

SAVREMENA SOFTVERSKA RJEŠENJA ZA MODELOVANJE I SIMULACIJE U SAOBRAĆAJU I LOGISTICI

SAŽETAK: Kada termin simulacija koriste računarski stručnjaci, organizatori, menadžeri ili statističari, obično pod simulacijom podrazumijevaju proces izgradnje apstraktnih modela za neke sisteme ili podsisteme realnog svijeta i obavljanje većeg broja eksperimenata nad njima. Modeliranje predstavlja proces koji uspostavlja veze između realnog sistema i modela, dok simulacija predstavlja proces koji uspostavlja veze između modela i računara. Proces simulacije uzima model koji je nastao u procesu modeliranja, unosi potrebne ulaze, stvara simulacijski model za softverski program koji koristimo te vrši eksperimentisanje na njemu. Danas se u procesu planiranja, optimizacije i vještačenja u saobraćaju upotrebljavaju visoko sofisticirani softveri. U radu je dat pregled najvažnijih softvera u oblasti saobraćaja i logistike koji su danas u upotrebi.

KLJUČNE RIJEČI: simulacija, saobraćaj, simulacioni softveri, modelovanje, logistika

1. Uvod

Veliki napredak u području saobraćaja i logistike iziskuje donešenje brzih i efikasnih odluka. Zbog toga današnje vodeće svjetske firme koje se bave područjima saobraćaja i logistike koriste razne simulacijske alate kako bi optimizovali svoje poslovanje. Simulacijski alati uveliko pridonose razvoju logistike i saobraćajnih sistema. Zbog visine troškova eksperimentisanja u realnom sistemu izrađuju se simulacijski modeli preko kojih se optimizuju procesi u saobraćaju i logistici.

Pojmovi transport, saobraćaj i logistika su usko povezani pojmovi i često dolazi do njihovog miješanja. Transport i transportna djelatnost se definiše kao djelatnost koja osim prevoza uključuje i sve druge aktivnosti vezane uz proces premještanja ljudi i dobara s jednog na drugo mjesto. Ove aktivnosti obuhvataju sve radnje i procese vezane uz pripremu i odabir vozila, prevoznu dokumentaciju, pripremu putnika i robe za proces prevoza i premještanja, kao i druge djelatnosti vezane uz realizaciju transportnog procesa.

Saobraćaj se može definisati kao privredna djelatnost čija je zadaća zadovoljenje potreba za premještanjem ljudi i dobara u prostoru, uzimajući pritom u obzir i vrijeme potrebno za realizaciju tog procesa, a u tom procesu su sadržani prevoz, transport, dodatne usluge kao što su agencijski poslovi, berze prevoznih kapaciteta, skladištenje i druge aktivnosti (Ivaković, Stanković i Šafran, 2010).

Također, pojam logistike je potrebno detaljno objasniti. Povezanost logistike sa saobraćajem i transportom nalazi se u činjenici da logistika podrazumijeva pravi proizvod u

pravo vrijeme. Bez funkcionisanja sva tri sistema kao cjeline, to ne bi bilo moguće. Na primjer, ako maloprodajno preduzeće želi tačno određenu količinu proizvoda da bi zadovoljili krajnje kupce na vrijeme, potrebno je pravovremeno odabrati transportno preduzeće koje bi tu uslugu i obavilo.

2. Uloga simulacija i modela u nauci i inženjerstvu

Modeliranje i simulacije dvije su usko povezane računarske aplikacije koje danas igraju glavnu ulogu u nauci i inženjerstvu. Oni pomažu naučnicima i inženjerima da smanje troškove i potrošnju vremena na istraživanja. One su također korisne običnim ljudima da ih lako razumiju i za nešto obuču.

Modeliranje je stvaranje 'modela' koji predstavlja objekt ili sistem sa svim svojstvima ili podskupom svojstava. Model može biti potpuno isti kao izvorni sistem ili ga ponekad aproksimacije odstupaju od stvarnog sistema¹. Na primjer, računarski model broda može pružiti 3D vizualizaciju broda tako da se korisnik može okretati i zumirati kako bi dobio jasnu ideju o dimenzijama broda. Matematički model se razlikuje od 3D modela. Matematički model opisuje sistem preko jednačina. Modeliranje može smanjiti troškove postupka i ubrzati napredak u istraživanju.

Simulacija je tehnika proučavanja i analize ponašanja stvarnog svijeta ili imaginarnog sistema oponašanjem u računarskoj aplikaciji. Simulacija je rad na matematičkom modelu koji opisuje sistem. U simulaciji se mijenja jedna ili više varijabli matematičkog modela i uočavaju se promjene ostalih varijabli. Simulacije omogućuju korisnicima predviđanje ponašanja sistema iz stvarnog svijeta. Na primjer, ponašanje motornog vozila može se simulirati pomoću matematičkog modela koji opisuje vladajuće zakone fizike. Korisnici mogu mijenjati varijablu poput brzine, mase i posmatrati stabilnost vozila.

Simulacije se, također, koriste za osposobljavanje ljudi za neke specifične aktivnosti i reagovanje na neočekivane situacije. Primjeri takvih simulacija su simulatori automobila i leta koji obučavaju vozače i pilote.

