

Flexterm

Matošević, Mateo

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:187:695462>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-30**



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 U RIJECI**

MATEO MATOŠEVIĆ

FLEXTERM

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2023.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

FLEXTERM

FLEXTERM

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Modeliranje i simulacije

Mentor: doc. dr. sc. Dario Ogrizović

Komentorica: Valentina Šutalo, mag. ing. logist.

Student: Mateo Matošević

Studijski smjer: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112074620

Rijeka, srpanj 2023.

Studentica: Mateo Matošević

Studijski program: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112066424

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom

FLEXTERM

(naslov diplomskog rada)

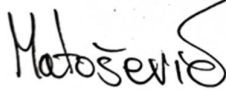
izradio/la samostalno pod mentorstvom doc. dr. sc. Daria Ogrizovića

te komentorstvom Valentine Šutalo, mag. ing. logist

stručnjaka/stručnjakinje iz tvrtke _____
(naziv tvrtke).

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/studentica



(potpis)

Mateo Matošević

Studentica: Mateo Matošević

Studijski program: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112074620

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/studentica – autor

Handwritten signature of Mateo Matošević in black ink, written in a cursive style. The signature is positioned above a horizontal line.

(potpis)

SAŽETAK

Diplomski rad provodi istraživanje vezano za simulacije, simulacijsko modeliranje te FlexTerm simulacijski program. Definišu se pojmovi simulacija, modela i simulacijskog modeliranja. Ti isti pojmovi se kategoriziraju te se objašnjavaju karakteristike njihovih kategorizacija. Daje se uvid u važnosti i prednosti provedbe simulacije s ciljem optimizacije poslovanja. U radu se navode se primjeri simulacijskih programa te je naveden primjer korištenja FlexTerm simulacijskog programa.

Ključne riječi: Simulacije, simulacijsko modeliranje, FlexTerm, terminal, optimizacija poslovanja, modeli

SUMMARY

The thesis conducts research related to simulations, simulation modeling, and the FlexTerm simulation program. The concepts of simulation, models, and simulation modeling are defined. These same concepts are categorized, and the characteristics of their categorizations are explained. An insight into the importance and advantages of conducting a simulation with the aim of business optimization is provided. The paper lists examples of simulation programs and an example of using a simulation program FlexTerm.

Keywords: simulation, simulation modelling, FlexTerm, terminal, business optimization, models

SADRŽAJ

| | |
|---|-----------|
| SAŽETAK | I |
| SUMMARY | I |
| SADRŽAJ | II |
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA..... | 2 |
| 1.2. RADNA HIPOTEZA | 2 |
| 1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA | 2 |
| 1.4. ZNANSTVENE METODE | 3 |
| 1.5. STRUKTURA RADA..... | 3 |
| 2. MODELIRANJE I SIMULACIJE..... | 5 |
| 2.1. VRSTE SUSTAVA | 5 |
| 2.2. VRSTE MODELA | 12 |
| 2.3. SIMULACIJE | 18 |
| 2.3.1. <i>Simulacijsko modeliranje</i> | 20 |
| 2.4. PREDNOSTI I NEDOSTACI SIMULACIJA | 25 |
| 3. SIMULACIJSKI PROGRAMSKI ALATI KOD LUČKIH TERMINALA..... | 26 |
| 3.1. PRIMJERI SIMULACIJSKIH PROGRAMA ZA LUČKE TERMINALE..... | 29 |
| 3.1.1. <i>FlexSim</i> | 29 |
| 3.1.2. <i>SIMIO</i> | 30 |
| 3.1.3. <i>AnyLogic</i> | 32 |
| 3.2. PRIMJENA SIMULACIJSKIH ALATA U LUČKIM TERMINALIMA..... | 33 |
| 4. FLEXTERM..... | 36 |
| 4.1. FLEXTERM GRAFIČKO SUČELJE..... | 36 |
| 4.1.1. <i>Biblioteka objekata</i> | 37 |
| 4.2. PRIKUPLJANJE PODATAKA UNUTAR PROGRAMA | 42 |
| 4.3. PLANERI..... | 44 |
| 5. FLEXTERM MODEL | 48 |
| 5.1. FLEXTERM GRAFIČKI PRIKAZ MODELA | 54 |
| 5.2. FLEXTERM STATISTIČKA ANALIZA SIMULACIJE | 56 |

| | |
|--------------------------|-----------|
| 6. ZAKLJUČAK..... | 60 |
| LITERATURA..... | 61 |
| POPIS SLIKA | 63 |

1. UVOD

Odnos tehnologije i čovjeka je svakim danom sve izraženiji. Ovisimo o njoj skoro u svakom pogledu te je način na koji je život, u prethodnih nekoliko godina, promijenjen, izuzetno vidljiv. Koristi se u razne svrhe: zdravstvo, kontroliranje različitih sustava, evidencija podataka, zabava, optimizacija poslovanja itd. Fokus diplomskog rada usmjeren je upravo na zadnju od navedenih svrha – optimizacija poslovanja. Upravo je ona jedan od glavnog razloga postojanja simulacija i modeliranja. Računalnim simulacijama i modelima možemo stvoriti sustav uz minimalno rizika i minimalno ulaganja, a opet dobiti dovoljno dobru razinu povratnih informacija o funkcioniranju nekog sustava. One nam omogućuju proučavanje i razumijevanje dinamičnih sustava koje je teško izravno promatrati ili analizirati. Modeliranjem ponašanja ovih sustava, simulacije nam omogućuju da istražimo njihovu dinamiku, identificiramo obrasce i dobijemo uvid u njihovo funkcioniranje.

Simulacije igraju ključnu ulogu u optimizaciji i planiranju kontejnerskih terminala. Kontejnerski terminali su kritična čvorišta u globalnoj logistici, gdje se kontejneri prebacuju između različitih načina prijevoza, kao što su brodovi, kamioni i vlakovi. Simulacije pomažu u dizajniranju učinkovitih planova za kontejnerske terminale. Stvaranjem virtualnog modela terminala, simulacije mogu analizirati protok kontejnera, identificirati uska grla i optimizirati raspored opreme, skladišnih prostora i infrastrukture. To pomaže u poboljšanju ukupne operativne učinkovitosti i kapaciteta terminala. Omogućuju analizu i optimizaciju protoka prometa i operativnih procesa unutar terminala. Oni mogu simulirati kretanje kamiona, dizalica i druge opreme, uzimajući u obzir faktore kao što su duljina čekanja, vrijeme čekanja i korištenje resursa. To pomaže u prepoznavanju potencijalnih točaka zagušenja, optimiziranju raspodjele opreme i razvoju učinkovitih operativnih strategija.

Postoje razni programi koji su upravo dizajnirani za simuliranje lučkih terminala za različite terete. Jedan od njih je FlexTerm, u radu su prikazane osnovne karakteristike programa, planeri i objekti te dan prikaz virtualnog modela kontejnerskog terminala.

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

Sukladno problematici istraživanja određen je **problem istraživanja**: evaluacija efikasnosti operacija na kontejnerskim terminalima koristeći simulacije i simulacijsko modeliranje. Unatoč kritičnoj ulozi koju kontejnerski terminali igraju u globalnoj trgovini, neučinkovitosti u njihovim operacijama mogu dovesti do značajnih ekonomskih gubitaka. Ove neučinkovitosti mogu proizaći iz različitih čimbenika kao što su loše raspoređivanje utovara i istovara brodova, neefikasna alokacija dizalica i drugih resursa, ili logistički problemi povezani s pohranom i dohvaćanjem kontejnera. Ovaj diplomski rad ima za cilj bolje razumjeti ove neučinkovitosti koristeći simulacijsko modeliranje, identificirati njihove korijene te ukazati na mogućnosti korištenja simulacija ka boljoj optimizaciji poslovanja.

Problem istraživanja odredio je okvir **predmeta istraživanja**: istražiti proces izrade simulacije i simulacijskog modeliranja te istražiti primjere implementacije istih. Prikazati primjere simulacijskih alata te provesti realni sustav kontejnerskog terminala kroz jedan od njih.

Problem i predmet istraživanja odnose se na sljedeće **objekte istraživanja**: Kontejnerski lučki terminali, simulacije te simulacijsko modeliranje istih s ciljem optimizacije.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Problem, predmet i objekti istraživanja determinirali su paradigmu za postavljanje **radne hipoteze**: korištenjem simulacijskih alata pomaže kontejnerskim terminalima identificirati zagušenost u sustavu te se na osnovu toga optimizira samo poslovanje istih.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

U vezi s problemom, predmetom i objektima znanstvenog istraživanja postavljene hipoteze određeni su **svrha i ciljevi istraživanja**: Analizirati samu pojavu simulacija te utvrditi na koji način se one mogu koristiti u svrhu optimizacije poslovanja lučkih terminala. Samim time i analizirati uspješnost integracija simulacija u već postojeće modele te provesti simulacijski eksperiment na realnom sustavu.

1.4. ZNANSTVENE METODE

Prilikom provođenja istraživanja u ovom radu korištene su znanstvene metode:

- Metoda analize i sinteze
- Induktivna i deduktivna metoda
- Komparativna metoda
- Metoda deskripcije
- Metoda dokazivanja
- Statistička metoda
- Metoda kompilacije
- Metoda modeliranja
- Grafička metoda

1.5. STRUKTURA RADA

Diplomski rad strukturiran je u šest zasebnih poglavlja koji su povezani istraživanjem iste cjeline.

Prvo poglavlje, pod nazivom **UVOD**, iznosi predmet, problem i objekte istraživanja, svrhu i ciljeve istraživanja, radnu hipotezu te znanstvene metode koje su korištene prilikom istraživanja.

Drugo poglavlje, pod nazivom **MODELIRANJE I SIMULACIJE**, obrađuje teorijski dio simulacija, modela, sustava i simulacijskog modeliranja. Određuje se njihova svrha te ih se kategorizira ovisno o njihovim karakteristikama.

Treće poglavlje, pod nazivom **SIMULACIJSKI PROGRAMSKI ALATI KOD LUČKIH TERMINALA**, pojašnjava simulacijski proces kod izrade simulacija te navodi simulacijske programske alate koji se koriste za simuliranje složenih sustava kao što su lučki terminali. U istom poglavlju naveden je primjer implementacije simulacija u svrhu optimizacije.

Četvrto poglavlje, pod nazivom **FLEXTERM**, navodi značajke simulacijskog programa pod istim nazivom. Evaluiraju se koristi i učinkovitosti takvog alata te se prolazi kroz bitne elemente s kojima bi korisnik trebao biti upoznat prije samog korištenja.

Peto poglavlje, pod nazivom **FLEXTERM MODEL**, sadrži simulacijski eksperiment nad virtualnim modelom kontejnerskog terminala te se daje uvid u korištene planere i objekte te statistička analiza dobivenih rezultata.

Šesto poglavlje, pod nazivom **ZAKLJUČAK**, obuhvaća sažetke i zaključke dijelova diplomskog rada.

2. MODELIRANJE I SIMULACIJE

Modeliranje i simulacije moćni su alati koji se koriste u raznim područjima za razumijevanje složenih sustava, predviđanje ishoda i analizu različitih scenarija. Uključuju stvaranje pojednostavljenih prikaza fenomena, procesa ili sustava iz stvarnog svijeta za proučavanje njihovog ponašanja i donošenje informiranih odluka. Model je pojednostavljeni prikaz sustava, dok se simulacija može definirati kao umjetnost izgradnje matematičkih modela i proučavanje njihovih svojstava u odnosu na svojstva sustava koje oni predstavljaju.¹

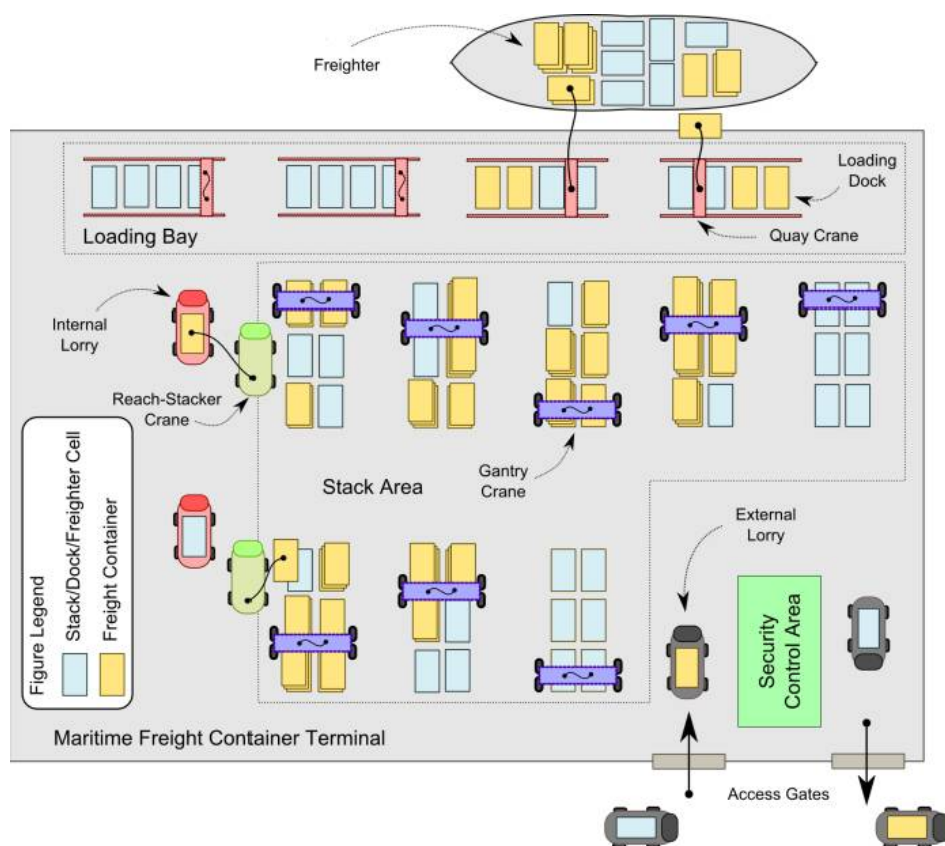
Model i simulacija su dva pojma koja su usko vezana u načinima na koji se upotrebljavaju. U simulacijama uglavnom uvijek je potreban neki model na kojem će se sama simulacija bazirati. Samim time daje se zaključiti da modeliranje i simulacije tvore jedan sustav elemenata i komponenti u kojem je svatko u nekoj interakciji s drugim.

2.1. VRSTE SUSTAVA

Uopćenim izrazom, sustav može se definirati kao skup međusobno povezanih elemenata ili komponenti koje djeluju zajedno kako bi formirali funkcionalnu cjelinu. Primjeri sustava uključuju Sunčev sustav, probavni sustav, energetski sustav, koordinatni sustav i filozofijski sustav. Također, sustav može predstavljati ukupnost načela, pravila, propisa i postupaka koji reguliraju određeno područje, kao što su školski sustav, politički sustav, ekonomski sustav i prometni sustav. Osim toga, pojam sustava može se primijeniti i na nastojanja usmjerena prema ostvarenju određenog cilja, kao što je sustav obrane optuženika.² Na slici 1., ispod, dan je primjer sustava kontejnerskog terminala s njegovim elementima.

¹ Rabbinge, R. and De Wit, C.T., "Simulation and systems management in crop protection", Pudoc, Wageningen, 1989., str. 3

² sustav. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 13. 4. 2023. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=58904>>.



Slika 1 – Prikaz sustava kontejnerskog terminala

Izvor: Barro-Torres S., Fernández-Caramés, T.M., & González-López M. . Maritime Freight Container Management System Using RFID, 2010, <https://www.semanticscholar.org/paper/Maritime-Freight-Container-Management-System-Using-Barro-Torres-Fernández-Caramés/dfffd73de9e8d7da30b61d00f3ece349e3f14e8b> (14.04.2023.)

Svaki element u sustavu ima neke svoje vrijednosti i atribute te uglavnom uvijek postoji razlog postojanja istog u sustavu. U različitim sustavima možemo pronaći grupacije istih elemenata, ali isto tako postoje sustavi u kojima je svaki element različit. Elemente razlikujemo po njihovim mogućnostima kretanje tj. statički i dinamički. Samo stanje sustava ovisi o stanju elemenata u njemu, npr. sustav brodogradilišta koji ima manjak dizalica naspram materijala koji čeka za ukrcaj biti će zagušen samo iz razloga što jedan element ne odgovara zahtjevima sustava te se time gubi na optimizaciji. Kada se jedan ili više elemenata sustava promijene, to može izazvati promjenu u međusobnim odnosima, procesima ili ulazno-izlaznim vezama unutar sustava. Ove promjene se potom šire kroz sustav i mogu imati kaskadni učinak na ostale elemente. Stoga, stanje pojedinih elemenata

utječe na stanje cjelokupnog sustava, ovisno i prirodi tih veza. a. Razumijevanje tih veza i međuovisnosti ključno je za analizu, predviđanje i upravljanje sustavima u različitim područjima.

Sama podjela vrste sustava je vrlo široka, no postoje neke od uobičajenih³:

1. Fizički i apstraktni sustavi
2. Diskretni i kontinuirani
3. Otvoreni i zatvoreni
4. Deterministički i probabilistički
5. Informacijski sustavi koje je stvorio čovjek

³ Types of Systems, MBA Knowledge Base, <https://www.mbaknol.com/management-information-systems/types-of-systems/>, pristupljeno: 14.4.2023.

Fizički sustavi: To su sustavi koji se sastoje od fizičkih komponenti ili elemenata. Primjeri fizičkih sustava uključuju mehaničke sustave (npr. strojevi, vozila), električne sustave (npr. električna mreža, elektronički uređaji), kemijske sustave (npr. kemijske reakcije, industrijski postrojenja) i biološke sustave (npr. živi organizmi, ekosustavi).

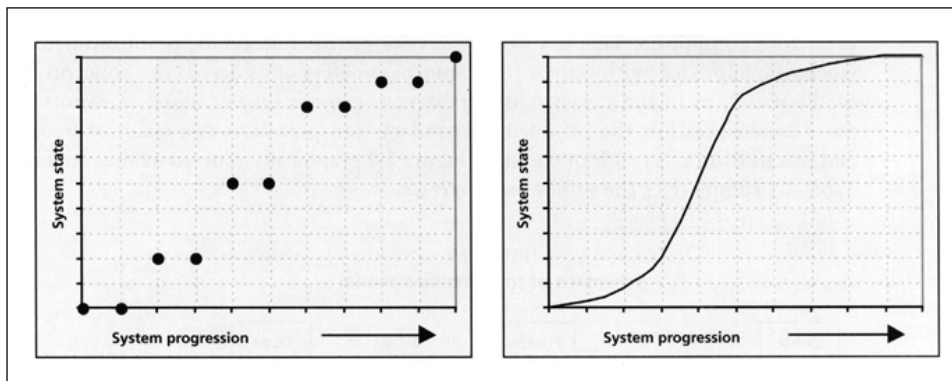
Apstraktni sustavi: Ovi sustavi nisu fizičke prirode, već se temelje na idejama, konceptima ili simboličkim reprezentacijama. Primjeri apstraktnih sustava uključuju matematičke modele, informacijske sustave, jezične sustave ili filozofske sustave (npr. sustav utopije).

