koristi za razumijevanje ponašanja sustava i strukture. Pomoću modela se lako predočava iskustvo pojedinca i znanje vezano uz sustav koji se istražuje. Model služi za postavljanje hipoteze i njeno dokazivanje. Omogućuje istraživanje i oblikovanje obilježja novih rješenja koja se najčešće ne mogu ispitati drugačije. Može se reći da je formuliranje novih ideja osnovna uloga modela. Međutim valja istaknuti da je model nemoguće sastaviti bez teorije te da je u biti model predočena teorija. Model je lakše upravljiv i konkretniji od drugih alternativa. Može se reći da je model tu kako bi se ispitali zaključci teorije, ali se ne može objasniti ponašanje realnog sustava. Mnoge stvari omogućuju modeli, među kojima su opis kompleksnih fenomena, bolje razumijevanje tih

³ Izvor: Schmidt, J. W., Taylor, R. E. 1970., Simulation and Analysis of Industrial Systems, R. D. Irwin, p. 4 (21.06.2023.)

problema, komunikacija onih koji rješavaju problem te samo rješavanje problema. Modele možemo podijeliti na više vrsta, a to su:

- Matematički
- Materijalni
- Konceptualni
- Mentalni
- Računalni

Matematički model je matematički nekog sustava ili procesa kojeg se želi analizirati. Ovu vrstu modela možemo podijeliti na teoreme i aksiome. Teoremi su činjenično točne tvrdnje, dok su aksiomi tvrdnje koje smatramo istinitima bez dokaza. Potpuna suprotnost matematičkom modelu je materijalni model koji je fizički model koji je minijaturna, ali vjerna replika realnog sustava koji želimo analizirati. Za konceptualni model se može reći da je osnova za izradu računalnih modela. Savršen je za vizualiziranje modela te se bazira na dijagramima. Mentalni model je specifičan, jer je on u biti osobni pogled na svijet od strane subjekta. Ova vrsta modela je determinirana od strane našeg razmišljanja, a čak i našeg djelovanja. Modeli su nestabilni, nemaju čvrste granice, nepotpuni su, zasnovani su na predrasudama, imaju ograničene mogućnosti manipulacije te nisu laki za korištenje. Simulacijske modele možemo podijeliti na stohastičke i na determinističke. Stohastički modeli su oni modeli čije se ponašanje ne može unaprijed predvidjeti, ali je ipak moguće odrediti vjerojatnost promjene stanja. Sa druge strane, deterministički modeli su potpuno predvidljivi, novo stanje sustava je definirano prethodnim stanjem te je trajanje promjene determinističko.

Simulacijski modeli temelje se na matematičkim modelima, koji se mogu podijeliti na (Greasly, 2004):

- Statički model
- Dinamički model⁴

Pod statičke modele se ubrajaju nelinearno i linearno programiranje, analitičko programiranje te Monte Carlo simulacije. Statički modeli su prikaz sustava u određenom stanju, što ustvari znači da ne ovise o vremenu. Ti modeli se koriste za objašnjavanje sustava

⁴ <https://vdocuments.mx/1-pojam-i-vrste-simulacija-efosunioshr-zaprimanja-zahtjeva-za-kredit-na-alteru.html?page=5> (21.06.2023.)

koji je u stacionarnom stanju. Dinamičke modele se može podijeliti na kontinuirane, diskretne i na miješano kontinuirano diskretni modeli.

Kontinuirani modeli su modeli u kojima se varijable mijenjaju kontinuirano u vremenu.⁵ Nažalost, računala ne mogu izvoditi kontinuirane promjene tako da se aproksimiraju promjenama u malim vremenskim pomacima.

U diskretnim modelima se u sustavu stanje izmjenjuje samo u određeni vremenskim točkama. Te promjene se nazivaju zbivanja ili događaji. Stvarni modeli su najčešće dinamički, stohastički i diskretni.

5.3. OSNOVNI POJMOVI SIMULACIJE DISKRETNIH DOGAĐAJA

U simulacijama diskretnih događaja pod osnovne komponente spadaju:

- Entiteti
- Redovi čekanja
- Resursi

Entitet je komponenta koja mijenja stanje u sustavu i ona može biti osoba ili objekt. Neki od bitnih pojmova kada je riječ o entitetu su vrijeme između dolaska entiteta niz entiteta (batch) i atributi entiteta. Vrijeme između dolaska entiteta je vrijeme koje prođe između dolaska entiteta u sustav te je ona recipročna vrijednost broja dolazaka. Batch je kvantiteta entiteta koji dolaze u sustav u isto vrijeme, dok su atributi entiteta varijable koje imaju jedinstvene vrijednosti. Također simulacijski program može koristiti globalne varijable, ali se te varijable se ne bi trebalo miješati sa atributima entiteta. One se razlikuju od atributa entiteta po tome što globalna varijabla može imati samo jednu vrijednost u određenom vremenu

U redovima čekanja entiteti najčešće čekaju dok se ne obradi njihov red. Najjednostavniji sustavi koriste FIFO. Značajka jednostavnih sustava je ta da prilikom ulaska u sustav, entiteti odmah uđu u neki red čekanja.

Za procesuiranje entiteta, potrebni su resursi. Pod resurse spadaju strojevi, serveri, radnici itd. Resursi u jednostavnim modelima mogu biti zauzeti ili neaktivni. Resursi su zauzeti kad obrađuju entitete dok su neaktivni kad su dostupni za obradu, ali nema entiteta

⁵ <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:6376/datastream/PDF/view> (21.06.2023.)

u redu čekanja. U kompleksnijim modelima resursi mogu biti privremeno neuspješni ili neaktivni. Resursima je potreban neki vremenski period za obradu usluge entitetima.

Mjere izvedbe su izlazni podaci koji se koriste radi usporedbe sa drugim oblicima modela. U principu postoje četiri uglavnom korištene mjerne izvedbe, a one su

- Vrijeme u redu čekanja
- Vrijeme u sustavu
- Iskoristivost resursa
- Prosječan broj entiteta u redu čekanja

Vrijeme u redu čekanja je izlazna mjera koja samo daje vrijeme koje entitet provede u redu čekanja. Isto kao i vrijeme u redu čekanja, vrijeme u sustavu je izlazna mjera koja mjeri ukupno vrijeme koje entitet provede u sustavu. Vrijeme u sustavu započinje kada entitet stigne u sustav i završava tek kada izađe iz njega. Iskoristivost resursa je vremenski zavisani podatak. Resurs u bilo kojem trenu može biti zauzet ili neaktivan. U slučaju mirovanja, odgovara nivou uporabe resursa 0, a ako je u upotrebi 1. Za kraj prosječni broj entiteta u redu čekanja je isto statistički podatak ovisan o vremenu.

6. STRUKTURIRANJE PROBLEMA

6.1. FORMALIZACIJA PROBLEMA

Kako bi se započeo bilo kakav značajni projekt simulacije, prvo je potrebno osigurati odgovarajuću pozornost. Ta pozornost mora biti usmjerena prema razumijevanju onoga što se želi postići simulacijom. Taj proces je poznat kao proces formuliranja problema, a sastoji se od formalne izjave o problemu, oblikovanja sustava i utvrđivanja specifičnih ciljeva projekta. Formalizacija problema pruža jasan cilj simulacijskog projekta. Izjava može sadržati:

- Povećanje protočnosti
- Smanjenje rada
- Povećanje zadovoljstva kupaca
- Smanjenje škarta

Poboljšanje propusnosti uključuje broj radnih mjesta ili količinu proizvoda koja se mogu procesuirati u određenom vremenskom roku. Može uključivati evidentiranje i redizajniranje uskih grla u procesu, te može sadržati poboljšanje ili uklanjanje različitih procesnih operacija. Rješavanje problema uskog grla dolazi do veće i efikasnije protočnosti robe ili kupaca.

Rad u tijeku je posao koji zahtjeva daljnju obradu te se obično nalaze u procesima koji zahtijevaju više diskretnih operacija. Najčešće zahtjeva spremanje prije što se može izvršiti sljedeći postupak. Smanjenjem rada se smanjuju i troškovi procesa povezanih sa zahtjevima pohrane i kapacitetom resursa. Rad u tijeku najčešće može proizaći iz nedovoljnog odnosa resursa, kapaciteta ili loših operativnih odluka.

Povećanje zadovoljstva kupaca bi trebao biti cilj svake trgovine. Što je više kupaca zadovoljno uslugom, to su veće šanse da će se vratiti. Time se potencionalno povećava promet poslovnice te se sukladno tome i povećava zarada.

Smanjenjem škarta se smanjuju operativni troškovi te se povećava neto dobit. Škart se smanjuje tako što se uspije smanjiti anakronizme i količina kvarove u sustavu nad kojim vršimo simulaciju.

5.2.1. Alati za izradu formalne izjave o problemu

Kod izrade izjave o problemu, dostupna su dva alata koji se najčešće koriste a to su:

- Pareto dijagram
- Ishikava (riblja kost) dijagram

Pareto dijagram (analiza) je razvijena kao dijagramska metoda za grupiranje uzroka problema prema njihovom relativnom značaju. Ovaj dijagram predstavlja postupak izbora prioriternih problema koje treba riješiti. Događa se veoma često da je više od polovice značajki jednog problema ustvari rezultat jednog uzroka te u takvoj situaciji uklanjanje najznačajnijih problema i lokalizacija istih ima puno bolji prikaz nego uklanjanje svih uzorka. Ukratko, svrha Pareto analiza je istaknuti najbitnije unutar najčešće velikog skupa čimbenika. Također u kontroli kvalitete često predstavlja najčešće izvore nedostataka, najčešći razlog za pritužbe ili najrašireniju vrstu kvara. Wilkinson je razvio algoritam za izradu statistički utemeljenih ograničenja prihvaćanja za svaku traku u dijagramu.

Ishikawa dijagram je dijagram uzroka i posljedica te ona predstavlja jednostavnu i veoma korisnu metodu za sagledavanje više mogućih uzroka koji dovode do posljedica koji se analizira. Vizualni prikaz uzorka dosta pojednostavljuje analizu njihovog međusobnog značaja i odnosa.⁶ Ovaj dijagram u pravilu izrađuje grupa djelatnika koji imaju dostatna saznanja o razmatranom problemu. Poželjno je, ali ne i nužno da s unutar grupe nalaze pojedinci raznih stručnih područja i različitih kvalifikacija. Izrada dijagrama se sastoji od identificiranja posljedica, uzroka i drugih faktora koji utječu na pojavu uzroka. Pod najčešće uzroke spadaju okruženje, procesi, oprema, materijal, ljudi i organizacija.

6.2. UPOZNAVANJE SA PROBLEMOM

U procesu formuliranja problema, upoznavanje s problemom je drugi korak. Najčešće, izvođač ne posjeduje adekvatno znanje kao djelatnici koji su svakodnevno uključeni u proces. U slučaju da izvođač ima neki kontakt sa sustavom, može misliti da ima dovoljno znanje da zaobiđe formalno upoznavanje. Međutim, to je uvijek loša odluka, pošto iako se može imati opće poznavanje sustava, malo je vjerojatno da je izvođač upoznat sa sustavom

⁶ <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fsb%3A5088/datastream/PDF/view> (21.06.2023.)

sa simulacijskog stajališta. Trebalo bi se ponovno pregledati sustav imajući na umu načine modeliranja i analizirati sustav sa razumijevanjem detalja povezanih sa simulacijskim modeliranjem. Proces upoznavanja bi se trebao sastojati od najmanje tri različite vrste posjeta:

1. Početni posjet
2. Detaljni posjet
3. Posjet koji služi za provjeru modela

Početni posjet ima za svrhu postignuti razumijevanje osnovnih ulaza i izlaza sustava na što višoj razini. Navedena vrsta orijentacije se obično provodi kao vodeći obilazak. Valja istaknuti da je važno da se ne pokuša razumjeti previše pojedinosti o sustavu.

Detaljni posjeti postoje kako bi se moglo detaljno prikupiti potrebne informacije o radu sustava. Takvi susreti ne moraju biti sa pratiteljem te u ovoj fazi nije neophodno prikupiti bilo kakav ulazni podatak. Kod ovih posjeta valja napraviti detaljne napomene o radu sustava snimanjem:

- Broja i vrste redova čekanja
- Redoslijeda procesa
- Vrste entiteta koje sustav obrađuje
- Broja i vrste resursa sustava

Veoma bitan posjet je onaj koji služi za provjeru modela. Njime se provjerava model i ulazni podaci će se prikupiti u kasnijem trenutku. Svrha faze upoznavanja je razumijevanje sustava kojeg se treba modelirati.

6.3. KLASIFIKACIJA SUSTAVA

Klasifikacija sustava je prvi korak u fazi definiranja sustava. Ti sustavi se mogu klasificirati u odnosu na dvije dimenzije:

1. Sustav završava (terminirajući) ili ne završava (ne terminirajući)
2. Sustav može biti kontinuiran, diskretan ili kombiniran
 - Rad simulacijskog sata
 - Kontinuirano

- Sustav se stalno mijenja
- Diskretno
 - Sustav se mijenja početkom ili krajem događaja, između se stanje ne mijenja
- Kombinirano

Terminirajući i ne terminirajući sustavi govore da li sustav završava s radom ili ne. Ovi sustavi se razlikuju po inicijalnim početnim uvjetima i po postojanju prirodnog završenog događaja.

Razlika po inicijalnim početnim uvjetima je jedan od načina raspoznavanja između terminirajućeg i ne-terminirajućeg sustava. Terminirajući sustavi počinju svaki vremenski period bez ikakvog utjecaja iz prethodnog vremenskog razdoblja. Mnogi takvi sustavi koriste entitete tipa kupca, te ti sustavi nemaju entitete koji su ostali u sustavu iz prethodnog vremenskog razdoblja. Sa druge strane ne-terminirajući sustav može započeti s entitetima već u sustavu iz prethodnog vremenskog razdoblja. U tom se slučaju sustav može zatvoriti s entitetima još uvijek u sustavu. Na početku idućeg razdoblja, sustav započinje rad s onim što je ostalo od prethodnog razdoblja. Iako se sustav zatvara između vremenskog razdoblja, on počinje kao da nikad nije bio zatvoren. Druga vrsta ne-terminirajućeg sustava zapravo nema vrijeme početka niti zatvaranja. Ove vrste sustava se samo neprekidno izvode. Onda sustav nikad ne prestaje, tako da nikada ne može biti bez entiteta. Ne-terminirajuća simulacija ne znači da simulacija nikad ne završava, nego to samo znači da bi simulacija teoretski mogla ići na neodređeno vrijeme bez statističke promjene u ponašanju.

Drugi način raspoznavanja je postojanje prirodnog događaja. U slučaju postojanja prirodnog događaja, sustav se može klasificirati kao terminirajući sustav.