Mnoga preduzeća za poboljšanje svog poslovanja koriste simulacije. Simulacija predstavlja model realnog sistema i omogućuje eksperimentisanje na realnim sistemima. Primjenom simulacija se omogućuje mijenjanje ulaznih podataka, te simulacije daju odgovor na pitanje: Šta će se dogoditi ako...? Stoga, poboljšanje poslovanja bilo kog sistema je nezamislivo bez simulacija.

¹ <https://hr.strephonsays.com/modelling-and-vs-simulation-7175>

Simulacija je proces rješavanja realnih problema izvođenjem eksperimenata na simulacijskom modelu. Realni sistemi ili pojave oponašaju se simulacijskim modelom u svrhu ispitivanja, odnosno izvođenja zaključaka o njihovom funkcioniranju. Osnovni koncept simulacijskog modeliranja je sledeći: stvarni sistem (postojeći ili još nepostojeći) opisuje se modelom. Stanje sistema predstavljeno je stanjem modela koje je određeno varijablama stanja. Model reprezentuje sistem sa željenim nivoom aproksimacije. Izrada modela naziva se modeliranje, a model se zadaje simulacijskim jezikom. Nakon što je izrađen model, pristupa se samom simuliranju koje se odvija izvođenjem posebnog programa simulatora na računaru. Rad simulatora je upravljani modelom. Izvođenjem simulacije dobijaju se različiti podaci koji se mogu upotrijebiti u razne svrhe.²

Raspoloživost simulacionih jezika specijalne namjene, snažne računarske performanse i sniženje cijena operacionih istraživanja, načinili su simulacije jednom od najšire primjenjivanih alata kod sistemskih analiza. Simulacije mogu biti upotrijebljene u sljedeće svrhe (Jovanović, 2011):

- Simulacije omogućavaju izučavanje i eksperimentisanje s unutrašnjim interakcijama sistema.
- Informacione i organizacione varijante sistema mogu biti simulirane a efekti mogu biti posmatrani na ponašanju modela.
- Stečeno znanje u toku dizajniranja simulacionih modela značajno je za poboljšanja predmeta istraživanja.
- Izmjene simulacionih ulaza su korisne tamo gdje su promjenljivosti parametara najvažnije.
- Simulacije mogu biti korišćene da povećaju mogućnost analitičkog rješenja metodologije.
- Simulacije se koriste i u eksperimentima s novim dizajnom, za osiguranje u slučaju neočekivanih dešavanja.
- Simulacije se koriste za verifikovanje analitičkih rješenja.
- Simulacije različitih sposobnosti mašina mogu da pomognu u objektivizaciji zahtjeva korisnika.
- Dizajniranje simulacionih modela omogućuje učenje znatno lakšim, bržim i jeftinijim.
- Animacije prikazuju sistem kroz simulacione operacije tako da omogućuje jednostavno predstavljanje plana.

² <http://docbook.rasip.fer.hr/ddb/public/index.php/publication/html/rasipbook/id/3?chapter=1.1.1>

- Moderni sistemi (fabrike, servisi...) su tako složeni da unutrašnje interakcije mogu biti posmatrane samo kroz simulacije.

3. Vrste simulacijskih alata

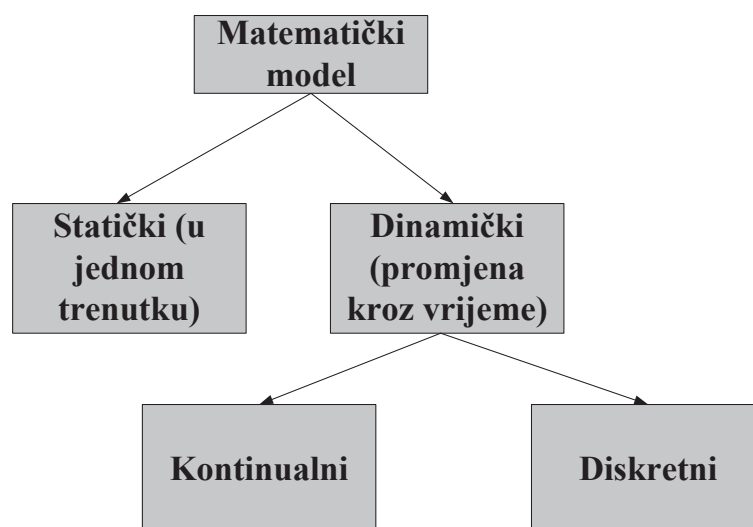
Dvije su glavne metode simulacijskog modelovanja: simulacija diskretnih događaja i kontinualna simulacija čija je posebna podvrsta sistemna dinamika. Svrha je simulacije diskretnih događaja detaljan prikaz ponašanja realnoga sistema uz upotrebu stohastičkih varijabli. U modelima sistemske dinamike agregiraju se entiteti i događaji u odjeljke i tokove kako bi se simuliralo ponašanje sistema s povratnom spregom (engl. feedback loop) za koje se pretpostavlja da su deterministički po svojoj funkciji iako uključuju varijable probabilističkih karaktera (brzine ili vjerovatnoće prelaska iz jednog u drugi odjeljak).

Podjela modela:

- prema strukturi na fizičke i apstraktne,
- prema ponašanju u vremenu na statičke i dinamičke,
- prema načinu rješavanja na konceptualne, matematičke i simulacijske.

