

ANDREAS SCHÖBEL\*, JELENA AKSENTIJEVIĆ\*\*, DANIEL HÜRLIMANN\*\*\*

**SIMULACIJA REALNOG RADA MREŽE KORIŠĆENJEM KRONEKEROVE ALGEBRE (PROIZVOD) ZA OPTIMIZACIJU PROTOKA SAOBRAĆAJA<sup>1</sup>****SIMULATION OF ACTUAL NETWORK PERFORMANCE USING KRONECKER ALGEBRA FOR OPTIMIZATION OF TRAFFIC FLOW**

Datum prijema rada: 18.11.2017.

UDK: 656.1/2(082)(0.034.4)

**REZIME**

U okviru GoSAFE RAIL projekta jedan radni paket posvećen je razvoju modela integrativne železničke mreže/integriranog modela železničke mreže koji će da inkorporira podatke o infrastrukturnim resursima (npr. putno-pružni prelazi, šine, mostovi, tuneli) i saobraćaju (npr. kretanje vozila, robe i putnika) sa glavnim ciljem da omogući sigurnu, pouzdanu i efikasnu železničku infrastrukturu. Cilj će da se postigne pomoću mehanizma za simulaciju mikronivoa OpenTrack za omogućavanje optimizacije kapaciteta kako bi se maksimalizovala dostupnost saobraćajne mreže i smanjio uticaj na životnu sredinu. Sve do sad, optimizaciju su unapred definisali korisnici tula i testirana je njegova promenljivost, što je dovelo do propuštenih mogućnosti pronalaženja optimalnog rešenja. Ovaj modelacioni tul biće u stanju da dinamički optimizuje operacije, naročito tokom degradiranog rada, koristeći algoritme optimizacije sa više kriterijuma, kako bi se rešili složeni zahtevi, kako za putnički tako i za teretni saobraćaj. Korišćenjem Kronekerove algebre za optimizaciju, kao i programskog interfejsa aplikativnog softvera/programski interfejs za programiranje aplikacija (API) u okviru studije železničke mreže Zagreb – Rijeka u Hrvatskoj, ponašanje stvarnih performansi mreže simuliraće se kao dokaz o podobnosti rešenja datih algoritmom optimizacije. Na kraju, očekivani uticaj naprednog saobraćajnog modela, koristeći algoritam planiranja, jeste smanjenje kašnjenja međugradskog saobraćaja za 40 procenata. **Glavne riječi:** mikrosimulacija, rad železnice, model protoka saobraćaja, održavanje infrastrukture, algoritam optimizacije

**SUMMARY**

Within the project GoSAFE RAIL, one work package is dedicated to the development of an integrated rail network model that will incorporate both infrastructure asset (e.g. crossings, tracks, bridges, tunnels) and traffic (e.g. vehicle, freight and passenger movement) data with the main goal of offering safer, reliable and efficient rail infrastructure. This will be achieved by using the micro-level simulation tool OpenTrack for enabling capacity optimization in order to maximize the availability of the transport network and minimize environmental impacts. Up to now, optimization was typically predefined by the user of the tool and 'tested' for its applicability, which led to missed opportunities for finding an optimal solution. This modelling tool will be able to dynamically optimize operations, in particular during times of degraded operations using multi-criteria optimization algorithms in order to address complex requirements, for both passenger and freight transport. By employing Kronecker algebra for optimization and software's application programming interface (API) in the case study network Zagreb – Rijeka in Croatia, the behavior of actual network performance will be simulated as a proof of suitability of solutions provided by the optimization algorithm. Finally, an expected impact of the advanced traffic model using scheduling algorithm is a 40% reduction of delays in long-distance traffic. **Key words:** micro-simulation, rail operations, traffic flow model, infrastructure maintenance, optimization algorithm

\* Doc. dr Andreas Schöbel, dipl. inž. građ, Vienna University of Technology, Karlsplatz 13, Vienna 1040, Austria, algo4rail.auto.tuwien.ac.at i andreas.schoebel@tuwien.ac.at

\*\* Jelena Aksentijević, mast. inž. građ, OpenTrack Railway Technology GmbH, Kaasgrabengasse 19/8, Vienna 1190, Austria, jelena.aksentijevic@opentrack.at

\*\*\* Daniel Hürlimann, mast. inž. građ, OpenTrack Railway Technology GmbH, Gubelstraße 28, Zurich 8050, Switzerland, huerlimann@opentrack.ch

<sup>1</sup> Rad je u originalu objavljen na engleskom jeziku na VI Međunarodnom simpozijumu saobraćaja i komunikacija Novi horizonti 2017. Rad je na srpski jezik prevela Ivana Vesković, dipl. isto. umet, a stručnu lekturu uradio je doc. dr Sanjin Milinković, dipl. inž. saob.

## 1. UVOD

Menadžeri železničke infrastrukture zaduženi su za sigurnosne mere i planiranje unutar infrastrukturne mreže. Iako se železnički saobraćaj smatra jednim od najsigurnijih vidova transporta (Evropska železnička agencija, 2013/European Railway Agency, 2013) sa 0.16 smrtnih slučajeva na milijardu kilometara putničkog saobraćaja, u poslednjih nekoliko godina pojavili su se nedostaci u infrastrukturi. Nažalost, očekuje se da će u budućnosti, broj da se poveća, uglavnom zbog starenja železničke mreže i jakih klimatskih promena. Shodno tome, cilj projekta Globalni okvir upravljanja bezbednošću za rad železnice (Global SAFETY Management Framework for RAIL Operations – GoSAFE Rail project) je razvoj evolucionog mehanizma za podršku u odlučivanju sa osnovnim zadatkom pružanja sigurne, pouzdane i efikasne železničke infrastrukture.