6.4. KOMPONENTE MODELA

Kada je sustav velik, može biti veoma teško identificirati koji se dijelovi sustava trebaju modelirati, stoga je predloženi pristup da se započne sa grubim modelom kojeg će se kasnije poboljšavati. Korisnije je imati model viših razina koji se može koristiti za ograničenije analize nego jako razrađen model koji se ne može koristiti za analizu. Modeli sustava proizvodnje i modeli usluga će imati različite komponente sustava, a neke od tih komponenti su:

- Strojevi
 - Strojevi u proizvodnom sustavu:
 - Tokarilice
 - Mehanički strojevi s numeričkim upravljanjem
 - Roboti
 - Strojevi za obradu
 - Strojevi u sustavima povezanim s uslugama:
 - Strojevi za ulaznice
 - Automatski blagajnik
 - Mrežni ili računalni sustavi
 - Skeneri
- Transporteri
 - Montažne linije u proizvodnji
 - Pomične stepenice
 - Sjedežnice
- Osobe
 - Strojevi u proizvodnom sustavu:
 - Rukovatelji materijalom
 - Operatori strojeva
 - Strojevi u sustavima povezanim s uslugama:
 - Prodavači
 - Kupci
- Vozila
 - Strojevi u proizvodnom sustavu:
 - Ručni viličari
 - Automatski vođena vozila
 - Kranovi
 - Viličari
 - Strojevi u sustavima povezanim s uslugama:
 - Autobusi
 - Zrakoplovi
 - Vlakovi

Prilikom izrade modela se treba odlučiti koji će se događaji i procesi trebati staviti u sustav. Jedan od primarnih načina određivanja procesa koje treba modelirati je uključivanje bilo kojeg procesa koji se tijekom vremena može izvoditi drugačije. Korisnici, u uslužnom sustavu, mogu čekati u redu različiti vremenski period, kupiti različitu robu ili različite usluge. Kupci također mogu platiti robu ili uslugu drugačije tako da model mora sadržavati dolazak kupaca na područje prerade, ponašanje korisnika u čekanju, obradu usluge i plaćanje robe.

Kada je riječ o dolasku kupaca, većina uslužnih sustava uključuje redove čekanja. Te redove čekanja možemo podijeliti na jedan red čekanja, paralelni red čekanja i na pojedinačni redovi čekanja u obliku zmije. U tim redovima čekanja ima mnogo načina na koji se izlazi iz njih, odnosno postoje različiti sustavi sa različitim prioritetima reda čekanja. Njih možemo podijeliti na:

- Posljednji u prvi van (LIFO)
- Prvo u prvom van (FIFO)
- Najduže vrijeme obrade (LPT)
- Najkraće vrijeme obrade (SPT)
- Najviša vrijednost prve (HVF)
- Najniža vrijednost prva (LVF)
- Posebne osobe (VIP)
- Korisnička pravila

Ponašanje u redu čekanja uključuje radnje entiteta u vezi s ulazom i redosljedom u sustavu. Postoje tri vrste ponašanja, a to su reneging, balking i jockeying. Reneging je vrsta ponašanja u redu čekanja, kada entitet ulazi u red, ali ga napušta prije obrade. To su korisnici koji su umorni od dugog čekanja pa su se odlučili otići. Za razliku od reneginga, balking se pojavljuje kada korisnik ulazi u sustav, ali ga napušta prije nego što uopće uđe u red čekanja. Ova vrsta ponašanja je rezultat suočavanja s dugim redom čekanja ili s ograničenim kapacitetom redova. Jockeying je specifičan jer je povezan samo s paralelnim redovima i to je kada se entitet prebacuje između različitih redova u nadi da će doći prije na red.

6.5. CILJEVI PROJEKTA

U ovom trenutku definiranja problema simulacijske studije, upoznavanje sustava je završeno. Sada je samo nužno odrediti ciljeve projekta, a za to je potrebna suradnja s pokretačima simulacijske studije. Najčešći ciljevi projekta mogu uključivati:

- Metode povezane s produkcijom
- Metode povezane s troškovima
- Metode povezane s resursima
- Procjenu mogućnosti opreme

Metode povezane s produkcijom su analiza različitih vrsta prioriteta konfiguriranja. U tom slučaju prioriteti raspoređivanja rezultiraju najmanjim brojem zadataka koji kasne u odnosu na druge ili najmanjim prosječnim vremenom sustava. Primjerice to bi bilo promjena rasporeda unutar prostora ili preventivno održavanje. Pod metodom povezanom uz troškove se smatra da je većina ciljeva simulacijskog projekta usredotočena na smanjenje troškova, uz istovremeno zadržavanje razine izvedbe. Sa druge strane, metoda povezana s resursima uključuje raspodjelu i razinu resursa s manjom pažnjom na trošak. U tom slučaju bi cilj projekta bio identificirati točku smanjenja učinkovitosti s obzirom na resurse. Također cilj simulacijskog projekta može biti i određivanje ili testiranje mogućnosti nove opreme. Bez da se izvrši simulacija nove opreme, ne postoji nikakva garancija da će oprema funkcionirati onako kako se zahtijevalo. Kako bi se utvrdilo ciljeve projekta, koriste se tri alata. Ti alati su:

- Delfi proces
- Brainstorming
- Tehnika nominalne grupe

Brainstorming je metoda pronalaska ideja. Osnovna pravila brainstorminga su da nisu dozvoljeni komentari, ispravci i kritike, dozvoljeno je slobodno povezivanje i maštanje, cilj je dobivanje velikog broja ideja u najkraćem vremenu te kombiniranje izrečenih ideja.

Delfi proces je proces koji upotrebljava upitnike. U ovom procesu, skupina se sastoji od stručnjaka, te bi bilo savršeno kada članovi skupine ne bi znali tko se sve nalazi u istoj. Ova metoda se primjenjuje kada se ispituje veći broj ljudi nego što je to moguće napraviti licem u lice. Također se ova metoda primjenjuje kada se želi izbjeći superioran utjecaj nekog pojedinca. Koraci u delphi metodi su:

1. Predočavanje problema (upitnik)
2. Popunjavanje upitnika
3. Prikupljanje i distribucija rezultata.
4. Popunjavanje drugog (i idućeg) upitnika
5. Konsenzus (opća suglasnost)⁷

⁷ <https://hr.wikipedia.org/wiki?curid=72766> (21.06.2023.)

7. ULAZNI PODACI

7.1. PODACI KOJE TREBA UVRSTITI U MODEL

Podatke u modelu možemo podijeliti na ulazne i izlazne podatke. Ulazni podaci su ulazne vrijednosti koje ulaze u sustav. Oni utječu na rad sustava i na podatke na izlazu. Postoje dvije osnovne kategorije ulaznih podataka, a to su podaci o resursima i podaci o entitetima. Za resurse se može reći da su oni dijelovi sustava koji obrađuju entitete sustava. Također još neki od vrsta ulaznih podataka su vrijeme dolaska, veličina grupa, Reneging, Balking i Jockeying, vrijeme usluge, klasifikacije, plansko održavanje, postotak kvarova, vrijeme u kvaru, vrijeme kretanja i ostali ulazni podaci.

Sa druge strane izlazni podaci se koriste za mjerenje rezultata simulacije. Koriste se za utvrđivanje modela i provođenje eksperimenata na modelu. Prilikom eksperimentiranja stvaramo modele s različitim pravilima o resursima i poslovanju, te prilikom procesa provjere modela se prikupljaju izlazne mjere. Kada se prikupe izlazne mjere, uspoređuje se simulacijski model sa stvarnim sustavom. Osnovne mjere sustava su:

- Prosječno vrijeme u redu čekanja
- Prosječna iskoristivost
- Prosječno vrijeme i broj entiteta u redu čekanja
- Prosječno vrijeme u sustavu
- Brojači

7.2. IZVORI ULAZNIH PODATAKA

Kada se priča o izvorima ulaznih podataka valja reći kako postoji velika količina izvora koji se mogu koristiti kako bi se dobili ulazni podaci. U slučaju da nema stvarnog modela sustava, i dalje je moguće dobiti potrebne ulazne podatke iz drugih izvora. Postoji velika količina izvora ulaznih podataka, a neke od njih su: izravno promatranje, povijesni zapisi, procjena uprave, automatsko snimanje podataka, tvrdnje prodavača, specifikacija proizvođača i procjena radnika.⁸

⁸ <https://moodle.srce.hr/2022-2023/course/view.php?id=154605> (21.06.2023.)

Prikupljanje podataka je gotovo uvijek najteži dio simulacijskog procesa. Izravno promatranje je najviše mentalno i fizički zahtjevni oblik prikupljanja podataka. Sama upotreba pristupa izravnog promatranja može biti osobito skupa i naporna, ako se mora prikupiti velika količina podataka o rijetkim događajima. U slučaju povijesnih zapisa, on se koristi kada postoji osnovni ili sličan sustav. S obzirom da postoje zapisi pa neće biti potrebno prikupljati podatke u realnom vremenu, ovaj pristup se može činiti veoma atraktivnim. Međutim, postoji tri velika rizika kada je riječ o povijesnim zapisima. Glavni rizik je taj da se taj izvorni povijesni sustav promijenio na neki način ili nije identičan trenutnom ili predočenom sustavu. Drugi problem je taj da povijesni podaci možda nisu bili prikupljeni uzimajući u obzir simulacijski model. Također veliki rizik je i kvaliteta samih podataka. To znači da podaci koji su potrebni, ustvari nisu dostupni. Procjena uprave je veoma dobar način dolaženja do ulaznih podataka pošto operatori koji koriste opremu mogu biti vrijedan izvor podataka kada nema dovoljno vremena za prikupljanje stvarnih podataka. U ovom slučaju, nužno je potražiti inženjera, menadžera ili radnika koji su povezani sa sustavom. Za kraj, automatsko snimanje podataka je korisno jer se može postaviti neka vrsta automatskog sustava za snimanje podataka. Neki od primjera su monitori u prometu. Oni broje učestalost vozila koja prolaze određenom točkom tijekom određenog vremenskog perioda.

7.3. PRIKUPLJANJE ULAZNIH PODATAKA

Kako bi model i simulacija bili točni, potrebno je prikupiti što kvalitetnije ulazne podatke u sustavu. Zato je najbolja politika ta da se, ako to resursi i vrijeme dopuštaju, sakupe izvorni vidljivi ulazni podaci. Kada se prikupljaju ulazni podaci u realnom vremenu, ti podaci se prikupljaju ili ručno ili pomoću elektroničkih uređaja. Jedan od takvih elektroničkih uređaja je kamera. Uporaba videa daje mogućnost prikupljanja podataka bez utjecaja na sustav, ali postoji problem što se treba uzeti u obzir pitanje privatnosti.

U slučaju simulacijskih ulaznih podataka, važno pitanje je vremenska jedinica. Na sreću, postoji širok spektar opcija elektroničkih uređaja za mjerenje vremena. Najčešći način prikupljanja podataka o vremenu se radi snimanjem apsolutnog vremena ili vremena kada različiti entiteti dolaze u sustav. Međutim, postoji problem, a to je da je potreban dodatni rad kako bi se pretvorilo apsolutno u relativno vrijeme. To se računa tako što se izračunava vrijeme između događaja.

Jedan od bitnih razloga zašto se trebaju prikupljati podaci, pošto podaci ne smiju biti pristrani. Radnici znaju ponekad pokušavati utjecati na rezultate prikupljanja podataka. Radnici mogu namjerno usporiti sa svojim radom kako bi onemogućili postavljanje visokih normi, dok neki radnici znaju tokom istraživanja ubrzati sa radom kako bi izgledali produktivnijima. To dovodi do toga da model počne davati netočne izlazne podatke, koji nisu realni, pa nadležne osobe mogu doći do krivog zaključka. Zato je najbolje prije prikupljanja ulaznih podataka najbolje porazgovarati sa radnicima i objasniti im koja je svrha prikupljanja podataka. Također kada se prikupljaju podaci, nipošto se ne smije remetiti proces. Prisutnost osobe koja prikuplja podatke, može dovesti do toga da se pojedinci ponašaju abnormalno, što opet može dovesti do krivih rezultata.

7.4. KLASIFIKACIJA ULAZNIH PODATAKA

Kada je riječ o ulaznim podacima, oni se mogu klasificirati u diskretne ili kontinuirane podatke te determinističke ili stohastičke podatke.

Diskretni podaci su oni podaci koji mogu imati samo određene vrijednosti. Primjeri takvih podataka u simulacijama su broj obavljenih poslova prije nego se pokvari te broj entiteta koji dolaze u sustav kao serija ili grupa. Sa druge strane, kontinuirani podaci su oni podaci koji mogu poprimiti bilo koju vrijednost. Primjeri takvih podataka su vrijeme na putu, vrijeme između dolaska i vrijeme održavanja. Deterministički podaci su uvijek potpuno definirani, predvidivi su svaki puta. Te podatke je dovoljno prikupiti samo jednom pošto se ne mijenjaju. Najbolji primjeri za navedene podatke bi mogli biti brzina transportera, vrijeme preventivnog održavanja i računalom upravljani strojevi. Probabilistički ili stohastički podaci su oni podaci koji imaju promjenjiv proces. Za razliku od determinističkih podataka, stohastički podaci nemaju točno određeno ponašanje. Stohastički podaci slijede razdiobu vjerojatnosti te se ne može točno predvidjeti točan rezultat, već su podaci vezani uz slučajne događaje. Primjeri tih podataka su vrijeme između dolazaka, vrijeme održavanja i procesi korisničke službe.

7.5. SMJERNICE ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA

Kada se prikupljaju podaci, prvo se preliminarno prikupljaju neke stvari. Prvo se odredi izgled sustava, koji su bitni entiteti te koji je tijek tih entiteta i određuju se podaci. Onda se nakon toga rješavaju problemi, odnosno donosi se gruba procjena vremenske obrade. Tek onda se detaljno prikupljaju podaci vezani uz uslugu, redove čekanja, dolaske i anomalije.

Najbitnije je usredotočiti se na podatke koji su vezani na ciljeve i probleme. Potrebno je sakupiti dovoljno podataka te da su isti kontinuirani. Kada je riječ o tome koji se ulazni podaci prikupljaju, sve ovisi o tome koji su ciljevi simulacije.

8. MODELIRANJE

Modeliranje je logičko, matematičko ili fizičko predočavanje prirodnih, društvenih i tehničkih sustava i pripadajućih procesa.⁹ Njegov završni produkt je model. Od modela se očekuje da je fleksibilan i modularan, te da omogućuje jednostavne promjene, da ima izražajne mogućnosti modeliranja i da je lako razumljiv, jednostavan i nedvosmislen prikaz elemenata sustava.

Modeliranje poslovnih procesa (BPM) prikazuje procese u tvrtki te je zadužen za unaprjeđenje učinkovitosti kvalitete i procesa. Klasične metodologije su:

- Dijagram tijeka
- Funkcijski blok dijagrami
- IDEF
- Use – case analiza
- UML
- BPMN

Dijagram tijeka prikazuje korake kao geometrijske likove koji su povezani strelicama. Koristi se u projektiranju, analizi, dokumentiranju ili upravljanju procesa ili programa u različitim područjima. Simboli koji se nalaze u dijagramu tijeka su početak i kraj, proces, ulaz/izlaz, odluka ili uvjet i tijek procesa. Use – case analiza je analiza u kojoj su korisnici izvan sustava, ali su u interakciji sa sustavom. Korisnici primaju, osiguravaju i koriste funkcije sustava. Use cases predstavljaju komunikaciju između sustava i korisnika i definira funkcionalnost sustava. Ova vrsta analize je sastavni dio UML-a. Za UML se može reći da je to ujedinjeni sveobuhvatni jezik za modeliranje. Također to je standardizirani jezik za slikovno modeliranje i predstavljanje objekata. UML sadrži mnoštvo tehnika grafičkih notacija za stvaranje apstraktnih modela. Valja istaknuti i da objedinjava modeliranje poslovanja odnosno radnog procesa, objedinjava modeliranje objekata i komponenti te koncepte modeliranja podataka

⁹ <http://struna.ihjj.hr/naziv/modeliranje/35046/> (21.06.2023.)