Fizički model je manja ili veća fizička kopija nekog objekta. Objekt koji se modelira može biti mali (na primjer, atom) ili veliki (na primjer, Sunčev sistem). Apstraktni modeli zovu se tako jer su pojedini elementi (ili varijable) tih modela prikazane simbolima ili broječanim vrijednostima, dakle apstraktnim pojmovima. Statički modeli ne zavise od vremena, zapravo su prikaz sistema u jednom trenutku. Statički modeli se upotrebljavaju za opisivanje sistema u stacionarnom stanju. Dinamički modeli uključuju vrijeme u modelu, te predstavljaju sisteme koji se razvijaju vremenski...

Navedeni modeli su prikazani na sljedećoj slici.



Slika 1. Vrste modela

Može se, također, reći da su tri vrste modela prema ovoj posljednjoj podjeli, zapravo, tri stepena razvoja. Simulacijski modeli se dalje dijele na dva kriterijuma, prema vrsti varijabli u modelu i prema načinu na koji se mijenja stanje modela u vremenu. Prema izvjesnosti/neizvjesnosti rezultata modeli se mogu podijeliti na determinističke i stohastičke, a prema načinu na koji se mijenja stanje modela razlikuju se modeli diskretnih događaja i modeli kontinualnog stanja te miješani kontinualno-diskretni modeli. Deterministički model je model u kojem su ishodi poznati, oni koji se mogu predvidjeti: određeni ulazni podaci daju uvijek iste izlazne podatke. Stohastički model, s druge strane, predstavlja situaciju u kojoj postoji neizvjesnost, drugim riječima, stohastički model karakteriše slučajno ponašanje.

Vremenski diskretnom simulacijom se opisuju promjene stanja sistema koje se događaju samo u nekim vremenskim trenucima. Modeli sadrže objekte određenih svojstava koji svojim međudjelovanjem u aktivnostima uzrokuju promjene stanja sistema u vremenu. Entiteti (objekti) ovih modela mogu biti stalni ili privremeni i imaju atribute. Stalni entiteti (ili resursi) ostaju u modelu tokom čitavog vremena trajanja simulacije dok su privremeni entiteti oni koji prolaze kroz sistem.

Simulacija diskretnih događaja modelira rad sistema kao diskretni niz događaja u vremenu. Svaki se događaj pojavljuje u određenom trenutku u vremenu i označava promjenu stanja u sistemu. Između uzastopnih događaja u sistemu nema pretpostavke da su se dogodile promjene u sistemu. Takva simulacija može direktno preskakati s jednog događaja na drugi. Kod diskretnog vremena stanje sistema određeno je samo u nekim trenucima i oni mogu biti međusobno jednoliko ili različito udaljeni. Promjena iz stanja u stanje odvija se skokovito. To je u kontrastu s kontinualnom simulacijom u kojoj simulacija vremenom prati dinamiku sistema. Kod kontinualnog vremena stanje sistema je određeno u svim trenucima.

4. Simulacijski alati u saobraćaju i logistici

Simulacija diskretnih događaja i kontinualnih sistema su dva pristupa modeliranju koja se uveliko koriste kao alati za podršku u logistici, upravljanju lancima dobave i saobraćajnim sistemima.

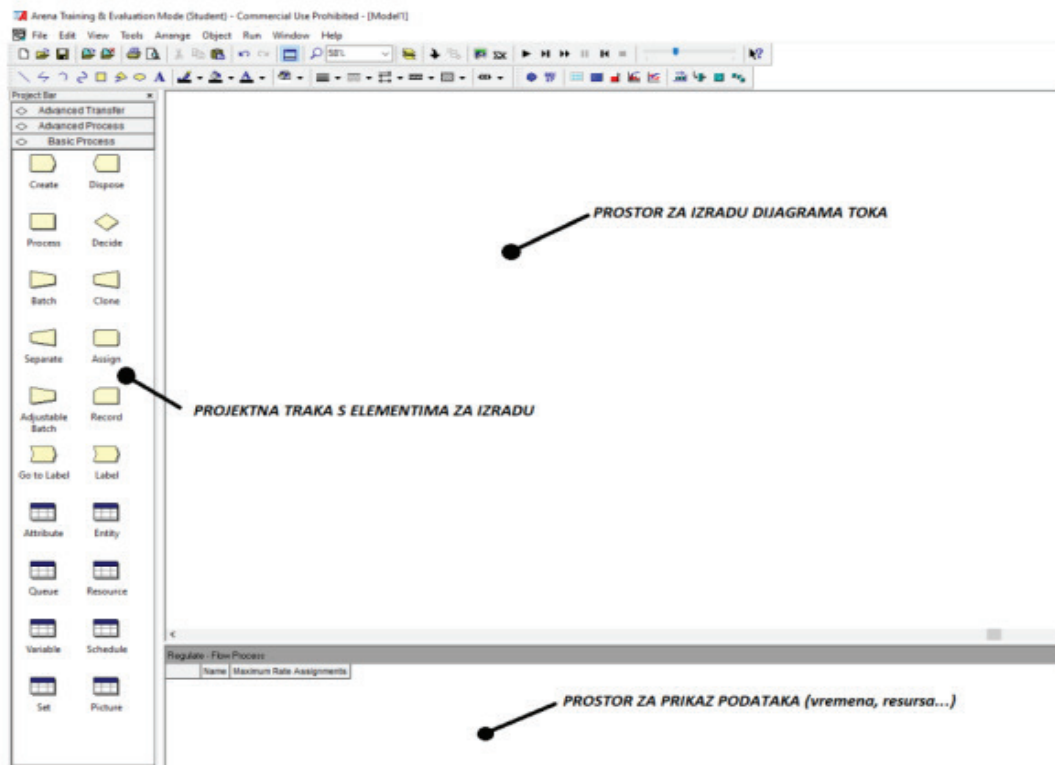
4.1. Simulacijski softver Arena Professional Edition