Primena mikroskopske simulacije rada železnice na osnovu fizičkog i matematičkog modela sistema železnice je najnovija tehnologija u razvoju železničkog saobraćaja. Uobičajeno, takvi mehanizmi izlažu indikatore za operativni učinak, kao na primer kašnjenja ili potrošnju energije. Sve do sada, tipično, optimizaciju je definisao korisnik tula, tako što je uveden u simulaciju i testiran kroz njegovu promenljivost tokom simulacije. Ovo je dovelo do propuštenih mogućnosti za pronalaženje optimalnog rešenja, što je doprinelo tome da simulacioni programi nisu u stanju da reše pitanja otpremanja ili konflikata u vezi sa napredovanjem. Međutim, simulacioni mehanizmi imaju jedan nedostatak, nemogućnost automatske optimizacije kretanja voza. Da bi se ovo nadomestilo, unutar rada železnice sa povećanim saobraćajem, razvijeni su i primenjeni algoritmi koji uzimaju u obzir sve putanje vozova koje su istovremene. Korišćenjem Kronekerove algebre mikroskopski simulacioni mehanizam će da poboljša protok saobraćaja i proceniće uticaj predloga za održavanje i obnavljanje, kao deo podrške prilikom donošenja odluke menadžera infrastrukture. Algoritam za izračunavanje optimalne strategije vožnje i optimizaciju ukupnog železničkog sistema baziran je na doktorskoj disertaciji „Energetski efikasna optimizacija rada na železnici. Algoritam zasnovan na Kronekerovoj algebri“, Volčić (2014).

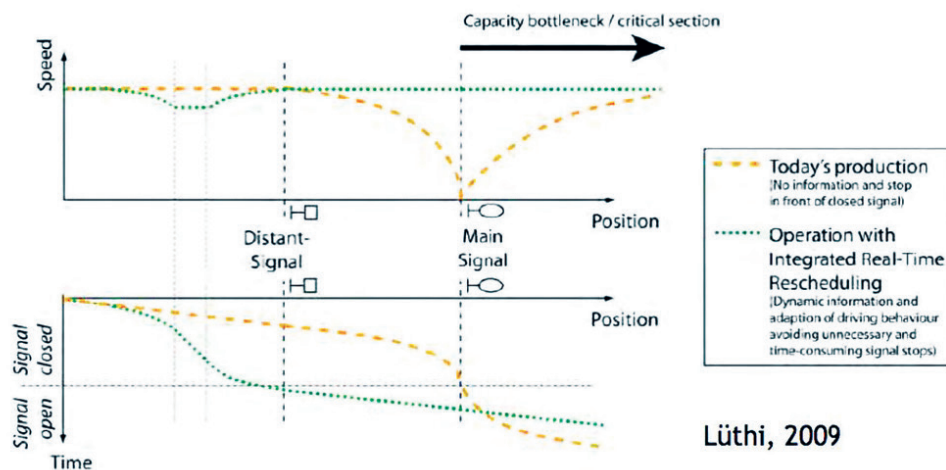
Štaviše, sa OpenTrack mikrosimulacijom mehanizma za modelaciju razvije se saobraćajni model koji će da koristi algoritme optimizacije sa više kriterijuma, kako bi se rešili složeni zahtevi, kako za putnički tako i za teretni saobraćaj. Korišćenjem Kronekerove algebre (Mittermayr et al., 2012), koja je pružila dobre rezultate prilikom rešavanja optimizacijskih scenarija u okviru protoka železničkog saobraćaja, naročito kada se radi o izbegavanju „uskih grla“ i konflikata, izvršiće se simulacija realnog rada železničke mreže na trasi između Zagreba i Rijeke u Hrvatskoj.

Ulazne podatke korišćene za optimizacioni mehanizam za protok saobraćaja definišu dve komponente: prvo, koristiće se trenutne karakteristike sistema železnice, infrastruktura, karakteristike voznog parka i reda vožnje, koje predstavljaju osnovu za dalje proračune. Drugo, identifikacija i procena ograničene dostupnosti infrastrukturnih sredstava od strane menadžera. Ove dve komponente će da se integrišu korišćenjem mehanizma za simulaciju (OpenTrack Railway Technology) za vizuelizaciju svih postojećih podataka, a dalje će da budu obrađene u konkretnu sintaksu za ulazne datoteke, neophodne za optimizacijski mehanizam. Ovaj rad bavi se ulaznim podacima neophodnim za buduće proračune optimizacije.

## 2. MOTIVACIJA SIMULACIJE

Glavna motivacija za pravljenje novog, dinamičnog, preraspoređivanja je izbegavanje nepotrebnog i dugotrajnog zaustavljanja. Naime, omogućavanje da se ponašanje mašinovođe prilagodi promenljivom okruženju rezultiraće izbegavanjem „uskih grla“, a samim tim smanjenjem kašnjenja, kao i povećanjem kapaciteta (Luethi, 2009). Prikaz protoka podataka u simulaciji rada železničkih operacija sa sadašnjom produkcijom i radom sa integrisanim preraspoređivanjem u realnom vremenu predstavljen je na slici 1.