8.1. IZBOR SIMULACIJSKOG SOFTWAREA

U današnje doba postoji širok spektar različitih računalnih simulacijskih programa. Razvijeno je mnoštvo simulacijskih softwarea kako bi se svladali nedostaci vezani s modeliranjem kompleksnih sustava koji se temelje na jeziku opće namjene. Neki od tih jezika su C, FORTRAN i Basic. Većina općih jezika visoke razine se mogu koristiti za izradu simulacijskog modela. Gotovo bilo koji opći programski jezik visoke razine može se koristiti za stvaranje simulacijskih modela. Neki od tih programskih jezika su C++, Pascal, Python, Visual Basic, FORTRAN i Java.

Prilikom izbora simulacijskog softwarea, treba razmotriti par stvari. Nužno je jasno navesti problem ili vrstu problema koji se treba riješiti. Mora se odrediti opća vrsta simulacijskog alata nužnog za rješavanje problema. Kod izbora je i važno napraviti početno istraživanje mogućih rješenja te izraditi popis funkcionalnih zahtjeva. Pošto je svrha simulacijskog softwarea da se što više olakša proces analiziranja nekog sustava, potrebno je i odabrati podskup alata koji najbolje odgovaraju funkcionalnim zahtjevima sustava koji se analizira. Zato je nužna detaljna analiza i procjena alata i odabir rješenja.

Kod utvrđivanja opće vrste simulacijskog alata, treba odrediti nužnu opću vrstu simulacijskog alata. Kada je riječ o određivanju vrste simulacijskog alata, možemo ih podijeliti u četiri grupe. Te grupe su:

- Simulacija agentima
- Kontinuirana simulacija
- Simulacija diskretnih događaja
- Hibridna simulacija

Simulacija agentima je posebna vrsta simulacije diskretnih događaja unutar koje se nalaze mobilni entiteti poznati kao agenti. Kada je riječ o tradicionalnom modelu diskretnih događaja, entiteti imaju attribute, dok agenti imaju uz attribute i svoje metode. Atributi su svojstva koja mogu kontrolirati njihovu interakciju s različitim resursima dok su metode pravila za interakciju s drugim agentima. Model na temelju agenata bi mogao biti model neke prometnice, gdje ljudi voze i međusobno djeluju.

Za kontinuiranu simulaciju se može reći da je ona razred alata koji rješava diferencijalne jednadžbe koje opisuju sustav. Ova vrsta simulacijskog alata je najbolja ako se podaci ili materijal koji se simuliraju mogu opisati kao razvoj ili ako se kreću

kontinuirano. Najbolji primjer takve vrste simulacijskog alata je simulacija kretanja nafte kroz niz spremnika i cijevi. Ova vrsta simulacija se može koristiti i za simulaciju sustava koji sadrže diskretne entitete ako je njihov broj toliko velik da se kretanje može tretirati kao tok.

Kada je riječ o simulacijama diskretnih događaja, može se reći da se ti alati oslanjaju na transakcijski pristup sustavima modeliranja. Ovakvi modeli se sastoje od resursa, entiteta i kontrolnih elemenata. Općenito, simulacija diskretnih događaja se koristi za simulaciju procesa gdje kretanje nije kontinuirano.

Prilikom nabave simulacijskog softwera potrebna je predanost ulaganja u taj software. Treba biti svjestan da software sam po sebi neće pomoći u rješavanju problema. Nije ga dovoljno samo kupiti, već je potrebno i uložiti novac i vrijeme kako bi zaposlenik naučio koristiti navedeni software. Prilično je važno razumjeti da trošak alata za simulaciju nije jedino trošak samog softwera, nego i trošak izrade samog modela.

Najčešće greške kod izbora simulacijskog softwera je ne uključivanje svih dionika, izrada nejasnih planova, razvrstavanje svih zahtjeva pod obavezne ili pod zahtjeve visokog prioriteta te navođenje zahtjeva koji uopće nisu potrebni.

9. SIMULACIJSKI SOFTWAREI

Softwarei namijenjeni za izradu simulacijskih modela se dijele na tri grupe. Te grupe su:

- Grupa koja rabi opće programske jezike: JAVA, C i C++,
- Grupa koja rabi programske jezike namijenjene za simulaciju: SLAM II, SIMAN V i GPSS/H,
- Grupa koja rabi simulacijska okruženja. Navedena grupa uključuje software koji sadrže grafička korisnička sučelja te ima razvijeno okruženje za simulaciju.

Kada je riječ o prvoj grupi, primarno je riječ o simulacijama u JAVA-i. Ona je programski jezik koji je namijenjen za opću upotrebu te nije osmišljen specifično za simulaciju. Razlog zašto se koristi JAVA je taj što ima široku primjenu. Međutim, u današnje doba, mali je broj pojedinaca koji opisuju neke događaje koristeći navedene programske jezike.

GPSS/H je visoko dizajnirani procesno-interaktivni simulacijski jezik koji je izmišljen radi simulacije relativno lakih sustava, kao što su trgovine na veliko. U zadnjoj grupi se nalaze simulacijski softwarei koji se i trenutno koriste.

9.1. PREGLED SIMULACIJSKIH SOFTVERA

9.1.1. Plant Simulation

Plant Simulation je Siemensov software koji je dio Siemensovog PLM1 softwera za vizualizaciju, simuliranje, modeliranje, optimiziranje i analiziranje toka materijala, logističkih operacija, proizvodnih sustava i procesa. Ovim Siemensovim softwareom korisnik ima opciju optimizirati tok materijala, rabiti logistiku i sredstva za sve razine planiranja postrojenja. Software omogućuje, pomoću simulacije, usporedbu kompleksnih proizvodnih opcija, uključujući prirodne procese. Rabe ga svi, od multinacionalnih tvrtki do individualnih planera proizvodnje kako bi si olakšali strateško osmišljanje rasporeda, upravljanje kompleksnim proizvodnim troškovima i logistikom. Plant Simulation je simulacijski software tokova materijala. Njegov model omogućuje korisnicima da naprave istraživanje bez da eksperimentiraju u stvarnom sustavu te olakšava fazu planiranja prije

nego stvarni sustav uopće postoji. Analiza tokova materijala se rabi kod diskretnih proizvodnih procesa rada.

Glavni ciljevi su ti da se korištenjem softwera detektira i prikaže problem koji uzrokuje troškove, da se smanje troškovi ulaganja bez ugrožavanja izlaznog rezultata. Cilj je i omogućiti matematičko računanje ključa pokazatelja uspješnosti te optimizacija rada postojećih linija.

Plant Simulation ima opciju prikaza proizvodnog niza u 2D-u i 3D-u. Prikaz 3D omogućuje vizualni prikaz kompletnog koncepta sustava unutar interaktivnog i virtualnog okruženja.

Siemensov software se primjenjuje u zrakoplovstvu, elektroničkoj industriji, automobilskoj industriji, zračnim lukama, pomorskim lukama, proizvodnim postrojenjima, logističkim kompanijama, procesnoj industriji te se još rabi za znanstvena istraživanja u mnogim sveučilištima.

9.1.2. ProModel

ProModel je simulacijski software koji je izrađen od strane korporacije zvane ProModel. Model u softwerau može biti izrađen upisom podataka, programiranjem uz pomoć internog pseudo-jezika te grafički. Software sadrži 2D animaciju koja se razvije automatski dok se razvija model. Također postoji i mogućnost 3D animacije, koja je moguća ako se koristi ProModel 3D animator.

Ima dosta opcija za rukovanje materijalom u ProModelu-u, kao što su transportni konvejer, AGVS, mostovna dizalica, ručno rukovanje te viličar. Usto, ProModel sadrži financijsku značajku koja dodjeljuje troškove sredstvima entitetima i lokacijama. ProModel rezultate simulacije prikazuje u izlaznom pregledniku u obliku grafova i tablica obuhvaćajući histograme, dijagrame i grafove stanja.

Simulacijski software ProModel se koristi u proizvodnim sustavima toka materijala, medicini, sustavima usluga i farmaciji.

9.1.3. AutoMod/Autosched

AutoMod je simulacijski software namijenjen za simulaciju logističkih sustava i proizvodnih sustava. Software je oblikovan za iscrpnu analizu tokova i operacija. Premda se najčešće rabi u analizi rukovanja materijalom i proizvodnji, softwareova fleksibilna estetika omogućuje da se rabi i u širem području koje uključuje od poluvodičke do zračne industrije. Primjenjuje se u sustavima toka kao što su skladištenje, komisijska prodaja i transport. Rukovanje je veoma jednostavno jer se model kompletno formira grafički interaktivno i to na vlastitoj površini korisnika, dok software ima 3D predstavljanje te sadrži video sekvence sa upravljanim kamerama.

9.1.4. Renque

Renque je simulacijski software dizajniran radi simulacije diskretnih događaja. Izrađena simulacija se rabi radi poboljšanja operacijskih postupaka te radi analiziranja logističkih sustava. Simulacija je oblikovana na zaslonu povezivanjem servera linkovima i postavljanjem server objekata na radni list. Prilikom simulacije, uneseni entiteti prolaze kroz mrežu linkova i servera. Sama simulacija oponaša pozitivni pomak realnog procesa, tako što rasprši entitete duž modela.

9.1.5. SimCad Pro

SimCad Pro se rabi za simuliranje procesa kao na primjer zdravstvo, proizvodnja, logistika itd. Ovaj simulacijski software dopušta izradu modela koji simbolizira realno okruženje i dopušta da njime upravlja korisnik. Nije neophodno kodiranje za izradu modela, pošto se model može izraditi uporabom grafičkog korisničkog sučelja, uključivši i sofisticirane značajke modela.

9.1.6. SimEvents

SimEvents je simulacijski software namijenjen za simulaciju diskretnih događaja. On se rabi za modeliranje logistike i tokova procesa, kako bi se što bolje razumjele tehnike

upravljanjem zalihama, posljedice proizvoljnih događaja na planu misije te kako bi se što bolje razumjela dostupnost sredstava u sustavu.

SimEvents nudi „povuci-i-ispusti“ sučelje za izradu modela diskretnih događaja. Također pruža knjižnicu generatora entiteta, generatora slučajnih brojeva, redova, servera, grafičkih prikaza i blokova statističkih izvještaja.¹⁰ Korisno je i to što postoji integracija sa Matlab-om što omogućuje prilagodbu tijeka procesa u modelu SimEvents simulatora.

9.1.7. ExtendSim

ExtendSim je simulacijski software koji se rabi radi simulacije diskretnih događaja. Primarna primjena mu je da se koristi za izradu modela u zdravstvenim, proizvodnim, poljoprivrednim, energetske, komunikacijskim, biološkim i drugim sustavima. Izrada novih blokova se vrši iskorištavanjem postojećih blokova u samostalni hijerarhijski blok ili tako što se programira blok u ExtendSim-ovom programskom jeziku.

9.1.8. GoldSim

GoldSim je simulacijski software opće namjene. On je hibrid par simulacijskih pristupa, kombinira dinamički sustav s nekim segmentima simulacije diskretnih događaja uz ugradnju dinamičkog simulacijskog motora unutar simulacijskog okvira Monte Carlo.

Software nudi hijerarhijsko i vizualno okruženje modeliranja. Omogućuje korisniku da konstruira modele tako što se dodaju elementi koji predstavljaju jednadžbe procesa događaja i podatke, te spajajući ih u vizualni prikaz koji izgledaju kao dijagrami. Hijerarhijske strukture i vizualna prezentacija pomažu korisniku da izrađuje kompleksne modele.

9.1.9. SimProcess

SimProcess je simulacijski software koji objedinjuje aktivnosti baziranih na zbivanjima, proces modeliranja i simulaciju diskretnih zbivanja. Ovaj software je super

¹⁰ <https://repositorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A2750/datastream/PDF/view> (01.07.2023.)

opcija pošto omogućuje ljudima koji nisu programeri da sami sastave model. Taj model bi bio temeljen na logici uz pomoć postojećih blokova. Međutim, iskusni programeri mogu ne koristiti blokove, nego imaju opciju korištenja programskog jezika uz čiju pomoć mogu dodavati i prilagođavati svoju logiku. SimProcess je konstruiran za organizacije kojima je potrebno analizirati razne scenarije i kojima je cilj umanjiti rizik koji je vezan sa dinamički promjenjivom okolinom. Simulacijski software SimProcess rabi XML i JAVA tehnologije sa ciljem pružanja željene snage i fleksibilnosti. Nudi opciju brzog razvijanja modela i grafičko modeliranje, pomaže prilikom vizualizacije dinamičkog procesa. Jedna od glavnih prednosti SimProcess-a je i realistična procjena sredstava, troškova i aktivnosti proizvoda, brza izrada modela, grafičko modeliranje te velika fleksibilnost prilikom prilagođavanja izvješća.

9.1.10. AnyLogic

AnyLogic je višemetodni software za simulacijsko modeliranje. Software se rabi za simulaciju mnoštvo sustava kao što su: sustav proizvodnje, sustav obrane, sustav opskrbnih lanaca i logistike, sustav zdravstvene zaštite, sustav tržišta i konkurencije, sustav društvene i dinamike ekosustava, sustav zrakoplovstva, sustav dinamike pješaka i cestovnog prometa, sustav maloprodaje, sustav upravljanja projektima i imovinom, sustav maloprodaje i sustav IT-a.¹¹ Anylogic sadrži više različitih biblioteka. Te biblioteke su:

- Biblioteka za modeliranje procesa
- Biblioteka pješaka
- Biblioteka cestovnog prometa
- Biblioteka željezničkog prometa
- Biblioteka tekućina
- Biblioteka za rukovanje materijalima

Software sadrži grafički jezik za modeliranje te omogućuje korisnicima proširenje simulacijskog modela pomoću Java koda. Još jedna stvar koja izdvaja AnyLogic od ostalih simulacijskih opcija je AnyLogic Cloud. AnyLogic Cloud omogućuje korisnicima

¹¹ <https://www.anylogic.com> (01.07.2023.)

pokretanje, arhiviranje, dijeljenje i pristup simulacijskim modelima na mreži te analizu rezultata eksperimenta. Rabeći okruženje za razvoj modela AnyLogic, korisnici imaju opciju prenošenja svojih modela u AnyLogic Cloud i postavljanja web nadzornih ploča koje se dijele za rad s modelima na mreži. Korisnici modela mogu na zaslon nadzorne ploče unositi ulazne podatke, pokrenuti model i analizirati izlaz. AnyLogic Cloud također omogućuje pokretanje modela na web pregledniku, te na mobilnim i stolnim uređajima. Rezultati svih provedenih eksperimenata se arhiviraju u bazu podataka te im se može odmah pristupiti. Modeli se mogu pokretati bez i sa interaktivnim animacijama temeljenim na HTML5. Također, korisnici mogu odabrati žele li da njihovi modeli budu javno dostupni u biblioteci modela ili privatni.

9.1.11. Simio

Simio je software za simulacijsko modeliranje koji se rabi za analizu i simulaciju mnogih sustava.¹² Neki od tih sustava su proizvodnja, zdravstvo, luka i pomorstvo, lanac opskrbe, prijevoz i rudarstvo . Ovaj software je koristan za optimizaciju upotrebe kritičnih resursa te dobro predviđa učinak predloženih promjena procesa. Korisnici Simia ga koriste jer poboljšava performanse kroz optimizirani dizajn objekta i procjenjuje rizike procesa upotrebe probabilističke analize. Također ublažava neizvjesnost i rizik radi smanjenja troškova i osigurava da rad uvijek ispunjava ciljeve koje je korisnik definirao. Kada bi se morala izdvojiti jedna stvar u Simio-u, to je patentirana funkcija analize rizika koja omogućuje varijacije u proizvodnim rasporedima za simulaciju nesavršenih okruženja. Ta funkcija nudi potrebne podatke korisnicima kako bi im omogućili optimizaciju.