Arena Professional Edition je simulacijski softver firme Rockwel Automation za diskretne događaje. Arena se koristi za simulaciju i analizu postojećih i predloženih sistema kao i analizu poslovanja. Primjenjuje se za simulaciju proizvodnje, kapacitet kontejnerskih terminala, lanaca dobave i logistike. Jednostavan je alat pri izradi simulacije logističkog procesa. Koristi metodologiju modelovanja koja omogućuje izgradnju logističkog procesnog toka u brzom i intuitivnom okruženju. Zahvaljujući 2D i 3D animacijskim mogućnostima omogućuje izgradnju simulacija i vizuelizaciju rezultata. Ima mogućnost izrade prilagođenih prikaza podataka o modelu kako bi se jednostavnije razumjelo šta se događa u procesu.

Kompatibilna je s većinom operativnih sistema Windows, ali ne i s operativnim sistemom Linux. Može koristiti drugi softver za obavljanje specijaliziranih funkcija kao što je OptQuest. Ima mogućnost pokretanja vanjskim programom te je omogućena kontrola vanjskim programom. Posjeduje korisničku podršku, kurseve, obuke i internet podršku. Jedan od mnogobrojnih razloga zašto je simulacijski softver Arena izbor toliko svjetskih univerziteta i fakulteta jeste što nudi izbor za potrebe svih akademija. Arena Student verzija pruža funkcionalnost Arena Professional Edition, s nekim ograničenjima. Arena paket istraživanja namijenjen je profesorima i studentima koji izvode akademske istraživačke studije na razini univerziteta.

Složeni sistem se dijeli na niz diskretnih, tačno definisanih događaja, i na taj način se sistem može analizirati po svojim sastavnim elementima. Koliko je pojedini resurs iskorišćen, koje aktivnosti se ne obavljaju jer nisu međusobno usklađene pa dolazi do čekanja, kolika je ukupna iskoristivost sistema ili koliko u sistem ulazi entiteta a koliko izlazi iz sistema u nekom zadanom radnom vremenu.

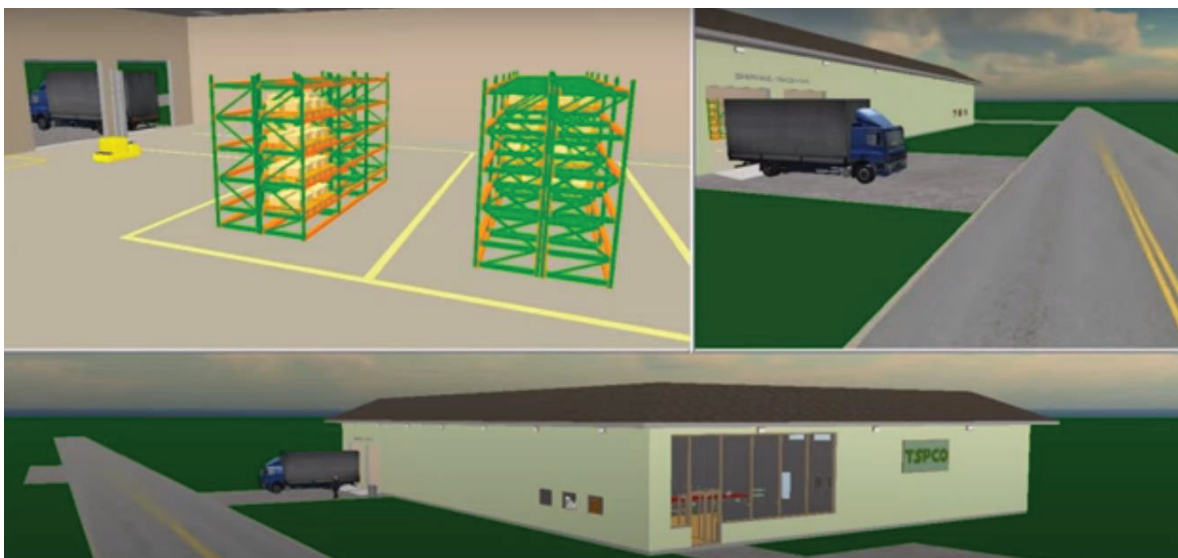
Rad u Areni se bazira na slaganju blokova u obliku dijagrama toka. On se izrađuje preko grafičkog interfejsa na kome se nalaze svi potrebni elementi i nije potrebno znanje programskih jezika jer se kod automatski generiše nakon izrade dijagrama kao što je prikazano na sljedećoj slici.



