

SIMULACIONI MODELI SAOBRAĆAJA PRI PLANIRANJU SAOBRAĆAJNE INFRASTRUKTURE

UDK: 656.01:004.94

Srdan Živković¹, Sandra Šaković², Slavko Zdravković³

Rezime: U ovom radu prikazani su novi simulacioni softveri i trendovi u izgradnji simulacionih modela koji omogućavaju praćenje odnosa saobraćaja i saobraćajne infrastrukture po kojoj se on odvija. Osnovni cilj planiranja saobraćajne infrastrukture je da se za utvrđene saobraćajne parametre izradi optimalan plan infrastrukturnih kapaciteta i elemenata koji će u funkcionalnom smislu moći da podrže saobraćajne zahteve za planirani period. Savremeni pristup planiranja saobraćaja i saobraćajne infrastrukture zasnovan je na primeni mikro-simulacionih modela.

Rezultati simulacije koriste se kao dodatni elementi pomoću kojih planeri saobraćaja i projektanti saobraćajne infrastrukture mogu lakše i argumentovanije da donose odluke u procesu planiranja.

Ključne reči: simulacija, saobraćaj, infrastruktura, planiranje.

Summary: The modern approach in planning of both traffic and traffic infrastructure is based on application of micro-simulation models. The paper herein will show new simulation software and trends in development of simulation models that enable monitoring of correlations between traffic and related infrastructure.

The main purpose of traffic infrastructure planning is development of an optimum plan for infrastructure capacities and related elements that in functional aspect could support traffic demands required for the planned period. Simulation results will be further used by traffic planners and design engineers responsible for infrastructure as an additional element in the decision making process.

Keywords: simulation, traffic, infrastructure, planning.

1 UVOD

Ključna aktivnost za istraživanje neke pojave metodom simulacije je kreiranje modela koji predstavlja „skup logičkih relacija, bilo kvalitativnih bilo kvantitativnih, koje će zajedno povezati relevantne karakteristike stvarnosti bitne za problem koji se rešava“ [1].

Simulacija je naučna metoda koja se zasniva na eksperimentisanju na modelu koji oponaša realni

sistem. Primenjuje se u slučajevima kada su eksperimenti u realnom sistemu ili na objektu skupi ili nemogući i kada su iscrpljene mogućnosti analitičkih, grafičkih i drugih metoda. Modeli, kao sintetska apstrakcija stvarnosti, su veoma korišćeno sredstvo za opis, objašnjenje, predviđanje i upravljanje pojavama u realnom svetu. Spektar složenosti modela se kreće od vrlo jednostavnih do izuzetno složenih, a zajednička karakteristika im je da nikada ne mogu biti potpuno verna slika realnosti (poput slike u ogledalu), već samo bliska slika realnog ili željenog sistema

¹Docent, dr, Građevinsko-arhitektonski fakultet, email: srdjanzivkovic@gaf.ni.ac.rs

²Diplomirani inženjer Saobraćaja, Građevinsko-arhitektonski fakultet, email: sandrasakovic@hotmail.com

³Prof/, dr Ekspert bivšeg Saveznog Ministarstva za nauku, tehnologiju i tehnološki razvoj (rešenje br:EXP 2/0-09-001/94-9) email: slavko.zdravkovic@gaf.ni.ac.rs

(determinističkog ili stohastičkog). U procesu istraživanja neke pojave faza modelovanja, tj. izgradnje modela, predstavlja kritičnu tačku.

U okviru raznih istraživanja, planerskih i operativnih aktivnosti, ubrzano se razvijaju raznovrsni modeli odlučivanja i sistemi za podršku odlučivanju zasnovani na simulacionim modelima.

Kako se rezultati simulacije koriste kao dodatni argumenti za donošenje raznih odluka, to se uspešnim modelovanjem drastično smanjuje rizik od donošenja pogrešne odluke. Modeli moraju da obuhvataju samo bitne osobine pojave koju predstavljaju, a da pri tome zanemare čitav niz detalja te iste pojave, tj. treba da obuhvate samo veličine koje su bitne za dati nivo apstrakcije pojave koja se istražuje. Na modelu se rade eksperimenti tako što se ispituje ponašanje posmatranih veličina u odnosu na kontrolisane promene zavisnih parametara.