9.1.12. Simul8

SIMUL8 je software za simulaciju koja se rabi za dinamičku diskretnu simulaciju.¹³ Ona omogućava pružanje nedvosmislenih i konkretnih rezultata, te dokaza o tome kako će optimizirani ili projektirani proizvodni sustav stvarno djelovati. Ovaj software je alat za dizajniranje, planiranje, reinženjering i optimizaciju stvarnih proizvodnih, logističkih ili

¹² <https://www.simio.com/> (01.07.2023.)

¹³ <https://en.wikipedia.org/wiki/Simul8> (01.07.2023.)

servisnih sustava. Software omogućava korisniku kreiranje raznih modela koji uzimaju u obzir stope kvarova, stvarna životna ograničenja, obrasce smjena, kapacitete te druge faktore koji mogu utjecati na ukupne performanse i efikasnost proizvodnje. Putem ovog modela mogu se testirati stvarni scenariji u virtualnom ozračju. Zajednička značajka problema rješavanih u SIMUL8 je da se tiču troškova, vremena i zaliha.

Kada je riječ o ulaznim podacima koje korisnici najčešće stavljaju u svoj SIMUL8 model, to su: vremena ciklusa, stopa proizvodnje, cijene dolaska/narudžbe, kapacitet proizvodne opreme, proizvodne stope proizvodne opreme i statistika kvarova proizvodne opreme

Dok sa druge strane izlazi simulacije daju informacije o: upotrebi proizvodne opreme, identifikaciji uskih grla, performansi proizvodnog sustava i razini zaliha

SIMUL8 je veoma fleksibilan pa se može rabiti za modeliranje bilo kojeg procesa u kojem postoji tijek rada, međutim glavna područja upotrebe su u zdravstvu, kontakt centrima, opskrbnom lancu, proizvodnji i automobilske industriji.

SIMUL8 isto kao i AnyLogic ima Cloud. To omogućuje dijeljenje, pokretanje i izradu simulacija na mreži. Online inačica je identična kao i desktop inačica, tako da je korisnicima lako prebacivanje sa jedne na drugu inačicu. Također je svim korisnicima omogućena opcija besplatnog mrežnog dijeljenja, što omogućava dijeljenje svojih modela sa drugima.

9.1.13. FlexSim

FlexSim je simulacijski software namijenjen za simulaciju, modeliranje i vizualizaciju diskretnih događaja. On se sastoji od obrada, redova čekanja i transporta. Za obradu se kaže da je ona prisilno kašnjenje, dok se redovi čekanja stvaraju onda kada je broj entiteta na ulazu reda čekanja veći od broja entiteta na izlazu. Za kraj transport je proces kretanja entiteta iz jednog objekta na drugi.

Pošto postoji opcija da se postojeći objekti potpuno prilagode odgovarajućim zahtjevima, uporabom FlexSim-a se može modelirati širok spektar proizvodnih konfiguracija. Ti objekti se onda mogu staviti u biblioteku radi lakšeg ponovnog korištenja. FlexSim-ov model može rabiti sve aspekte objektno orijentirane tehnologije te imati beskonačan broj nivoa hijerarhije. Uz to, FlexSim nudi 3D projekciju modela koji modeliran i napravljen prema unesenim značajkama. Bitna terminologija kada je riječ o FlexSim-u je

model, biblioteka objekata, oznake, objekti, flowitem, zadatak, instance objekata, itemtype i popis zadataka. Objekti imaju ulazne, izlazne i središnje portove, a povezivanjem dvaju objekata stvara se veza.

Veza preko izlazno/ulaznih portova se koristi za vezu među objektima kroz koje prolaze entiteti. Sa druge strane veza preko središnjih portova se koristi za vezu između objekata sa različitim mobilnim objektima. Veze između svih objekata se stvaraju ili prekidaju pomoću povlačenja veze između dva objekta te pritiskom slova na tipkovnici. U slučaju povezivanja izlazno/ulazni portovi, sa stvaranje veze se treba se pritisnuti slovo „A“, a za prekidanje slovo „Q“. S druge strane za povezivanje sa središnjim portom treba se stisnuti slovo „S“, a za prekidanje veze treba stisnuti slovo „W“.

Bitna stavka FlexSim-a su objekti. FlexSim objekti se nalaze unutar biblioteke objekata, Ti objekti su implementirani pomoću objektno orijentirane metodologije koja uključuje određenu hijerarhiju. Kada je riječ o FlexSim-u, gotovo svi objekti u biblioteci objekata su napravljeni kao jedna od dvije glavne klase objekata. Te dvije vrste stručno nazivamo FixedResources i TaskExecuters ili laički rečeno, fiksni i mobilni objekti. Fiksni objekti primaju i šalju objekte dalje. Najbitniji fiksni objekti su:

- Ulaz
- Izlaz
- Red čekanja
- Konvejer
- Procesor
- Multiprocesor
- Kombajner
- Separator

Zadaća ulaza je stvaranja entiteta dok je namjena izlaza uklanjanje entiteta iz modela. Red čekanja je tu radi pohrane entiteta kada ih drugi objekt ne može preuzet. Konvejer pak služi za prijenos entiteta točno određenim putem. Zadaća procesora je obrada entiteta, odnosno prisilno kašnjenje dok je multiprocesor zadužen za višestruku obradu entiteta. Kada je riječ o kombajneru i separatoru, kombajner je namijenjen za spajanje i/ili pakiranje entiteta dok je separator zadužen za raspakiranje i/ili razdvajanje entiteta. Sa druge strane, mobilni objekti su:

- Operator
- Dizalica
- Portalni regal
- Viličar
- Robot

Namjena operatora je da prenosi entitet između objekata, da podešava objekte. Dizalica za razliku od operatora ima samo opciju prijenosa entiteta među objektima, a portalnom regalima je namjena smještanje entiteta na police. Zadaća viličara je prijevoz tereta između dva objekta dok robot prenosi iste entitete među objektima pri čemu je njegova baza fiksna.

Jedna od većih prednosti FlexSim softwera nad konkurencijom je to da sadrži i troškove modela pomoću kojih se računa profit svakog pojedinačnog dijela te računa troškove vezane uz radnike, strojeve i neke druge objekte. U softwerau ima dostupan beskonačan broj tokova nasumičnih brojeva. Također vrijeme kvara se može bazirati na događajima koje definira korisnik, vremenu rada ili se bazira na kalendarskom vremenu. Unutar FlexSima se nalaze i „eksperimenter“ i „ExpertFit“ koji olakšavaju izbor koja distribucija vjerojatnosti najbolje pristaje sustavu.

10. PRODAVAONICA ELEKTRONIKE

Kako je navedeno u uvodu, problem diplomskog rada je rad prodavaonice elektronike. Navedena trgovina radi 6 dana u tjednu. Radi od ponedjeljka do petka od 8 do 20 dok subotom radi od 8 do 15. Kako bi se izvršilo istraživanje, potrebno je doći do potrebnih ulaznih informacija. U ovom istraživanju se do svih informacija dolazilo pomoću računara, kamera, dobivenih informacija od zaposlenika i iz vlastitog iskustva. Sve potrebne informacije su se prikupljale u razdoblju četiri tjedna. Prve potrebne informacije koje su nužne za istraživanje su 5 ulaza. Te ulaze možemo podijeliti na:

- „Ulaz Kupaca“
- „Ulaz Paleta“
- „Ulaz Paketa“
- „Ulaz Radnih Naloga“
- „Ulaz Skladište“.

Kada je riječ o ulazima bilo je potrebno doći do točnih podataka, jer ako ulazni podaci nisu valjani, neće niti simulacija davati valjane rezultate. Nadalje, potrebno je bilo analizirati i zaključiti kojim slijedom idu radnje i koji će sve fiksni objekti biti potrebni za navedeni sustav. Zaključeno je da će u sustavu uz izlaze biti potrebni i redovi čekanja, separator, kombajneri i procesori. Redova čekanja ima čak 7, a oni su:

- „Red Čekanja“
- „Čekanje na Blagajni“
- „Roba na Paleti“
- „Paketi“
- „Nalozi“
- „Prikup“
- „Skladište“

Model sadrži jedan separator, ali sadrži 8 kombajnera. Također u sustavu ima 4 procesora, od čega su 3 blagajne za kupce. Također treba istaknuti izlaze. Izlaza ima 3, a oni su:

- „Izlaz Neopsluženi Kupci“
- „Izlaz Kupci“
- „Prikup Robe“

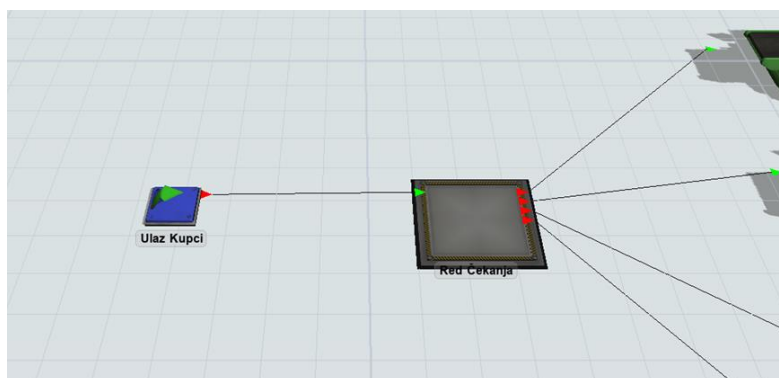
Što se tiče ulaza kupaca, do navedenih informacija se dolazilo pomoću senzora na ulazu poslovnice pomoću kojeg se moglo doći do informacije o količini kupaca koji su ušli u poslovnicu.

U tablici broj 1 se može vidjeti prosječni dolazak kupaca u trgovini u određenom razdoblju tokom dana. Do rezultata se došlo mjerenjem u periodu od 4 tjedna. Pošto je ipak riječ o trgovini i kupcima, dolazak kupaca ne može biti konstantan, tako da se uzela srednja vrijednost navedenih rezultata. Pregledom mjerenja i temeljem iskustva zaposlenika, očito je da kupci početkom i krajem mjeseca dolaze u puno manjoj količini. Vjerojatni razlog tome je manjak novčanih sredstava u tom razdoblju, pa upravo zbog toga najviše kupaca dolazi sredinom mjeseca.

Tablica 1: Prosječni dolazak kupaca u trgovinu tokom tjedna

| | Ponedjeljak | Utorak | Srijeda | Četvrtak | Petak | Subota |
|-------------|-------------|--------|---------|----------|-------|--------|
| 8:00-9:00 | 6,25 | 4,25 | 4 | 3,75 | 5 | 5,75 |
| 9:00-10:00 | 7,5 | 7 | 6 | 5,5 | 6,25 | 6,5 |
| 10:00-11:00 | 8,25 | 7,75 | 6,25 | 6,75 | 7,25 | 8,5 |
| 11:00-12:00 | 7,75 | 7,25 | 7,25 | 6 | 8 | 8,75 |
| 12:00-13:00 | 7 | 5,25 | 5,25 | 4 | 4,75 | 7,75 |
| 13:00-14:00 | 6,25 | 5,25 | 4 | 4,75 | 4,75 | 5,25 |
| 14:00-15:00 | 6,25 | 6 | 6,5 | 6,75 | 7,75 | 5 |
| 15:00-16:00 | 6,5 | 6,25 | 6,25 | 5,75 | 6,25 | |
| 16:00-17:00 | 8 | 6,75 | 8 | 8,5 | 8,25 | |
| 17:00-18:00 | 7,75 | 7,75 | 6,5 | 7,75 | 7,25 | |
| 18:00-19:00 | 6,75 | 7,5 | 7,5 | 7,5 | 7 | |
| 19:00-20:00 | 6,75 | 5,5 | 5,75 | 5,25 | 5,75 | |

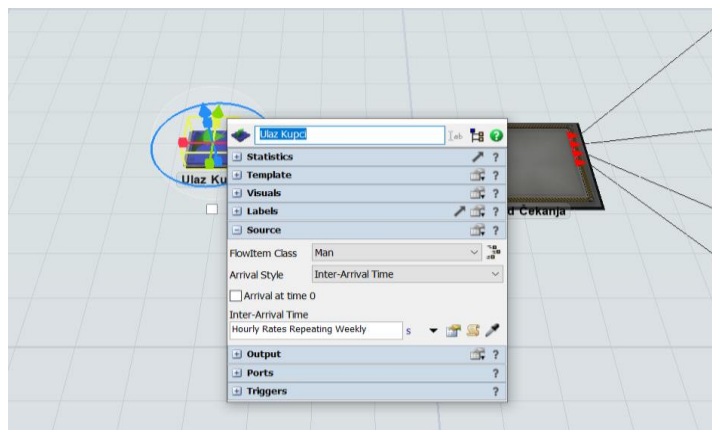
Kao što se vidi na slici broj 1, „Ulaz Kupci“ je spojen sa redom čekanja nazvanim „Red Čekanja“. Pošto je riječ o kupcima, pod „FlowItem Class“ se stavilo ljude, a pošto je već navedeno da je izračunata srednja vrijednost za svaki sat tokom radnog vremena, pod „Arrival Style“ je stavljeno „Inter-Arrival Time“.



Slika 1: „Ulaz Kupci” i „Red Čekanja”

Izvor: Izradio student

Pod tim stilom se ima dosta opcija, no kao što se vidi na slici broj 2, vidi se da je najbolja opcija „Hourly Rates Repeating Weekly“. To je najbolja opcija pošto sadrži tablicu u koju možemo staviti u ovom slučaju srednju vrijednost količine kupaca koji su ušli u poslovnicu određeni dan u određeni sat. Za opciju koliko kupaca dolazi u određeni sat u određenom danu se odlučilo pošto ona najvjerođostojnije prikazuje sam sustav.

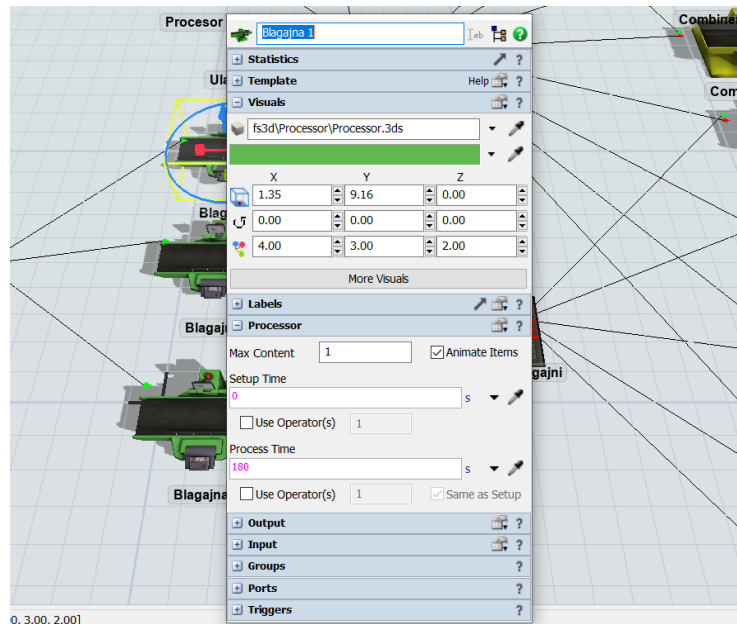


Slika 2: Prozor od „Ulaz Kupci“

Izvor: Izradio student

„Red čekanja“ je spojena sa ulazom „Ulaz Kupci“ te sa 3 blagajne. U ovom redu čekanja kupci stoje i čekaju određeno vrijeme kako bi došli na red na blagajnu. Sistem ulaska-izlaska u ovom modelu je FIFO. To znači da će kupac koji prvi uđe, biti i prvi opslužen. Pod kapacitet reda čekanja se stavilo 50 ljudi.