Diskretni i kontinuirani: U diskretnim sustavima i ulazni i izlazni signali su diskretni signali. Varijable u diskretnim sustavima variraju s vremenom. U ovom tipu sustava promjene su pretežno diskontinuirane. Stanje varijabli u diskretnom sustavu mijenja se samo u diskretnom skupu točaka u vremenu⁴. Primjeri diskretnih sustava uključuju digitalne računalne sustave, diskretne vremenske nizove, diskretne sklopove ili diskretne događaje. Kontinuirani sustavi su one vrste sustava u kojima su ulazni i izlazni signali isti na oba kraja. U ovom tipu sustava, varijabla se mijenja s vremenom i nijedna vrsta varijacije nije pronađena u ulaznom i izlaznom signalu. Kao odgovor na ulazni signal, kontinuirani sustav generira izlazni signal⁵. To znači da se sustav mijenja kontinuirano, bez prekida ili diskretnih koraka. Primjeri kontinuiranih sustava uključuju fizičke procese poput kontinuiranog kretanja tijela, kontinuiranih promjena temperature ili kontinuiranog protoka tekućine. Kontinuirani sustavi često se opisuju koristeći diferencijalne jednadžbe ili integralne jednadžbe. Diskretni i kontinuirani sustavi od velike su važnosti u simulacijama jer predstavljaju dvije temeljne vrste fenomena koji se događaju u stvarnom svijetu. Cilj simulacija je repliciranje ili modeliranje scenarija i procesa iz stvarnog svijeta, a razumijevanjem karakteristika diskretnih i kontinuiranih sustava možemo učinkovito simulirati i analizirati različite fenomene. Uključivanjem diskretnih i kontinuiranih sustava u simulacije, možemo precizno modelirati širok raspon scenarija iz stvarnog svijeta. Mnogi složeni sustavi pokazuju kombinaciju diskretnih i kontinuiranih aspekata. Na primjer, u simulaciji opskrbnog lanca, diskretni događaji poput narudžbi i isporuka mogu se dogoditi unutar kontinuiranog toka robe i inventara. Sposobnost simulacije obje vrste sustava pruža sveobuhvatnije razumijevanje temeljne dinamike, olakšava donošenje odluka i pomaže

⁴ Continuous Systems vs. Discrete System, JavaTpoint, <https://www.javatpoint.com/continuous-systems-vs-discrete-systems>, pristupljeno 14.4.2023.

⁵ Continuous Systems vs. Discrete System, JavaTpoint, <https://www.javatpoint.com/continuous-systems-vs-discrete-systems>, pristupljeno 14.4.2023.

optimizirati procese u različitim područjima kao što su inženjerstvo, poslovanje, logistika i znanstveno istraživanje. Slika 2, ispod, daje vizualan primjer determinističkog (lijevo) i kontinuiranog (desno) napretka u nekom sistemu. Vidljivo je kako je napredak kod determinističkom u određenim točkama u vremenu, dok kontinuirani je u stalnoj promijeni kroz vrijeme.

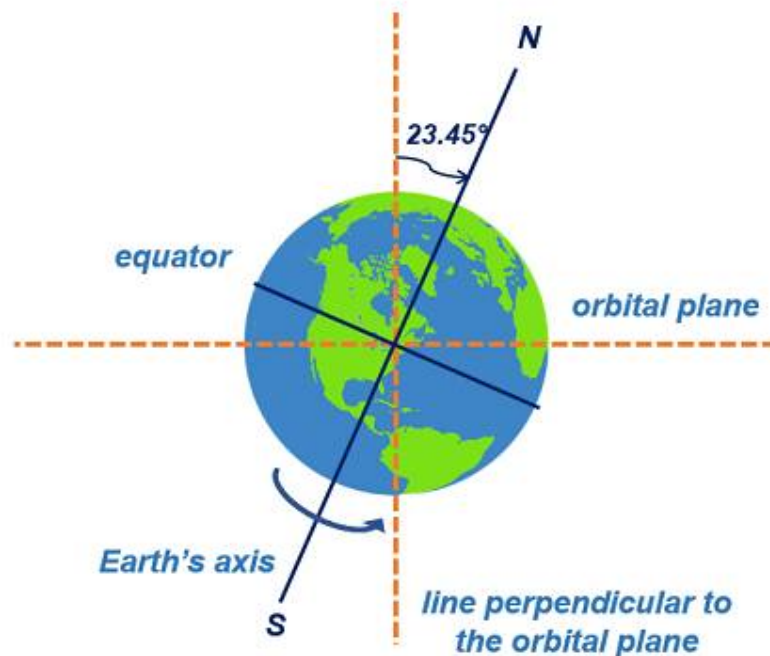


Slika 2 – Prikaz napretka u determinističkom i kontinuiranom sustavu

Izvor: Fazil A. M., A primer on risk assessment modelling: focus on seafood products, <https://www.fao.org/3/a0238e/A0238E02.htm> (15.04.2023.)

Otvoreni i zatvoreni: Otvoreni sustavi su oni koji su u interakciji s okolinom, primajući ulaze iz okoline i izlažući izlaze u okolinu. Zatvoreni sustavi, s druge strane, djeluju izolirano i ne razmjenjuju tvari, energiju ili informacije s okolinom. Primjer otvorenog sustava može biti hidroelektrana. Hidroelektrana prima ulaz u obliku vode iz rijeke ili jezera te koristi tu vodu kao izvor energije za generiranje električne energije. Nakon što voda prolazi kroz turbine i generira električnu energiju, izlazni proizvod je proizvedena električna energija koja se distribuira u električnu mrežu. Ova vrsta sustava je u interakciji s okolinom putem ulaza (voda) i izlaza (električna energija), i stoga se smatra otvorenim sustavom. Primjer zatvorenog sustava može biti zatvoreni ekosustav u obliku terarija. U terariju se biljke, životinje i mikroorganizmi smještaju unutar zatvorenog staklenog ili plastičnog spremnika. Unutar terarija, svi potrebni resursi poput hrane, vode i svjetla su prisutni, a ciklusi materije i energije odvijaju se unutar sustava. Sustav ne prima ili ne ispušta materiju ili energiju iz okoline, stoga se smatra zatvorenim sustavom.

Deterministički i probabilistički sustav: Deterministički sustav je onaj u kojem je pojava svih događaja savršeno predvidljiva. Ako dobijemo opis stanja sustava u određenom trenutku, lako se može predvidjeti sljedeće stanje. Primjer takvog sustava je matematički model koji opisuje kretanje planeta u Sunčevom sustavu. Koristeći Newtonove zakone gibanja i početne uvjete (položaj i brzinu planeta), moguće je točno predvidjeti njihove buduće položaje u određenom vremenskom razdoblju. Probabilistički sustav je onaj u kojem se pojavljivanje događaja ne može savršeno predvidjeti. Primjer takvog sustava je skladište i njegov sadržaj. Važno je napomenuti da postoje i hibridni sustavi koji kombiniraju determinističke i probabilističke elemente, gdje se neki dijelovi sustava ponašaju deterministički, dok drugi dijelovi imaju probabilističke karakteristike. Na slici 3, ispod, prikazana je Zemljina rotacija i nagib kao deterministički sustav. Njezinom rotacijom i nagibom točno se određuju godišnja doba te polarni dani i noći.

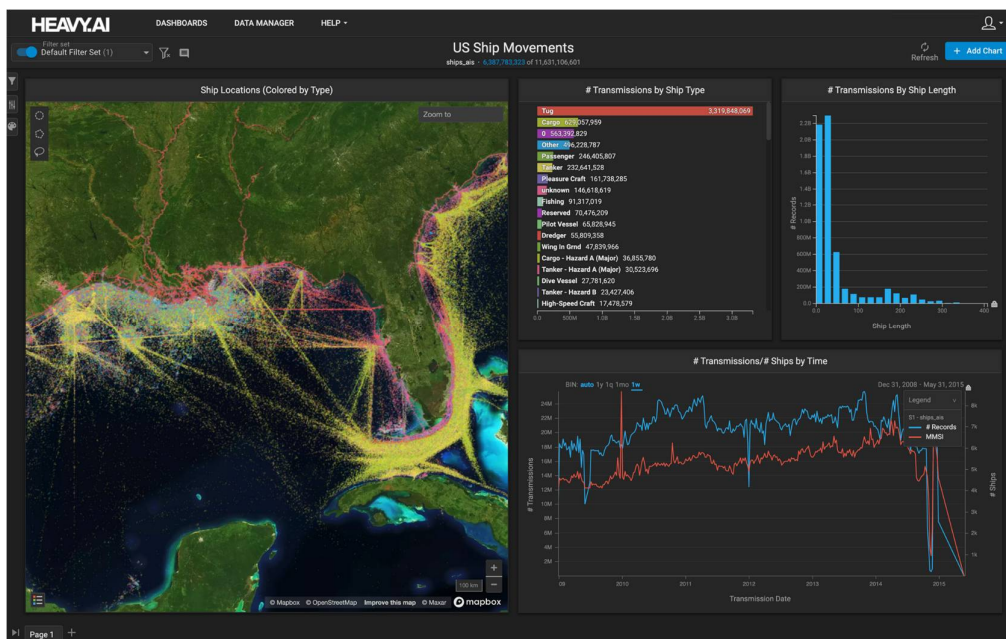


Slika 3 – Prikaz Zemljine rotacija i nagiba

Izvor: Study.com, Rotation & Revolution of the Earth, <https://study.com/learn/lesson/rotation--revolution-earth-facts-effect-importance.html> (15.04.2023.)

Informacijski sustavi koje je stvorio čovjek⁶: Općenito se vjeruje da informacija smanjuje nesigurnost ili nedoumicu o stanju ili događaju. Na primjer, dobivanje informacije da je vjetar miran smanjuje neizvjesnost o tome hoće li putovanje brodom biti ugodno. Informacijski sustav igra ključnu ulogu u interakciji između korisnika i analitičara te utječe na prirodu odnosa među donositeljima odluka. U stvari, može se smatrati središnjim mjestom donošenja odluka za osoblje na svim razinama. Na temelju toga, informacijski sustav može se definirati kao skup uređaja, postupaka i operativnih sustava koji su dizajnirani prema kriterijima temeljenim na korisniku. Njegov je cilj proizvoditi informacije i prenijeti ih korisniku kako bi se omogućilo planiranje, kontrola i izvedba. Važno je napomenuti da tvrtka obično ima nekoliko informacijskih sustava, i svaki je od njih oblikovan za određenu svrhu. Važno je da praktičari prepoznaju raznolikost informacijskih sustava u tvrtki, jer svaki od njih ima svoj specifičan dizajn i namjenu. Glavni informacijski sustavi jesu: formalni informacijski sustavi, neformalni informacijski sustavi, računalni informacijski sustavi. Formalni informacijski sustavi se uglavnom baziraju na hijerarhijskom poredku u nekoj organizaciji. Neformalni sustav može biti sustav temeljen na zaposlenicima koji je dizajniran da zadovolji kadrovske i strukovne potrebe te da pomogne u rješavanju problema povezanih s poslom. Treći od informacijskih sustava tj. računalni informacijski sustav ovisi uglavnom o računalu za rukovanje poslovnim aplikacijama. Analitičari sustava razvijaju nekoliko različitih vrsta informacijskih sustava kako bi zadovoljili različite poslovne potrebe. Postoji klasa sustava poznatih zajednički kao informacijski sustavi bazirani na računalu. Budući da imamo različite vrste transportnih sustava kao što su sustavi autocesta, željeznički sustavi i sustavi zračnih prijevoznika, računalnih informacijskih sustava ima raznih vrsta. Oni su klasificirani kao: **Transaction Processing Systems (TPS), Management Information Systems (MIS), Decision Support Systems (DSS), Office Automation Systems (OAS)**. Na slici 4, ispod, prikazan je GIS (Geographic Information Systems) koji se smatra klasom DSS sustava. Jedna od njegovih namjena je pravodobno obavještanje o mogućim prirodnim katastrofama, ali i praćenje kretnje brodova kao što je vidljivo na slici.

⁶ Types of Systems, MBA Knowledge Base, <https://www.mbaknol.com/management-information-systems/types-of-systems/>, pristupljeno: 14.4.2023.



Slika 4 – Prikaz GIS-a

Izvor: Heavy AI, Geographic Information System (GIS) Definition, <https://www.heavy.ai/technical-glossary/gis> (23.06.2023.)

2.2. VRSTE MODELA

Model predstavlja jednostavni prikaz određenog stvarnog sustava⁷. Modeli mogu biti raznih karakteristika, a sve ovisi o svrsi njihove primjene. Radnja koja se fokusira na izradu modela naziva se modeliranje. U kontekstu znanstvenog istraživanja, model je pojednostavljeni prikaz stvarnosti koji omogućuje proučavanje i testiranje hipoteza te razumijevanje složenih fenomena. Na primjer, u fizici se koriste matematički modeli kako bi se opisalo kretanje tijela ili interakcija čestica. U medicini, koriste se anatomske modele za proučavanje strukture ljudskog tijela. U području računalnih znanosti, modeli se koriste za stvaranje softverskih simulacija, predviđanja ili analiza podataka. Primjeri uključuju računalne modele vremenskih prognoza, modeliranje klimatskih promjena ili strojno učenje koje koristi modele za donošenje predikcija na temelju podataka. Modeli mogu biti jednostavni ili kompleksni, ovisno o tome koliko detaljno i precizno odražavaju stvarnost.

⁷ asistent.me, pristupljeno 14.4.2023.

Oni služe kao alati za razumijevanje, istraživanje, planiranje i donošenje odluka u različitim područjima, uključujući znanost, tehnologiju, poslovanje, ekonomiju i društvene znanosti.

Modele se može podijeliti iz više točka gledišta:

Po strukturi oni mogu biti: fizički ili apstraktni⁸. Fizički modeli su opipljivi ili fizički prikazi objekata, sustava ili pojava. Stvoreni su tako da budu vrlo slični stvarnim objektima ili sustavima koje predstavljaju. Fizički modeli mogu biti trodimenzionalni (npr. umanjene replike zgrada ili mostova) ili dvodimenzionalni (npr. karte ili dijagrami). Mogu se graditi pomoću različitih materijala, poput gline, drveta, plastike ili računalno generirane grafike. Fizički modeli posebno su korisni kada se radi o vizualizaciji i analizi fizičkih karakteristika, ponašanja i interakcija objekata ili sustava. Oni pružaju praktičan pristup proučavanju složenih struktura, procesa ili mehanizama. Fizički modeli naširoko se koriste u područjima kao što su arhitektura, inženjerstvo, industrijski dizajn i eksperimentalne znanosti. Na primjer, arhitekti često stvaraju fizičke modele zgrada kako bi procijenili njihov dizajn, estetiku i funkcionalnost prije početka gradnje. Apstraktni modeli, također poznati kao konceptualni ili matematički modeli, predstavljaju sustave ili fenomene pomoću simbola, jednadžbi ili matematičkih odnosa. Oni se usredotočuju na temeljna načela, odnose i ponašanja sustava, a ne na njegov fizički izgled. Apstraktni modeli imaju za cilj obuhvatiti bitne aspekte sustava na pojednostavljen i formaliziran način, čineći ih lakšima za analizu i razumijevanje. Apstraktni modeli mogu se izraziti matematičkim jednadžbama, dijagramima, grafikonima ili računalnim simulacijama. Obično se koriste u područjima kao što su fizika, ekonomija, biologija i informatika. Na primjer, u fizici se matematički modeli koriste za opisivanje ponašanja fizičkih sustava, poput gibanja objekata ili interakcija između čestica. U ekonomiji se apstraktni modeli koriste za analizu tržišnog ponašanja ili optimizaciju procesa donošenja odluka. Apstraktni modeli pružaju način proučavanja složenih sustava usredotočujući se na njihova bitna svojstva i odnose. Omogućuju istraživačima izvođenje teorijske analize, provođenje simulacija i predviđanja bez potrebe za fizičkim prototipovima. Apstraktni modeli mogu biti fleksibilniji i skalabilniji od fizičkih modela, budući da mogu predstavljati širok raspon sustava i lako uključiti promjene ili varijacije. I fizički modeli i apstraktni modeli imaju svoje prednosti i ograničenja, a izbor korištenja jednog nad drugim ovisi o specifičnom kontekstu, ciljevima

⁸ Jadranka Božikov, Modeliranje i simulacija, https://bib.irb.hr/datoteka/347082.modeliranje_i_simulacija_-_v2a2.pdf, pristupljeno 14.4.2023.

i zahtjevima studije ili primjene. U mnogim slučajevima koristi se kombinacija fizičkih i apstraktnih modela kako bi se dobilo sveobuhvatnije razumijevanje fenomena stvarnog svijeta koji se istražuju. Ispod, na slici 5 prikazan je fizički model ljudskog kostura.



Slika 5 – Prikaz fizičkog modela ljudskog kostura

Izvor: Southern Biological, <https://www.southernbiological.com/anatomy-models/human-skeleton-models/> (20.06.2023.)

Prema ponašanju u vremenu: statički i dinamički⁹. Najznačajnija razlika između statičkih i dinamičkih modela sustava je u tome što se dinamički model odnosi na model sustava za vrijeme izvođenja, a statički model je model sustava koji nije za vrijeme izvođenja. Druga razlika leži u korištenju diferencijalnih jednadžbi u dinamičkom modelu koje su uočljive po tome što ih nema u statičkom modelu. Dinamički modeli nastavljaju se mijenjati s obzirom na vrijeme, dok su statički modeli u ravnoteži ili stabilnom stanju. Statički model je više strukturalni nego bihevioralni, dok je dinamički model prikaz ponašanja statičkih komponenti sustava. Statičko modeliranje uključuje dijagram klasa i dijagrame objekata te pomoć u prikazivanju statičkih sastavnih dijelova sustava. S druge strane, dinamičko modeliranje sastoji se od niza operacija, promjena stanja, aktivnosti,

⁹ Jadranka Božikov, Modeliranje i simulacija, https://bib.irb.hr/datoteka/347082.modeliranje_i_simulacija_-_v2a2.pdf, pristupljeno 14.4.2023.

interakcija i pamćenja. Statičko modeliranje je rigidnije od dinamičkog modeliranja budući da je vremenski neovisan pogled na sustav. Ne može se mijenjati u stvarnom vremenu i zato se naziva statičkim modeliranjem. Dinamičko modeliranje je fleksibilno jer se može mijenjati s vremenom jer pokazuje što objekt radi s mnogim mogućnostima koje se mogu pojaviti s vremenom¹⁰.

Prema načinu rješavanja: konceptualni, matematički i simulacijski¹¹.

Konceptualni model je model aplikacije za koji dizajneri žele da ga korisnici razumiju. Korištenjem softvera i možda čitanjem njegove dokumentacije, korisnici u svojim glavama grade model kako on funkcionira¹². Konceptualni modeli su pojednostavljeni prikazi ili apstrakcije složenih sustava, pojava ili ideja. Koriste se za razumijevanje i komuniciranje bitnih aspekata i odnosa predmeta bez ulaženja u zamršenost njegovih detalja. Konceptualni modeli mogu se pronaći u raznim disciplinama, uključujući znanost, matematiku, inženjerstvo i informatiku. Primjer konceptualnog modela odnosno jednostavnog dijagrama toka prikazan je na slici 6. **Matematički modeli** koriste matematičke jednadžbe za opisivanje, predviđanje i pojednostavljenje sustava stvarnog svijeta. Koriste se u svim područjima fizičke znanosti, uključujući biologiju, fiziku i kemiju. Matematički modeli također se koriste u inženjerstvu i nekim društvenim znanostima. Ako se ulazi i izlazi sustava mogu opisati brojevima, za njih se može razviti matematički model¹³. Matematički modeli često se koriste za predviđanje i odgovaranje na pitanja. Na primjer, poduzeće bi moglo znati kako će se njihov profit promijeniti ako promijeni cijenu proizvoda. Mogli bi koristiti podatke iz prošlih proizvoda za razvoj modela koji predviđa kako cijene utječu na prodaju. Slično tome, matematički modeli u znanosti daju predviđanja na temelju jednadžbi razvijenih iz prošlih eksperimenata. Još jedan od primjera matematičkog modela je The SIR model koji je prikazan na slici 7. Dobar primjer matematičkog modela je SIR model (eng. susceptible-infected-recovered model), koji se široko koristi za proučavanje širenja zaraznih bolesti unutar populacije. SIR model dijeli populaciju na tri komponente: podložne (S), zaražene (I) i izliječene (R).