Osnovne koristi od upotrebe modela su:

- Mogućnost analize i eksperimentisanja sa složenim problemima,
- Ekonomisanje resursima koji se koriste za analizu date pojave,
- Značajno smanjenje vremena za analizu date pojave.

2 RAČUNARSKA SIMULACIJA U OBLASTI SAOBRAĆAJA I TRANSPORTA

Računarska simulacija u oblasti saobraćaja i transporta počela je da se primenjuje pre više od pedeset godina i danas predstavlja posebnu disciplinu u okviru planiranja saobraćaja i transporta i planiranja saobraćajne infrastrukture. Na modelu saobraćajnog/transportnog sistema istražuje se i analizira rad sistema koji je previše komplikovan za analitička i/ili numerička istraživanja, sa ciljem da se obezbedi podrška donošenju odluka u planiranju, projektovanju i operativnom radu posmatranog transportnog sistema.

Na početku su se simulacioni modeli izrađivali kao integralni modeli u nekom od dostupnih programskih jezika i/ili simulacionih jezika. Ove modele karakterisao je visok nivo uopštavanja i mali broj realnih ograničenja. Za analizu parametara od značaja za unapređenje funkcionisanja saobraćaja, u modelima su se koristile različite matematičke teorije, teorija matematičke statistike, teorija verovatnoće, diferencijalne jednačine i numeričke metode.

Stanja saobraćanih i transportnih sistema mogu da budu diskretna ili kontinualna u vremenu i prostoru. Modeli za simulaciju diskretnih događaja mogu da

budu stohastički (slučajne promenljive) i dinamički modeli (kod kojih se vreme posmatra kao promenljiva).

Jedna od najstarijih metoda simulacije diskretnih događaja je metoda Monte Karlo koje je praćena modelom za generisanje slučajnih brojeva sa ciljem izbora determinističkih pravila. Noviji modeli su rađeni za simulacije diskretnih događaja (diskretna simulacija) i/ili simulacije događaja kontinualnih u vremenu (kontinualna simulacija). Nakon 90. godina prošlog veka simulacioni modeli su se izrađivali i razvijali pomoću namenskih interaktivnih simulacionih softvera koji su zasnovani na specijalnim simulacionim jezicima i alatima. Intenzivan razvoj simulacionih softvera nakon 2000. godine omogućilo je da simulacioni modeli složenih sistema u sebi sadrže brojne mikro-simulacione modele kojima se rešavaju manji ili pojedinačni problemi koji postoje u okviru složenih problema. Tehnike koje se danas najčešće primenjuju u programiranju i modelovanju mikro-simulacionih modela u oblasti saobraćaja su razne analize.

Danas se uz pomoć simulacionog softvera modeluju:

-infrastrukturni kapaciteti i opremu kako pojedinačnih saobraćajnica tako i celokupne saobraćajne mreže (drumske saobraćajnice od nivoa ulične mreže do nivoa cele mreže, železnička mreža, mreža plovnih puteva, mreža avio saobraćaja sa aerodromskim kapacitetima, mreža gasovoda, vodovodna mreža itd.), multimodalni transportni čvorovi, terminali (aerodromski terminali, železničke stanice, luke i pristaništa, autobuske stanice) i dr.

Simulacija saobraćaja na modelu omogućuje eksperimentisanje radi istraživanja i proučavanja detaljnog odnosa između infrastrukturnih kapaciteta i objekata i aktivnosti koje se na njima odvijaju, te analizu sadašnjih i raznih scenarija aktivnosti u perspektivi. Simulacioni modeli za primenu u oblasti saobraćaja i transporta uglavnom se izrađuju kao mikro-simulacioni modeli, a dosta često i kao meso-simulacioni modeli.

Simulacija saobraćaja može da se podeli na simulaciju sa ciljem:

- planiranja saobraćaja i transporta,
- projektovanja saobraćajnica i
- planiranja transportnih operacija.