Slika 2. Grafički interfejs simulacijskog alata Arena

U zavisnosti od zadanih parametara u samoj simulaciji Arena daje izvještaj o provedenoj simulaciji u kojem daje podatke o svim resursima, entitetima i obavljenim aktivnostima. Iz izvještaja se može vidjeti učinkovitost pojedinih koraka (utrošeno vrijeme), moguća kašnjenja (zbog rezervacija resursa u aktivnostima) te se na osnovu toga mogu dati preporuke za poboljšanje samog sistema.

Na sljedećoj slici je prikazana simulacija skladišta u Arena simulacijskom softveru.



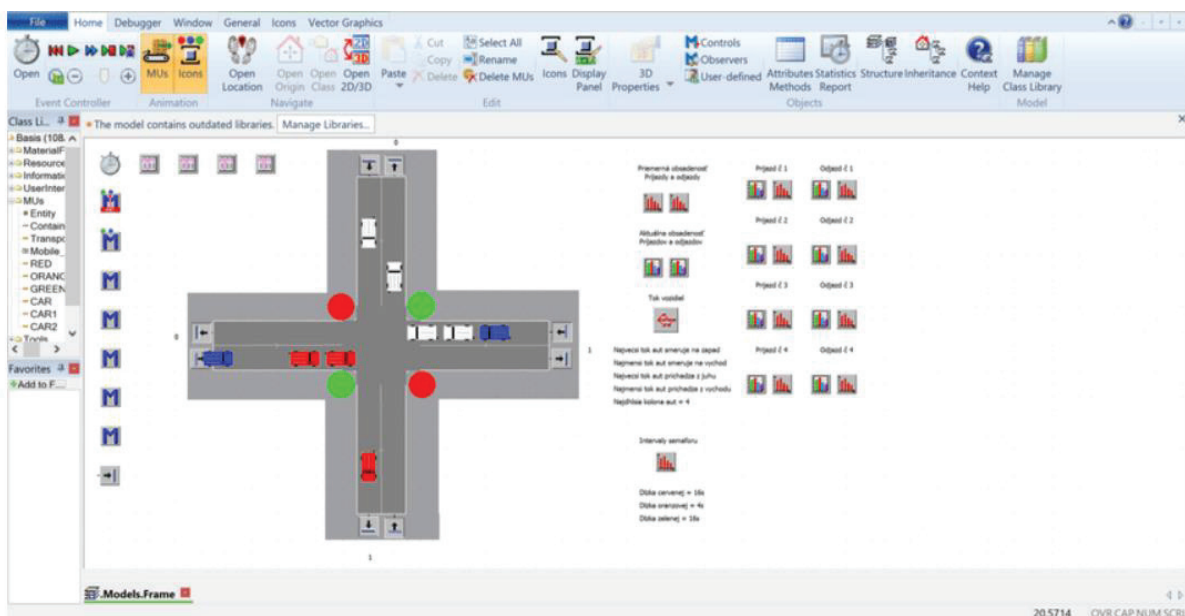
Slika 3. Primjena Arene u simulaciji skladišta

4.2. Plant Simulation

Plant Simulation je alat za simulaciju diskretnih događaja koji pomaže u izradi digitalnih modela logističkih sistema (kao što je proizvodnja) tako da može istražiti karakteristike sistema i optimizovati njegovu efektivnost. Ima mogućnost vizuelizacije, analize i optimizacije protoka materijala, i logistike. Ti digitalni modeli omogućuju pokretanje eksperimenata i scenarija bez narušavanja postojećih proizvodnih sistema ili kada se koristi u procesu planiranja, mnogo prije nego što su ugrađeni pravi proizvodni sistemi. Opsežni alati za analizu, poput analize uskog grla, statistike i grafikona, omogućuju procjenu različitih scenarija proizvodnje. Rezultati pružaju informacije potrebne za brzu, pouzdanu i pametniju odluku u ranoj fazi planiranja proizvodnje.

Pomoću Plant simulationa mogu se modelovati i simulirati proizvodni sistemi i njihovi procesi. Osim toga, može se optimizovati tok materijala, iskoristivost resursa i logistika za sve nivoe planiranja; od globalnih proizvodnih postrojenja, preko lokalnih postrojenja, do određenih linija.

Svjetski je lider u 3D logističkom modelovanju. Koristi se s Windows operativnim sistemima i može koristi drugi softver za obavljanje specijalizovanih funkcija kao što su Matlab, C dlls, MS-Excel, SAP, Simatic IT, Teamcenter, Autocad, Microstation. Studentska verzija je besplatna, dok cijena standardne verzije zavisi od paketa softverskih dodataka koji se kupuju. Na sljedećoj slici je prikazana upotreba Plant Simulation simulacijskog softvera prilikom izrade simulacije saobraćajne raskrsnice.



Slika 4. Izrada simulacije saobraćajne raskrsnice u softveru Plant Simulation

4.3. FLEXSim simulacijski softver

FlexSim je 3D simulacijski softver koji modeluje, simulira, predviđa i vizualizuje sisteme u proizvodnji, rukovanja materijalima, skladištenju, rudarstvu, logistici. Kao firma s visokom tehnologijom, postigli su napredovanje u simulacijskoj tehnologiji u smislu fleksibilnosti, jednostavnosti korišćenja, prilagodbe, 3D grafike. Simulacijski programski alat FlexSim koristi se za simuliranje diskretnih događaja, odnosno za simulaciju skladišnih procesa, procesa na kontejnerskim terminalima, u aerodromima i proizvodnim pogonima. Simulacijski programski alat omogućuje razvoj trodimenzionalnih modela te omogućava visok nivo preslikavanja stvarnih sistema u simulacijski model. Osobine simulacijskog programskog alata:

- definisanje međudnosa objekata,
- izvođenje simulacijskih eksperimenata,
- pregled statističkih podataka.