Prvi korak u korišćenju računarskih modela za planiranje pruga je da se odredi osnovni model slučaja. Ovo bi trebalo precizno da iskopira posmatrani rad železnice sa postojećom infrastrukturom, voznim sredstvima i redom vožnje. Kada je model određen može da se koristi za istraživanje mnogih problema, uključujući i procenu stabilnosti novih rasporeda (redova vožnje), utvrđivanje minimalnih potreba/zahteva



Lüthi, 2009

Slika 1. Operativan učinak bez i uz preraspoređivanje u realnom vremenu

infrastrukture za određeni red vožnje ili procenu uticaja prilikom promena vozniha sredstava. Značajna korist modela je njegova sposobnost da proceni uticaj incidenata ili vremenskih promena na mreži (npr. održavanje) prilikom odvijanja saobraćaja.

Računarska simulacija naročito je važna za planiranje pruga (železničke mreže ili žel. infrastrukture) jer kada se odrede i razviju, modeli mogu da se koriste za upoređivanje prednosti, uticaja i troškova više različitih tipova poboljšanja (improvement packages). Ručno analiziranje više od nekoliko tipova poboljšanja oduzelo bi mnogo vremena. Stoga, efektivni železnički simulacioni modeli omogućavaju projektantima da pronađu i procene dosta alternativa, što na kraju dovodi do razumljivijih i kreativnijih rešenja.

Dok je računarska simulacija odličan mehanizam za analizu i planiranje pruga, simulacioni programi železničkih mreža imaju sledeća ograničenja:

- programi moraju da budu potvrđeni u stvarnim uslovima,
- operacije u stanicama moraju odvojeno da se modeliraju,
- ograničenja resursa, kao što je planiranje smena voznog osoblja, u velikoj meri se ignoriše (međutim, neki specijalizovani softveri rešavaju pitanje ograničenja resursa),
- simulacije uključuju samo modelovanu oblast proučavanja/studijsku oblast,
- pojednostavljenjem pretpostavki, generalno, stvara se inherentni/svojtveni optimizam u pogledu ukupne zakrčenosti, održavanja reda vožnje i oporavka (Gibson, 2002).

S obzirom na ova ograničenja, naročito poslednje navedeno, od velike je važnosti da rezultati simulacije budu pažljivo pregledani, prodiskutovani i upoređeni sa realnošću (stvarnim stanjem).

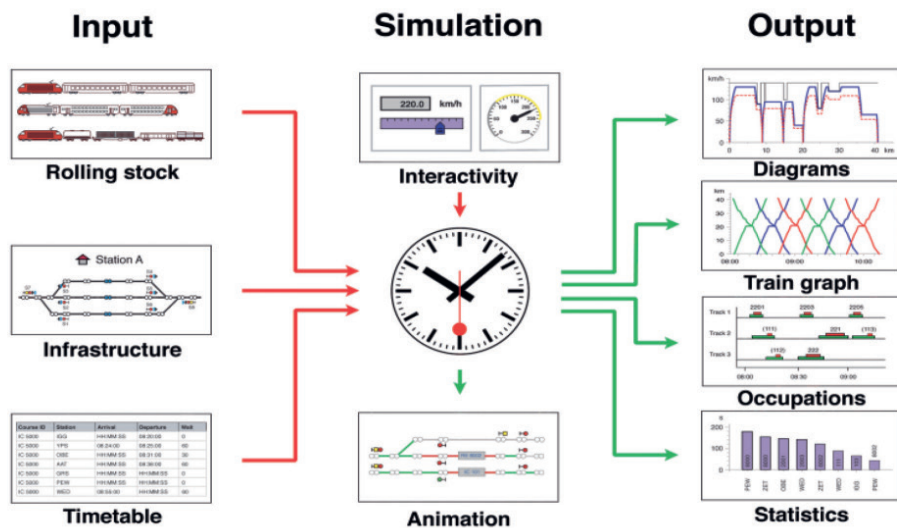
### 3. ŽELEZNIČKI SIMULACIONI SOFTVER OPENTRACK

OpenTrack razvijen je na švajcarskom Federalnom institutu za tehnologiju na Tehnološkom institutu za planiranje saobraćaja i sistema (Swiss Federal Institute of Technology, Institute for Transportation Planning and Systems – ETH IVT). Cilj projekta bio je razvoj železničkog simulacionog programa, jednostavnog za korišćenje, koji može da se koristi na različitim računarskim platformama i koji može da pruži značajan broj odgovora na različita pitanja, koja se tiču rada železnice (Huerlimann, 2001). Slika 2. ilustruje tri glavna elementa ovog projekta: unos podataka, simulaciju i učinak.

OpenTrack je mikroskopski, sinhroni, simulacioni model železnice. Kao takav, simulira kako se manifestuju svi elementi železnice (infrastrukturna mreža, vozna sredstva i red vožnje), kao i svi procesi između. Lako može da se koristi za različite tipove projekata, uključujući i testiranje stabilnosti novog reda vožnje, vrednovanje benefita različitih programa za dugoročna poboljšanja infrastrukture, kao i analizu uticaja različitih tipova vozniha sredstava.