Simulacioni modeli za planiranje saobraćaja i transporta razvijaju i prate uticaj razvoja socio-demografskih parametara na karakteristike postojeće saobraćane infrastrukture. Institucije koje se bave regionalnim planiranjem koriste ove modele za procenu „šta-ako“ scenarija razvoja saobraćaja u

regionu (eng. "what-if" scenarios"), zatim procene zagađenja vazduha sa ciljem donošenja planova za korišćenje zemljišta i planova održivog prevoza. Simulacioni modeli za projektovanje, praćenje i analizu rada transportnih sistema bave se saobraćajnim koridorima sa ciljem poboljšanja efektivnosti i efikasnosti njihovog rada. Na ovim modelima se istražuje odnos obima saobraćaja i karakteristika (tip i vrsta) saobraćajnica, signalizacije i druge saobraćajne opreme. Određeni simulacioni modeli su specijalizovani ili za modelovanje saobraćajnih i transportnih operacija ili za planiranje i projektovanje saobraćajnog sistema, a postoje i oni koji mogu da se koriste i za jedno i za drugo.

Danas se u svetu za probleme u oblasti saobraćaja i transporta koriste brojni komercijalni i nekomercijalni mikro-simulacioni modeli, te simulacioni softveri zasnovani na mikro – simulacionim modelima. Najviše modela rađeno je za primenu u oblasti drumskog saobraćaja i transporta (preko 200 komercijalnih softvera), a zatim za primenu u oblasti avio i železničkog saobraćaja (uglavnom su to simulacioni modeli za individualnu upotrebu, a u manjoj meri komercijalni simulacioni softveri). Modeli se uglavnom razvijaju u okviru istraživačkih instituta, na Univerzitetima, u okviru posebnih odeljenja za simulaciju velikih kompanija prevoznika i proizvođača opreme (posebni instituti za simulaciju, laboratorije i odeljenja za simulaciju). Procenjuje se da u svetu danas preko milion istraživača, planera i analitičara saobraćaja/transporta, pri svojim planerskim i analitičkim poslovima, direktno koriste neki simulacioni softver i primenjuju metodu simulacije na modelu, dok broj onih koji koriste rezultate simulacionih eksperimenata ne može precizno da se utvrdi, ali se procenjuje da je on bar deset puta veći od broja onih koji ih direktno koriste u radu.

Stručnjaci za oblast saobraćaja iskazuju sve veću potrebu za primenom mikro-simulacionih modela kao neophodnih i korisnih alata za analizu stanja u saobraćaju i transportu, te za kratkoročne prognoze događaja kod on-line aplikacija za operativno planiranje, upravljanje i kontrolu. Uz to, postoji jasna i nedvosmislena saglasnost o značaju primene mikro-simulacionih modela kao komplementarnih delova sistema za podršku odlučivanju u procesu donošenja odluka kod taktičkog i strateškog planiranja saobraćaja, saobraćajne opreme i infrastrukture.

Prvo istraživanje i pregled performansi mikro-simulacionih modela rađeno je u okviru Projekta SMARTTEST (Simulation – Modelling – Applied – to – Road- Transport – European – Scheme – Test) još 1997. godine [3].

Nakon 2000. godine unapređenje kompjuterskog hardvera obezbeđuje sve bolje uslove za razvijanje korisnički orijentisanih softvera i modela, sa sve više detalja, mogućnost modelovanja većih mreža i bolju vizualizaciju rezultata, te za brojnije simulacione eksperimente u kratkom vremenskom periodu. Tako je u poslednjih deset godina u razvoju simulacionih softvera akcenat stavljen na stvaranju uslova za izradu modela koji obuhvataju različite klase vozila i interakcije sa pešacima i vozilima javnog prevoza, zatim modela koji u okviru iste simulacije uključuju saobraćajna sredstava različitih vidova transporta, mada još uvek nije rešen i uključen problem modal splita. Uvedeni su moduli za simulaciju koji se oslanjaju na tehničke performanse vozila, koji obezbeđuju indikatore potrošnje goriva i emisije izduvnih gasova. Ugrađeni su moduli koji u obzir uzimaju uticaj vremenskih uslova i drugih pojava. Postoji težnja da se postigne i automatizacija izrade mreže itd.

Mikro – simulacija može da bude nepotrebna kod jednostavnijih slučajeva gde nije neophodna primena aplikacija visokog nivoa detaljnosti kako bi se analiziralo stanje i donela odluka (u slučaju kada je nivo detaljnosti visok u poređenju sa onim što neko želi da sazna kako bi doneo odluku o aktivnosti).