Mana ovog simulacijskog alata je nedostatak gotovih objekata za poređenje pri simuliranju logističkih procesa. Time se mora dodatno ulagati u obuku radnika čime se gubi na vremenu i novcu.



Slika 5. Prikaz 3D simulacije skladišnog prostora u FlexSimu³

³ <http://www.flexcon.it/wp-content/uploads/2015/03/16-02-2015-15-25-43-web.png>

4.3. SIMUL8 simulacijski softver

SIMUL8 simulacijski softver je proizvod SIMUL8 kompanije koji se koristi za simulaciju sistema koji uključuju obradu diskretnih entiteta u diskretnim vremenima. Ovaj je program alat za planiranje, dizajn, optimizaciju i reinženjering stvarnih sistema proizvodnje, proizvodnje, logistike ili pružanja usluga. SIMUL8 omogućuje korisniku stvaranje računarskog modela koji uzima u obzir stvarna ograničenja života, kapacitete, stope neuspjeha, obrasce pomaka i druge faktore koji utiču na ukupnu učinkovitost i učinkovitost proizvodnje. Pomoću ovog modela moguće je testirati realne scenarije u virtuelnom okruženju, na primjer simulirati planiranu funkciju i opterećenje sistema, mijenjati parametre koji utiču na performanse sistema, provoditi testove ekstremnih opterećenja, provjeriti pomoću eksperimenata predložena rješenja i odabrati optimalno.

SIMUL8 koristi dinamičnu diskretnu simulaciju koja omogućuje jednoznačne i konkretne rezultate i dokaze, informacije o tome kako će dizajnirani ili optimizovani proizvodni sistem zapravo funkcionisati. SIMUL8 Professional uključuje online obuku i godišnje održavanje za prvu godinu kao standard. Širok je raspon korisnika ovog simulacijskog alata od poslovnih, vladinih i obrazovnih organizacija. U stvari, svaka organizacija koja obrađuje tokove narudžbi, ljudi, transakcija ili proizvoda može imati koristi od korišćenja simulacijskog softvera. Koriste ga svjetski poznate firme: American Airlines, GM, NASA, CHRYSLER. Komercijalni je alat koji ima standardnu i studentsku verziju. Na sljedećoj slici je prikazana simulacija skladišta u softveru SIMUL8.



Slika 5. Prikaz simulacije skladišta u softveru SIMUL8

4.4. AnyLogic simulacijski softver

AnyLogic⁴³ je simulacijski softver preduzeća AnyLogic North America. Simulacijski je alat koji podržava kombinovanje simulacija diskretnih događaja i dinamičkih sistema u jednom modelu. Podržava rad na svim operativnim sistemima. Ima mogućnost implementiranja drugog softvera za obavljanje specijalnih funkcija (Excel, Access). Izvještaji, grafikoni i rezultati mogu se primijeniti u Excelu ili bilo kojoj bazi podataka. Softver može biti prilagođen korišćenjem jednostavnih modela i programskih jezika. Korisnici imaju jednostavnu mogućnost izrade grafičkih modela pomoću funkcije „povuci i ispusti“. AnyLogistix poseban je softver za primjenu u logistici i lancima dobave. Njegova najvažnija je odlika što se ne mora odlučivati između metoda koje će se koristiti jer taj alat podržava obje. U saobraćaju i logistici koristi se za planiranje i optimizaciju prevoza, optimizaciju logističke mreže, dizajn lanca dobave (kao što je prikazano na sljedećoj slici), postavljanje i optimizacija rada skladišta. Komercijalni je alat a studenti imaju mogućnost besplatne verzije.

Glavni nedostatak ovog simulacijskog alata je što je težak za korišćenje jer je potrebno jako puno učiti iz razne literature i web izvora. Još jedan nedostatak je taj što koristi Java programski jezik za prikazivanje animacija, a taj jezik nije stabilan za svakodnevni rad.



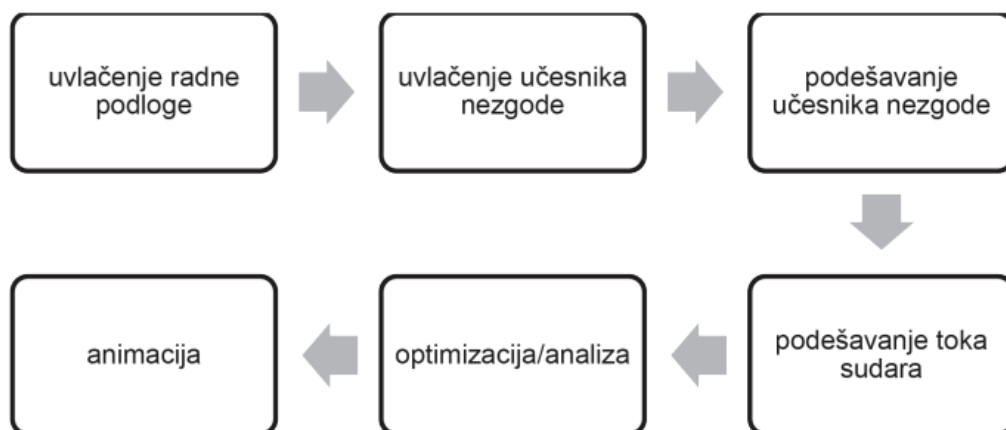
Slika 6. Prikaz simulacije složene raskrsnice u Anylogicu⁴