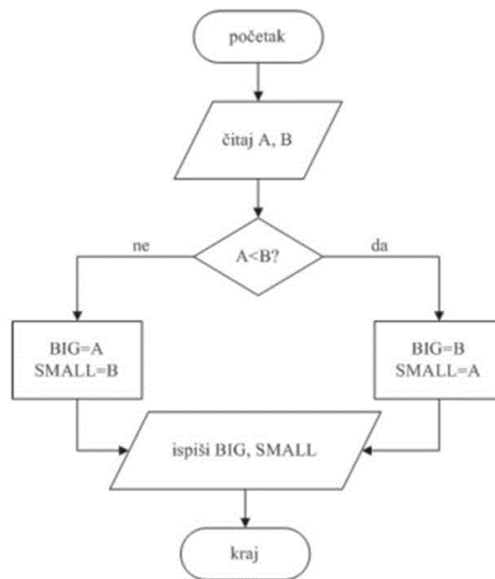
¹⁰ Difference between Static and Dynamic Modelling, Olivia,
<https://www.differencebetween.com/difference-between-static-and-vs-dynamic-modelling/>, pristupljeno 14.04.2023.

¹¹ Jadranka Božikov, Modeliranje i simulacija,
https://bib.irb.hr/datoteka/347082.modeliranje_i_simulacija_-_v2a2.pdf, pristupljeno 14.4.2023.

¹² Johnson J., „GUI Bloopers 2.0“, Morgan Kaufmann, 2008., str. 7

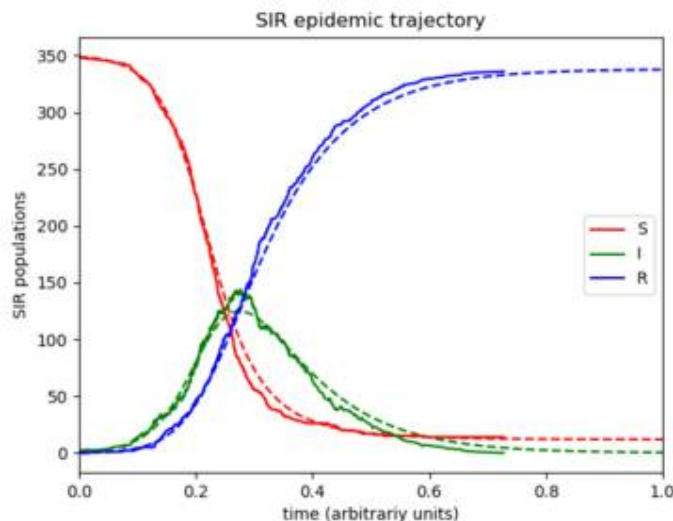
¹³ Mathematical Models in Science: Uses and Examples, Emily Matthews,
<https://study.com/learn/lesson/mathematical-models-science-uses-formulas-examples.html#quiz-course-links>, pristupljeno 16.4.2023.

Koristi skup diferencijalnih jednadžbi kako bi predstavio dinamiku prijenosa bolesti. Osnovni SIR model pretpostavlja da ljudi prelaze iz podložne u zaraženu komponentu na temelju stope kontakta i vjerojatnosti prijenosa, te iz zaražene u izliječenu komponentu na temelju stope oporavka. Prilagođavanjem parametara modela istraživači mogu simulirati i analizirati različite scenarije, kao što su utjecaj cijepljenja, mjere fizičkog distanciranja ili promjene u zaraznosti bolesti. **Simulacijski model** tj. simulacijsko modeliranje obrađeno je u poglavlju 2.3.1.



Slika 6 – Prikaz konceptualnog modela dijagrama toka

Izvor: https://razno.sveznadar.info/02-2razred/5-Algorithm/DT_Primjer2.html (20.06.2023.)



Slika 7 – Prikaz The SIR modela

Izvor: Wikipedia, Compartmental models in epidemiology,
https://en.wikipedia.org/wiki/Compartmental_models_in_epidemiology (15.06.2023.)

Moglo bi se reći da posljednje podjela zapravo prikazuje proces formiranja nekog modela. Prvo se radi koncept tj. skica nekog sustava, nakon toga se unose matematičke vrijednosti i ograničenja te sve završava simulacijom.

Simulacijski modeli mogu se dalje klasificirati na temelju dvaju kriterija: tipa varijabli koje se koriste u modelu i načina na koji se mijenja stanje modela tijekom vremena.

Prema izvjesnosti/neizvjesnosti rezultata modeli su: deterministički i stohastički¹⁴. Deterministički modeli koriste fiksirane vrijednosti za ulazne varijable i uvjetuju potpuno predvidljive izlazne rezultate. To znači da će se u svakom ponavljanju simulacije isti ulazni podaci rezultirati istim izlaznim rezultatima. S druge strane, stohastički modeli koriste nasumične ili varijable bazirane na vjerojatnosti za ulazne podatke i/ili za izmjene stanja modela tijekom vremena. To znači da će isti ulazni podaci rezultirati različitim izlaznim rezultatima u svakom ponavljanju simulacije. Stohastički

¹⁴ Jadranka Božikov, Modeliranje i simulacija,
https://bib.irb.hr/datoteka/347082.modeliranje_i_simulacija_-_v2a2.pdf , pristupljeno 14.4.2023.

modeli koriste vjerojatnost i statističke metode za modeliranje nesigurnosti i slučajnosti u procesu koji se simulira.

Prema načinu na koji se mijenja stanje modela razlikuju se: modeli diskretnih događaja i modeli kontinuiranog stanja te miješani modeli diskretnih i kontinuiranih stanja¹⁵. Kao i kod diskretnih i kontinuiranih sustava, diskretni i kontinuirani modeli imaju slične značajke. Ovi modeli koriste diskretne vrijednosti, što znači da se promjene u modelu događaju u određenim, diskretnim trenucima. Kontinuirani koriste kontinuirane vrijednosti, što znači da se promjene u modelu događaju kontinuirano tijekom vremena.

Ne postoje apsolutni propisi ili standardi za izradu visokokvalitetnih modela. Ključni faktori koji doprinose stvaranju uspješnih modela uključuju¹⁶:

- Duboko razumijevanje problema koji se rješava.
- Vještina u apstrakciji, odnosno sposobnost da se složeni problemi pojednostave.
- Pristup koji je sustavan i metodološki, osiguravajući da se svaki korak modeliranja pomno razmotri.
- Sposobnost razlikovanja između onoga što je suštinsko za problem i onoga što nije.
- Bogato iskustvo, koje se stječe praksom i kontinuiranim učenjem.

2.3. SIMULACIJE

Simulacija je metoda koja rekreira funkcioniranje stvarnih svjetskih procesa ili sustava putem modela. Model je reprezentacija ključnih osobina i ponašanja odabranog procesa ili sustava. S druge strane, simulacija prikazuje razvitak tog modela pod različitim uvjetima tijekom vremena¹⁷. To je digitalni ili fizikalni predstavnik stvarnog svijeta,

¹⁵ Jadranka Božikov, Modeliranje i simulacija, https://bib.irb.hr/datoteka/347082.modeliranje_i_simulacija_-_v2a2.pdf, pristupljeno 14.4.2023.

¹⁶ Jadranka Božikov, Modeliranje i simulacija, https://bib.irb.hr/datoteka/347082.modeliranje_i_simulacija_-_v2a2.pdf, pristupljeno 14.4.2023.

¹⁷ Banks, J., Carson, J., Nelson, B. & Nicol, D., "Discrete-Event System Simulation", Prentice Hall., Upper Saddle River, 2010., str. 3

stvoren kako bi se reproducirale ili predvidjele akcije, interakcije ili reakcije različitih entiteta unutar modeliranog sustava.

Simulacije se često koriste kada je izravna eksperimentacija skupa, opasna ili nemoguća. Na primjer, simulacije se koriste za testiranje prototipova aviona prije nego što se stvarni avion izgradi, za analizu financijskih rizika prije donošenja investicijskih odluka, ili za proučavanje prirodnih fenomena poput potresa i uragana, gdje je izravno eksperimentiranje nemoguće. Osim toga, simulacije se koriste za obuku i edukaciju u mnogim disciplinama. Na primjer, piloti koriste simulatore letenja za vježbanje prije nego što počnu upravljati stvarnim zrakoplovima, a medicinski stručnjaci koriste simulacije za vježbanje kirurških tehnika. Pomorski fakultet u Rijeci vrši edukaciju studenata na više vrsta simulatora. Jedan od njih je navigacijski simulator (slika 8 ispod). Ono omogućuje studentima virtualno iskusiti i prakticirati navigaciju broda ili drugog vozila u sigurnom i kontroliranom okruženju. Stvara realistične simulacije morskih, zračnih ili terestričkih okruženja u kojima studenti mogu naučiti i vježbati različite navigacijske vještine. Navigacijski simulatori mogu biti vrlo složeni, stvarajući realistične vizualizacije okruženja i simulirajući različite uvjete, poput vremenskih uvjeta, morskih struja, prometa, tehničkih problema s vozilom i drugih mogućih izazova s kojima bi se korisnik mogao suočiti u stvarnom svijetu.



Slika 8 – Prikaz navigacijskog simulatora na Pomorskom fakultetu u Rijeci

Izvor: Wikipedia, Datoteka:Pfri nauticki simulator.jpg,
https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Pfri_nauticki_simulator.jpg (21.06.2023.)

Simulacije se široko može podijeliti u dvije kategorije¹⁸:

- *Man-in-the-loop* simulacije koje se koriste u svrhu treninga (navigacijski simulator) ili zabave
- Analiza i dizajn artefakata i procesa

Druga kategorija je tehničko područje koje inženjeri i istraživači operacija najčešće povezuju sa simulacijom. Razmotrite na primjer dizajn nove letjelice. Braća Wright izumila su zračni tunel kako bi simulirala aerodinamičke pojave pomoću maketa. Ispitivanja u zračnom tunelu još uvijek se koriste za kalibraciju vrlo složenih aerodinamičkih računalnih simulacija.

2.3.1. Simulacijsko modeliranje

Pod pojmom simulacijsko modeliranje misli se na proces stvaranja simulacije tj. davanje cjelokupnom sustavu varijable, atribute, entitete i sve ostale značajke smatrane sastavnim dijelom nekog modela.

Simulacije se također mogu kategorizirati prema njihovoj strategiji implementacije¹⁹:

- Kontinuirana simulacija sustava
- Monte Carlo simulacija
- Simulacija diskretnih događaja
- Hibridna simulacija
- Simulacija temeljena na agentima

¹⁸ White Preston, Ricki G. Ingalls, „Introduction to simulation“, https://www.researchgate.net/publication/221529490_Introduction_to_Simulation , pristupljeno 30.04.2023.

¹⁹ White Preston, Ricki G. Ingalls, „Introduction to simulation“, https://www.researchgate.net/publication/221529490_Introduction_to_Simulation , pristupljeno 30.04.2023.

Kontinuirana simulacija sustava i simulacija diskretnih događaja imaju karakteristike kao ranije opisani diskretni i kontinuirani sustavi i modeli, **hibridna simulacija** je mješavina obje.

Monte Carlo simulacija je kategorija računalnih algoritama koji koriste nasumično uzorkovanje za dobivanje numeričkih rezultata. Ime "Monte Carlo" dolazi od kasina u Monacu, poznatih po igrama na sreću, što aludira na element nasumičnosti koji je ključan za ove simulacije. Monte Carlo simulacije koriste se u širokom spektru disciplina, uključujući fiziku, inženjering, financije, statistiku, ekonomiju, računalnu znanost i mnoge druge. Cilj je procijeniti neizvjesnost ili varijabilnost rezultata koristeći nasumične ulazne varijable. Na primjer, u financijskoj analizi, Monte Carlo simulacija može se koristiti za modeliranje budućih cijena dionica temeljenih na povijesnoj volatilnosti i prinosa. U kontekstu projekt menadžmenta, Monte Carlo simulacije se koriste za procjenu rizika i neizvjesnosti u vremenskim i troškovnim procjenama projekta. Koristeći Monte Carlo simulacije, moguće je izvesti tisuće ili čak milijune "pokušaja" koristeći različite nasumične ulazne vrijednosti, a zatim analizirati distribuciju rezultata kako bi se dobio uvid u vjerojatne ishode i njihovu vjerojatnost. Ova metoda je posebno korisna kada je analitičko rješenje problema teško ili nemoguće postići.

Simulacija temeljena na agentima (Agent-Based Modeling - ABM) je vrsta računalne simulacije koja koristi individualne entitete, poznate kao "agenti", da modelira kompleksne sustave. Svaki agent u ovom modelu je autonomna jedinica s vlastitim setom pravila, svojstava i ponašanja. Agenti mogu interagirati jedni s drugima i sa svojim okruženjem, mijenjajući svoje stanje tijekom vremena. Ti interaktivni procesi često rezultiraju "emergentnim" ponašanjem na razini sustava, što znači da se ukupni rezultati sustava pojavljuju iz interakcija između agenata, a ne samo iz ponašanja pojedinačnih agenata. Simulacije temeljene na agentima koriste se u različitim područjima, uključujući ekonomiju, sociologiju, biologiju, računalnu znanost, ekologiju i mnoga druga. Na primjer, mogu se koristiti za modeliranje ponašanja životinjskih populacija u ekosustavu, tržišnih trendova u ekonomiji, širenja bolesti u populaciji, prometnih tokova u urbanom okruženju i još mnogo toga. Važno je napomenuti da, iako su simulacije temeljene na agentima moćan alat za modeliranje kompleksnih sustava, one također zahtijevaju pažljivo razumijevanje i interpretaciju. Agenti moraju biti pažljivo definirani i njihove interakcije moraju biti realistično modelirane kako bi rezultati simulacije bili korisni i validni.

Kod simulacijskog modeliranja potrebno je uzeti u obzir nekoliko bitnih sastavnica:

- Inputi i Outputi
- Entiteti
- Aktivnosti i događaji
- Resursi
- Mjere izvedbe

Akcije okoline na sustav nazivaju se ulazima u sustav (inputi). Ovi ulazi uzrokuju promjene u unutarnjem stanju sustava, koje se naziva stanje sustava. Izlazi sustava su one izmjerene veličine, koje se mogu izvesti iz stanja sustava, a koje moramo znati kako bismo odgovorili na pitanja postavljena za simulacijsku studiju. Drugim riječima, ulazi uzrokuju promjene u stanju sustava, a one se odražavaju promjenama u izlazu (output).

Entiteti su ključni elementi u simulacijama i predstavljaju pojedinačne jedinice ili objekte unutar simuliranog sustava. Ovi entiteti su često autonomni, s vlastitim svojstvima, stanjima i pravilima ponašanja. Interakcija između entiteta i njihova reakcija na različite uvjete i događaje unutar simulacije često rezultiraju ukupnim ponašanjem sustava²⁰. Različite vrste simulacija koriste entitete na različite načine. Na primjer, u diskretnoj simulaciji događaja, entiteti bi mogli biti klijenti u banci koji čekaju u redu, gdje bi svaki entitet mogao imati svoje vrijeme dolaska, vrijeme servisiranja i stanje (npr. čekanje, servisiranje, odlazak). U simulaciji temeljenoj na agentima, entiteti (tj. agenti) mogu predstavljati složenije jedinice poput ljudi, životinja, tvrtki ili država, gdje svaki agent može imati svoju strategiju, preferencije i pravila ponašanja, te integriraju s drugim agentima u simulaciji. Važno je naglasiti da entiteti u simulaciji trebaju biti dobro definirani kako bi rezultati simulacije bili točni i pouzdani. Ovo uključuje definiranje svojstava entiteta, njihovih pravila ponašanja, i načina na koji oni integriraju s drugim entitetima i s okruženjem. Entiteti sadrže svoje atribute, a pod time se misli na varijable koje imaju vrijednosti jedinstvene za svaki pojedini entitet u sustavu. Globalne varijable nasmije se miješati s atributima entiteta iz razloga što globalna varijabla može imati samo jednu vrijednost u određenom vremenu u kojem se izvodi simulacija,

²⁰ Manuele Leonelli, *Simulation and Modelling to Understand Change*, https://bookdown.org/manuele_leonelli/SimBook/, pristupljeno 01.05.2023.

Aktivnosti su procesi i logika u simulaciji. **Događaji** su uvjeti koji se javljaju u određenom trenutku koji uzrokuju promjenu stanja sustava. Entitet je u interakciji s aktivnostima radi stvaranja događaja. Postoje tri glavne vrste aktivnosti u simulaciji: **kašnjenja, redovi čekanja i logika**²¹. U kontekstu simulacije, **kašnjenje** se obično odnosi na razdoblje čekanja ili pauze koje se događa u procesu ili sustavu. To bi moglo predstavljati širok raspon situacija u stvarnom svijetu u kojima vrijeme prolazi između događaja ili aktivnosti. Na primjer, u simulaciji diskretnog događaja koja modelira proizvodni proces, kašnjenje bi moglo predstavljati vrijeme koje je potrebno da stroj izvrši zadatak. U simulaciji prometa kašnjenje može predstavljati vrijeme koje automobil provede čekajući na crvenom svjetlu. U simulaciji zdravstvene skrbi, odgoda može biti vrijeme čekanja koje pacijent doživljava prije nego što primi liječenje. Kašnjenja je važno uzeti u obzir i precizno modelirati jer mogu značajno utjecati na dinamiku i ishode simulacije. Na primjer, u operativnom okruženju kao što je tvornica ili bolnica, smanjenje kašnjenja može dovesti do učinkovitijih procesa i boljih rezultata. Stoga razumijevanje uzroka i utjecaja kašnjenja može pružiti vrijedne uvide za donošenje odluka i optimizaciju. Aktivnost **čekanja tj. reda čekanja** događa se kada je tok entiteta obustavljen na neodređeno vremensko razdoblje. Entiteti mogu čekati da resursi (koji će biti objašnjeni kasnije) postanu dostupni ili da se dogodi određeno stanje sustava. Redovi čekanja najčešće se koriste za čekanje u redu za izvor ili pohranjivanje materijala koji će biti izvađen iz reda kada za to postoje pravi uvjeti. **Logika** u simulaciji odnosi se na niz radnji, odluka ili postupaka koji su vođeni skupom unaprijed definiranih logičkih pravila. Ove aktivnosti diktiraju ponašanje simuliranog sustava ili procesa i obično se definiraju na temelju ponašanja u stvarnom svijetu koje simulacija pokušava replicirati.

Resursi u kontekstu simulacija predstavljaju sve što je potrebno za provedbu nekog procesa ili zadatka unutar simuliranog sustava. Ovi resursi mogu biti ljudi, oprema, vrijeme, novac, prostor, ili bilo koja druga komponenta koja ima ograničenu dostupnost i koja se koristi u procesu. Upravljanje resursima je ključni dio mnogih simulacija. Učinkovito korištenje resursa može biti presudno za optimizaciju performansi simuliranog sustava. Primjerice, u simulaciji proizvodne linije, može biti važno osigurati da strojevi i radnici nisu preopterećeni ili neiskorišteni. U ovom kontekstu, simulacija može biti korisna

²¹ White Preston, Ricki G. Ingalls, „Introduction to simulation“, https://www.researchgate.net/publication/221529490_Introduction_to_Simulation , pristupljeno 30.04.2023.

za testiranje različitih strategija raspodjele resursa kako bi se utvrdilo koje strategije dovode do najboljih rezultata.

Mjerne izvedbe (ili performanse) u simulacijama koriste se za kvantificiranje rezultata simulacijskog modela. One pružaju numeričke pokazatelje koji omogućuju procjenu i usporedbu različitih scenarija, strategija ili dizajna. Postoje četiri najčešće korištene mjere izvedbe²²:

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

Vrijeme u sustavu kod simulacija odnosi se na ukupno vrijeme koje entitet (npr. klijent, proizvod, poruka, itd.) provede unutar simuliranog sustava od trenutka ulaska do trenutka izlaska. Ovo obično uključuje vrijeme čekanja (vrijeme provedeno čekajući na uslugu ili obradu) i vrijeme usluge (vrijeme potrebno za obradu ili servisiranje entiteta).

Vrijeme čekanja u redu odnosi se na vrijeme koje entitet provede u redu čekanja čekajući da bude uslužen.