Rezultati simulacije mogu biti prikazani putem animacije, preko grafičkih i numeričkih pokazatelja u tabelarnim i tekstualnim datotekama. Animacija omogućuje analitičaru da brzo proceni performanse, ali nije pogodna za kvalitativna i kvantitativna poređenja. Kod numeričkih izlaznih rezultata, veoma je važno da se do detalja zna i razume na koji način softver akumulira i sažima rezultate, jer jedino tako može da se spreči njihovo pogrešno tumačenje.

3 KARAKTERISTIKE NOVIJIH SIMULACIONIH SOFTVERA I MODELA

3.1 Drumski saobraćaj

U oblasti drumskog saobraćaja i transporta simulira se saobraćaj na urbanoj uličnoj mreži, koridorima, transportnoj mreži, itd. sa ciljem dobijanja parametara za planiranje i projektovanje saobraćaja i saobraćajne infrastrukture, te za praćenje i analizu saobraćajnih parametara kao što su: kašnjenja, zagušenja, zagađenja itd. Ovi simulacioni modeli mogu da obuhvate sve tipove vozila za prevoz putnika i transport robe (kamioni, autobusi, automobili, motorcikli, bicikli) kao i kretanje pešaka. U novijim mikro-simulacionim modelima uključeni su karakteristike mreže i ponašanja vozača, tako da danas može lakše i preciznije da se

istražuje i analizira kompleksan saobraćajni problem u okviru inteligentnog transportnog sistema.

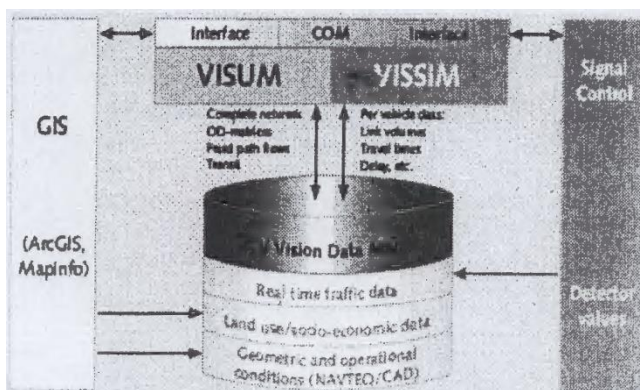
Za simulaciju u oblasti drumskog transporta najpoznatiji i najčešće korišćeni softveri za:

-makro-simulacione modele su: Emme/2, OREMS, TransCAD, DYNEV, OmniTRANS i VISUM;

- meso-simulacione modele su: Cube, DYNASMART, TRANSIMS i TransModeler;

- mikro-simulacione modele su: Aimsun, CORSIM, DRACULA, DYNASIM, MATSim, Quadstone, Paramics, SimTraffic, VISSIM UAF i dr.

Vodeći softverski paket za simulacije u oblasti drumskog saobraćaja i transporta je „PTV Vision“ koji koristi više od 2000 institucija i pojedinaca u 90 zemalja sveta [4]. U okviru ovog softverskog paketa integrisani su svi razvijeni alati za oblasti drumskog saobraćaja i transporta sa ciljem povećanja efikasnosti u radu stručnjaka koji se bave, pre svega strateškim i operativnim planiranjem mreže i saobraćaja na mreži, analizom rada čvorova i raskrsnica, te analizom i planiranjem saobraćaja na bazi modelovanja zahteva za prevozom itd. Softverska arhitektura (slika 1) omogućuje planiranje na nekoliko nivoa.



Slika 1. Arhitektura „PTV Vision“ [4]

Usled svoje fleksibilnosti ovaj softverski paket je pogodan i primenljiv kod izrade studija za potrebe regionalnog planiranja, operativnih istraživanja i analizu gradskih puteva i raskrsnica na kojima su primenjeni inovativni koncepti upravljanja i kontrole saobraćaja.

PRV je razvio i softverska rešenja i inteligentne platforme koje omogućuju prikupljanje i objedinjavanje podataka iz različitih izvora. Među najznačajnijima su saobraćajna platforma „PTV Traffic Platform“, koja obezbeđuje inteligentne metode za analize i prognoze u saobraćaju i platforma za brojanje, profesionalnu analizu i upravljanje saobraćajem „PTV Traffic Count Management“. Stoga je VISUM veoma

efikasan alat čija primena je značajna kod projekata planiranja saobraćajne infrastrukture i velikih investicionih studija u oblasti saobraćaja (Major Investment Studies – MIS).