#### 3.1. Unos podataka

OpenTrack upravlja podacima kroz tri modula: vozna sredstva (vozovi), infrastruktura i red vožnje. Korisnici unose ulazne informacije (podatke) u



Slika 2. Protok podataka u okviru simulacije rada željeznice

ove module i OpenTrack ih skladišti u okviru strukture baze podataka. Kada se podaci unesu u program, mogu da se koriste u okviru više različitih simulacionih projekata. Na primer, jedan određeni tip lokomotive unesen je u bazu podataka i taj tip lokomotive može da bude iskorišćen u bilo kojoj simulaciji u okviru OpenTrack programa. Slično tome, različiti segmenti infrastrukturne mreže mogu zasebno da se unesu u bazu podataka, a potom da se pojedinačno koriste za modelovanje rada na određenom segmentu ili zajedno za modelovanje većih mreža.

Podaci u vezi sa vozom (lokomotiva i vagoni) unose se u OpenTrack bazu podataka pomoću obrazaca prikazanih pomoću padajućeg menija, koji su jednostavni za korišćenje. Podaci u vezi sa infrastrukturom (npr. plan pruge, vrsta signala/lokacija) unose se pomoću grafičkog interfejsa koji je lak za korišćenje; kvantitativni podaci o infrastrukturi (npr.usponi) unose se korišćenjem ulazne forme u vezi sa grafičkim elementima. Nakon završetka railML ([www.railml.org](http://www.railml.org)) strukture podataka za vozove i infrastrukturu, OpenTrack je modifikovan da omogući da podaci o vozovima i infrastrukturi budu direktno uvezeni iz railML datoteka.

Podaci u vezi sa redom vožnje unose se u OpenTrack bazu podataka pomoću obrazaca. Ovi obrasci uključuju i prečice koje omogućavaju efikasno dovršavanje unosa podataka. Na primer, korisnici mogu da označe vozove koji idu na svakih sat vremena i koji prate iste obrasce rasporeda

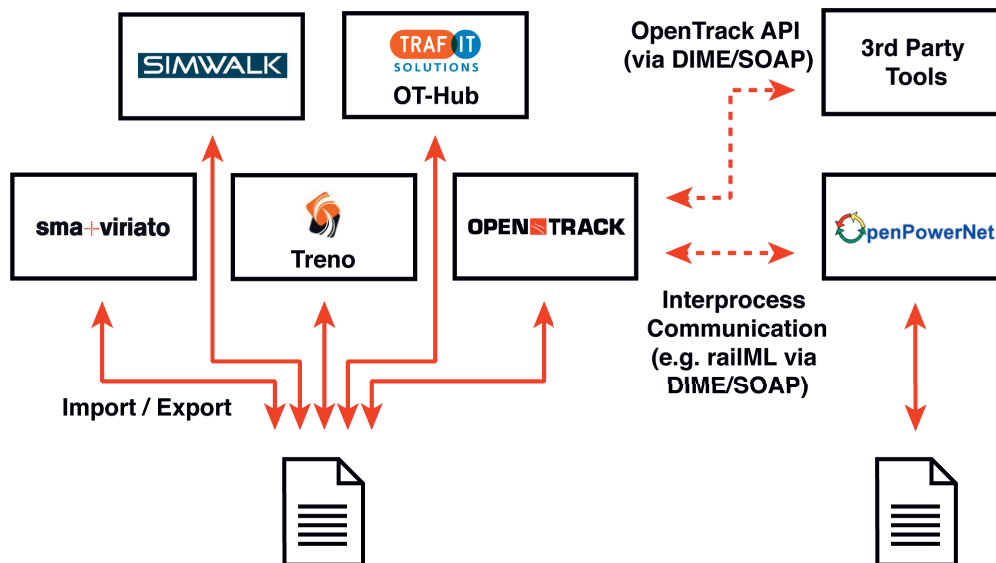
stanica sat vremena kasnije. S obzirom na to da OpenTrack koristi railML strukture za podatke u vezi sa redom vožnje, ovi podaci, takođe, mogu da se unesu iz velikog broja različitih programskih izlaznih podataka, kao i datoteka iz baze podataka. Štaviše, slika 3. prikazuje kratak pregled različitih softverskih programa koji koriste railML interfejs.

Jedna od prednosti OpenTrack programa je da omogućava korisnicima da podese mnoge varijable koje utiču na rad željeznice. Na primer, korisnici mogu da simuliraju uticaj vremenskih prilika na vuču/vučnu silu sa specifičnim scenarijima adhezije (dobar, normalan, loš). Tada, OpenTrack procenjuje silu vuče lokomotive koristeći procenke (takođe, koje su definisali korisnici) koji se izračunavaju korišćenjem Kurtius i Knifler parametara/formula (Huerlimann, 2001). Ono što program čini veoma korisnim je mogućnost prilagođavanja varijabli, iako OpenTrack obezbeđuje standardne vrednosti za sve varijable.