Prosječan broj entiteta u redu čekanja označava prosječan broj entiteta koji je u redu čekanja tokom određene jedinice vremena rada simulacije.

Iskoristivost resursa je mjera koja pokazuje koliko učinkovito se koriste resursi, poput strojeva, radnika ili prostora. Viša iskorištenost resursa može značiti veću učinkovitost, ali prevelika iskorištenost može dovesti do preopterećenja i povećanog vremena čekanja.

Odabir pravih mjera izvedbe ovisi o ciljevima i kontekstu simulacije. U nekim slučajevima, može biti potrebno koristiti više mjera izvedbe kako bi se dobila cjelovita slika o performansama sustava.

²² Dario Ogrizović, Uvodno predavanje, Modeliranje i simulacije, https://moodle.srce.hr/2022-2023/pluginfile.php/7485321/mod_resource/content/4/uvod%201.pdf, pristupljeno 04.05.2023.

2.4. PREDNOSTI I NEDOSTACI SIMULACIJA

Prednosti:²³

- Može se doći do zaključaka bez remećenja rada stvarnog sustava
- Ne trebaju se kupovati dodatni stvarni resursi
- Mogu se testirati bilo kakve hipoteze o sustavu
- Vrijeme se može sažeti i rastegnuto ovisno o potrebi
- Mogu se analizirati kritične točke sustava prije nego one dođu do izražaja u stvarnom sustavu
- Simulacija često pomaže da se shvati kako sustav funkcionira

Nedostaci:

- Modeliranje sustava zahtijeva specifično znanje i trening
- Ponekad je teško protumačiti rezultate simuliranja
- Modeliranje i analiza mogu jako dugo trajati i biti vrlo skupi

Svakako treba napomenuti da sa trenutnim razvitkom tehnologije, osobito umjetne inteligencije može se očekivati sve veća upotreba simulacija u svima od ranije navedenih grana. Također, postoji velika vjerojatnost da nedostaci koji se trenutno vežu za simulacije budu znatno smanjeni zbog povećanja efikasnosti strojnog i dubokog učenja koji će smanjiti potrebno znanje i trening koje trenutno zahtijevaju softwarei, a i samim time će se uštediti na resursima i vremenu.

²³ Informacijske mreže - Simulacija diskretnih događaja,
https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/INFMRE-2019_05.pdf (10.06.2023.)

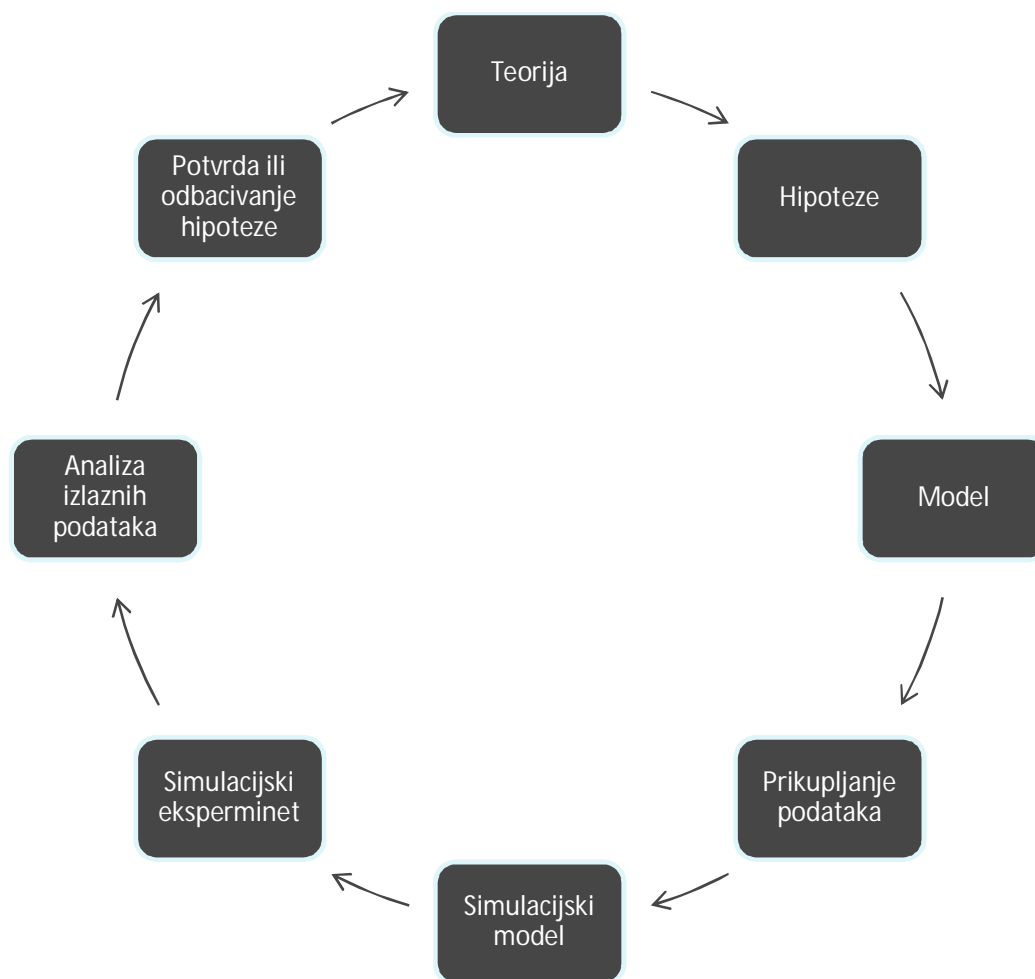
3. SIMULACIJSKI PROGRAMSKI ALATI KOD LUČKIH TERMINALA

Simulacijski programski alati koriste se za provedbu simulacija na računalu. Pomoću njih se pokušava optimizirati realni sustav, kako bi se smanjili troškovi i povećala efikasnost. Postoje simulacijski programski mnogo različitih industrijskih grana, a ona grana na kojoj je fokus u diplomskom radu je industrijska grana kontejnerskih lučkih terminala. Samo simuliranje takvih terminala je iznimno učinkovit alat iz nekoliko razloga:

- Razumijevanje složenosti: Kontejnerski lučki terminali su izuzetno složeni sustavi s velikim brojem varijabli, uključujući broj i raspored dizalica, brodove, kamione, kontejnere, radnike, i tako dalje. Simulacija omogućava menadžerima da razumiju kako sve ove varijable međusobno djeluju.
- Testiranje "što ako" scenarija: Simulacija omogućava menadžerima da testiraju različite scenarije i strategije bez utjecaja na stvarni terminal. Na primjer, oni mogu simulirati što bi se dogodilo kada bi dodali još dizalica, promijenili raspored brodova, ili promijenili strategije za skladištenje kontejnera.
- Identifikacija uskih grla: Kroz simulaciju, menadžeri mogu identificirati potencijalna uska grla u operacijama i razraditi strategije za njihovo rješavanje.
- Smanjenje troškova: Optimizacijom operacija kroz simulaciju, terminali mogu smanjiti troškove, na primjer, smanjenjem vremena čekanja brodova, poboljšanjem iskorištenosti opreme, ili smanjenjem troškova skladištenja.
- Planiranje za budućnost: Simulacije mogu pomoći terminalima u planiranju za budućnost, na primjer, predviđanjem kako bi se promjene u prometu ili tehnologiji mogle odraziti na operacije.
- Osiguranje sigurnosti: Kroz simulacije, moguće je testirati različite scenarije i utvrditi najsigurnije metode rada, smanjujući rizik od nesreća.

Kako bi se uopće moglo simulirati tako jedan složeni sustav potrebno je proći kroz određene korake. Skup akcija koji se poduzima prilikom stvaranja takvog simulacijskog sustava naziva se simulacijski proces. Slika 9 prikazuje bitne točke kroz koje se prolazi tokom

simulacijskog procesa. Prvo će biti objašnjen simulacijski proces kako bi se bolje razumjelo funkcioniranje samog simulacijskog programa.



Slika 9 – Prikaz simulacijskog procesa

Izvor: izradio student

Teorija je ključna stavka simulacijskog procesa jer pruža osnovu za izgradnju modela koji se koristi u simulaciji. Teorija se koristi za definiranje pravila, parametara i veza koje upravljaju simuliranim sustavom. Ove teorijske postavke mogu biti utemeljene na postojećem znanju o sustavu, kao što su fizički zakoni, matematički modeli, statistički podaci ili istraživanja u određenom polju. Na primjer, prilikom simuliranja kontejnerskog lučkog

terminala, teorije iz područja operacijskog istraživanja, logistike i menadžmenta mogu pružiti osnovu za modeliranje i analizu operacija terminala. Teorije o ponašanju prometa, vremena dolaska brodova, vremena utovara i istovara, vremena čekanja i slično, sve bi se mogle koristiti za izradu modela.

Hipoteza je važan dio simulacijskog procesa jer definira što simulacija pokušava postići. Na primjer, hipoteza bi mogla biti da će dodavanje dodatnih dizalica na kontejnerski lučki terminal smanjiti vrijeme čekanja brodova. Ili, hipoteza bi mogla biti da će promjena strategije za skladištenje kontejnera poboljšati učinkovitost terminala. Jednom kada se hipoteza postavi, može se koristiti simulacija za testiranje te hipoteze.

Model u simulacijama sadrži elemente realnog sustava kojeg simuliramo.

Prikupljanje podataka je ključni korak u simulacijskom procesu. To podrazumijeva prikupljanje informacija o stvarnom sustavu ili procesu koji se modelira i simulira.

Simulacijski model podrazumijeva izradu realnog sustava s njegovim osnovnim elementima unutar simulacijskog programa.

Simulacijski eksperiment je korak koji se poduzima kada se zadovolji sve potrebne kriterije prije provedbe njega samog. Moglo bi se reći da je ovo i najzanimljiviji korak iz razloga što možemo vidjeti funkcioniranje realnog sustava unutar računalnog programa. Ono zahtijeva veliku razinu točnosti unesenih podataka kako bi odgovor na hipotezu bio što točniji.

Analiza izlaznih podataka podrazumijeva analizu podataka dobivenih simulacijskim eksperimentom. Faze analize jesu: statistička analiza, validacija rezultata i interpretacija rezultata.

Interpretacijom rezultata utvrđujemo status dane **hipoteze**.

3.1. PRIMJERI SIMULACIJSKIH PROGRAMA ZA LUČKE TERMINALE

Postoji broj različitih simulacijskih programa koji pomažu organizacijama u planiranju svojih strategija prilikom upravljanja lučkih terminala. U narednih nekoliko potpoglavlja biti će opisani i prikazani simulacijski programi koji su ustanovili svoju poziciju na tržištu kada se dovodi u pitanje simuliranje lučkih procesa unutar terminala. Treba napomenuti da isti ti programi nisu isključivo namijenjeni kontejnerskim terminalima kao što je FlexTerm koji će biti kasnije razrađen.

3.1.1. FlexSim

FlexSim je softverski paket za simulaciju diskretnih događaja koji je razvio FlexSim Software Products, Inc. FlexSim predstavlja snažan, a istovremeno pristupačan paket softvera za simulaciju upravljanja materijalima. Iza intuitivnih značajki kao što su kontrole povlačenja i ispuštanja te padajući izbornici, skriva se brz i točan mehanizam simulacije, čineći ovaj alat dostupnim za svakoga tko želi kreirati modele.

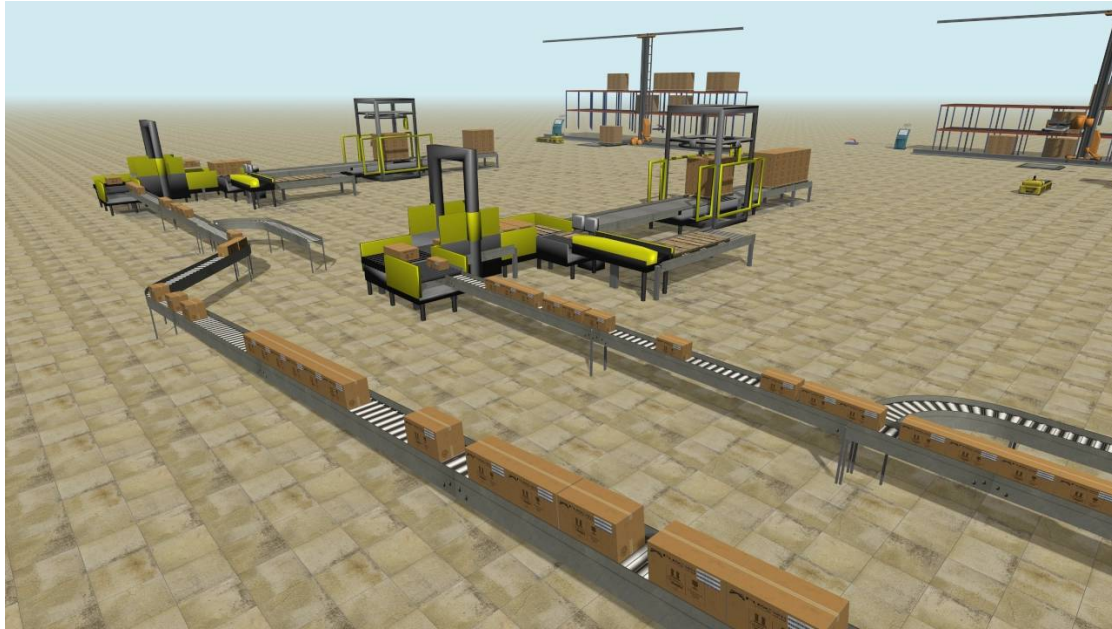
Svi modeli koje stvara FlexSim izrađeni su u skladu s proporcijama i prikazani su putem 3D vizualnih prikaza, omogućavajući korisnicima lako uočavanje i identifikaciju uskih grla u proizvodnim linijama ili drugih problema unutar sustava. Osim što pruža vizualne uvide, FlexSim također nudi podatke koji potvrđuju zapažanja korisnika. Softver sadrži sofisticirane mogućnosti izvješćivanja i analize podataka ugrađene izravno u njega. FlexSim omogućuje korisnicima da modeliraju i unaprijede kako postojeće tako i predložene sustave. Iako donosi sve dokazane prednosti diskretne simulacije događaja, FlexSim se ističe dodatnom koristi realistične 3D grafike, kao što je vidljivo na slici 10.

Modeli u FlexSimu mogu oponašati izgled i atmosferu stvarnih sustava, olakšavajući korisnicima da vide i razumiju što se događa unutar njih²⁴. Dodatno, FlexSim nudi sofisticirane mogućnosti izvješćivanja i analize podataka, omogućujući korisnicima da dublje razumiju rezultate svojih simulacija.

FlexSim je program koji je dizajniran s time da može dizajnirati različite industrijske grane, stoga i lučke terminale. Ipak, kasnije je razvijen FlexTerm, program koji funkcionira

²⁴ FlexSim, <https://www.flexcon.it/product/flexsim/>, pristupljeno 10.06.2023.

slično kao i FlexSim, ali je posebno dizajniran za terminale. On će biti obrađen kasnije u poglavlju 4.



Slika 10 – Prikaz 3D grafike FlexSim-a

Izvor: Flexcon, FlexSim, <https://www.flexcon.it/product/flexsim/> (10.06.2023.)

3.1.2. SIMIO

SIMIO je jedinstveni alat za modeliranje s više paradigmi koji kombinira jednostavnost objekata s fleksibilnošću procesa kako bi pružio mogućnost brzog modeliranja bez potrebe za programiranjem. Može se koristiti za predviđanje i poboljšanje performansi dinamičnih, složenih sustava u zdravstvu, vojsci, zračnim lukama, proizvodnji, opskrbnom lancu, lukama, rudarstvu i drugim disciplinama.²⁵

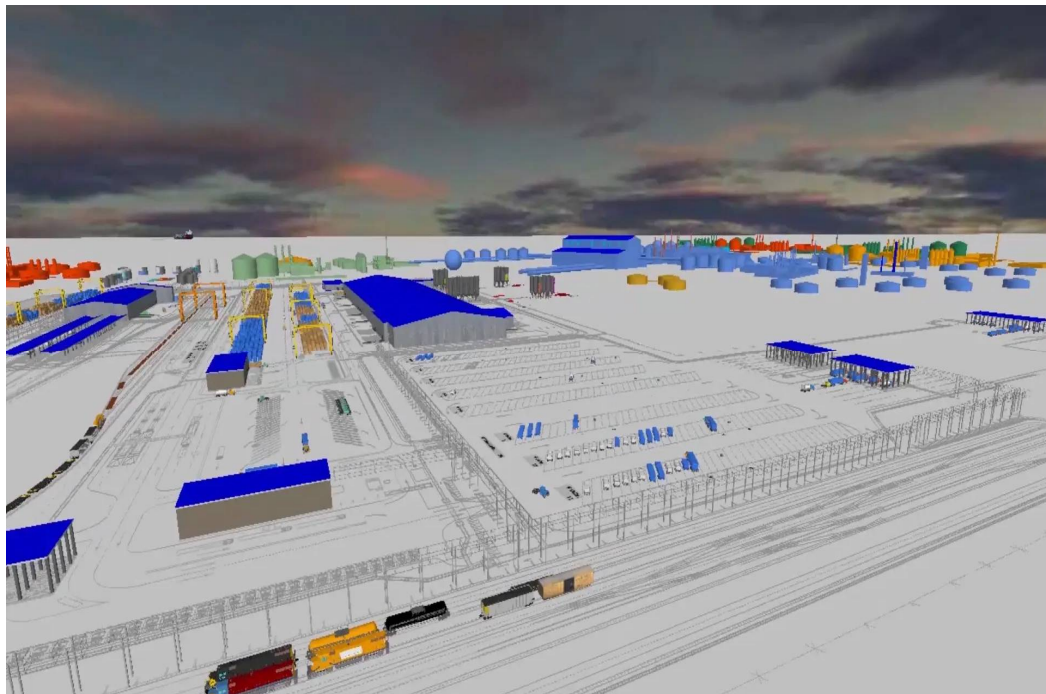
SIMIO je osmišljen kako bi pojednostavio izgradnju modela promicanjem promjene paradigme modeliranja s orijentacije na proces na orijentaciju na objekt. SIMIO je okvir za simulacijsko modeliranje temeljen na inteligentnim objektima. Inteligentne objekte grade

²⁵Simio, [https://www.simio.com/about-simio/what-is-simio-simulation-software.php#:~:text=Simio%20is%20designed%20to%20simplify,reused%20in%20multiple%20modeling%20projects., pristupljeno 10.06.2023.](https://www.simio.com/about-simio/what-is-simio-simulation-software.php#:~:text=Simio%20is%20designed%20to%20simplify,reused%20in%20multiple%20modeling%20projects.,pristupljeno%2010.06.2023.)

modelari, a zatim se mogu ponovno koristiti u više projekata modeliranja. Iako je okvir SIMIO fokusiran na objektno modeliranje, on također podržava besprijekornu upotrebu višestrukih paradigmi modeliranja uključujući modeliranje temeljeno na događajima, procesima, objektima i agentima.²⁶

Zanimljivost koju SIMIO nudi jesu inteligentni objekti koji mogu međusobno komunicirati te lako donositi pametne odluke. Na primjer, resurs može odlučiti ostati neaktivan jer je svjestan da bi ga entitet višeg prioriteta uskoro mogao trebati.

Na slici 11 vidljiv je prikaz SIMIO simulacije željezničkog terminala kako bi se dobio dojam o izgledu samog programa.



Slika 11 – Prikaz SIMIO simulacije željezničkog terminala

Izvor: Simio, <https://www.simio.com> (10.06.2023.)

²⁶ Simio, <https://www.simio.com/about-simio/what-is-simio-simulation-software.php#:~:text=Simio%20is%20designed%20to%20simplify,reused%20in%20multiple%20modeling%20projects.>, pristupljeno 10.06.2023.