Kupac kada završi sa čekanjem u redu čekanja, završi na jednoj od 3 blagajne. Na slici 3 se dobro vidi kako proces usluživanja kupca traje oko 180 sekundi. U tom periodu, kupac od zaposlenika traži određeni proizvod, dok kupac gleda u sustav dali postoji taj proizvod na stanju poslovnice. Pod izlaz iz procesora se stavlja „By Percentage“. Razlog tome je što 26,26% kupaca donese odluku kako ne želi uzeti nijedan proizvod već se nakon razgovora sa zaposlenikom odluči otići. Sukladno tome, 73,74% kupaca ostane čekati dok prodavač ne nabavi željeni proizvod. Kupci u tom periodu čekaju u redu čekanja nazvanim „Čekanje na Blagajni“.



Slika 3: Prozor od „Blagajne 1”

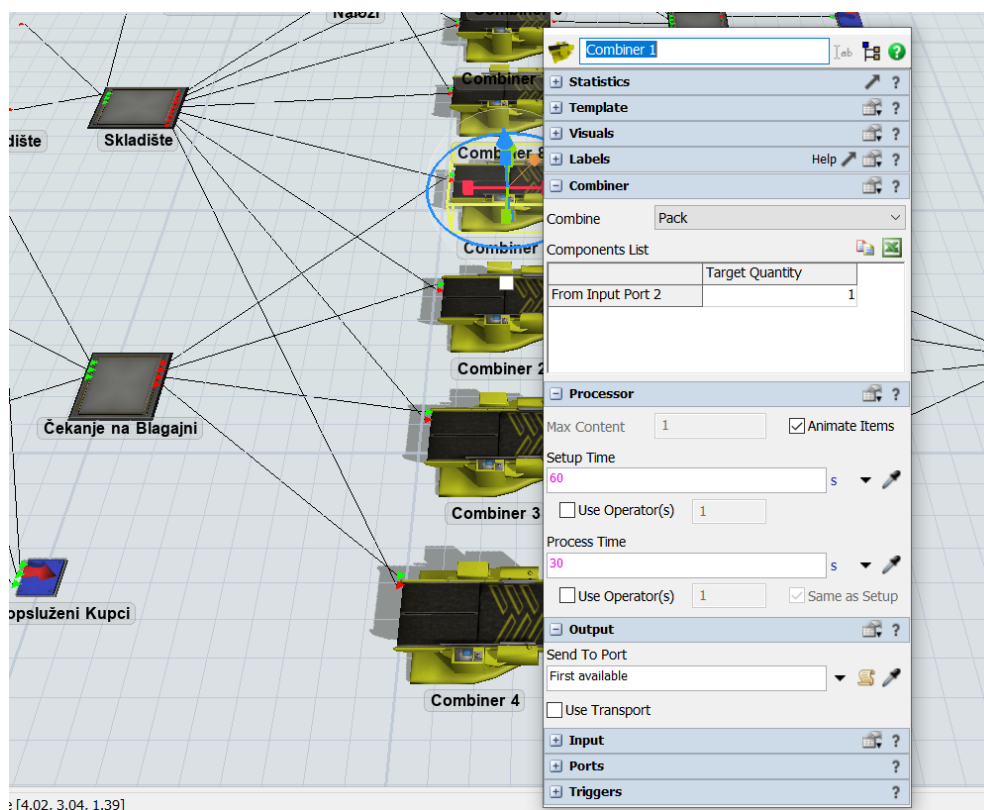
Izvor: Izradio student

Nakon navedenog reda čekanja, dolazi se do kombajnera. Pošto se po računima vidi kako kupci kupuju robu, zaključeno je da će se staviti 4 kombajnera, svaki za određenu količinu potrebnog spajanja. Kupci u principu kada dođu, uzimaju samo 1, 2, 3 ili 4 proizvoda. Zato iz reda čekanja pomoću postotka šalje kupac u određeni kombajner. Podjela tih kombajnera je:

- „Combiner 1“-56,04%
 - Spaja se kupac sa jednim proizvodom
- „Combiner 2“-33,13%
 - Spaja se kupac sa dva proizvoda
- „Combiner 3“-7,12%
 - Spaja se kupac sa tri proizvoda
- „Combiner 4“-3,71%
 - Spaja se kupac sa četiri proizvoda

Najbitnija stvar kod kombajnera je ta da spaja više stvari zajedno. Kako bi kombajner ispravno radio, u ovom slučaju prvo treba spojiti red čekanja „Čekanje na Blagajni“, a tek onda se spaja sa redom čekanja „Skladište“. Razlog tome je taj što jedan ulaz u kombajner mora biti glavni kroz koji prolazi glavni „subjekt“, u ovom slučaju kupac. Kupca se spaja sa određenim brojem paketa, ovisno o tome što je uneseno u prozorčić „Combiner“. Vidi se na slici broj 4, stavilo se u „combiner 1“ da se spaja kupca sa jednim proizvodom. Također se

pod kućicu „Combine“ stavila opcija „Pack“. Taj element je isti kod sva 4 kombajnera u dijelu modela povezanim uz kupce u poslovnici, Jedino se u drugom kombajneru spaja kupac sa dva proizvoda, u trećem kombajneru se spaja kupac sa tri proizvoda itd.



Slika 4: Prozor od „Combiner 1”

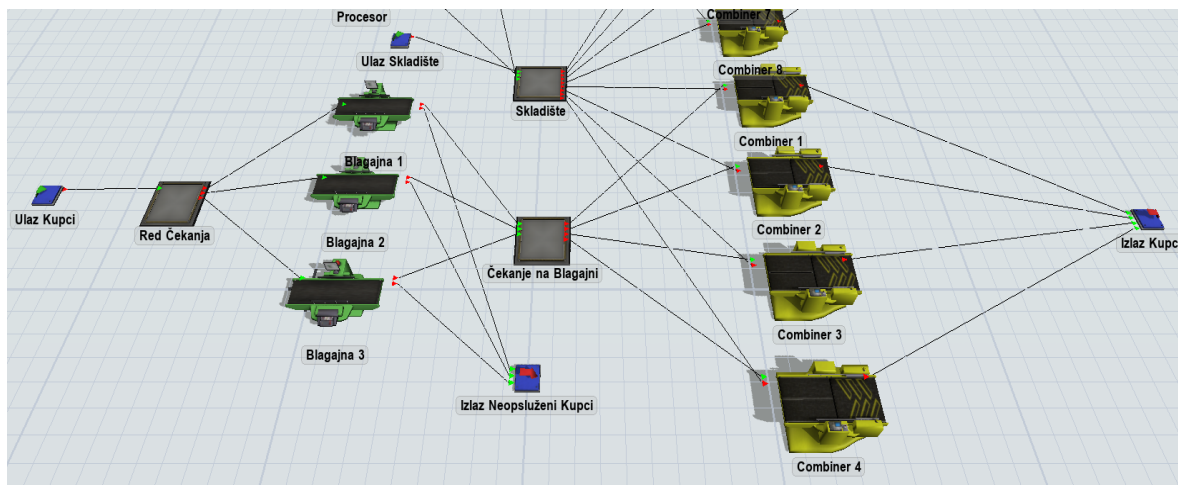
Izvor: Izradio student

Sam proces spajanja kupaca sa proizvodom varira ovisno o tome koliko se proizvoda spaja. Proces spajanja je zbroj vremena koje treba da bi se postavilo sve za kombiniranje, odnosno „Setup Time“ te „Process Time“ koji je ustvari samo plaćanje proizvoda. „Process Time“ je u sva 4 kombajnera isti, a to je 30 sekundi. Kada je riječ o „Setup Time“, kombajnere možemo podijeliti na:

- „Combiner 1“-60 sekundi
- „Combiner 2“-90 sekundi
- „Combiner 3“-105 sekundi
- „Combiner 4“-115 sekundi

Razlog zašto se vrijeme povećava je taj što zaposlenik mora naći određeni proizvod koji će prodati kupcu. Međutim, kada se traže 2 proizvoda, vrijeme se ne povećava za duplo, pošto kupac često traži dvije iste ili slične stvari, pa je zaposleniku lakše i brže naći željeni

proizvod. Na samom kraju kupac sa proizvodima plaća proizvod oko 30 sekundi, te odlazi na izlaz. Slika 5 prikazuje cijeli dio modela koji je povezan uz kupce.



Slika 5: Slika cijelog modela povezanog uz prodaju

Izvor: Izradio student

Drugi ulaz je ulaz paleta. Paleta se pomoću prijevoznika prevozi iz centrale prema poslovnicu koja je predmet simulacije i analize. Palete dolaze ponedjeljkom, utorkom i četvrtkom okvirno oko 14 sata. Kao što se može vidjeti na tablici broj 2, količina proizvoda na paletama varira.

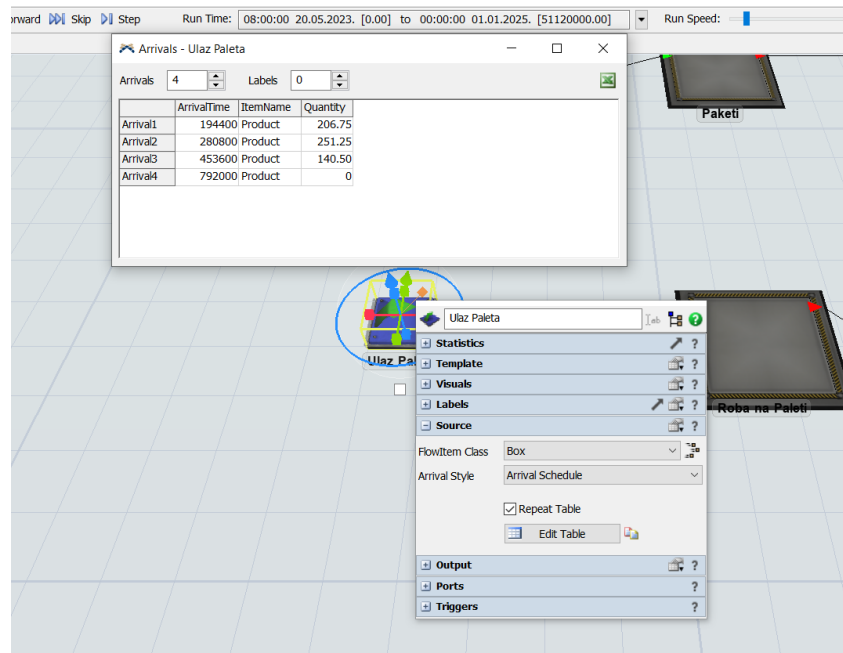
Tablica 2: Prosječni dolazak paleta u trgovinu tokom tjedna

| | Ponedjeljak | Utorak | Četvrtak |
|--------------------|-------------|--------|----------|
| Srednja vrijednost | 206,75 | 251,25 | 140,5 |

Ulazni podaci su se mjerili također u razdoblju od 4 tjedna. U ta 4 tjedna se dalo uvidjeti da količina proizvoda na paleti ovisi o tome koliko je proizvoda prodano u proteklom razdoblju. Cilj paleta poslanih iz centrale je opskrbljivati poslovnice diljem Hrvatske sa proizvodima koji nedostaju u poslovnici ili kojih ima u nedovoljnim količinama. U interesu kompanije je da svaka poslovnica sadrži sve važne proizvode u određenim količinama kako bi se odmah na mjestu mogao prodati taj proizvod. Do rezultata se došlo pomoću programa kojim se koriste sve poslovnice u Hrvatskoj.

Kada je riječ o ovom ulazu, na njega ulaze proizvodi unutar paleta, tako da su pod „FlowItem Class“ stavljenе kutije. U ovom ulazu je isto navedena srednja vrijednost, ali za razliku od ulaza „Ulaz Kupci“, pod „Arrival Style“ je stavljen „Arrival Schedule“. Kao što se vidi na slici broj 6, vrijeme dolaska prve palete piše se u stupac „ArrivalTime“ u sekundama u odnosu na početak simulacije, te se kvantiteta robe na paleti upisuje u stupac

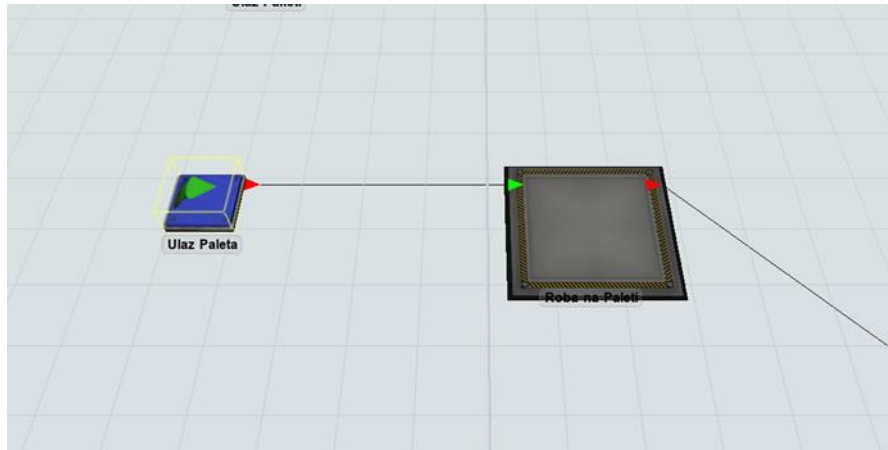
„Quantity“. Kako bi se i drugi i treći dolazak evidentirao u pravo vrijeme, potrebno je u novi red nadodati novo vrijeme u sekundama kada paleta dolazi, te kvantiteta. Kako bi se proces nastavljao svaki tjedan, potrebno je staviti kvačicu na „Repeat Table“. Nakon što se simulira zadnji „Arrival“, proces počinje ponovno. Tu je nastajao problem, koji se rješava tako da se doda još jedan „Arrival“ točno 7 dana od početka simulacije, kako bi se iz te točke ponovno započinjao proces dolaska palete. U prozorčiću „Output“ kod izvora „Ulaz Paleta“ stavilo se da roba ide u prvi slobodan port.



Slika 6: Prozor od „Blagajne 1”

Izvor: Izradio student

Na slici broj 7 se može vidjeti da je navedeni ulaz spojen sa redom čekanja koji se zove „Roba na Paleti“.

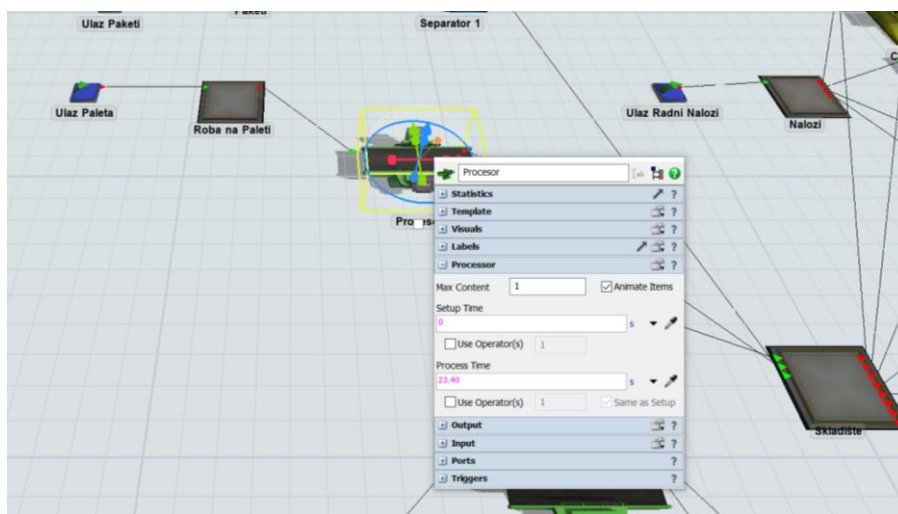


Slika 7: „Ulaz Paleta” i „Roba na Paleti”

Izvor: Izradio student

„Roba na paleti“ je red čekanja u kojem se nalazi sva roba sa palete. Ta roba čeka da skladištar poslovnice zaprimi tu robu unutar skladišta. Kapacitet reda čekanja iznosi 1000 proizvoda, pošto je nemoguće procijeniti koliki je maksimalni kapacitet. Nemoguće je odrediti kapacitet pošto trgovina prodaje proizvode raznih veličina, tako da palete identične količine proizvoda mogu biti različite veličine.