### 3.2. Simulacija

Kako bi se pokrenula simulacija pomoću OpenTrack programa, korisnik specifikuje vozove, infrastrukturu i red vožnje, koji se modeliraju zajedno sa nizom simulacionih parametara (npr. formati animacije) na prioritetnom prozoru. Tokom simulacije OpenTrack pokušava da izvrši red vožnje, koji su definisali korisnici, za određenu infrastrukturnu mrežu na osnovu karakteristika voza. OpenTrack koristi mešoviti trajan/diskretan simulacioni proces koji omogućava vremensko





Slika 3. Primer softverskih programa koji već koriste railML interfejs

pokretanje svih trajnih i diskretnih procesa (kako vozova, tako i sigurnosnih sistema).

Neprekidna simulacija je dinamična kalkulacija kretanja vozova zasnovana na Njutnovim zakonima (Njutnove jednačine kretanja). Za svaki vremenski okvir (time step) izračunava se maksimalna sila između točkova lokomotive i pruge, a zatim se koristi za izračunavanje ubrzanja. Potom je funkcija ubrzanja integrisana kako bi se osigurala funkcija brzine voza, a drugi put se integriše kako bi se osigurala funkcija položaja voza (Huerlimann and Nash, 2003).

Diskretni simulacioni procesi modeliraju rad sigurnosnih sistema, drugim rečima, kretanje voza regulišu signali mreže pruge. Prema tome, parametri koji utiču na učinak voza su zauzete deonice pruge, vreme promene signala i signali u restriktivnom stanju. OpenTrack podržava tradicionalne sisteme signalizacije sa više aspekata, kao i nove kontrolne sisteme pokretnih voznih blokova (npr. Evropski sistem kontrole voza – ETCS signalling).

OpenTrack je dinamičan simulacioni program. Zbog toga simulirani rad vozova zavisi od stanja sistema na svakom koraku u okviru procesa, kao i od originalnih korisničkih podataka koji su objektivni (npr. željeni red vožnje/raspored).

Jednostavan način da se objasni dinamična železnička simulacija je da program odlučuje koje trase će voz da koristi u toku simulacije. Na

primer, prilikom izgradnje mreže korisnik određuje različite trase koje voz može da koristi između dve tačke, tokom simulacije OpenTrack odlučuje koju će trasu voz da koristi, tako što će ispitati koja je trasa od najvećeg prioriteta slobodna. Ako prvenstvena trasa nije dostupna, OpenTrack će da odredi drugu trasu, na osnovu prioriteta i tako dalje.

Dinamička priroda OpenTrack programa korisnicima omogućava dodeljivanje izvesnih atributa određenim periodima u simulaciji. Zato, korisnici mogu da odrede kašnjenje nekog voza na određenoj stanici u određeno vreme, umesto da budu ograničeni na određivanje kašnjenja na početku trase i kasnije da ga koriste tokom cele simulacije. Slično tome, korisnici mogu da utvrde i druge tipove incidenata (npr. nedostatke infrastrukture, kvarove na vozovima) za specifično vreme i mesto.

Na kraju, dinamična simulacija omogućava korisnicima da posmatraju OpenTrack proces korak po korak. Korisnici, takođe, mogu tačno da preciziraju koji će rezultati da budu prikazani na ekranu. Simulacija po principu korak po korak, gde je realno vreme prikazano na ekranu, pomaže korisnicima da uoče probleme i razviju alternativna rešenja.

### 3.3. Učinak

Jedna od glavnih prednosti korišćenja objektno orijentisanog jezika je raznovrsnost tipova podataka, formata prezentacije i specifikacija

koje su dostupne korisniku. Tokom OpenTrack simulacije svaki voz pokriva virtuelni tahograf (izlazna baza podataka) koji čuva podatke poput ubrzanja, brzine i pokrivenosti distance/udaljenosti. Ovakav način čuvanja podataka omogućava korisniku da, nakon završene simulacije, izvede raznolike procene.

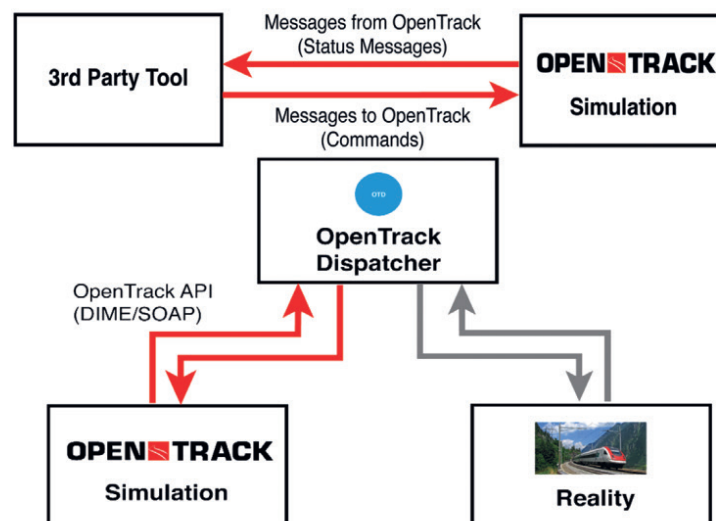
OpenTrack program omogućava korisnicima da prezentuju učinak u različitim formatima, uključujući i razne forme grafikona (npr. vremensko-prostorni dijagrami), tabela i slika. Slično tome, korisnici mogu da biraju model celokupne mreže ili izabranih delova, zavisno od njihovih potreba. Izlazni rezultati mogu da se koriste ili kao dokumentacija za određeni simulacioni scenario ili kao privremeni produkt, dizajniran da pomogne korisnicima da utvrde ulazne promene za drugi model (OpenTrack železničke tehnologije – OpenTrack Railway Technology).