3.1.3. AnyLogic

AnyLogic je višemetodni alat za simulacijsko modeliranje koji je razvila tvrtka AnyLogic²⁷. To je vrsta softvera za simulaciju koji omogućuje korisnicima da kreiraju simulacijske modele složenih sustava iz različitih industrija i polja, uključujući logistiku, proizvodnju, zdravstvenu skrb, energetiku, telekomunikacije, i druge.

AnyLogic se razlikuje od mnogih drugih simulacijskih alata jer podržava tri glavne paradigme simulacije: dinamične sustave, diskretne sustave i sustave bazirane na agentima. Ta tri pristupa modeliranju često se koriste zasebno, ali AnyLogic omogućuje njihovu kombinaciju u jednom modelu, što omogućuje fleksibilnost i detaljnost pri kreiranju složenih simulacijskih modela. Sam program osmišljen je da funkcioniра na različitim platformama tj. na Windowsu, MacOS-u i Linuxu²⁸.

Ono isto po čemu se AnyLogic ističe od ostalih simulacijskih programa je što nudi uslugu clouda. Korisnicima omogućuje pohranu, pristup, pokretanje i dijeljenje simulacijskih modela na mreži, kao i analizu rezultata eksperimenta²⁹. Jedan od takvih modela podijeljen na cloudu je i prikaz na slici 12. Koristeći okruženje za razvoj modela AnyLogic, programeri mogu prenijeti svoje modele u AnyLogic Cloud i postaviti web nadzorne ploče koje se mogu dijeliti za rad s modelima na mreži. Ove nadzorne ploče mogu sadržavati konfigurabilne ulazne parametre i izlazne podatke u obliku dijagrama i grafikona. Korisnici modela mogu postaviti ulazne podatke na zaslon nadzorne ploče, pokrenuti model i analizirati izlaz.

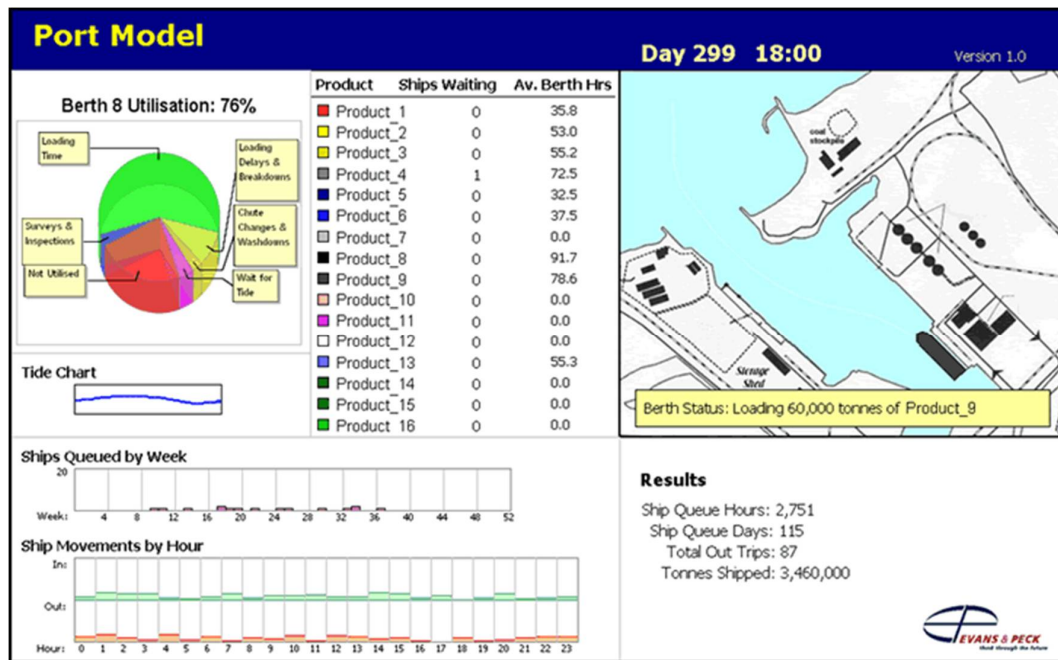
Softver AnyLogic koristi se diljem svijeta u tisućama komercijalnih organizacija i akademskih institucija, uključujući preko 40% kompanija s liste Fortune 100³⁰. Neke od tih organizacija jesu: DHL, Google, NASA, Amazon, Apple, FedEx itd.

²⁷ AnyLogic, <https://www.anylogic.com>, pristupljeno 12.06.2023.

²⁸ Weimer, C.W., Miller, J.O. i Hill, R.R., "Agent-Based Modeling: an Introduction and Primer", u "Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference", 2016., 73. str

²⁹ AnyLogic, <https://www.anylogic.com>, pristupljeno 12.06.2023.

³⁰ AnyLogic, <https://www.anylogic.com>, pristupljeno 12.06.2023.



Slika 12 – Prikaz modela luke koji se može pronaći na AnyLogic cloudu

Izvor: AnyLogic, Simulating port-berth capacity with AnyLogic

<https://www.anylogic.com/resources/case-studies/simulating-port-berth-capacity-with-anylogic/> (15.06.2023.)

3.2. PRIMJENA SIMULACIJSKIH ALATA U LUČKIM TERMINALIMA

S porastom globalnog transporta, intermodalni objekti se redizajniraju kako bi se proširio kapacitet i zadovoljila potražnja. Pritom je potrebno održavati objekte sigurnima i učinkovitima, zbog čega operativne tvrtke traže načine testiranja promjena prije implementacije.

San Giorgio Terminal u Genovi, Italija, imao je na umu rekonfiguraciju svog prostora i postupaka, ciljajući na povećanje protoka i osiguranje sigurnijeg terminala. Za to im je bio potreban simulator luke - digitalna replika terminala, koja bi funkcionirala kao alat za organizaciju kontejnerskog dvorišta i asistirala u predviđanju kako bi predložene promjene utjecale na sadašnje operacije³¹. Terminal se odlučio za korištenje AnyLogic simulacijskog alata. Do tog odabira je došlo zbog nekoliko razloga³²: program ima integriran alat za izradu

³¹ AI and Simulation for Container Yard planning, AnyLogic, <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/ai-and-simulation-for-container-yard-planning/>, pristupljeno 15.06.2023.

³² AI and Simulation for Container Yard planning, AnyLogic, <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/ai-and-simulation-for-container-yard-planning/>, pristupljeno 15.06.2023.

kompleksnih modela, program se može povezati sa platformama umjetne inteligencije i sa algoritmima željeznice, inženjeri su mogli pokrenuti nekoliko simulacija nasumično zbog njegove mogućnosti korištenja clouda.

Kako bi model bio što sličniji realnom sustavu, inženjeri su radnicima na terminalu dali mobitele koji prate njihova kretanja, a kontejnere i vozila opremili su GPS odašiljačima. S prikupljenim podacima inženjeri su uspješno napravili digitalnu repliku terminala. Model je prikazan na slici 13. Sive zvijezde prikazuju zaposlenike, a isprekidane linije u bojama put kretanja vozila.



Slika 13 – Prikaz San Giorgio terminala u AnyLogic simulaciji

Izvor: AnyLogic, AI and simulation for container yard planning,
<https://www.anylogic.com/resources/case-studies/ai-and-simulation-for-container-yard-planning/> (17.06.2023.)

Kada je simulacijski model kontejnerskog terminala bio spreman, inženjeri su htjeli testirati trenutni izgled i operacije terminala u slučaju opasnosti. Inženjeri su podijelili model u zone, a u nekima su pokrenuli moguće scenarije evakuacije koje bi se mogle dogoditi u slučaju širenja požara ili eksplozije. Kako bi pronašli optimalne puteve evakuacije, oslonili su se na mogućnosti AI modela. Algoritam je analizirao sve moguće puteve od opasne zone do sigurne, s obzirom na razvoj izvanrednog stanja i procesa u luci. Različiti scenariji pokrenuti

su s AnyLogic Cloudom kako bi se ubrzala simulacija. Kao rezultat toga, algoritam je predložio optimalne puteve evakuacije do sigurnih područja i dodijelio ih svakom agentu³³.

Rezultat cjelokupnog sustava je sustav za podršku u odlučivanju koji pomaže izgraditi pouzdanu strategiju evakuacije za hitne situacije i poboljšati sigurnost terminala. Sustav može preračunati putove do sigurnih zona u trenutku kada dođe do nesreća i komunicirati te putove s unutarnjim alatom za upozorenje, koji zauzvrat šalje obavijesti o smjeru zaposlenicima na terenu. Inženjeri su također pokazali da bi AI sposobnosti u kombinaciji sa simulacijom poboljšale ukupni protok terminala za 20%. Algoritmi za učenje AI mogu koristiti agregirane povijesne podatke za poboljšanje strategija raspodjele kamiona i pružiti više uvida za optimizaciju protoka terminala. Kada su inženjeri razmotrili odluke koje su donijeli algoritmi, bile su slične onima koje su donijeli menadžeri. To dokazuje činjenicu da se odlučivanje temeljeno na AI može kasnije implementirati na terminalu i primijeniti na druge korake obrade tereta za njihovo daljnje poboljšanje³⁴.

³³ AI and Simulation for Container Yard planning, AnyLogic, <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/ai-and-simulation-for-container-yard-planning/> , pristupljeno 15.06.2023.

³⁴ AI and Simulation for Container Yard planning, AnyLogic, <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/ai-and-simulation-for-container-yard-planning/> , pristupljeno 15.06.2023.

4. FLEXTERM

FlexTerm je simulacijski software program koji služi za istraživanje, testiranje, optimiziranje te unaprjeđenje kompleksnih logističkih sustava. FlexTerm program je napravljen od istih programera koji su stvorili FlexSim. Ono što razlikuje FlexTerm od FlexSima je to što je FlexTerm posebno dizajniran za simuliranje terminala i sličnih platforma. Prednost FlexTerma je to što je relativno jednostavan za shvatiti. Njegov dizajn je vrlo usmjeren prema korisniku te se koristi vizualnim ikonama radi lakšeg snalaženja.

Simulacijski programski alat FlexTerm služi za simuliranje diskretnih događaja te se može primijeniti za adresiranje raznih izazova, uključujući utvrđivanje i analizu proizvodnih kapaciteta, identifikaciju i kontrolu uskih mjesta, rješavanje problema vezanih uz skladištenje, provjeru rokova, asistenciju u dizajniranju tehnoloških procesa te shvaćanje ponašanja sustava³⁵.

4.1. FLEXTERM GRAFIČKO SUČELJE

U ovom poglavlju biti će obrađeni ključni elementi korisničkog sučelja i objasniti će se neke od njegovih ključnih pojmova i koncepata.

Primarno, za izgradnju simulacijskog modela koriste se dva sučelja: 3D model i Process Flow alat. 3D model je prostor u kojem se vizualiziraju poslovni sustavi pomoću 3D grafike. Process flow je mjesto na kojem se utvrđuje logika koja omogućava rad 3D modela³⁶.

Prilikom ulaska u sam program 4 elementa koji su primarno pokazani jesu:

1. Biblioteka objekata
2. Radna površina
3. Statistički alati
4. Tehnologija otvorenoga pristupa

³⁵ FlexTerm, www.flexterm.com, pristupljeno 20.06.2023.

³⁶ FlexTerm, www.flexterm.com, pristupljeno 20.06.2023.

4.1.1. Biblioteka objekata

Biblioteka objekata sadrži 3D objekte kao što je prikazano na slici 14. Objekti su osnovni građevni blokovi 3D simulacijskog modela. Različite vrste objekata imaju različite svrhe i funkcije unutar simulacijskog modela. Neki od najčešćih objekata su³⁷:

Flow Items - Objekti koji se kreću (ili "teku") kroz simulacijski model, obično od jedne stanice (obično fiksni resurs) do druge nizvodne stanice. Flow Items mogu predstavljati proizvode, klijente, papirologiju, dijelove ili bilo koju drugu stavku koja se premješta na različite stanice u vašem poslovnom sustavu. Prema zadanim postavkama, flow items izgledaju kao okviri, ali može se promijeniti stavke toka da izgledaju kao ljudi (kupci) ili drugi oblici.

Fixed Resources - Objekti koji ostaju nepomični u 3D modelu. Svaki fiksni resurs obavlja određenu funkciju. Na primjer, izvor stvara stavke toka u određenim intervalima i uvodi ih u model. Red čekanja pohranjuje stavke toka dok ne budu potrebne nizvodno. Sudoper uklanja stavke toka iz modela i tako dalje.

Task executioners- Objekti koji se mogu kretati u 3D modelu i obavljati zadatke kao što su transport toka, upravljanje strojevima, itd. Najčešći tip izvršitelja zadatka je operater, koji može predstavljati zaposlenika u simulacijskom modelu.

Kako bi uopće koristili određene objekte potrebno ih je smjestiti na radnu površinu. Ta akcija se jednostavno obavlja tako da klikom miša odaberemo željeni objekt te ga „prenesemo“ na radnu površinu.

³⁷ FlexTerm, www.flexterm.com, pristupljeno 20.06.2023.



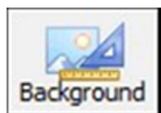
Slika 14 – Prikaz biblioteke objekata

Izvor: User Manual u FlexTerm programu

Biblioteka objekata ukupno sadrži 22 objekata koji su hijerarhijski svrstani u superklase i podklase. U nastavku obradit će se neki od bitnijih objekata radi detaljnijeg razumijevanja mogućnosti simulacijskog programa.

1. Background (pozadina)

Ovaj objekt ima namjenu stvaranja realne pozadine unutar same simulacije. Može biti različitih formata kao što su: .jpg, .bmp, AutoCAD .dxf, .dwg. Ikona samog objekta prikazana je na slici 15.



Slika 15 – Ikona Background unutar biblioteke objekata FlexTerm-a

Izvor: FlexTerm program

2. BerthPlanner

Objekt koji služi za planiranje pristana prikazan na slici 16. Može se odabrati strana broda koja je u doticaju s operativnom obalom te se mogu definirati različiti parametri.



Slika 16 – Ikona BerthPlanner unutar biblioteke objekata FlexTerm-a

Izvor: FlexTerm program

3. TruckGang (vučna vozila)

Ovim objektom, prikazanom na slici 17, utvrđuju se putanje kojima se prevoze kontejneri unutar terminala tj. modela. Mogu se postaviti parametri kao što je brzina vožnje i brzina ukrcaja odnosno iskrcaja.



Slika 17 – Ikona TruckGang unutar biblioteke objekata FlexTerm-a

Izvor: FlexTerm program

4. Yardblock (blok slagališta)

Namjena ovog objekta je smještaj kontejnera na slagalištu. Ikona je prikazana na slici 18.



Slika 18 – Ikona YardBlock unutar biblioteke FlexTerm-a

Izvor: FlexTerm program

5. StradCrane (portalni prijenosnik malog raspona)

Portalni prijenosnik malog raspona je objekt koji služi za prijenos kontejnera unutar terminala tj. simulacijskog modela. Ikona je prikazana na slici 19.



Slika 19 – Ikona StradGang unutar biblioteke FlexTerm-a

Izvor: FlexTerm program

6. GantryCrane (portalni prijenosnik velikog raspona)

Portalni prijenosnik velikog raspona služi također za prijenos kontejnera samo što, kao što mu i ime kaže, ima veći raspon. Postoje dva odabira ovog objekta: RTG (Rubber Tired Gantry), RMG (Rail Mounted Gantry). Ikona prikazana na slici 20.



Slika 20 – Ikona GantryCrane unutar biblioteke FlexTerm-a

Izvor: FlexTerm program

7. TopLoader (čeonni viličar)

Još jedan od objekata koji služi da prijenos kontejnera. Čeonni viličar je sam po sebi vrlo česta pojava unutar terminala u stvarnom svijetu. Ikona objekta prikaza je na slici 21.



Slika 21 – Ikona TopLoader unutar biblioteke FlexTerm-a

Izvor: FlexTerm program

8. NetworkNode

NetworkNode je objekt koji služi za definiranje mrežnih putanji pomičnih objekata unutar simulacije. Ikona objekta prikazana je na slici 22.



Slika 22 – Ikona NetworkNode unutar biblioteke FlexTerm-a

Izvor: FlexTerm program

9. GatePlanner

Služi za planiranje ulaza/izlaza u kontejnerski terminal. Može se staviti vrijeme dolaska i vrijeme kada je potrebno da vozilo napusti terminal. Ikona objekta prikazana je na slici 23.



Slika 23 – Ikona GatePlanner unutar biblioteke FlexTerm-a

Izvor: FlexTerm program

10. GateSink

Objekt gdje vozila tj. kamioni napuštaju sustav. Općenito Sink u FlexTerm i FlexSim programima označava izlaz iz kompletnog sustava. Ikona prikazana na slici 24.



Slika 24 – Ikona GateSink unutar biblioteke FlexTerm-a

Izvor: FlexTerm program

4.2. PRIKUPLJANJE PODATAKA UNUTAR PROGRAMA

Simulacijski model generira podatke dok radi. U FlexTermu-u neke od tih podataka generiraju 3D objekti u interakciji s elementima toka. Osim ove statistike, model se može jednostavno konfigurirati za prikupljanje dodatnih statistika u tablici. FlexTerm-ov statistički sustav vrlo je fleksibilan, tako da ga se može koristiti za dobivanje gotovo svih podataka koji su potrebni. Nakon što postoji model koji generira podatke, može se³⁸:

- Pregledati podatke unutar FlexTerma-a
- Kreirati grafikone na temelju podataka unutar FlexTerma-a
- Izvesti podatke u Excel, bazu podataka ili datoteku
- Izvesti grafikone kao slike ili html datoteke
- Koristiti Experimenter ili Optimizer da se istraže različite opcije za određeni sustav

Na primjer, većina fiksnih resursa prati statističke podatke o sadržaju, bilježeći trenutni broj elemenata toka u objektu, njegovu najmanju, najveću i prosječnu vrijednost, što je ilustrirano na sljedećoj slici 25:

³⁸ FlexTerm User Manual

| Statistics | | | |
|------------|------------|------|------|
| State | processing | | |
| Throughput | | | |
| Input | Output | | |
| 7.00 | 6.00 | | |
| Content | | | |
| Curr | Min | Max | Avg |
| 1.00 | 0.00 | 1.00 | 0.92 |
| Staytime | | | |
| Min | Max | Avg | |
| 6.97 | 13.66 | 9.84 | |

Slika 25 – Prikaz statistike fiksnog objekta u FlexTerm-u

Izvor: FlexTerm User manual

Pored standardnih statističkih podataka koje je moguće dobiti za svaki objekt, može se koristiti šablone grafikona kako bi se prikupilo mnoštvo drugih statistika koje su obično od interesa za osobe koje kreiraju simulacijske modele.

Ovo su neke od kategorija koje se mogu prikazati grafikonima unutar sustava³⁹:

- Content - Prati se broj elemenata toka unutar 3D objekata ili broj tokena u aktivnostima procesnog toka. Uobičajene statistike omogućuju pristup informacijama o trenutnom, minimalnom, maksimalnom i prosječnom sadržaju 3D objekta
- State - Prikazuje se trenutačno stanje 3D objekta. Na primjer, procesor može biti u neaktivnom stanju ili stanju obrade, uz nekoliko drugih mogućih stanja.
- Staytime – Prati se koliko vremena element toka ostaje unutar fiksnog resursa. Uobičajene statistike omogućuju uvid u minimalno, maksimalno i prosječno vrijeme zadržavanja.

³⁹ FlexTerm User Manual

- Throughput – Prati se broj elemenata toka ili tokena koji prolaze kroz 3D objekt ili aktivnost procesnog toka. Uobičajene statistike omogućuju uvid u trenutni unos i izlaz iz objekta ili aktivnosti
- Travel - Prati se ukupna pređena udaljenost od strane izvršitelja zadatka, izračunata u jedinicama udaljenosti simulacije koje su određene prilikom prvog postavljanja simulacijskog modela.