⁴ <https://www.anylogic.com/road-traffic/>

4.5. Softver PC Crash

S današnjim razvojem računara i IT tehnologije skoro da ne postoji oblast njihove primjene. Međutim, pored hardvera neophodno je napomenuti da i softver predstavlja dio IT tehnologije koji se skoro uporedo razvija. Naime, u pojedinim trenucima, razvoj hardvera je inicirao razvoj softvera, a u pojedinim situacija je bila obrnuta. Slična situacija je i u analizi saobraćajnih nezgoda. Iako je do kraja prošlog vijeka postojao veoma mali broj računarskih programa koji su omogućavali analizu pojedinačne saobraćajne nezgode, u ovom vijeku ti programi su značajno usavršeni, s jedne strane, a s druge strane, u masovnoj su upotrebi. Znanja koja posjeduje čovječanstvo pohranjuju se u računarske programe i današnji softveri za analizu i simulaciju saobraćajnih nezgoda skoro da su svemogućí. Nije moguće sprovesti kvalitetnu i preciznu analizu saobraćajne nezgode računarom, ako se na primjer učesnici nezgode posmatraju kao materijalne tačke. S tim u vezi, osim znanja koja posjeduju mašinski inženjeri u pogledu ponašanja vozila u sudaru, u računarske programe su pohranjeni i podaci, odnosno algoritmi ponašanja tzv. ranjivih učesnika u saobraćaju, gdje se misli na ljudsko tijelo i njegovo ponašanje u sudaru. Za to se koriste znanja iz biomehanike, odnosno znanja medicinske struke (Pešić, Antić i Vujanić, 2016).

Da bi se sprovela analiza jedne saobraćajne nezgode programom PC Crash potrebno je sprovesti neke od koraka. Za neke od koraka rada s programom PC Crash je veoma važan i redosljed kada se sprovode. Svaki od koraka, s druge strane, je važan za sebe i biće ukratko opisan kako bi se uočili i shvatili kako prednosti, tako i nedostaci.



Slika 7. Koraci u postupku rada sa softverom PC Crash

Radna podloga predstavlja skicu, odnosno situacioni plan saobraćajne nezgode koji predstavlja pozadinu radnog prostora. Pozadina radnog prostora je neophodna da bi se tokom i nakon analize posmatralo gdje je mjesto sudara, da li se vozila kreću po tragovima, da li se vozila zaustavljaju u položaje registrovane uviđajnom dokumentacijom itd.

Učesnici saobraćajne nezgode mogu biti vozila različitih kategorija i tzv. ranjivi učesnici u saobraćaju, odnosno pješaci, biciklisti i motociklisti, koji su u programu PC Crash poznati kao „multibody system“.

Kada se misli na tok sudara, to podrazumijeva način kretanja vozila od trenutka sudara do zaustavljanja, pri čemu se vodi računa o tome u kojoj fazi je došlo do sudara. Drugim riječima, moguće je da prvo dođe do sudara, a nakon toga da vozač reaguje, zatim vozilo intenzivno koči sve do zaustavljanja.

Kod podešavanja toka sudara neophodno je voditi računa i podesiti i ostale parametre koji utiču na način kretanja vozila i ostalih učesnika nezgode u samom sudaru, ali i od sudara do zaustavljanja. Ti parametri se odnose na prijanjanje kolovoza (ako se vozilo tokom sudara kreće po više podloga, neophodno je podesiti i koeficijente prijanjanja svih podloga po kojima se kreće), trenje koje se ostvaruje u sudaru, prijanjanje, odnosno trenje pješaka po kolovozu itd.

Kada se radi o sudarima s ranjivim učesnicima u saobraćaju, na primjer pješacima, imajući u vidu da se pješak ne može kretati u programu, to se pješaku može podesiti, odnosno unijeti samo parametri brzine koju je imao u trenutku sudara, što se može razlikovati od brzine koju je, na primjer, pješak imao prilikom prelaska preko kolovoza.

Kada se sprovede podešavanje učesnika nezgode i parametara samog toka sudara, pristupa se narednom koraku, a to je optimizacija, odnosno analiza saobraćajne nezgode. Ovdje treba razlikovati nekoliko načina analize saobraćajne nezgode. Ukoliko je uviđajna dokumentacija kvalitetna i potpuna i sudski spisi sadrže sve neophodne elemente, a što nije tako čest slučaj, tada će sam proces optimizacije u programu PC Crash omogućiti veoma brzo i kvalitetno dobijanje izlaznih podataka.

Posljednji korak u radu s programom predstavlja animacija, odnosno tzv. „snimanje 3D vizuelizacije toka saobraćajne nezgode“. Ovaj korak je izuzetno važan ako smo u prethodnim koracima uspjeli da sprovedemo sve što je bilo neophodno. Izuzetno je važan jer omogućava trodimenzionalni prikaz, odnosno mogućnost gledanja „filma“ saobraćajne nezgode iz različitih uglova i iz različitih pozicija.