#### 4. OPEN TRACK I API

Open Track aplikativni programski interfejs – API (Application Programming Interface) u mogućnosti je da komunicira aplikacijama treće strane. Kao što je prikazano na slici 4, OpenTrack prihvata komande (poruke koje se šalju OpenTrack programu) i šalje statusne poruke (poruke koje šalje OpenTrack program). Ono što je najvažnije, ove poruke dizajnirane su tako da odgovaraju porukama koje su razmenjene, u realnom/stvarnom železničkom sistemu, između

vozova, ili međusobno povezano (interlocking) sa dispečerskim jedinicama. Na primer, poruka primljena od OpenTrack programa može da bude poruka u vezi sa vozom, redom vožnje, zakrčenjem/trasom, poruke u vezi sa dolaznim ili polaznim vremenom sa stanice, međusobne poruke (interlocking messages) i drugo. Sa druge strane, OpenTrack šalje komande za brzinu, promenu reda vožnje, dispečerske odluke (dispatching decisions) koje su rezultat dinamičke simulacije. Slika 4. prikazuje primer OpenTrack dispečera. U ovom slučaju OpenTrack deluje kao zamena realnog sistema jer se unutar programa razmenjuju iste vrste informacija, kao i u realnim uslovima; naime, komande (poruke) idu u OpenTrack program, a statusne poruke dolaze iz OpenTrack (OpenTrack železničke tehnologije).

OpenTrack API aplikacija nudi neograničen broj mogućnosti, počev od implementacije algoritama specifičnih za korisnike do dubinske procene rada železnice, veza između vozova i cirkulacije vozova. Međutim, za GoSAFE RAIL projekat od najveće je važnosti mogućnost razvoja i analize novih koncepata kontrole vozova, kao što je optimizacija energetske potrošnje, smanjenje kašnjenja i izbegavanje „uskih grla” i konflikata. Ovo će da pruži podršku menadžerima infrastrukture za postizanje maksimalne količine vremenskih intervala za železničke operatere (prevoznike) i njihovo tačno funkcionisanje prispeće na vreme, po redu vožnje (punctual – stići na vreme). Konačno, cilj je da simulacija realnosti/stvarnosti dokaže da



Slika 4. Primer primene OpenTrack API aplikacije

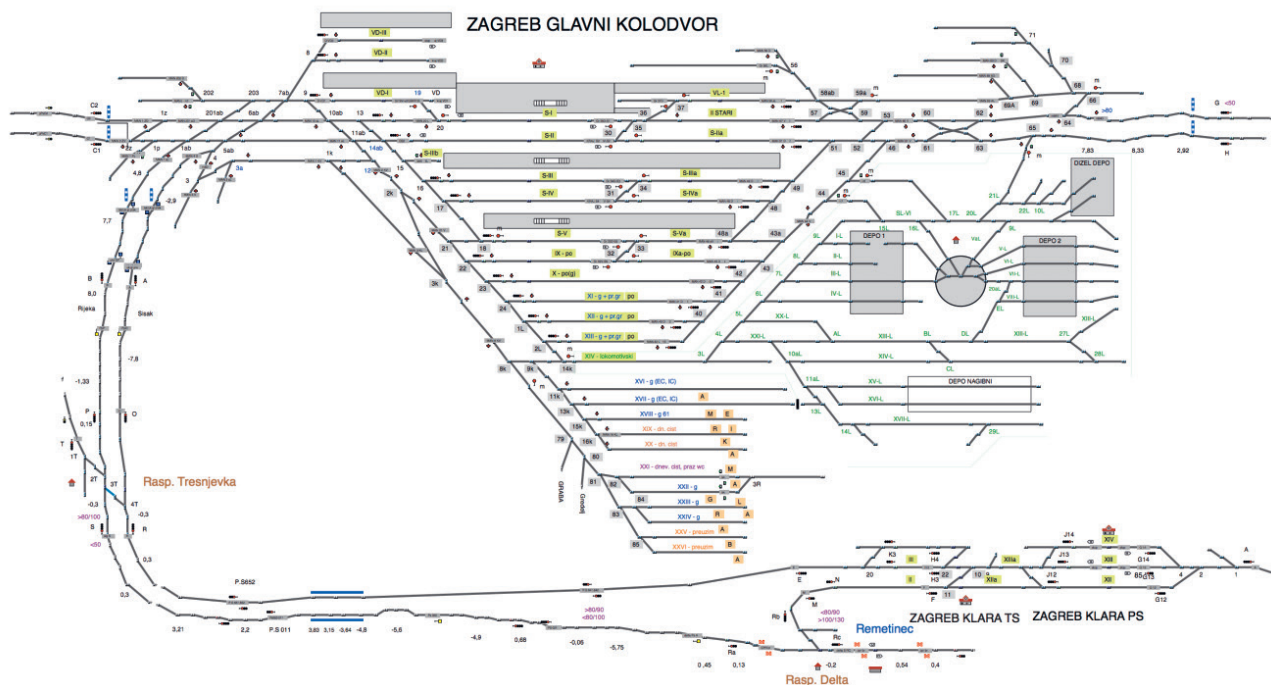
algoritam optimizacije pruža odgovarajuća rešenja u kratkom vremenskom periodu.