Dok je simulacija u tijeku, može se pratiti⁴⁰:

- Ažuriranja svih grafikona uživo
- Pratiti ažuriranja standardnih statistika uživo putem opcije "Quick properties" ili u prozorima s statističkim podacima
- Statistika se može pratiti i na kontrolnoj ploči

Nakon završetka simulacije, može se analizirati dobivene podatke i napraviti potrebne prilagodbe na modelu simulacije. Također, postoji mogućnost izvoza podataka za analizu pomoću vanjskog alata. Analizu podataka i rezultate biti će moguće vidjeti u sljedećem poglavlju gdje će se koristiti FlexTerm na stvarnom sustavu.

4.3. PLANERI

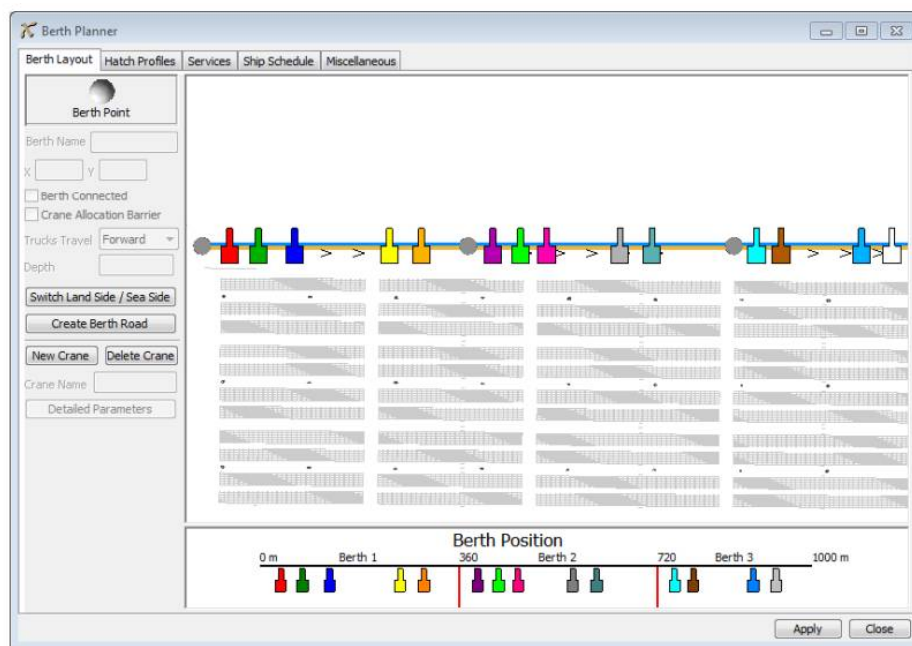
FlexTerm nudi alate za korisnike da uključe planiranje u svoje simulacijske modele. Planeri u FlexTerm-u odnose se na objekte ili procese koje se postavlja u modelu simulacije kako bi se pomogli upravljanju različitim aspektima sustava koji se simulira. Pomoću njih definiraju se parametri i faktori koji utječu na cjelokupni proces odvijanja određenih radnji unutar terminala.

⁴⁰ FlexTerm User Manual

FlexTerm ima 4 vrste planera⁴¹:

- Berth Planner - planiranje pristana
- Yard Planner - planiranje slagališta
- Gate Planner - planiranje ulaza
- Rail Planner - planiranje lučkih industrijskih željezničkih kolosijeka

Objekt Berth planner (prikazan na slici 16) stvara sučelje na strani broda u vmodelu. Dodaje se modelu povlačenjem objekta Berth Planner iz biblioteke „ContainerTerminal“ u model. Nakon što je objekt planera vezova dodan modelu, može mu se ponovno pristupiti putem izbornika kontejnerskog terminala na glavnoj alatnoj traci. Korisničko sučelje Berth planner-a sastoji se od nekoliko kartica koje postavljaju raspored veza, vrste brodova koji dolaze na vez, raspored dolaska brodova i veličina grotla. Na slici 26 prikazano je sučelje Berth Layout unutar Berth planner-a kojim se postavlja raspored veza unutar terminala, izgled i dužina pristana te broj obalnih dizalica i puta duž pristana.

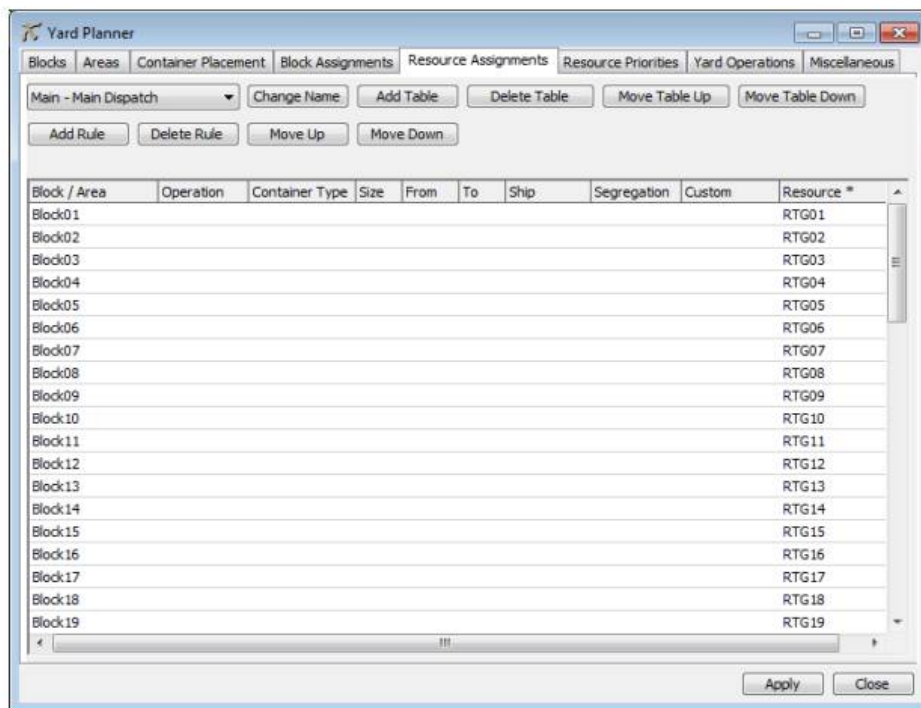


Slika 26 – Prikaz sučelja unutar Berth Planner-a

Izvor: FlexTerm program

⁴¹ FlexTerm User manual

Objekt Yard planner također se nalazi u biblioteci „ContainerTerminal“. Ono služi za planiranje slagališta unutar terminala. Pomoću njega definiramo veličinu slagališta, definiraju se blokovi koji se smatraju zonama, definiraju se strategije smještaja kontejnera unutar slagališta, dodjeljuju se zadatci prekrcajnim sredstvima slagališta, definiraju se prioritetni zadatci itd. Na slici 27 je prikazano sučelje Resource Assignments za dodjelu zadataka prekrcajnim sredstvima.



Slika 27 – Prikaz sučelja unutar Yard Planner-a

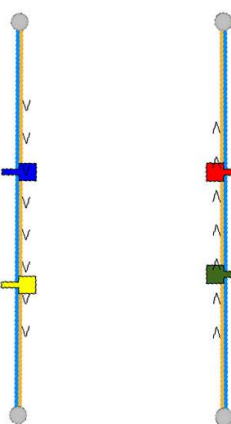
Izvor: FlexTerm program

Objekt Gate Planner djeluje kao ulazni objekt, generirajući kamione koji ulaze u model. Koliko kamiona i koliko često dolaze određuje se parametrima Gate Plannera. Objekt Gate Planner može se povezati s drugim objektima (kao što su ceste, redovi kamiona, procesi ulaza i sučelja dvorišta), koji definiraju tok za kamione. Gate Planner se na kraju mora spojiti na GateSink odnosno izlaz kroz koji kamioni napuštaju model.

Objekt Rail Planner je sličan objektu Berth Planner samo što je stvoren zbog definiranja faktora i parametra željeznice. Pomoću njega definiraju se profili vagona, raspored vlakova, vrste vlakova, grupiraju se tračnice, dodjeljuju se strategije, definiraju se ulazi i izlazi itd.

5. FLEXTERM MODEL

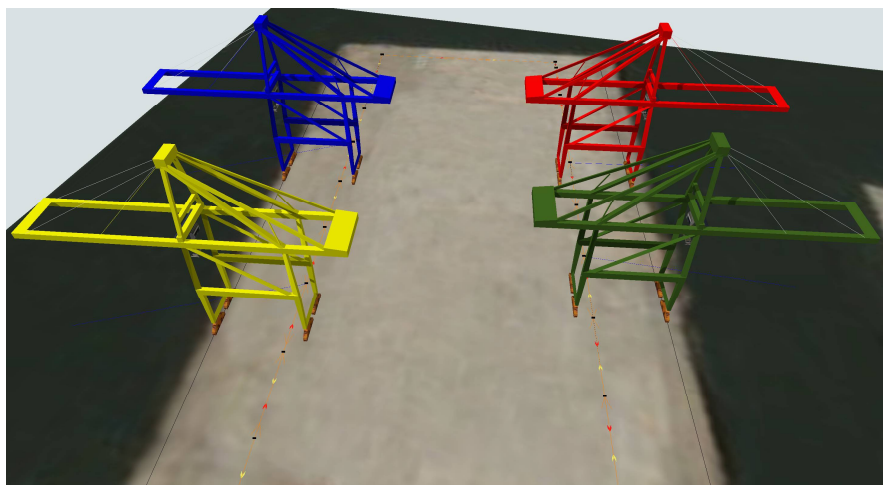
FlexTerm model predstavlja simulacijski model virtualnog kontejnerskog terminala koji se sastoji od pristana i slagališta. Pristan je ukupne duljine 570 m, podijeljen na dvije operative obale od 285 m okrenute jedna prema drugoj. Pristan ima ukupno četiri obalne dizalice, obalna dizalica broj 1 označena je sa zelenom bojom, obalna dizalica broj 2 označena je sa crvenom bojom, obalna dizalica broj 3 označena je sa plavom bojom, a obalna dizalica broj 4 označena je sa žutom bojom. Na slici 28 je shematski prikaz pristana sa obalnim dizalicama.



Slika 28 – Shematski prikaz pristana sa obalnim dizalicama

Izvor: izradio student

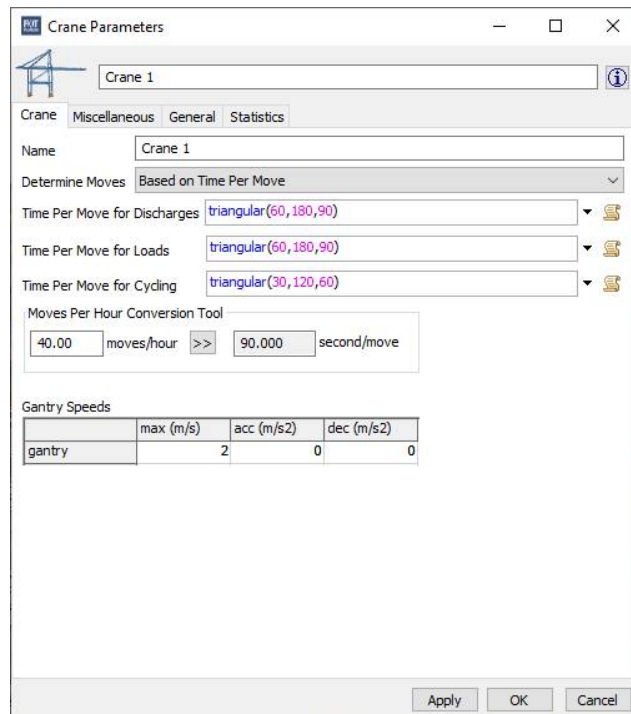
Na slici 29 prikazan je 3D model pristana sa obalnim dizalicama.



Slika 29 – 3D model pristana sa obalnim dizalicama

Izvor: izradio student

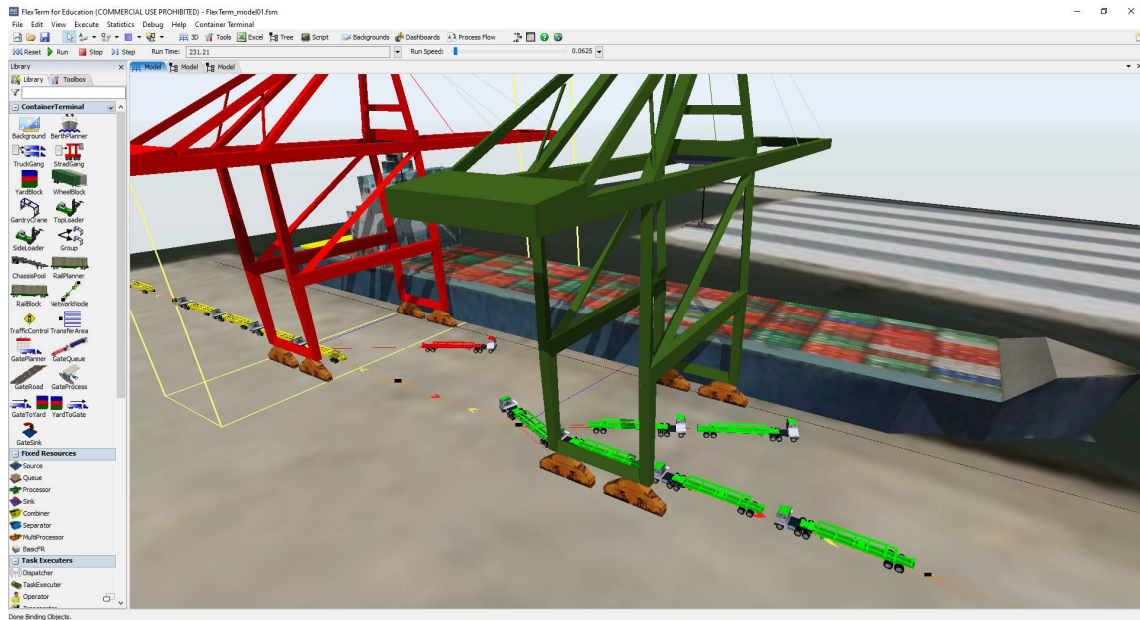
Postavke za svaku pojedinu dizalicu su prikazane na slici 30.



Slika 30 – Postavke obalne dizalice

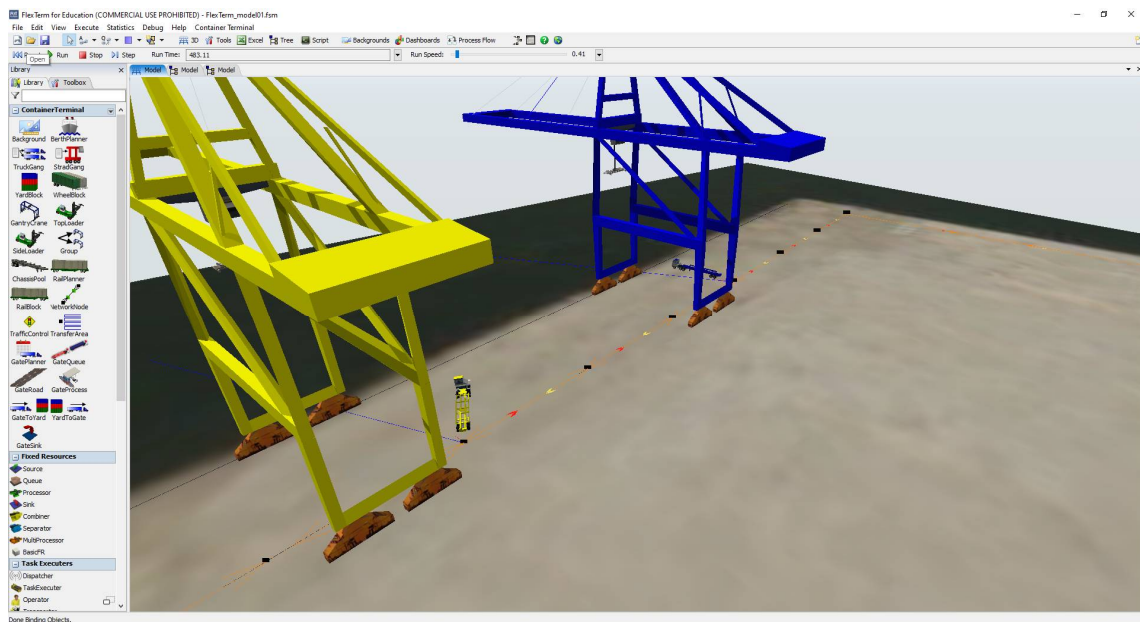
Izvor: izradio student

Šest vučnih vozila sa prikolicama dodijeljeno je za svaku pojedinu obalnu kontejnersku dizalicu odnosno ukupno 24 vučnih vozila sa prikolicama. Pojedina skupina vučnih vozila sa prikolicama označena je sa bojom koja označuje kojoj dizalici pripadaju, slika 31 i 32.



Slika 31 – Obalne dizalice 1 i 2

Izvor: izradio student



Slika 32 – Obalne dizalice 3 i 4

Izvor: izradio student

Slagalište se sastoji od ukupno 21 kontejnerskog bloka koji su podijeljeni u tri zone. Zone slagališta se sastoje od zone za kontejnere za uvoz, kontejnere za izvoz te zone za prazne kontejnere. Slagalište se sastoji od ukupno 21 kontejnerskog bloka koji su podijeljeni u tri

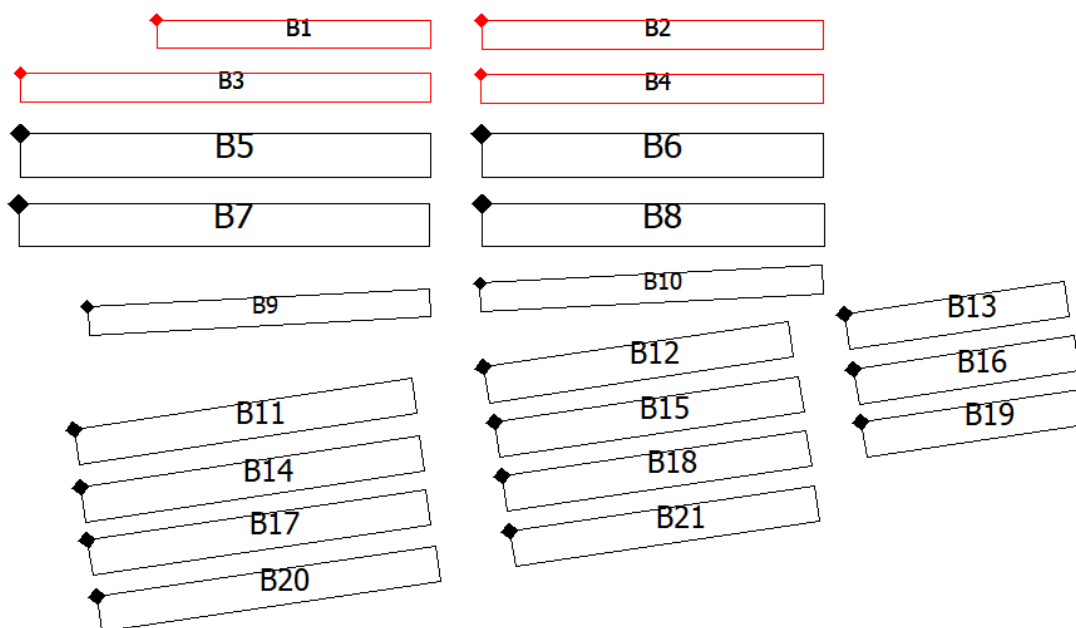
zone. Zone slagališta se sastoje od zone za kontejnere za uvoz, kontejnere za izvoz te zone za prazne kontejnere. Na slagalištu se koriste 40 stopni kontejneri.

Zona kontejnera za uvoz se sastoji od kontejnerskih blokova: B6, B8, B10, B12, B13, B15, B16, B18, B19, B21.

Zona kontejnera za izvoz se sastoji od kontejnerskih blokova: B5, B7, B9, B11, B14, B17, B20.

Zona kontejnera za prazne kontejnere se sastoji od kontejnerskih blokova: B1, B2, B3 i B4.