Kako bi vjerodostojno simulirali proces zaprimanja robe, nakon reda čekanja je stavljen procesor. Kao što se vidi na slici broj 8, procesor je spaja red čekanja sa skladištem poslovnice. Također, vidi se da je „Setup Time“ jednak 0, dok je sam „Process Time“ jednak 23.4 sekundi. Naravno pravo vrijeme varira, ali sa mjerenjem zaprimanja robe, računicom se došlo do prosječnog vremena procesuiranja robe.



Slika 8: Prozor od „Procesor”

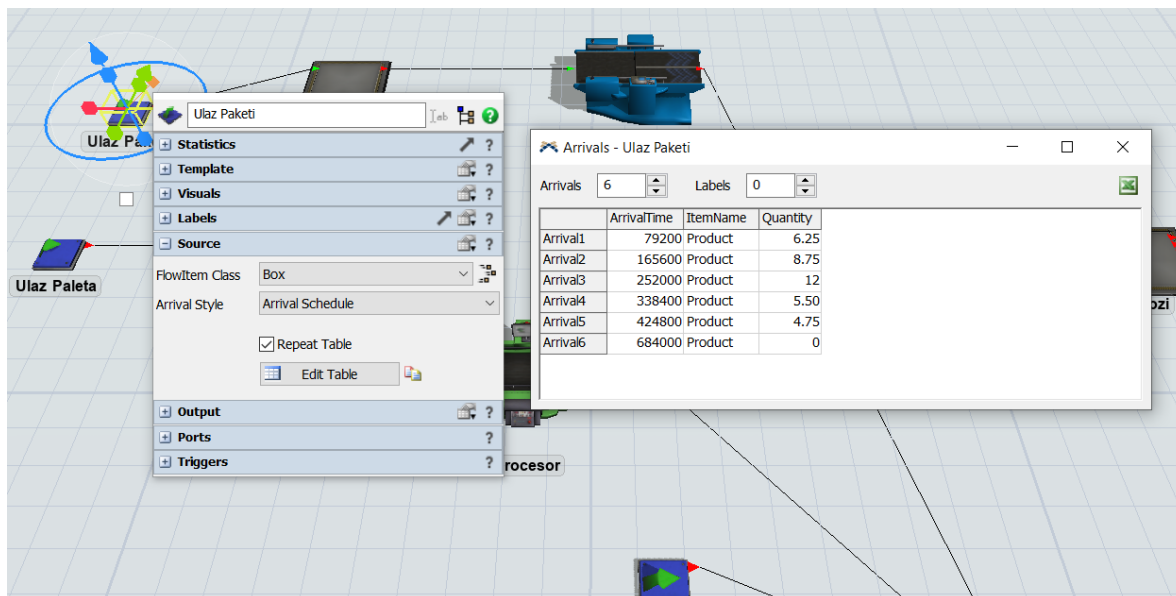
Izvor: Izradio student

Treći ulaz u simulaciji je ulaz paketa. Navedeni ulaz je dostava paketa iz različitih poslovnica iste kompanije. Paketi se dostavljaju pomoću kompanije koja se bavi dostavom robe i paketa. Dostava paketa dolazi od ponedjeljka do petka oko 10 sata. Pošto je riječ o paketima koji dolaze iz različitih poslovnica, količina tih paketa i proizvoda u njima varira o potrebi poslovnice. Isto kao i u ostalim ulazima do sada, navedena je srednja vrijednost za sve dane pošto su podaci izmjereni u razdoblju od 4 mjeseca. Do podataka se došlo analiziranjem prijevoznica i pomoću brojenja paketa. Kao što se vidi u tablici broj 3, najviše artikala je artikala dolazi u srijedu.

Tablica 3: Prosječni dolazak paketa u trgovinu tokom tjedna

| | Ponedjeljak | Utorak | Srijeda | Četvrtak | Petak |
|--------------------|-------------|--------|---------|----------|-------|
| Srednja vrijednost | 6,25 | 8,75 | 12 | 5,5 | 4,75 |

„Ulaz Paketi“ je spojen sa redom čekanja „Paketi“ te kao što se vidi na slici broj 9, stil ulaza je isti kao i „Ulaz Paleta“. Samo pošto je riječ o robi koja dolazi svaki dan, onda ima više dolazaka koji su se trebali unijeti. Vrijeme dolazaka je svaki dan od ponedjeljka u petka u 10 sati.

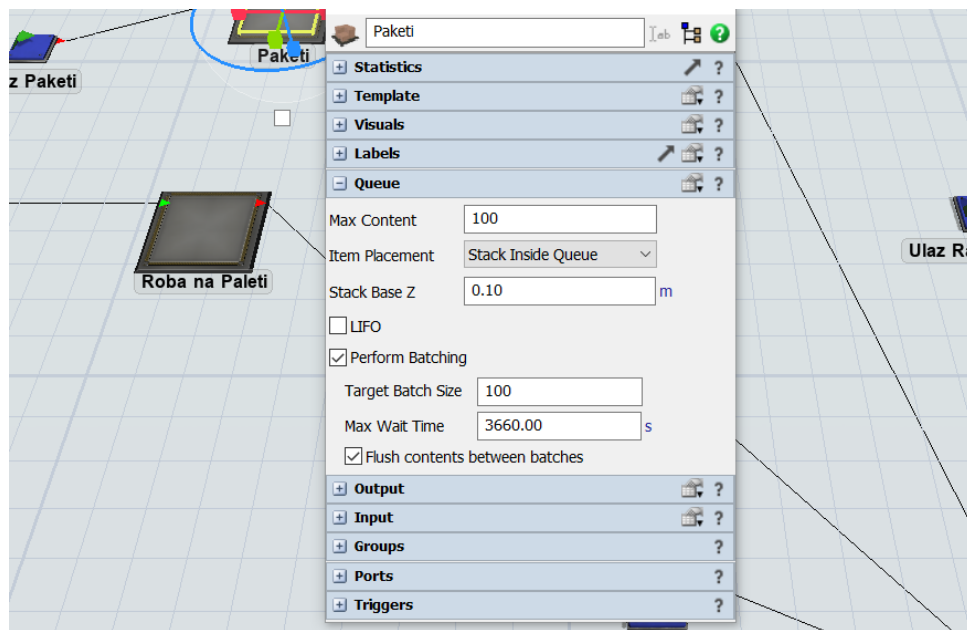


Slika 9: Prozor od „Ulaz Paketi“ i vrijeme dolaska paketa

Izvor: Izradio student

Red čekanja „Paketi“ je mjesto gdje vozač dostavne kuće ostavlja pakete da bi ih zaposlenik poslovnice raspakirao. Specifično za ovaj red čekanja je taj da se mora čekati do određenog vremena u danu pošto posao raspakiravanja radi ista osoba koja i šalje pakete sa radnim nalogom do 11. Pošto paketi dolaze u 10, treba se napraviti da se paketi raspakiravaju

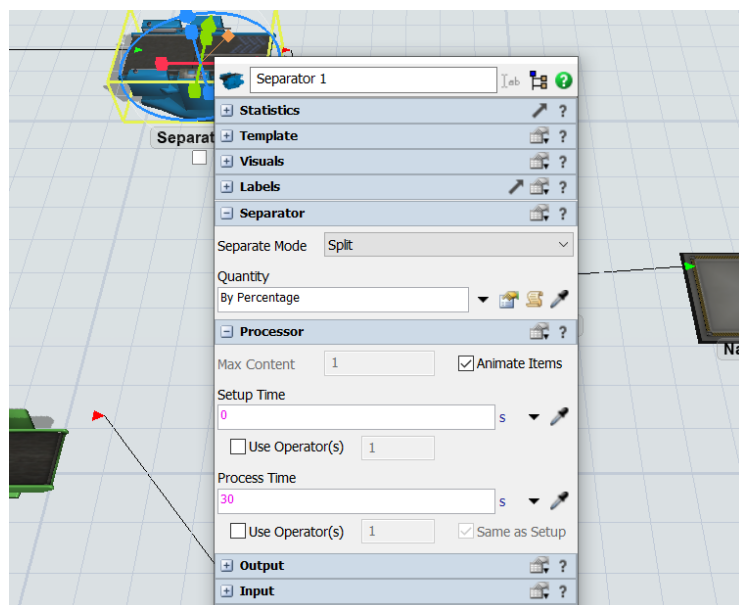
tek nakon 11. Kao što se vidi na slici 10, pod „Queue“ može se pritisnuti opcija „Perform Batching“ sa čime se prozor „Queue“ proširuje. Ta opcija nudi da se proizvodi ne šalju dalje dok u redu čekanja ne dođe određena količina proizvoda. U tom proširenju se može vidjeti „Target Batch Size“ koji navodi koliko proizvoda mora biti u redu čekanja kako bi proizvodi išli dalje. Međutim, ima još i opcija „Max Wait Time“. To je maksimalno vrijeme koje smije proteći od dolaska prvog proizvoda, a da se ne pošalje proizvod dalje. Ta opcija je korisna pošto se treba napraviti da se proizvodi kreću raspakiravati tek nakon 11 sati. Upravo zato je napisano da maksimalno vrijeme bude 3660s, odnosno 1 sat i 1 minuta.



Slika 10: Prozor od „Paketi“

Izvor: Izradio student

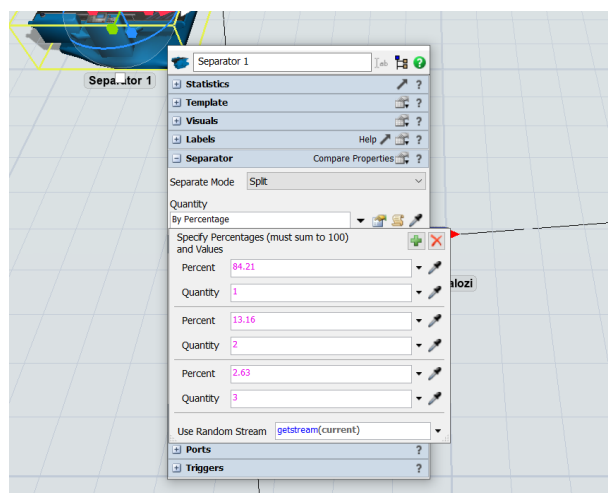
Red čekanja „Paketi“ je spojen sa separatorom koji kako se i vidi na slici broj 11 ima proces rada od 30 sekundi. Taj proces je veoma brz pošto je samo potrebno otvoriti paket, vidjeti koja putem prijevoznice šta je trebalo doći i u kojoj količini, a robe u paketima je uvijek malo.



Slika 11: Prozor od „Separator 1”

Izvor: Izradio student

Razlog zašto se separator koristi ovdje je taj što u paketima nije uvijek ista količina robe. Roba dolazi u količinama od 1, 2 i 3 proizvoda. Do podataka se došlo pregledom svih prijevoznica i otpremnica u periodu od 4 tjedna te se izračunom došlo do postotaka koliko kakvih paketa dođe. Kako bi se izvršila radnja separiranja proizvoda u modelu putem postotaka, potrebno je u prozorčiću „Separator“ pod „Quantity“, pritisnuti opciju „By Percentage“. Kao što se vidi na slici broj 12, stavljeno je da je u 84,21% slučajeva samo jedan proizvod, u 13,16% slučajeva dva proizvoda te u 2,63% slučajeva tri proizvoda. Nakon procesa separiranja robe, ona se pošalje u skladište.



Slika 12: Prozor od „Processor”

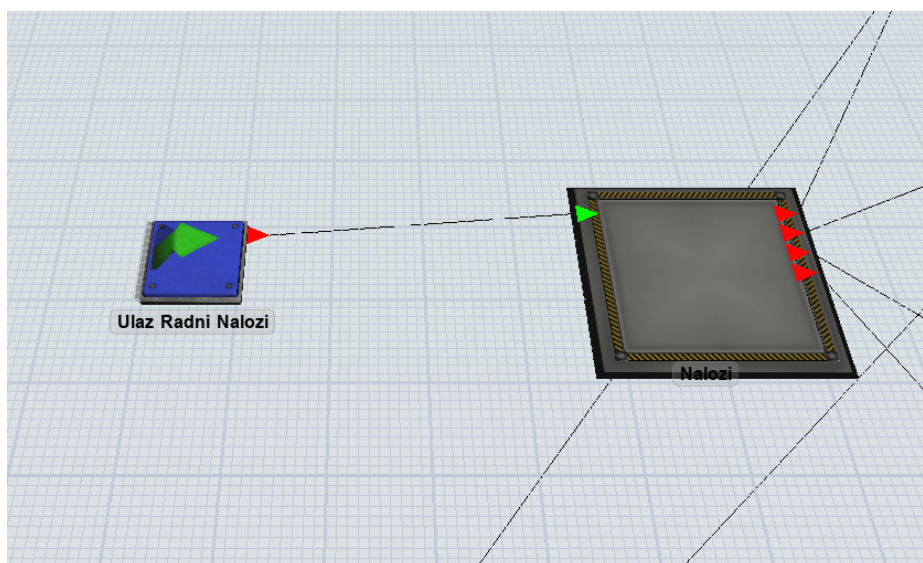
Izvor: Izradio student

Četvrti ulaz je ulaz radnih naloga. To su nalozi koji se trebaju poslati pomoću dva dostavljača. Ta roba koja se mora poslati, može biti namijenjena za kupce, te se ona šalje na kućnu adresu, te može biti namijenjena za slanje drugim poslovnica. Radni nalozi se pakiraju od 8 do 11 sati, od ponedjeljka do petka. Kao što se vidi na tablici broj 4, ni ovaj ulaz nije konstantan, već se trebala izračunati srednja vrijednost tih 4 tjedna unutar kojih su se vršila mjerenja. Prema tablici se vidi kako je najviše naloga za pakirati bilo ponedjeljkom, pošto dosta naloga dođe za vikend ili prodavači drugih poslovnica zatraže neki proizvod početkom tjedna da imaju.

Tablica 4: Prosječni dolazak naloga u programu tokom tjedna

| | Ponedjeljak | Utorak | Srijeda | Četvrtak | Petak |
|-------------|-------------|--------|---------|----------|-------|
| 8:00-9:00 | 7,75 | 5,75 | 5,5 | 5 | 3,75 |
| 9:00-10:00 | 6,25 | 5,25 | 5 | 4,25 | 3 |
| 10:00-11:00 | 3,25 | 3,25 | 3 | 2,75 | 1,25 |

Na slici broj 13 može se vidjeti da je „Ulaz radni nalozi“ je spojen sa redom čekanja „Nalozi“. Stil dolazaka je isti kao i u „Ulaz Kupci“, gdje se upisuje srednja vrijednost u određeno vrijeme određenog dana.