3.2 Železnički saobraćaj

U domenu železničkog saobraćaja vrši se simulacija kontinualnih (napajanja vučnih vozila) i diskretnih procesa (saobraćaj vozova, i dr.). Simulacija procesa u železničkom saobraćaju pruža mogućnost preciznije analize odnosa između stabilnih kapaciteta i saobraćaja koji se po njima odvija. Ova analiza se, prevashodno, radi sa ciljem praćenja i utvrđivanja „konflikata“ u saobraćaju i identifikacije „uskih grla“, tj. kritičnih mesta na infrastrukturi koja predstavljaju ograničenja za uspostavljanje i odvijanje definisane organizacije saobraćaja, zatim da se utvrdi efikasnost pojedinih operacija sa vozovima, da se racionalizuje planiranje i donošenje raznih odluka u oblasti planiranja obima i strukture saobraćaja, planiranja trasa, putničkih i robnih tokova, planiranja kapaciteta pruga i stanica (koridora i železničke mreže u celini), voznih sredstava, utvrđivanje transportne sposobnosti mreže, prognoza zahteva za prevozom i transportom. Rezultati simulacije se koriste kao dodatni elementi u procesu donošenja operativnih, taktičkih i strateških odluka.

Jedan od novijih softvera za simulaciju železničkog saobraćaja je OpenTrack. Ovaj softver je vrlo brzo po pojavljivanju na tržištu, pre 10 godina, naišao na prihvatanje od strane velikog broja stručnjaka iz Evrope koji se bave rešavanjem raznorodnih problema u železničkom saobraćaju, tako da ga danas koriste stručnjaci u preko 120 instituta, fakulteta, železničkih kompanija širom sveta. OpenTrack je razvijen kao deo istraživačkog projekta Švajcarskog federalnog Tehnološkog Instituta, Instituta za transportne sistema i planiranje (ETH IVT) [5].

OpenTrack omogućuje predstavljanje toka simulacije primenom animacije. Korisnik može da vidi kretanje vozova, zauzete i slobodne delove koloseka kao i stanje signala na mreži pruga. Rezultati simulacije mogu da se prikažu na nekoliko različitih načina, najčešći prikaz je po vozu, ruti ili stanici. U toku simulacije za svaki voz registruje se virtuelni tahograf (izlazna datoteka), u kojem se nalaze podaci kao što su ubrzanje, brzina i pređeni put.

Pored OpenTrack softvera na tržištu su zapaženi nemački RAILSys simulacioni softver i američki RAILSIM® softverski paket za simulaciju železničkog saobraćaja koji primenjuje preko 70 kompanija. Zatim, ROMAN Simulation za optimizaciju kapaciteta železničke mreže pomoću simulacije saobraćaja, a koji

je jedan od 12 softverskih paketa u okviru ROMAN sistema kompanije Siemens, prevashodno namenjenog za analizu, planiranje i projektovanje reda vožnje i pripadajućih aktivnosti. Međutim, za ovu namenu postoje i koriste su mnogi nekomercijalni softveri.

3.3 Vazdušni saobraćaj

Simulacija vazdušnog saobraćaja odnosi se, pre svega, na simulaciju poletanja i sletanja aviona na aerodromske poletno/sletne staze i transportne operacije sa letelicama na aerodromskom prostoru, simulaciju leta i kontrolu leta, zatim simulaciju operacija u okviru aerodromskog terminala (aerodromske zgrade) kao što su: kretanje putnika i prtljaga, opsluživanje klijenata, bezbednosti itd.

Kako su aerodromi i aerodromski terminali kompleksni sistemi koji funkcionišu u okviru još većih regionalnih, nacionalnih i međunarodnih sistema, njihov razvoj podrazumeva dug i skup ciklus planiranja koji uključuje veliki broj podataka koje karakteriše neizvesnost. Na razvoj aerodromskih kapaciteta, te planiranje i projektovanje aerodromskih kapaciteta, te planiranje i projektovanje aerodromske opreme od velikog značaja su istraživanja kao što su: analiza i prognoza tražnje za avio saobraćajem, procena uticaja na životnu sredinu, te ekonomska i finansijska analiza sprovođenja plana razvoja aerodroma. Simulacijom se omogućuje izrada plana leta, procena raspoloživosti kapaciteta za letenje i kontrolu letanja.