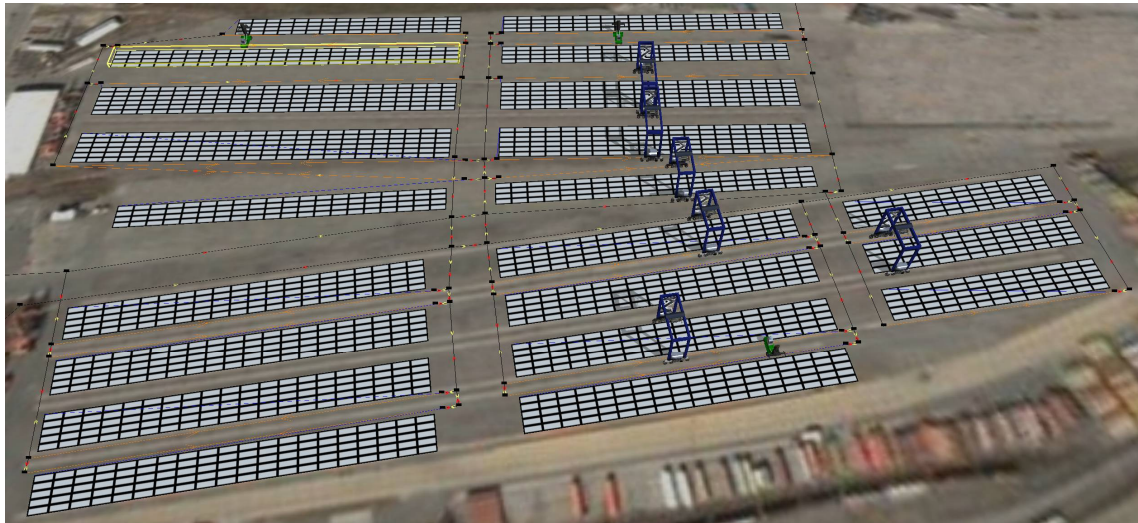
Na slici 33 shematski je prikazano slagalište sa svim kontejnerskim blokovima, a crvenom bojom su označeni kontejnerski blokovi za prazne kontejnere.



Slika 33 – Shematski prikaz slagališta sa kontejnerskim blokovima

Izvor: izradio student

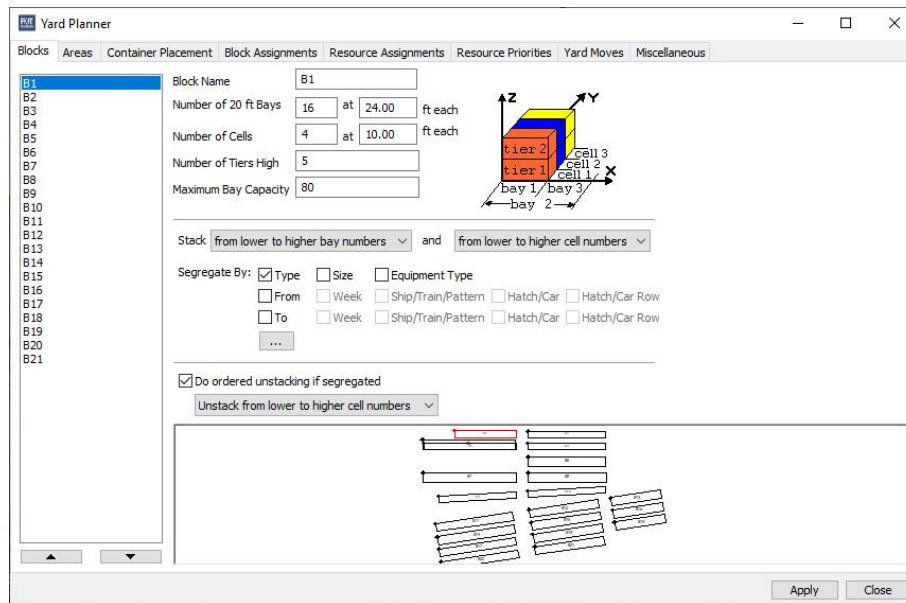
Na slici 34 nalazi se 3D model slagališta sa kontejnerskim blokovima.



Slika 34 – 3D model slagališta sa kontejnerskim blokovima

Izvor: izradio student

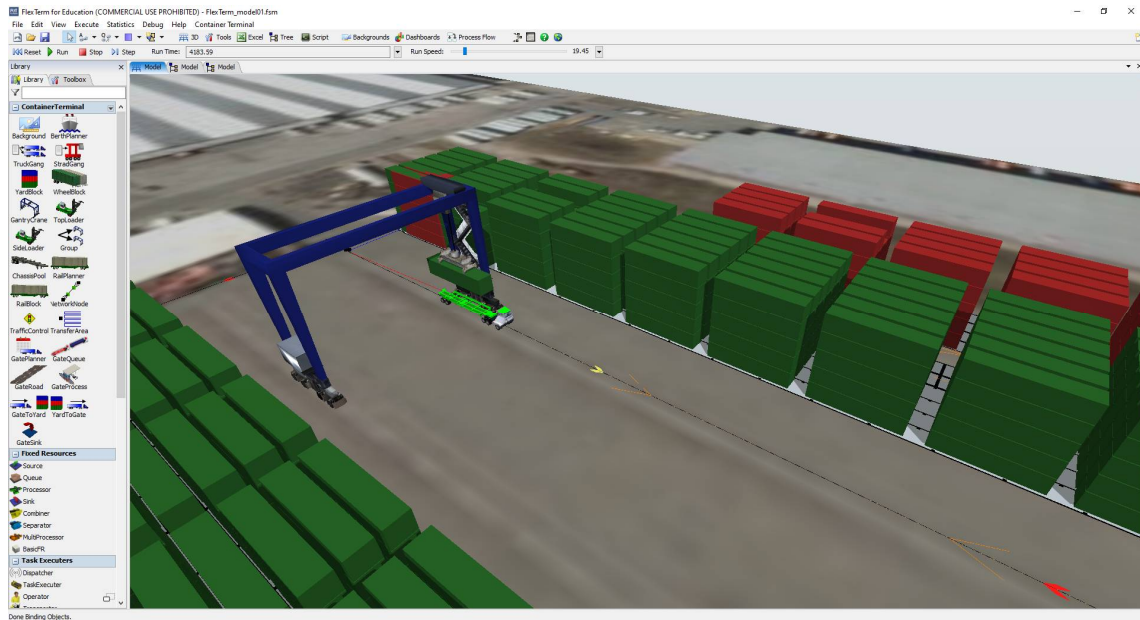
Na slici 35 nalaze se postavke za kontejnerski blok B1.



Slika 35 – Postavke kontejnerskog bloka B1

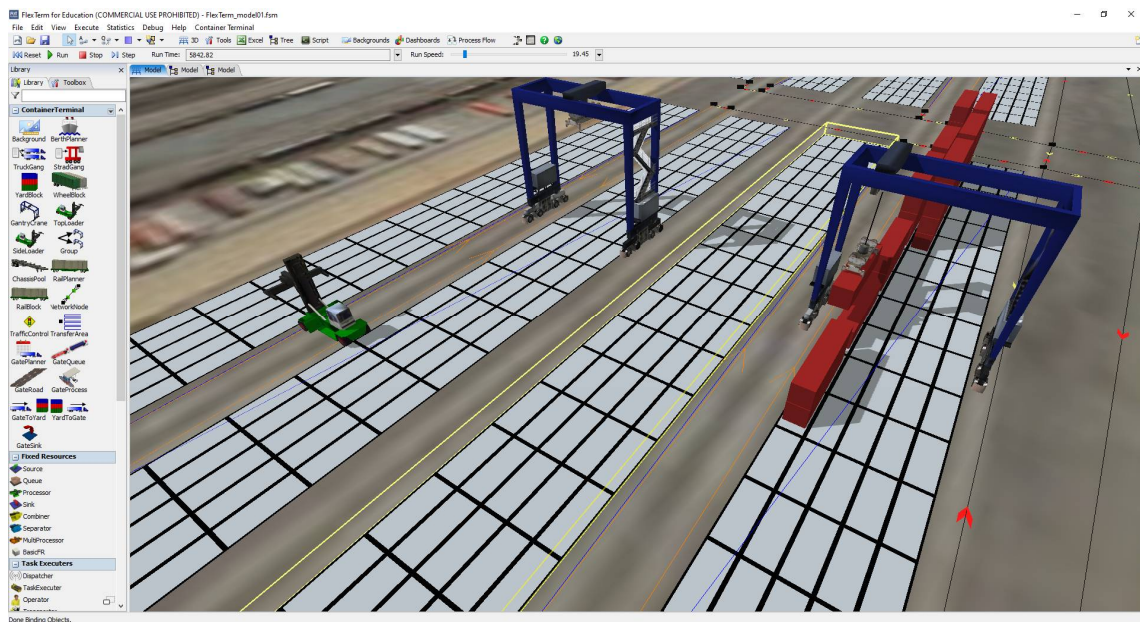
Izvor: izradio student

Na slagalištu se od prekrajne mehanizacije koriste 6 RTG (engl. rubber tyred gantry crane) prijenosnika velikog raspona i 3 čeona viličara, slika 36 i 37. Čeoni viličari opslužuju kontejnerske blokove B1, B2, B3, B4, B20 i B21, a ostale kontejnerske blokove opslužuju RTG prijenosnici velikog raspona.



Slika 36 – RTG prijenosnika velikog raspona

Izvor: izradio student

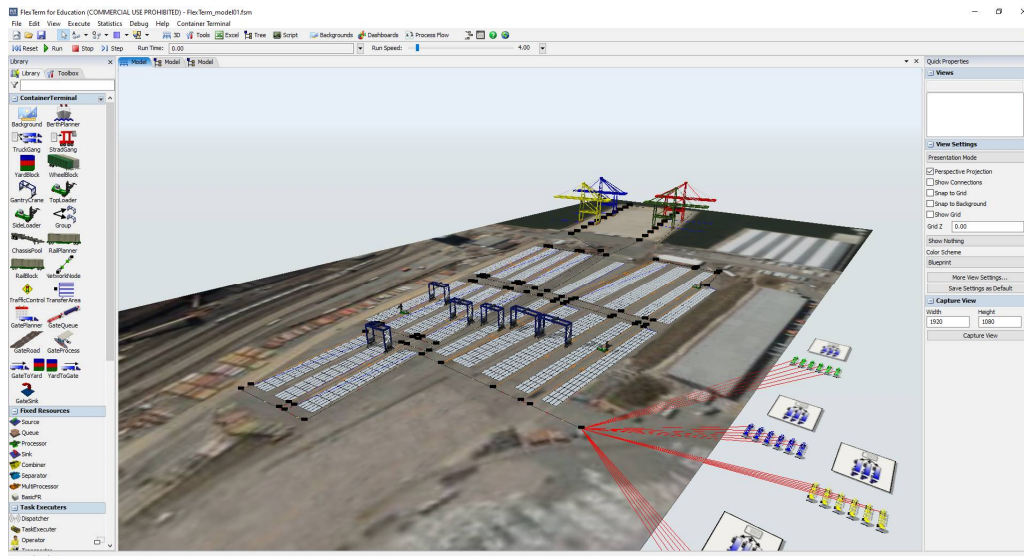


Slika 37 – Čeoni viličar i RTG prijenosnici velikog raspona

Izvor: izradio student

5.1. FLEXTERM GRAFIČKI PRIKAZ MODELA

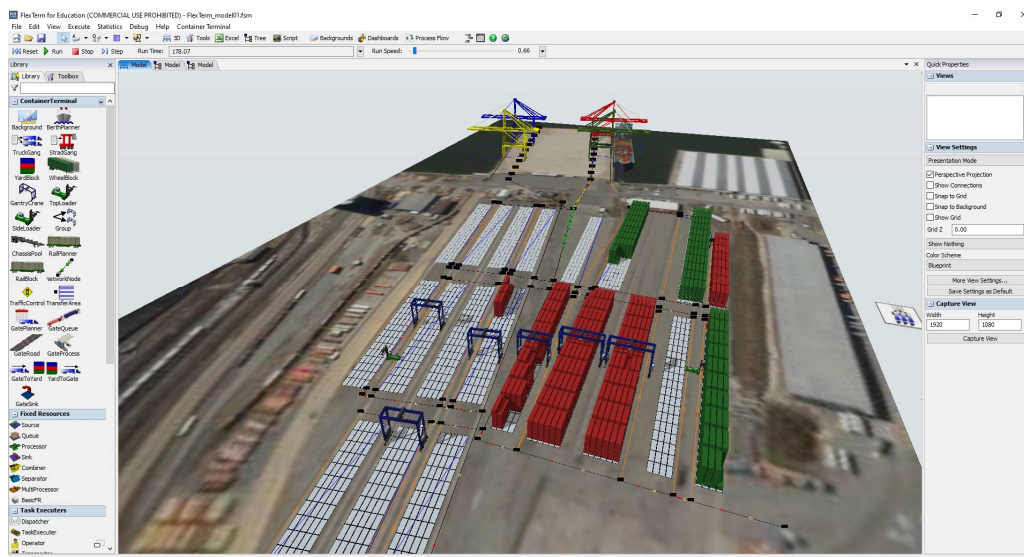
Inicijalni prikaz FlexTerm modela nalazi se na slici 38, a predstavlja model prije početka izvođenja simulacije gdje su svi objekti modela u početnim pozicijama i stanjima izvedbe.



Slika 38 – Inicijalni prikaz FlexTerm modela

Izvor: izradio student

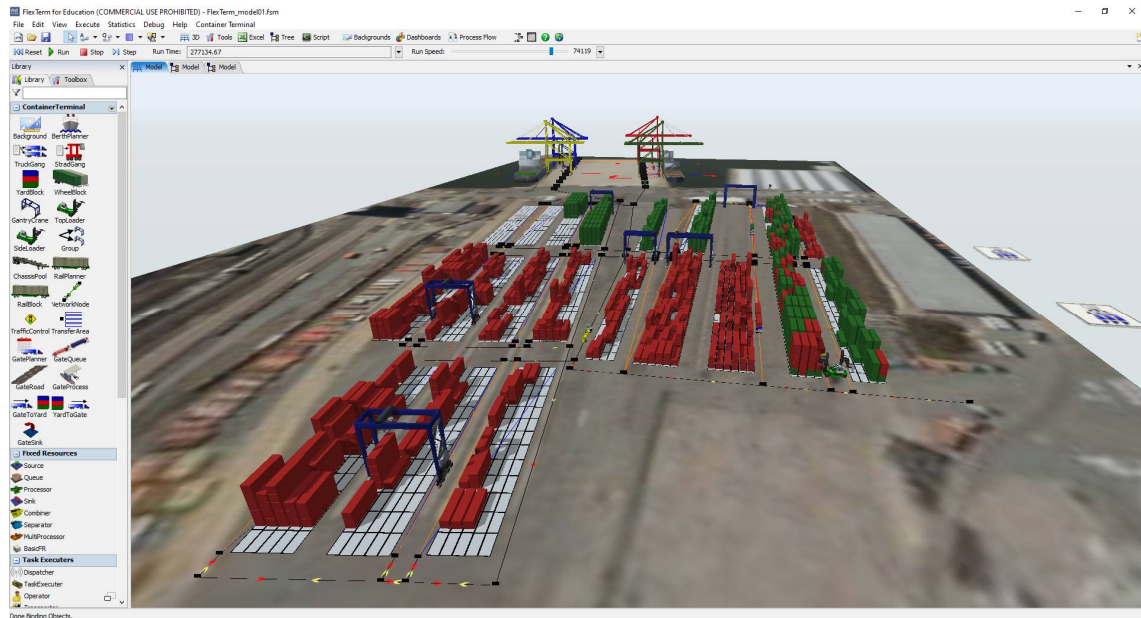
Nakon pokretanja simulacije pojedini objekti modela odlaze na početne pozicije i određuju se početna stanja kod objekata modela i entiteta, slika 39.



Slika 39 – Početak izvođenja simulacije

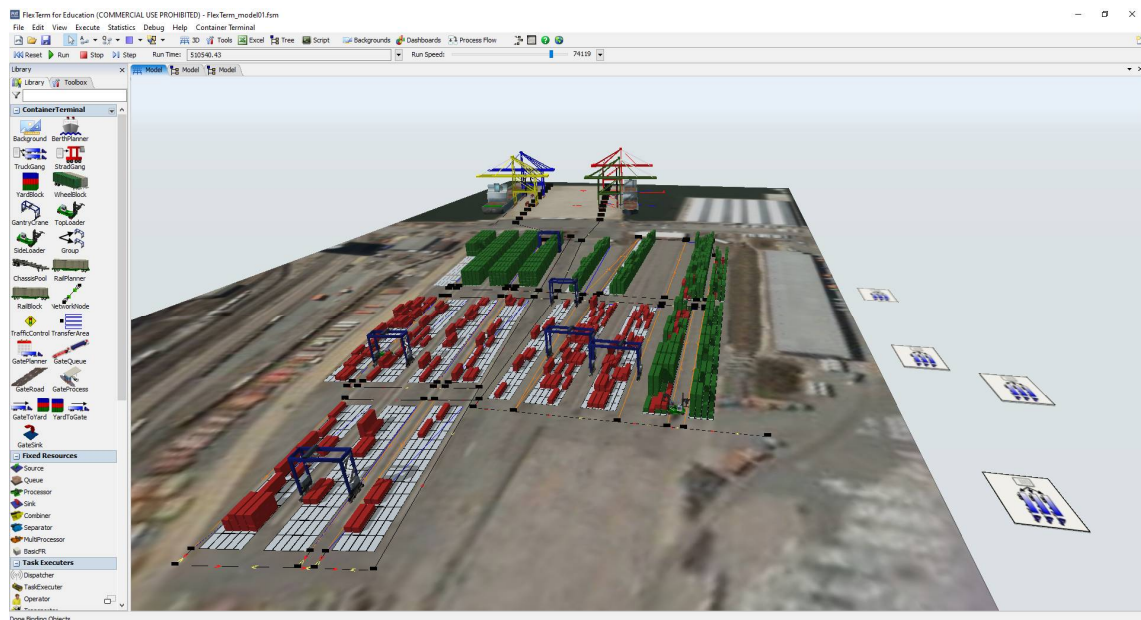
Izvor: izradio student

Nakon određenog vremena izvođenja simulacije ukupni broj te vrsta kontejnera na slagalištu se mijenja, slika 40 i 41.