Slika 8. 3D vizuelizacija

Animacija omogućava da svi učesnici u postupku shvate kako se dogodila saobraćajna nezgoda, a ne samo saobraćajno-tehnički vještak. Animacija može pomoći ne samo u pokazivanju kako se dogodila saobraćajna nezgoda već na primjer da pruži odgovor na pitanja, šta je vidio vozač neposredno prije sudara, odnosno da li je na primjer mogao uočiti pješaka koji stupa ispred autobusa i slično. S druge strane, slika, odnosno film, opisuje mnogo bolje i kvalitetnije nego hiljade riječi u nalazu vještaka. Prethodno navedeno su osnovne prednosti zbog kojih se radi animacija u PC Crashu. Međutim, nedostaci koji se mogu javiti su uglavnom tehničke prirode, koji podrazumijevaju, na primjer, neodgovarajuću podlogu, pa se ne mogu uočiti detalji, ili, na primjer, ne postoji 3D oblik nekog od vozila, pa vozila više izgledaju kao „kockice“.

Primjena računarskih programa za analizu saobraćajnih nezgoda, pa samim tim i programa PC Crash omogućava precizniju analizu elemenata saobraćajne nezgode, počev od mjesta sudara, preko sudarnih brzina do olakšavanja definisanja uzroka i okolnosti pod kojima se dogodila saobraćajna nezgoda. Računarski program PC Crash veoma brzo vrši veliki broj kompleksnih proračuna, pa samim tim, s jedne strane, kao rezultat analize saobraćajne nezgode daje preciznije rezultate, a s druge strane ubrzava kako proces proračuna, tako i same analize saobraćajne nezgode. Programom PC Crash moguće je precizno provjeriti parametre utvrđene tradicionalnim metodama, kao i preciznije odrediti parametre koji nisu mogli biti precizno utvrđeni tradicionalnim metodama.

Kako bi se, međutim, u potpunosti iskoristio potencijal koji sa sobom nosi rad u računarskom programu PC Crash, potrebno je da budu ispunjeni neki od preduslova. Naime,

prvo i esencijalno je stručno znanje iz oblasti drumskog saobraćaja, analiza saobraćajnih nezgoda i posebno vještačenja saobraćajnih nezgoda. Također, neophodno je znanje rada na računaru. Konačno, treba naglasiti da kvalitet izlaznih rezultata iz PC Crasha zavisi od ulaznih parametara, dok kvalitet ulaznih parametara, odnosno onih podataka kojima se pohranjuje PC Crash zavisi od kvaliteta materijalnih dokaza iz Spisa i uviđajne dokumentacije, odnosno od kvaliteta rada vještaka u pripremi ulaznih podataka.

5. Zaključak

Modeliranje i simulacije dvije su usko povezane računarske aplikacije koje danas igraju glavnu ulogu u saobraćaju i logistici. Modeliranje je stvaranje 'modela' koji predstavlja objekt ili sistem sa svim svojstvima ili podskupom svojstava. Simulacija diskretnih događaja i kontinualnih sistema su dva pristupa modeliranju koji se uveliko koriste kao alati za podršku u logistici, upravljanju lancima dobave i saobraćajnim sistemima.

Logistička i saobraćajna preduzeća trebaju koristiti simulacijske alate kako bi poboljšali svoje poslovanje. Istraživanjem smo saznali da su najčešće korišćeni alati: Arena Professional Edition, FlexSim, SIMUL8, Plant simulation, Simio i AnyLogic.

LITERATURA

- Ivaković, Č., Stanković, R. i Šafran, M. (2010). *Špedicija i logistički procesi*. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu.
- Jovanović, M. (2011). *Logističke simulacije*. Mašinski fakultet Niš.
- Pešić D., Antić B. i Vujanić M. (2016). Značaj i mogućnosti računarskog programa PC Crash kod vještačenja saobraćajnih nezgoda. *XV Simpozijum „Veštačenje saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju“*. Soko Banja.
- <https://hr.strephonsays.com/modelling-and-vs-simulation-7175>
- <http://docbook.rasip.fer.hr/ddb/public/index.php/publication/html/rasipbook/id/3?chapter=1.1.1>
- <http://www.flexcon.it/wp-content/uploads/2015/03/16-02-2015-15-25-43-web.png>
- <https://www.anylogic.com/road-traffic/>

Stojan Aleksić, Ph.D.
Gordana Blagojević, M.Sc.

MODERN SOFTWARE SOLUTIONS FOR MODELING AND SIMULATION IN TRANSPORT AND LOGISTICS

Summary

When the word simulation is used by computer experts, organizers, managers or statisticians, simulation usually means the process of building abstract models for some real-world systems or subsystems and performing a number of experiments on them. Modeling is a process that establishes connections between a real system and a model, while simulation is a process that establishes connections between a model and a computer. The simulation process takes the model created in the modeling process, enters the necessary inputs, creates a simulation model for the software program we use and experiments on it. Today, highly sophisticated software is used in the process of planning, optimization and expertise in traffic. The paper gives an overview of the most important software in the field of transport and logistics that are in use today.

Keywords: Simulation, traffic, simulation software, modeling, logistics