Jedan od najpoznatijih simulacionih softvera za olbast avio saobraćaja, TARGETS (Terminal Area Route Generation, Evaluation and Traffic Simulation), razvio je Centar za razvoj naprednih sistema u vazduhoplovstvu (CAASD – Center for Advanced Aviation System Development) američke neprofitne korporacije od javnog interesa za unapređenje sistema sigurnosti, bezbednosti i performansi u avio saobraćaju – MITRE Corporation's, a koja je osnovana i finansirana od strane američkog ministarstva za avio saobraćaj (FAA – Federal Aviation Administration) [6].

3.4. Vodni saobraćaj

U oblasti vodnog saobraćaja simulacija na modelu primenjuje se više od pola veka. Dugo godina najpopularniji simulacioni modeli za oblast vodnog saobraćaja bili su UNCTAD simulacioni model za luke, PORTSIM i MIT simulator luke. UNCTAD simulacioni model za luke je primarno razvijen 1969. godine i korišćen je za analizu poslovanja luka koje se bave konvencionalnim teretima. PORTSIM je razvijen 1970. godine od strane Svetske banke (eng. World

Bank) kao sredstvo za ocenu projekata i procenu troškova i koristi (eng. costs and benefits) u slučaju promene konfiguracije luke [8]. MIT simulator luka je razvijen početkom 1980-tih godina (u programskom jeziku Fortran) za analizu višenamenskih lučkih kapaciteta i to za rasute i komadne terete, smrznutu robu i kontenere. U literaturi se pominju brojni primeri razvoja simulacionih modela za potrebe razvoja eksploatacije luka i pristaništa, pa između ostalih i ARENA simulacionog modela za tehnologiju rada terminala [9].

Među brojnim proizvođačima softvera za modelovanje i simulaciju rada kontenerskih terminala, internodalne opreme i objekata, kao i operacija u pomorskom saobraćaju nalazi se i kompanija TBA, Delft, Zuid Holland koja je osnovana 1996. i specijalizovana za projektovanje novih objekata i postrojenja, posebno automatizovanih. TBA razvija i koristi sofisticirane alate za simulaciju (eng. state-of-the-art simulation tools) kao što su: Softver za planiranje u oblasti robnog saobraćaja (FPS – Freight Planning Software), Objedinjeni softver za kontrolu rada kontenerskog terminala CONTROLS (CONTROLS – CONTainer TeRminal Optimised Logistics Simulation – Emulation of Container Terminal Control Software), Operativni sistem terminala TOS (TOS – The Terminal Operating System), OptimiCONTROLS softver se primenjuje za testiranje softvera za simulaciju rada terminala TOS koji je najvažniji deo upravljačkog alata za rad terminala [10].

TOS prati rad terminala i sve pozicije kontenera u okviru aktivnosti prijema, otpreme i odlaganja na skladišni prostor, te obrađuje velike količine informacija. Služi kao sistem za podršku odlučivanju, ali i za samo donošenje odluka, jer koristi veliki broj kontrolnih strategija koje se odnose na lokacije kontenera u okviru manipulativnog prostora. CONTROLS pomaže da se na modelu testira i potvrdi funkcionalnost TOS u složenim uslovima čime se obezbeđuje rad bez grešaka u realnom sistemu.

4 AMBIJENT I SIMULACIJA SAOBRAĆAJA U SRBIJI

Izgradnja simulacionih modela zahteva veliki broj podataka i informacija iz različitih izvora i to kako internih (podaci preduzeća koja se bave saobraćajem i transportom o infrastrukturnim kapacitetima, voznim sredstvima, obimu i strukturi saobraćaja, redovima vožnje, tehnologiji i organizaciji saobraćaja i dr.), tako eksternih podataka (podaci iz okruženja kao što su zahtevi za prevozom, strategije i planovi razvoja,

saobraćajne statistike, podaci brojanja saobraćaja i putnika i dr).

Primena kako inteligentnih transportnih sistema tako i informacionih sistema je u našem saobraćajnom ambijentu skromna. Mali broj podataka nalazi se u elektronskim bazama podataka, dok se veći broj podataka nalazi pohranjen u papirnoj dokumentaciji. Podaci o zahtevima korisnika prikupljaju se ciljanim anketama na terenu u realnom sistemu. Sve ovo ukazuje da je samo pripremanje dokumentacione baze za izgradnju modela veliki i ozbiljan istraživački poduhvat.