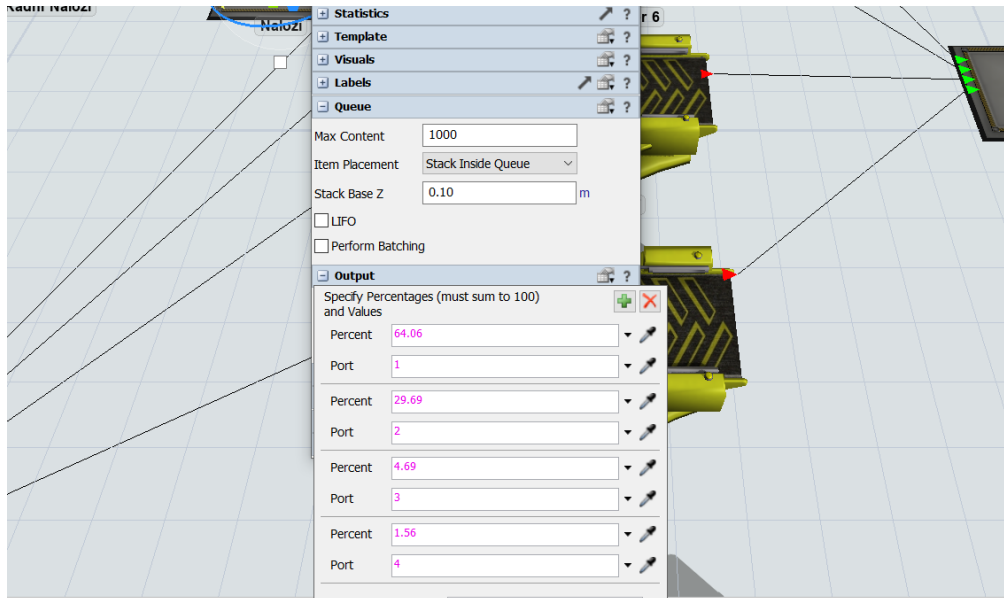


Slika 13: „Ulaz Radni Nalozi“ i „Nalozi“

Izvor: Izradio student

Kada dođu nalozi, na njima piše popis proizvoda koji se treba poslati. To su paketi koji sadrže između jednog i četiri proizvoda. Kako bi se proces spajanja naloga sa robom simulirao vjerodostojno potrebni su kombajneri. U ovom slučaju, pošto je količina robe koja se inače šalje između jednog i četiri proizvoda, potrebna su 4 kombajnera. Potrebno je znati

kojem kombajneru treba poslati nalog, a do toga se došlo analizom svih radnih naloga u 4 tjedna analiziranja sustava. Kao što se vidi na slici broj 14, pod „Output“ reda čekanja, potrebno je stisnuti da je „By Percentage“, gdje se onda otvori prozorčić za podjelu. Na slici se vidi da se nalog spaja sa 1 proizvodom u 64,06% slučajja, sa 2 proizvoda u 29,69% slučajja, sa 3 proizvoda u 4,69% slučajja i sa 4 proizvoda u 1.56% slučajja.



Slika 14: Prozor od „Nalozi“

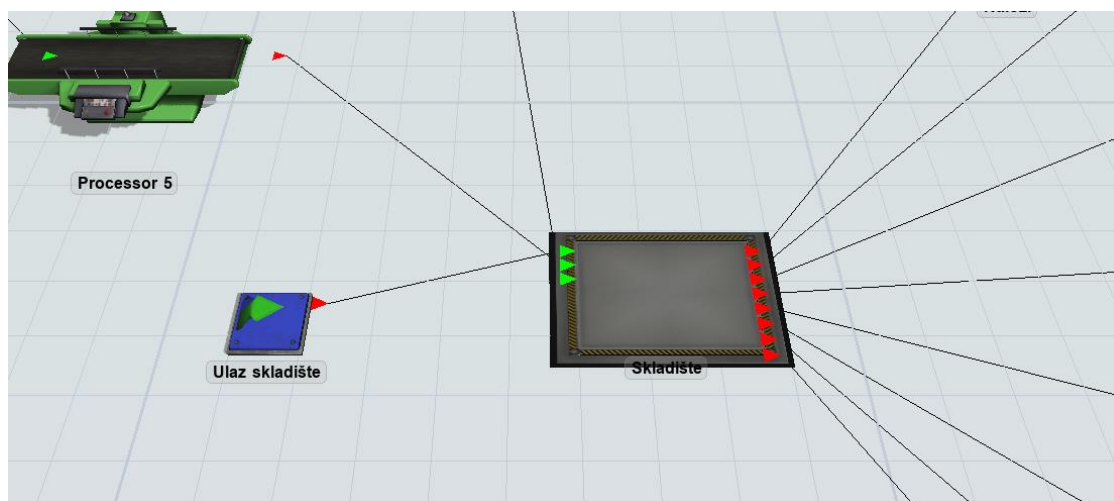
Izvor: Izradio student

Također kod samog procesa pakiranja, vrijeme pakiranja ovisi o tome koliko proizvoda se šalje. Kada je riječ o pakiranju podjela se može izvršiti ovako:

- Paket sa jednim proizvodom
 - 60 sekundi da se nađe proizvod
 - 120 sekundi da se naprave sve potrebne radnje u pakiranju
- Paket sa dva proizvodom
 - 90 sekundi da se nađe proizvod
 - 180 sekundi da se naprave sve potrebne radnje u pakiranju
- Paket sa tri proizvodom
 - 105 sekundi da se nađe proizvod
 - 210 sekundi da se naprave sve potrebne radnje u pakiranju
- Paket sa četiri proizvodom
 - 115 sekundi da se nađe proizvod
 - 225 sekundi da se naprave sve potrebne radnje u pakiranju

Kada se izvrši cijela radnja pakiranja, paketi se ostave u redu čekanja nazvanog „Prikup“. Pošto je radnja pakiranja gotova u 11, a prikup dolazi tek kasnije, i u ovom redu čekanja se koristi opcija „Perform Batching“. Tu se stavilo da prikup dođe oko 12, tako da se stavilo pod „Max Batch Time“ 14400 sekundi.

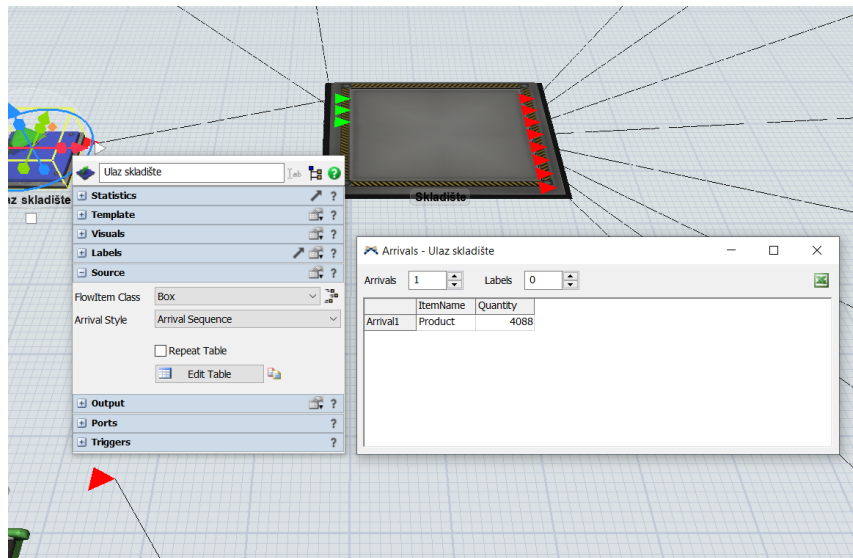
Također valja istaknuti još jedan ulaz u simulaciji koji nije konkretno povezan uz poslovnicu, a to je ulaz skladište. Kao što se vidi na slici broj 15, ulaz skladišta je povezan direktno sa skladištem. Razlog stavljanja imaginarnog ulaza je taj što se treba napraviti simulacija tako da u skladištu odmah na početku simulacije bude određena količina proizvoda. Upravo kako bi se došlo do željene količine proizvoda u skladištu, u model se stavlja imaginarni ulaz skladišta. U trenutku početka simulacije će biti sveukupno 4088 proizvoda u skladištu.



Slika 15: „Ulaz Skladište” i „Skladište”

Izvor: Izradio student

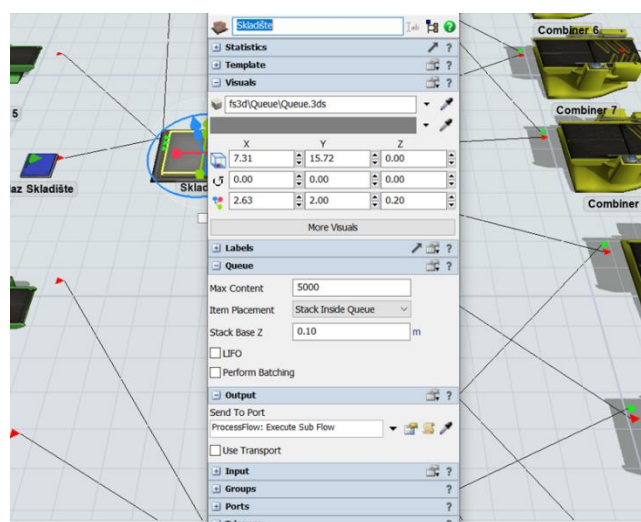
Da bi se došlo do željene količine proizvoda u skladištu, potrebno je pod „Arrival style“ staviti „Arrival sequence“. Tada se pritisne „Edit table“ kao što se vidi na slici broj 16, se u red naziva „Arrival1“, pod „Quantity“ doda željena količina, u ovom slučaju 4088.



Slika 16: Prozor od „Ulaz Skladište”

Izvor: Izradio student

Objekt koji sve navedene podsustave spaja je red čekanja je „Skladište“. Od svih redova čekanja u ovome modelu, ovaj je najkompleksniji. Povezan je sa svim elementima modela. Sva roba koja dolazi, ulazi u skladište, te sva roba koja se šalje iz poslovnice ili po koju kupci dođu, se šalje iz skladišta. Upravo zato je povezana sa svim tim elementima. Količina proizvoda je aktualna iz zadnje inventure te ona iznosi 4088 proizvoda. Za maksimalni kapacitet skladišta se unijelo 5000. Kao što se vidi na slici broj 17, u „output“ prozoru, pod „Send To Port“ je stavljeno „ProcessFlow: Execute Sub Flow“ što omogućuje da na više lokacija odlaze proizvodi ovisno o zahtjevima drugih fiksnih objekata.



Slika 17: Prozor od „Skladište”

Izvor: Izradio student

11. REZULTATI SIMULACIJE

Za period simulacije cijelog sustava odredilo se vrijeme od 12:00:00 21.05.2023. godine, pa sve do 00:00:00 01.01.2025. godine. U ovom dijelu rada će se otkriti rezultati simulacije, te će one dati odgovore na sva postavljena pitanja iz uvoda. Prva bitna stvar za vidjeti je koliko je vrijeme čekanja u većini redova čekanja u sustavu, odnosno dolazi li igdje u sustavu do zagušenja. Red čekanja je najbitniji element svake trgovine te je tu najbitnije da ne dolazi do nikakvog zagušenja. Kao što se vidi na slici broj 18, prosječno vrijeme čekanja kupaca iznosi samo 0,23 sekunde, a čak ni maksimalno vrijeme čekanja nije pretjerano dugo bilo, samo 134,92 sekunde. To nam govori da u ovom dijelu sustava nema nikakvog zagušenja te se dovodi u pitanje dali je uopće potrebno imati 3 blagajne. Međutim, to nije jedini bitan element, te se ne smije samo temeljem toga donositi zaključak da se treba maknuti jedna blagajna. Jer da se makne jedna blagajna došlo bi do veće zagušenosti. Također, ako se pogleda ostatak slike, vidi se da je u redu čekanja „Roba na Paleti“ prosječno vrijeme čekanja čak 2441,02 sekunde, što je oko 40 minuta, a maksimalno iznosi čak 5850 sekunde što je oko sat i pol. Tako da iako nema trenutno zagušenja u redu čekanja na blagajni, bolje imati jednog prodavača više, kako sigurno ne bi došlo do zagušenja, te kako bi pomogli u slaganju robe sa palete u skladište. Prosječno vrijeme čekanja u redu čekanja „Roba na Paleti“ je toliko zato što ima jako puno robe, tako da iako je relativno brz proces zaprimanja robe, ipak potraje.



| Object | Avg Staytime | Max Staytime |
|----------------|--------------|--------------|
| Red Čekanja | 0.23 | 139.92 |
| Roba na Paleti | 2441.02 | 5850.00 |
| Paketi | 3767.07 | 3990.00 |
| Nalozi | 16.26 | 556.57 |
| Prikup | 10144.79 | 14400.00 |

Slika 18: Tablica vremena čekanja na objektima

Izvor: Izradio student

Dalje, red čekanja „Paketi“ ima prosječno vrijeme čekanja od 3767,07 sekunda, odnosno sat vremena, dok je maksimalno vrijeme čekanja samo malo duže, 3990 sekundi odnosno isto malo veće od sata. Razlog tolikog čekanja je taj što paketi dolaze u vrijeme kada bi skladištar trebao pakirati robu, pa kako ne može raditi dva posla istovremeno, prvo spakira svu robu, pa tek onda ide zaprimati pakete koji su došli. Kako paketi dolaze u 10, a skladištar završava sa pakiranjem u 11, logično je da je vrijeme čekanja isto malo veće od 1 sat. Kada je riječ o vremenu čekanja kod radnih naloga, prosječno vrijeme čekanja prije nego li se krene pakirati je samo 16 sekundi, što pokazuje koliko je ovaj sustav efikasan. Međutim, nekad radni nalozi mogu čekati i do 556.57 sekundi, odnosno 9 minuta. To je dosta veće vrijeme čekanja u odnosu na prosječno vrijeme čekanja, ali je i dalje veoma dobro te se svi radni nalozi uspiju završiti i zapakirati prije 11 sati. Onda ti paketi čekaju dolazak prijevoznika, koji dolazi oko 12 sati. Upravo zbog toga je u redu čekanja „Prikup“ najveće prosječno vrijeme čekanja paketa na prikup te ono iznosi čak 10144,79 sekundi što je čak 2 sata i 40 minuta dok vrijeme čekanja može biti čak 4 sata.

Druga stvar koja se htjela vidjeti je iskoristivost samih blagajni. Vidi se po grafu na slici broj 19 da iskoristivost blagajni nije pretjerano dobra. „Blagajna 1“ koja je najprometnija u cijeloj poslovnici ima iskoristivost samo 10,43%. „Blagajna 2“ ima znatan pad u odnosu na prvu blagajnu te je njena iskoristivost jedva 2,92%. Za kraj, „Blagajna 3“ se gotovo niti ne koristi, tako da je njena iskoristivost 0,51%.