Slika 40 – Pola ukupnog vremena izvođenja simulacije

Izvor: izradio student

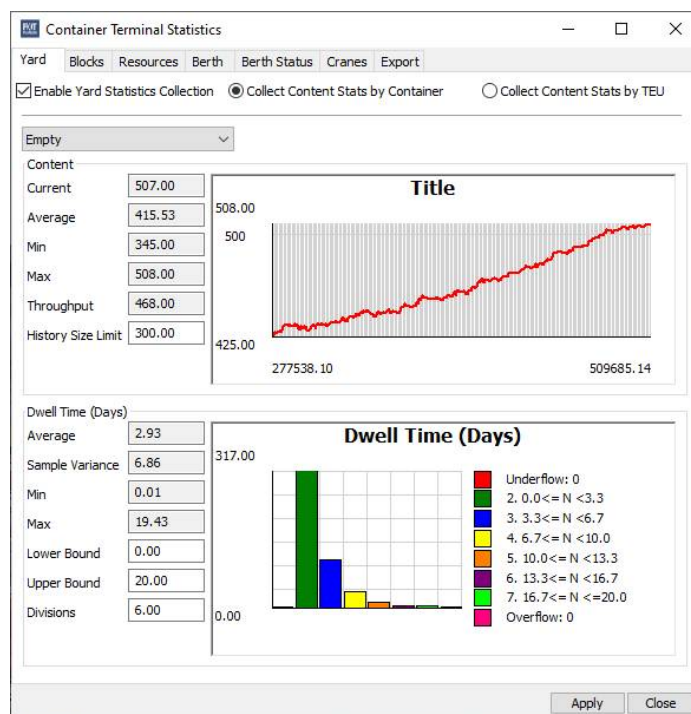


Slika 41 – Ukupno vrijeme izvođenja simulacije

Izvor: izradio student

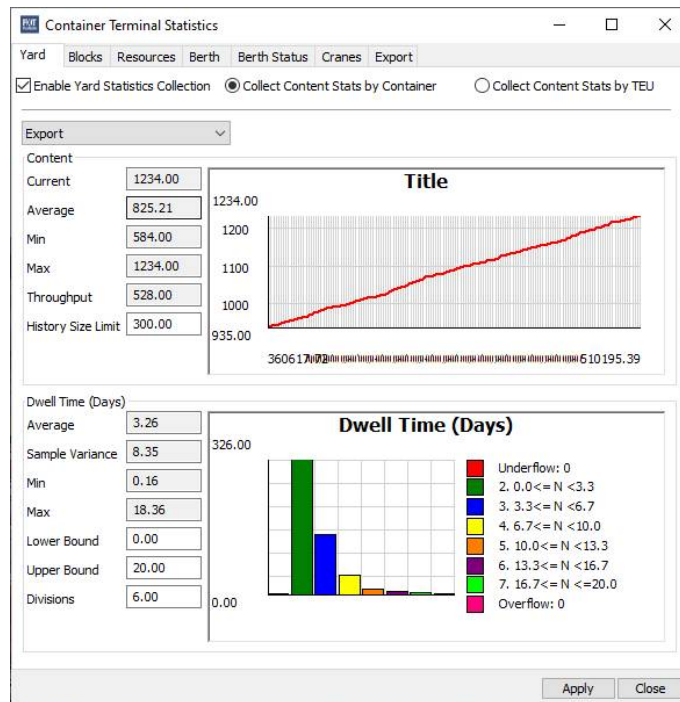
5.2. FLEXTERM STATISTIČKA ANALIZA SIMULACIJE

Nakon ukupnog vremena izvođenja simulacije može se odabrati iz padajućeg menija Container Terminal dijaloški okvir Statistics gdje se mogu pregledati statističke postavke pojedinih objekata koji se nalaze unutar modela. Na slici 42 prikazan je broj praznih kontejnera, a slici 43 prikazan je broj kontejnera za izvoz na slagalištu nakon ukupnog vremena izvođenja simulacije.



Slika 42 – Broj praznih kontejnera nakon simulacije

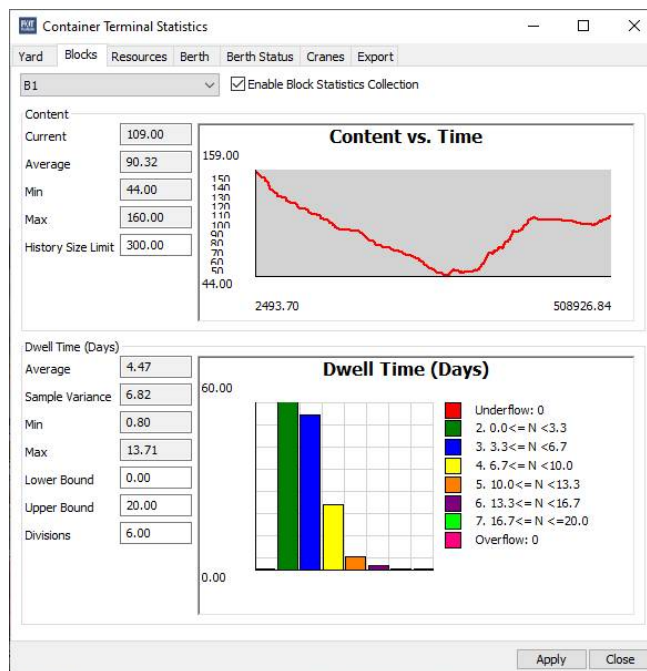
Izvor: izradio student



Slika 43 – Broj kontejnera za izvoz nakon simulacije

Izvor: izradio student

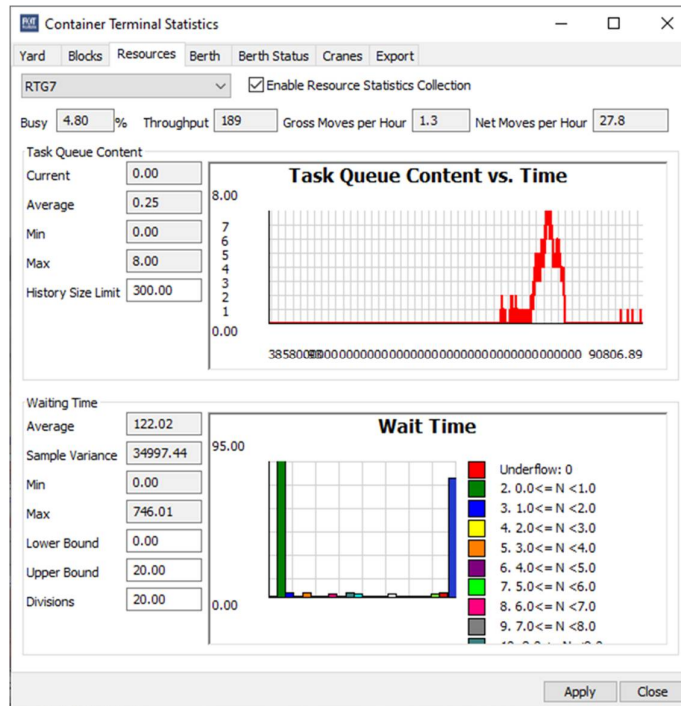
Na slici 44 prikazan je ukupan broj kontejnera na kontejnerskom bloku B1 nakon ukupnog vremena izvođenja simulacije.



Slika 44 – Ukupan broj kontejnera na bloku B1

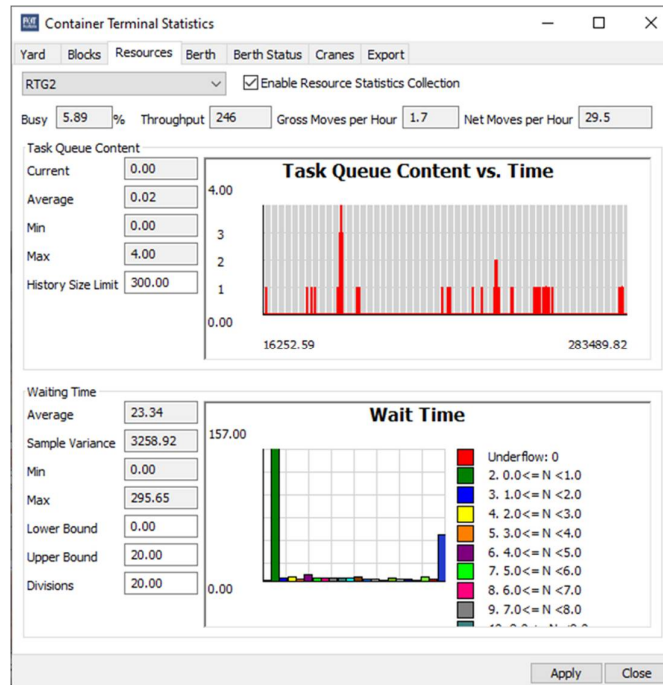
Izvor: izradio student

Slike 45 i 46 prikazuju iskoristivost RTG7 i RTG2 prijenosnika velikog raspona.



Slika 45 – Iskoristivost RTG7 prijenosnika velikog raspona

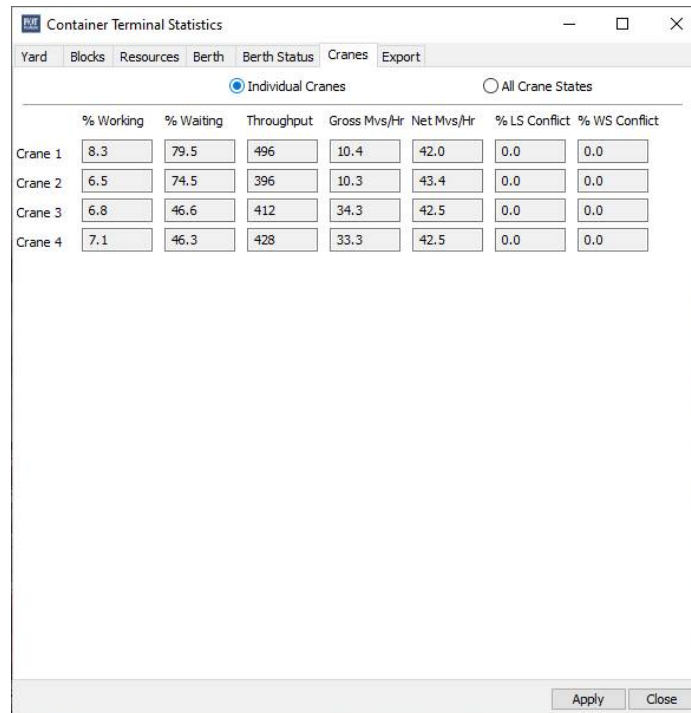
Izvor: izradio student



Slika 46 – Iskoristivost RTG2 prijenosnika velikog raspona

Izvor: izradio student

Na slici 47 prikazana je iskoristivost obalnih dizalica.



The screenshot shows a software window titled "Container Terminal Statistics" with a menu bar containing "Yard", "Blocks", "Resources", "Berth", "Berth Status", "Cranes", and "Export". Below the menu bar, there are two radio buttons: "Individual Cranes" (selected) and "All Crane States". The main area displays a table with the following data:

| | % Working | % Waiting | Throughput | Gross Mvs/Hr | Net Mvs/Hr | % LS Conflict | % WS Conflict |
|---------|-----------|-----------|------------|--------------|------------|---------------|---------------|
| Crane 1 | 8.3 | 79.5 | 496 | 10.4 | 42.0 | 0.0 | 0.0 |
| Crane 2 | 6.5 | 74.5 | 396 | 10.3 | 43.4 | 0.0 | 0.0 |
| Crane 3 | 6.8 | 46.6 | 412 | 34.3 | 42.5 | 0.0 | 0.0 |
| Crane 4 | 7.1 | 46.3 | 428 | 33.3 | 42.5 | 0.0 | 0.0 |

At the bottom right of the window, there are "Apply" and "Close" buttons.

Slika 47 – Iskoristivost obalnih dizalica

Izvor: izradio student

6. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu istražen je koncept modela, simulacija i simulacijskog modeliranja, kao i različite vrste sustava i modela. Razmatrane su različite metode korištenja modela za prikazivanje sustava u različitim kontekstima i načini na koje simulacije mogu olakšati razumijevanje i analizu tih sustava. Posebno je naglašena kategorizacija determinističkog i kontinuiranog sustava kao glavna podjela sustava unutar simulacijskog modeliranja. Ovaj rad također donosi sveobuhvatnu analizu prednosti i mana simulacijskog modeliranja. Dok simulacijsko modeliranje omogućuje detaljan uvid u rad sustava, učinkovito testiranje različitih scenarija te unaprijed planiranje i optimizaciju, isto tako postoji niz izazova poput složenosti izrade modela, potrebe za točnim podacima i vremenom potrebnim za stvaranje i testiranje modela. Bez obzira na ove izazove, jasno je da su prednosti simulacijskog modeliranja brojne i značajne. Analizirana su tri ključna simulacijska alata - FlexSim, Simio i AnyLogic. Svaki od njih donosi jedinstvene značajke i funkcionalnosti koje omogućuju njihovu učinkovitu upotrebu u različitim okruženjima. FlexSim se istaknuo zbog svog intuitivnog grafičkog korisničkog sučelja, Simio pruža robusnu platformu za simulaciju složenih sustava, dok AnyLogic omogućuje multimetodološko modeliranje. Poseban naglasak je stavljen na simulacijski alat FlexTerm. Detaljno su proučene njegove mogućnosti i prednosti, ali i potencijalne slabosti. Pomoću FlexTerm modela virtualnog kontejnerskog terminala pokazane su mogućnosti za izradu modela i simulacije procesa i operacija unutar kontejnerskog terminala.

Ukupno gledano, ovaj rad pokazuje važnost simulacijskog modeliranja u modernom inženjerstvu i znanosti. Proučeni simulacijski alati omogućuju praktičnu primjenu ovih teorijskih koncepta, olakšavajući razumijevanje i optimizaciju stvarnih sustava. Ovo je posebno istaknuto kroz upotrebu FlexTerm-a, koji je pokazao svoju vrijednost kao svestran i robusan alat za modeliranje i simulaciju.

LITERATURA

KNJIGE

1. Rabbinge, R. and De Wit, C.T., "Simulation and systems management in crop protection", Pudoc, Wageningen, 1989., str. 3
2. Banks, J., Carson, J., Nelson, B. & Nicol, D., "Discrete-Event System Simulation", Prentice Hall., Upper Saddle River, 2010., str. 3
3. Banks, J., Carson, J.S.II, Nelson, B.L., Nicol, D.M.: *Discrete-Event System Simulation, 5th edition*, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA 2010.
4. Čerić, V.: *Simulacijsko modeliranje*, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
5. Law, A.M., Kelton, W.D.: *Simulation Modelling and Analysis, 2nd edition*, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 2000.
6. Robinson, S.: *Simulation: The Practice of Model Development and Use*, John Wiley & Sons, New York, 2004.
7. Schmidt, J.W., Taylor, R.E.: *Simulation and Analysis of Industrial Systems*, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, USA, 1970.

POGLAVLJE U KNJIZI

1. Božikov, J.: *Modeliranje i simulacija*, poglavlje u knjizi Medicinskoinformatičke metode, Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Medicinska Naklada, Zagreb, 2007., 85-108.

ČLANCI U ČASOPISIMA

1. Banks, J.: *Introduction to simulation*. In Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation - a bridge to the future - Volume 1 (WSC '99), Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 7-13. 1999.
<https://doi.org/10.1145/324138.324142>
2. Weimer, C.W., Miller, J.O. i Hill, R.R., "Agent-Based Modeling: an Introduction and Primer", u "Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference", 2016., 73. str

ELEKTRONIČKI IZVORI

1. sustav. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. (13. 4. 2023.) <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=58904>>.
2. Types of Systems, MBA Knowledge Base, <https://www.mbaknol.com/management-information-systems/types-of-systems/> ,(14.4.2023.)
3. Continuous Systems vs. Discrete System, JavaTpoint, <https://www.javatpoint.com/continuous-systems-vs-discrete-systems> , (14.4.2023.)
4. asistent.me, (14.4.2023.)
5. Jadranka Božikov, Modeliranje i simulacija, https://bib.irb.hr/datoteka/347082.modeliranje_i_simulacija_-_v2a2.pdf , (14.4.2023.)
6. Difference between Static and Dynamic Modelling, Olivia, <https://www.differencebetween.com/difference-between-static-and-vs-dynamic-modelling/>, (14.04.2023.)
7. Mathematical Models in Science: Uses and Examples, Emily Matthews, <https://study.com/learn/lesson/mathematical-models-science-uses-formulas-examples.html#quiz-course-links> , (16.4.2023.)
8. White Preston, Ricki G. Ingalls, „Introduction to simulation“, https://www.researchgate.net/publication/221529490_Introduction_to_Simulation , (30.04.2023.)
9. Informacijske mreže - Simulacija diskretnih događaja, https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/INFMRE-2019_05.pdf (10.06.2023.)
10. FlexSim, <https://www.flexcon.it/product/flexsim/>, (10.06.2023.)
11. Simio, <https://www.simio.com/about-simio/what-is-simio-simulation-software.php#:~:text=Simio%20is%20designed%20to%20simplify,reused%20in%20multiple%20modeling%20projects.,> (10.06.2023.)
12. AnyLogic, <https://www.anylogic.com>, (12.06.2023.)
13. AI and Simulation for Container Yard planning, AnyLogic, <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/ai-and-simulation-for-container-yard-planning/> , (15.06.2023.)
14. FlexTerm, www.flexterm.com, (20.06.2023.)
15. FlexTerm simulacijski program

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1 – Prikaz sustava kontejnerskog terminala..... | 6 |
| Slika 2 – Prikaz napretka u determinističkom i kontinuiranom sustavu | 9 |
| Slika 3 – Prikaz Zemljine rotacija i nagiba..... | 10 |
| Slika 4 – Prikaz GIS-a | 12 |
| Slika 5 – Prikaz fizičkog modela ljudskog kostura..... | 14 |
| Slika 6 – Prikaz konceptualnog modela dijagrama toka..... | 16 |
| Slika 7 – Prikaz The SIR modela | 17 |
| Slika 8 – Prikaz navigacijskog simulatora na Pomorskom fakultetu u Rijeci | 19 |
| Slika 9 – Prikaz simulacijskog procesa | 27 |
| Slika 10 – Prikaz 3D grafike FlexSim-a..... | 30 |
| Slika 11 – Prikaz SIMIO simulacije željezničkog terminala..... | 31 |
| Slika 12 – Prikaz modela luke koji se može pronaći na AnyLogic cloudu | 33 |
| Slika 13 – Prikaz San Giorgio terminala u AnyLogic simulaciji..... | 34 |
| Slika 14 – Prikaz biblioteke objekata | 38 |
| Slika 15 – Ikona Backgroud unutar biblioteke objekata FlexTerm-a | 39 |
| Slika 16 – Ikona BerthPlanner unutar biblioteke objekata FlexTerm-a | 39 |
| Slika 17 – Ikona TruckGang unutar biblioteke FlexTerm-a..... | 39 |
| Slika 18 – Ikona YardBlock unutar biblioteke FlexTerm-a | 40 |
| Slika 19 – Ikona StradGang unutar biblioteke FlexTerm-a..... | 40 |
| Slika 20 – Ikona GantryCrane unutar biblioteke FlexTerm-a | 40 |
| Slika 21 – Ikona TopLoader unutar biblioteke FlexTerm-a | 41 |
| Slika 22 – Ikona NetworkNode unutar biblioteke FlexTerm-a..... | 41 |
| Slika 23 – Ikona GatePlanner unutar biblioteke FlexTerm-a | 41 |
| Slika 24 – Ikona GateSink unutar biblioteke FlexTerm-a..... | 42 |
| Slika 25 – Prikaz statistike fiksnog objekta u FlexTerm-u..... | 43 |
| Slika 26 – Prikaz sučelja unutar Berth Planner-a..... | 45 |
| Slika 27 – Prikaz sučelja unutar Yard Planner-a..... | 46 |
| Slika 28 – Shematski prikaz pristana sa obalnim dizalicama | 48 |
| Slika 29 – 3D model pristana sa obalnim dizalicama..... | 48 |
| Slika 30 – Postavke obalne dizalice | 49 |
| Slika 31 – Obalne dizalice 1 i 2 | 50 |
| Slika 32 – Obalne dizalice 3 i 4 | 50 |

| | |
|---|----|
| Slika 33 – Shematski prikaz slagališta sa kontejnerskim blokovima | 51 |
| Slika 34 – 3D model slagališta sa kontejnerskim blokovima | 52 |
| Slika 35 – Postavke kontejnerskog bloka B1 | 52 |
| Slika 36 – RTG prijenosnika velikog raspona | 53 |
| Slika 37 – Čeoni viličar i RTG prijenosnici velikog raspona | 53 |
| Slika 38 – Inicijalni prikaz FlexTerm modela | 54 |
| Slika 39 – Početak izvođenja simulacije | 54 |
| Slika 40 – Pola ukupnog vremena izvođenja simulacije | 55 |
| Slika 41 – Ukupno vrijeme izvođenja simulacije..... | 55 |
| Slika 42 – Broj praznih kontejnera nakon simulacije..... | 56 |
| Slika 43 – Broj kontejnera za izvoz nakon simulacije | 57 |
| Slika 44 – Ukupan broj kontejnera na bloku B1 | 57 |
| Slika 45 – Iskoristivost RTG7 prijenosnika velikog raspona | 58 |
| Slika 46 – Iskoristivost RTG2 prijenosnika velikog raspona | 58 |
| Slika 47 – Iskoristivost obalnih dizalica | 59 |