Za sada je mali broj preduzeća i organizacija u Srbiji iskazao spremnost da pristupi zahtevnom i multidisciplinarnom poslu obezbeđenja podataka i izgradnji simulacionih modela u oblasti saobraćaja. Jedna od retkih istraživačkih i projektantskih organizacija koja je u svoje planerske postupke uvela simulaciju saobraćaja kao savremeni pristup planiranju saobraćaja i saobraćajne infrastrukture je i Saobraćajni institut CIP. U okviru istraživačkih, planerskih i projektnih aktivnosti Saobraćajnog instituta CIP primena softverskih paketa VISSIM i VISUM uvedena je 2004., dok je primena OpenTrack simulacionog softvera za simulaciju saobraćaja na železničkoj mreži uvedena 2009. godine. Do sada je simulacija na modelu primenjena kod preko 12 projekata u oblasti drumskog saobraćaja, dok je samo u 2010. godini, simulacija saobraćaja na simulacionim modelima delova železničke mreže primenjena kod izrade 7 projekata i to kao podrška odlučivanju u planiranju železničkog saobraćaja i železničke infrastrukture.

LITERATURA

- [1] *Priručnik za primenu Pravilnika BAB 87*, Jugoslovensko društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija, 1989, Beograd.
- [2] *Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings*, British standard, BS EN 1992-1-1:2004 E, ICS 91.010.30; 91.080.40.
- [3] *Armironi beton 1*, Ž. Radosavljević, IRO "Građevniska knjiga", 1985, Beograd.
- [4] *Armironi beton 2*, Ž. Radosavljević, IRO "Građevniska knjiga", 1986, Beograd.
- [5] *Armironi beton 3*, Ž. Radosavljević, IRO "Građevniska knjiga", 1989, Beograd.
- [6] *Ansys Theory Reference for the Mechanical APDL and Mechanical Applications*, April 2009.
- [7] *Matematičko modeliranje veza u konstrukcijama – autorizovana predavanja*, T. Vacev, 2016.
- [8] *Crack Identification in Reinforced Concrete Beams Using ANSYS Software*, L. Dahmani, A. Khennane, *Strength of Materials*, Vol. 42, No 2, 2010, str. 232-240.
- [9] *Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures Subjected to Impact Loads*, C. Neriman, Master Thesis, 2010, Izmir.
- [10] *Parametric study on Nonlinear Finite Element Analysis on flexural behaviour of RC beams using ANSYS*, G. Vasudevan, S. Kothandaraman, *International Journal of Civil and Structural Engineering*, Volume 2, No 1, 2011, str. 98-111.
- [11] *Flexural Behavior of Reinforced and Prestressed Concrete Beams using Finite Element Analysis*, J. Wolanski, Master Thesis, Milwaukee, Wisconsin, 2004.

5 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Simulacija na modelu omogućuje brže i efikasnije planiranje saobraćaja i saobraćajne infrastrukture. Brojni simulacioni softveri i modeli naišli su na veliko prihvatanje od strane stručnjaka iz oblasti saobraćaja. Istraživanjima na modelu obezbeđuju se podaci i informacije od značaja za donošenje raznih doluka operativnog, taktičkog i strateškog karaktera. Simulacijom saobraćaja i tehnoloških operacija identifikuju se uska grla na postojećoj ili planiranoj infrastrukturi i na osnovu toga mogu da se donose odluke o raznim tehnološkim i tehničkim merama koje treba preduzeti kako bi postavljeni ciljevi planiranja mogli da se realizuju. Simulacija je danas standardni postupak koji primenjuju istraživačke, planerske i projektantske organizacije na svim nivoima na kojima se donose odluke vezane za saobraćaj i saobraćajnu infrastrukturu.

Zahvalnica

Ovo istraživanje je sprovedeno na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu Univerziteta u Nišu u okviru projekta iz oblasti tehnološkog razvoja u periodu 2011.-2019. god. pod nazivom „Eksperimentalna i teorijska istraživanja linijskih i površinskih sistema sa polukrutim vezama sa aspekta teorije II reda i stabilnosti“ (TR 36016), finansiranih od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.