### 5. STUDIJA SLUČAJA: PRUGA ZAGREB-RIJEKA

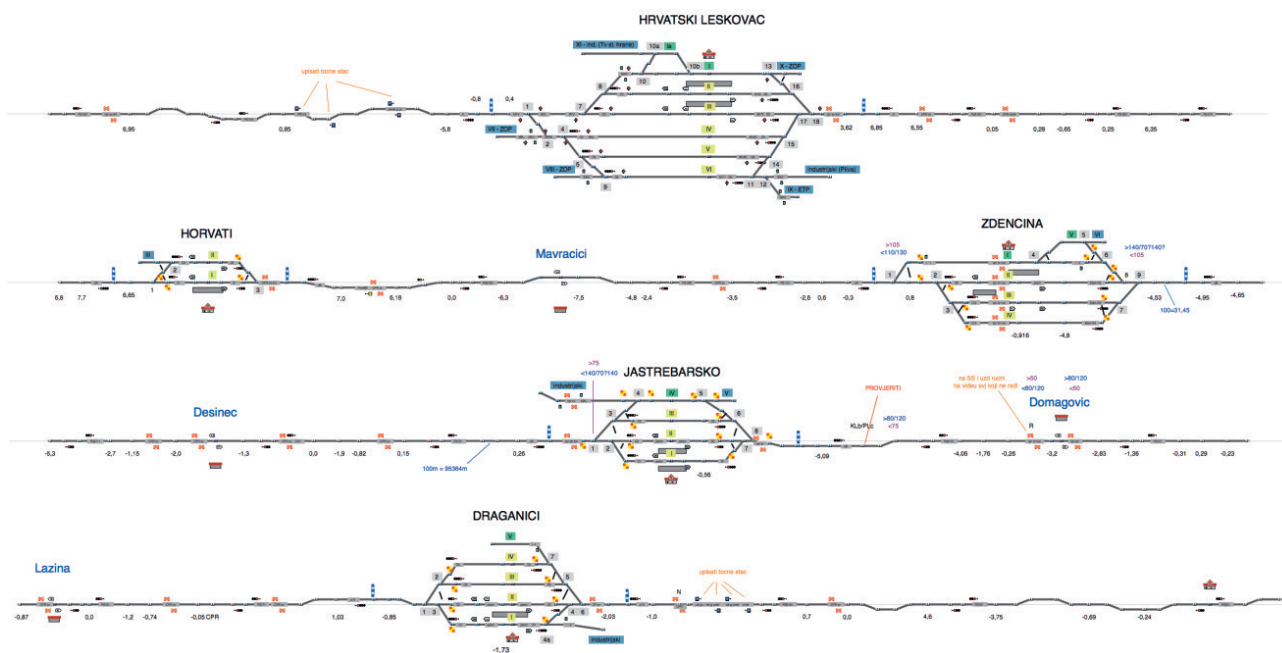
Kao što je već pomenuto, pruga Zagreb–Rijeka, u saradnji sa Hrvatskim železnicama, izabrana je za

studiju slučaja. Prvi razlog je njen značaj unutar domaće/nacionalne saobraćajne/transportne mreže; drugi razlog dosta značajniji, je taj što je ona deo TEN-T koridora.

Slike 5. i 6. prikazuju primere infrastrukture u okviru studije slučaja. Podaci u vezi sa infrastrukturom uspešno su uneti u OpenTrack



Slika 5. Infrastruktura u okviru OpenTrack programa: Zagreb Glavni Kolodvor



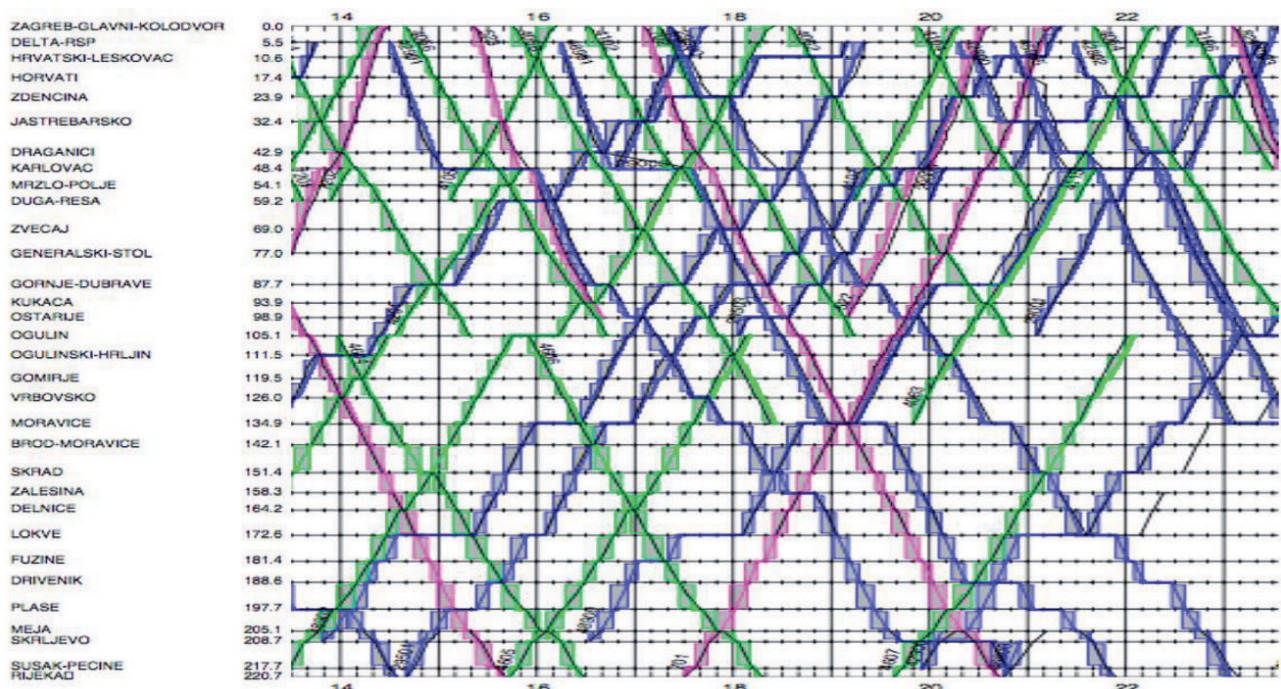
Slika 6. Infrastruktura u okviru OpenTrack programa: Hrvatski Leskovac-Dragnići