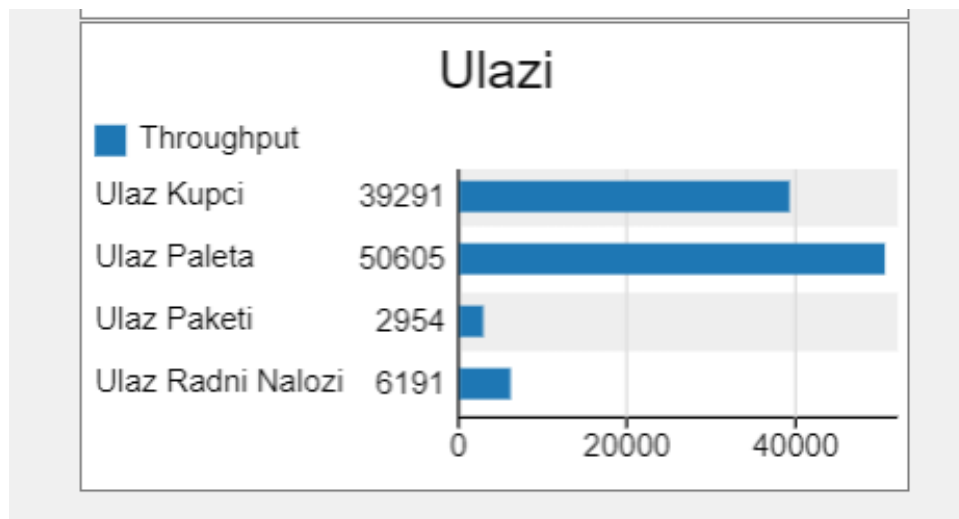


Slika 19: Grafikon iskoristivosti blagajni

Izvor: Izradio student

Bitan detalj u sustavu je i koliko je kupaca ušlo u sustav. Na slici broj 20 vidi se kako je u trgovinu ušlo u navedenom razdoblju čak 39291 kupaca te 50605 proizvoda u na paketi.

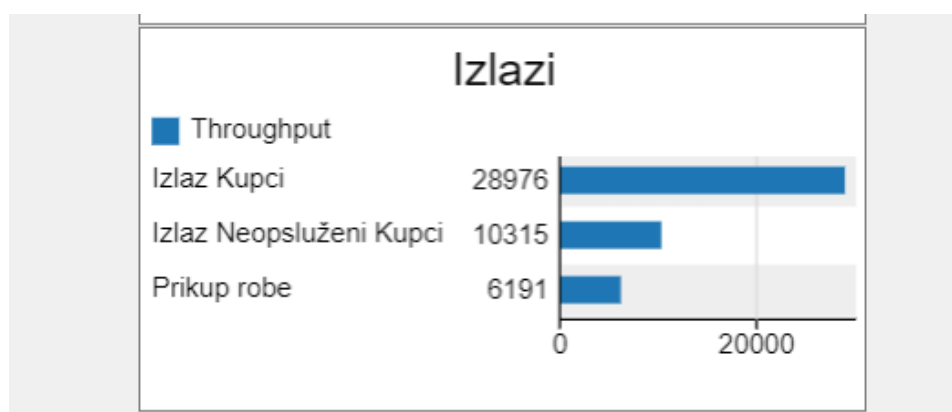
Vidi se po broju kupaca da je navedena trgovina manje veličine. Također, paketa je u tom razdoblju došlo samo 2954, dok je radnih naloga za pakirati bilo 6191.



Slika 20: Grafikon prometa kroz određene ulaze

Izvor: Izradio student

Kada je riječ o analizi rezultata, bitniji su rezultati izlaza od rezultata ulaza. Kao što se vidi na slici broj 21, količina kupaca koja je kupila nešto prilikom ulaska iznosi 28976. To je čak 73,75% opsluženih kupaca, kod kupaca koji nisu kupili ništa ima 10315. Ti rezultati su dobri za poslovnicu, jer to znači da velika većina koja dođe poslovnicu nešto i uzme. Kada je riječ o prikupu robe, vidi se da je sveukupno poslano 6191 naloga.

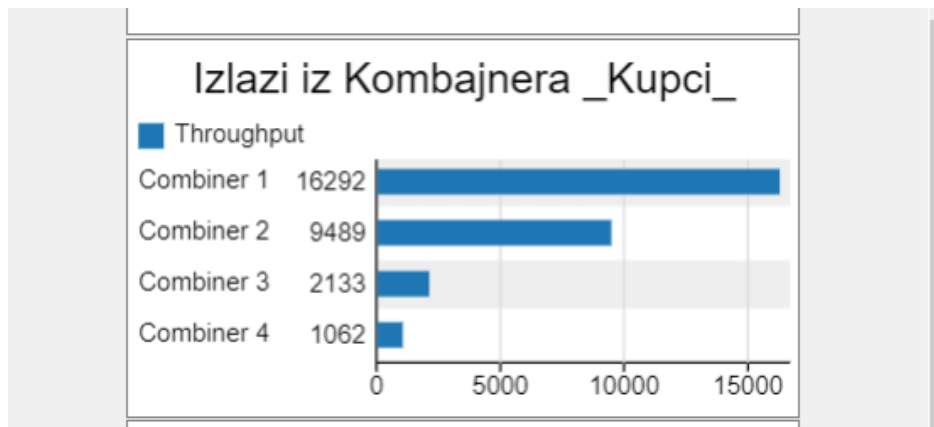


Slika 21: Grafikon prometa kroz izlaze

Izvor: Izradio student

Međutim, iako se na ovom grafu može vidjeti koliko je kupaca izišlo sa kupljenim proizvodima, bitnije je saznati sa koliko proizvoda su otišli. Na slici broj 22 se može vidjeti koliko je kupaca prošlo kroz koji kombajner, odnosno pomoću toga možemo otkriti koliko

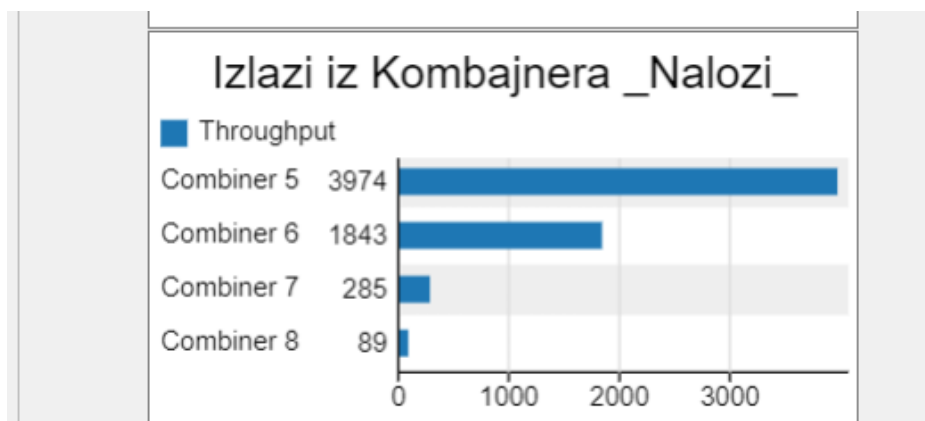
je sveukupno proizvoda uzeto u određenom periodu. Tako se vidi računicom može vidjeti da je sveukupno u navedenom razdoblju prodano 45917 artikala. To je solidna količina proizvoda sa kojom je poslovnica zadovoljna.



Slika 22: Grafikon prometa kroz kombajnere (Kupci)

Izvor: Izradio student

Također, još jedna stvar koja se mora vidjeti je i ta koliko je proizvoda poslano paketima u navedenom razdoblju. Na slici broj 23 se vide svi potrebni podaci te se istom računicom kao i na prošloj slici može zaključiti da je poslano 8871 artikala.

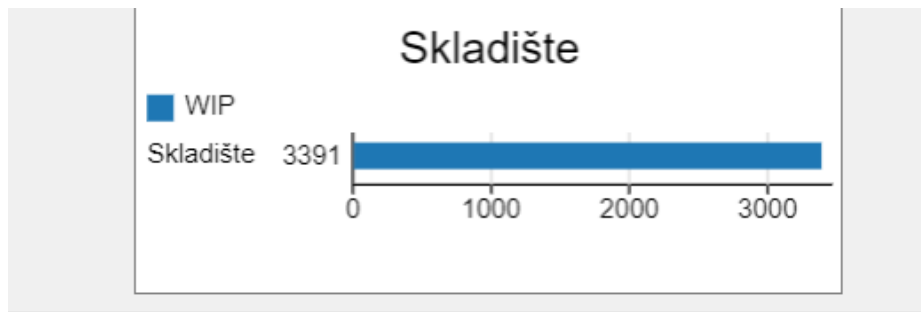


Slika 23: Grafikon prometa kroz kombajnere (Nalozi)

Izvor: Izradio student

Za kraj se treba i pogledati stanje u skladištu. Na slici broj 24 se može vidjeti kako je trenutno stanje u skladištu na kraju navedenog razdoblja iznosi 3391 artikala. To je pomak prema dolje u odnosu na 4088 artikala kojih je bilo na početku simulacije. Iako je to pad u broju artikala, to je neznatna razlika pošto je prošlo godina i 7 mjeseci od početka simulacije. Iako je došlo do pada, pad je minimalan, a treba se imati na umu da se učestalo izvršavaju inventure te kako bi centralna poslovnica sigurno poslala više artikala kada bi uvidjeli da je

došlo do pada količine istih. Također, prodavači poslovnice mogu sami od centralne poslovnice zatražiti da pošalju još artikala ako osjete da je došlo do značajnog manjka u skladištu.



Slika 24: Grafikon stanja u skladištu

Izvor: Izradio student

12. ZAKLJUČAK

Prilikom izrade diplomskog rada, postavljala su se mnoga pitanja na koje se trebalo dati odgovore. Dva najbitnija pitanja su bila dolazi li do ikakvog zagušenja u prodaji, te ako ne, jesu li uopće potrebna 3 prodavača sa skladištarem ili je dosta da budu samo 2 prodavača uz skladištara. Rezultati su pokazali kako u cijelom sustavu ne dolazi do nikakvog zagušenja u prodaji, te kako nema ni nekog značajnog zagušenja u ostalim dijelovima poslovnice. Štoviše, analizom rezultata bi se lako dalo zaključiti kako bi ustvari stvarno moglo biti nepotrebno imati 3 prodavača i skladištara u isto vrijeme. Međutim mišljenja sam kako je potrebno imati barem 3 prodavača sa skladištarom u poslovnici.

Stvar je u tome što dolazak kupaca tokom dana stvarno jako varira. Ponekad samo tokom dana dolaze jedan za drugim u razmacima da ih može sam opsluživati jedan prodavač, dok se može ponekad dogoditi da nitko ne dođe 45 minuta, pa onda dođe 4-5 kupaca u razmaku od 15 minuta. U takvim slučajevima su potrebna 3 ili više prodavača kako bi se smanjilo čekanje u redu.

Također isto kao i u prodaji, i u ostalim dijelovima sustava kojima se bavi skladištar mogu varirati. Ponekad skladištar sa svim zadaćama brzo završi pa se može otići baviti drugim stvarima kao što su uređenje skladišta da bude sve urednije i preglednije ili može čak i pomoći prodavačima kada je gužva tako što im nađe proizvode koje traže za kupce kako bi ubrzali proces kada je gužva na blagajnama. Međutim, isto tako se za dogoditi da ima previše posla u skladištu, pa onda kada je tako, ako nije gužva u poslovnici, treći prodavač može pripomoći skladištaru u prijemu palete kako bi se što prije zaprimili svi proizvodi, te izložili na police.

Na vrijeme čekanja kod paketa i naloga se nažalost ne može utjecati jer to ne ovisi o poslovnici nego o transporterima koji donose i odnose pakete po njihovom rasporedu kako stignu. Također, nije to ni neki pretjerani problem čekati da dođe prikup za pakete, pošto u skladištu ima točno zasebno mjesto i za stavljanje paketa koje prikup treba preuzeti, te mjesto na kojem ista dostavna kuća ostavlja pakete koje bi skladištar trebao nakon obavljenog pakiranja otvoriti i evidentirati u sustav.

Upravo zato, unatoč rezultatima, mišljenja sam da se treba zadržati način poslovanja, kako bi poslovnica uspjevala poslovati u što manjim problemima te kako bi se kupcima priuštila što kvalitetnija i bolja usluga bez ikakvih čekanja.

LITERATURA

KNJIGE:

1. Schmidt, J. W., Taylor, R. E. 1970., Simulation and Analysis of Industrial Systems, R. D. Irwin

INTERNETSKI IZVORI:

1. <https://vdocuments.mx/1-pojam-i-vrste-simulacija-efosunioshr-zaprimanja-zahtjeva-za-kredit-na-alteru.html?page=5>
2. <https://repository.pfri.uniri.hr/islandora/object/pfri%3A1956/datastream/PDF/view>
3. <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A2750/datastream/PDF/view>
4. <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:6376/datastream/PDF/view>
5. <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fsb%3A5088/datastream/PDF/view>
6. <https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A1037/datastream/PDF/view>
7. <https://hr.wikipedia.org/wiki?curid=72766>
8. <https://www.anylogic.com/>
9. <https://www.simio.com/>
10. <https://www.flexsim.com/>
11. <http://struna.ihjj.hr/naziv/modeliranje/35046/>
12. <https://en.wikipedia.org/wiki/Simul8>
13. <https://moodle.srce.hr/2022-2023/course/view.php?id=154605>

KAZALO KRATICA

2D, engl. Two Dimensional, dvodimenzionalni

3D, engl. Three Dimensional, trodimenzionalni

BPM, engl. Business Process Model, modeliranje poslovnih procesa

BPMN, engl. Business Process Model and Notation, modeliranje poslovnih procesa i notacija

FIFO, engl. First in First out, prvo u, prvom van

HVF, engl. High Value First, najviša vrijednost prva

LIFO, engl. Last in First out, posljednji u, prvi van

LPT, engl. Longest Processing Time, najduže vrijeme obrade

LVF, engl. Lowest Value First, najniža vrijednost prva

PLM1, engl. Product lifecycle management, upravljanje životnim ciklusom proizvoda

SPT, engl. Shortest Process Time, najkraće vrijeme obrade

UML, engl. Unified Modeling Language, jedinstveni jezik za modeliranje

VIP, engl. Very Important Person, posebne osobe

XML, engl. Extensible Markup Language, proširivi označni jezik

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1: Prosječni dolazak kupaca u trgovinu tokom tjedna..... | 38 |
| Tablica 2: Prosječni dolazak paleta u trgovinu tokom tjedna..... | 42 |
| Tablica 3: Prosječni dolazak paketa u trgovinu tokom tjedna..... | 45 |
| Tablica 4: Prosječni dolazak naloga u programu tokom tjedna..... | 48 |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1: „Ulaz Kupci“ i „Red Čekanja“ | 38 |
| Slika 2: Prozor od „Ulaz Kupci“ | 39 |
| Slika 3: Prozor od „Blagajne 1“ | 40 |
| Slika 4: Prozor od „Combiner 1“ | 41 |
| Slika 5: Slika cijelog modela povezanog uz prodaju..... | 42 |
| Slika 6: Prozor od „Blagajne 1“ | 43 |
| Slika 7: „Ulaz Paleta“ i „Robe na Paleti“ | 44 |
| Slika 8: Prozor od „Procesor“ | 44 |
| Slika 9: Prozor od „Ulaz Paketi“ i vrijeme dolaska paketa | 45 |
| Slika 10: Prozor od „Paketi“ | 46 |
| Slika 11: Prozor od „Separator 1“ | 47 |
| Slika 12: Prozor od „Procesor“ | 47 |
| Slika 13: „Ulaz Radni Nalozi“ i „Nalozi“ | 48 |
| Slika 14: Prozor od „Nalozi“ | 49 |
| Slika 15: „Ulaz Skladište“ i „Skladište“ | 50 |
| Slika 16: Prozor od „Ulaz Skladište“ | 51 |
| Slika 17: Prozor od „Skladište“ | 51 |
| Slika 18: Tablica vremena čekanja na objektima | 52 |
| Slika 19: Grafikon iskoristivosti blagajni | 53 |
| Slika 20: Grafikon prometa kroz određene ulaze | 54 |
| Slika 21: Grafikon prometa kroz izlaze | 54 |
| Slika 22: Grafikon prometa kroz kombajnere (Kupci) | 55 |
| Slika 23: Grafikon prometa kroz kombajnere (Nalozi) | 55 |
| Slika 24: Grafikon stanja u skladištu | 56 |