program, kao što može da se vidi na grafičkim prikazima topologije. Za potrebe ovog rada izabrano je samo nekoliko primera koji najbolje odražavaju mogućnosti OpenTrack programa. Ovo može da se vidi na slici 5. gde je detaljno prikazana glavna železnička stanica u Zagrebu, Zagreb Glavni kolodvor, dok slika 6. prikazuje delove, prethodno izabrane, železničke mreže za studiju slučaja Zagreb–Rijeka, to jest od Hrvatskog Leskovca, preko Horvata, Mavračića, Zdenčine, Desineca, Jastrebarskog, Domagovića, Lazine do Draganića.

Infrastrukturalna topologija uključuje sve signale, stanice i informacije o radijusu krivina, profilu i brzini na svakom kilometru pruge. Grafikon saobraćaja vozova, koji može da se vidi na slici 7,

mikrosimulacioni program koji ima API funkciju, omogućiće određivanje uticaja bezbednosnih odluka u vezi sa kapacitetom železničke mreže. Zato, uvođenjem infrastrukturnih resursa (npr. putno-pružni prelazi, šine, mostovi, tuneli), kao i saobraćajnih/transportnih (npr. kretanje vozila, tereta i putnika) omogućeno je efikasno izvođenje održavanja ili novih radova, dok se povezanost i prilagodljivost celokupnog površinskog sistema dovodi do najviše tačke (maksimalizacija). Konačno, maksimalizacija dostupnosti saobraćajne/transportne mreže dovodi do minimalizacije uticaja na životnu sredinu, kao što je emisija ugljenika, a smanjiće se i kašnjenja do 40 procenata. Ovo će da bude prikazano u narednom projektnom periodu).



Slika 7. Grafikon voza: Zagreb Glavni Kolodvor – Rijeka

prikazuje red vožnje za različite kategorije vozova; to jest teretne, brze ili regionalne vozove. Osim toga, radi jasnog pregleda, izabran je period između 15 časova i 22 časa i uključuje vreme vršnog opterećenja (blocking time stairway).

## 6. ZAKLJUČAK

Na kraju treba istaći da GoSAFE RAIL projekat obezbediće metodologiju za virtuelno iskorenjivanje iznenadnih nedostataka (failures) infrastrukture. OpenTrack, kao sofisticirani

## PRIZNANJE

GoSAFE RAIL projekat dobio je sredstva iz programa Evropske unije za istraživanja i inovacije, Horizon2020, Shift2Rail, sporazumom o donaciji pod brojem 730817.

## LITERATURA

- [1] European Railway Agency, *Intermediate report on the development of railway safety in the European Union 2013.*



- <http://www.era.europa.eu/document-register/documents/spr%202013%20final%20for%20web.pdf>
- [2] Gibson, J. Train Performance Calculators and Simulation Models. Handout, Transportation Research Board, "TRB Workshop on Railroad Capacity and Corridor Planning." January 13, 2002.
- [3] GoSAFE Rail project:  
<http://www.gosaferrail.eu>
- [4] Huerlimann, D. *Object oriented modeling in railways*; ETH Dissertation Nr. 14281; 2001.
- [5] Huerlimann, D. and Nash, A. *OpenTrack – Simulation of Railway Networks*. User Manual Version 1.3; ETH Zurich, Institute for Transportation Planning and Systems; May 2003; Page 58.
- [6] Luethi M. (2009): *Structure and Simulation Evaluation of an Integrated Real-Time Rescheduling System for Railway Networks*, Journal of Networks and Spatial Economics, vol 9, Issue 1, pp. 103-121.
- [7] Mittermayr, R., Blieberger, J. and Schöbel, A. 2012. *Kronecker algebra-based deadlock analysis for railway systems*. Traffic Planning. 24(5): 359-369..
- [8] OpenTrack Railway Technology:  
[www.opentrack.at](http://www.opentrack.at)
- [9] railML: [www.railml.org](http://www.railml.org)
- [10] Volcic, M. 2014. *Energy-efficient Optimization of Railway Operation: An Algorithm on Kronecker Algebra*. Dissertation: Vienna University of Technology..