

Analiza željezničkog prometa i stabilnosti voznog reda na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac

Dolenec-Čižmek, Kristijan

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:288703>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 5. svibnja 2017.

Zavod: **Zavod za željeznički promet**
Predmet: **Planiranje i upravljanje u željezničkom prometu**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4393

Pristupnik: **Kristijan Dolenec-Čižmek (0135217337)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Željeznički promet**

Zadatak: **Analiza željezničkog prometa i stabilnosti voznog reda na relaciji Zagreb
Glavni kolodvor - Karlovac**

Opis zadatka:

U radu je potrebno analizirati tehnološke parametre željezničkog prometa s obzirom na postojeći vozni red na dionici željezničke pruge Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac. Uz to potrebno je primjenom računalnog modela zadane dionice željezničke pruge analizirati stabilnost postojećeg voznog reda uz njegove manje modifikacije s ciljem unapređenja željezničkog prigradskog prometa.

Zadatak uručen pristupniku: 23. svibnja 2017.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

doc. dr. sc. Hrvoje Haramina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Kristijan Dolenec – Čižmek

ANALIZA ŽELJEZNIČKOG PROMETA I STABILNOSTI
VOZNOG REDA NA RELACIJI ZAGREB GLAVNI
KOLODVOR – KARLOVAC

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

**ANALIZA ŽELJEZNIČKOG PROMETA I STABILNOSTI
VOZNOG REDA NA RELACIJI ZAGREB GLAVNI
KOLODVOR – KARLOVAC**

**ANALYSIS OF RAILWAY TRANSPORT AND TIMETABLE
STABILITY ON THE LINE FROM ZAGREB GLAVNI TO
KARLOVAC RAILWAY STATION**

Mentor:

Doc.dr.sc. Hrvoje Haramina

Student:

Kristijan Dolenec – Čižmek, 0135217337

Zagreb, prosinac 2017.

SAŽETAK

U ovom radu analizirano je stanje željezničke infrastrukture i prometa na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac. Analiza željezničkog prometa provedena je primjenom simulacijskog računalnog programa OpenTrack. Ovaj program omogućuje simulacijsku analizu stvarnog željezničkog prometa na temelju unesenih podataka o infrastrukturi, tehnološkim procesima rada, voznom redu te tehničkim karakteristikama vozila koja sudjeluju u simulaciji. Stabilnost voznog reda analizirana je simulacijom incidentnih situacija koja nam daje rezultate o poremećaju prometovanja vlakova.

KLJUČNE RIJEČI: *analiza željezničkog prometa, stabilnost voznog reda, simulacijsko modeliranje*

SUMMARY

In this paper condition of railway infrastructure and traffic on the line from Zagreb Glavni kolodvor to Karlovac is analyzed. The analysis of railway traffic is conducted by application of simulation program OpenTrack. This program enables simulation analysis based on implemented data such as infrastructure, timetable and data about technological processes in railway stations as well as technical characteristics of trains. Timetable stability is analyzed by simulation of incident situations which give us results of train traffic disturbances.

KEY WORDS: *analysis of railway traffic, timetable stability, simulation modeling*

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ANALIZA STANJA ŽELJEZNIČKE INFRASTRUKTURE I PROMETA NA RELACIJI ZAGREB GLAVNI KOLODVOR – KARLOVAC	2
2.1. Analiza željezničkog prometa na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac	2
2.2. Analiza željezničke infrastrukture na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac.....	2
2.2.1. Zagreb Glavni kolodvor	2
2.2.2. Kolodvor Hrvatski Leskovac	7
2.2.3. Kolodvor Horvati	10
2.2.4. Kolodvor Zdenčina	12
2.2.5. Kolodvor Jastrebarsko	13
2.2.6. Kolodvor Draganići	15
2.2.7. Kolodvor Karlovac.....	17
3. IZRADA MODELA ŽELJEZNIČKOG SUSTAVA NA RELACIJI ZAGREB GLAVNI KOLODVOR - KARLOVAC	22
3.1. Postupak izrade trasa simulacijskog modela	22
3.1.1. Izrada puta vožnje	22
3.1.2. Izrada skupa puteva vožnje	23
3.1.3. Izrada itinerara	23
3.2. Postupak izrade modela vučnih vozila i kompozicije vlakova	24
3.2.1. Izrada modela vučnih vozila	24
3.2.2. Izrada modela kompozicije vlakova	25
3.3. Postupak definiranja vlakova i izrade voznog reda.....	27
3.3.1. Postupak definiranja trase vlaka	28
3.3.2. Postupak izrade voznog reda.....	30
4. SIMULACIJA PROMETA I ANALIZA STABILNOSTI POSTOJEĆEG VOZNOG REDA NA RELACIJI ZAGREB GLAVNI KOLODVOR - KARLOVAC.....	31
4.1. Prvi scenarij za simulaciju željezničkog prometa uslijed pojave neplaniranog događaja koji uzrokuje poremećaje u prometu	31
4.2. Drugi scenarij za simulaciju željezničkog prometa uslijed pojave neplaniranog događaja koji uzrokuje poremećaje u prometu.....	33
5. ZAKLJUČAK	36
LITERATURA.....	37
POPIS SLIKA	38
POPIS TABLICA.....	39

1. UVOD

Dionica na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Karlovac dio je pruge M202 Zagreb Glavni kolodvor - Rijeka koja spada u glavne međunarodne željezničke pruge na koridoru RH2, a dio je i Mediteranskog koridora TEN-T mreže. Ovom prugom svakodnevno prometuju putnički i teretni vlakovi iz unutarnjeg i međunarodnog željezničkog prometa. U okviru ovog rada potrebno je provesti analizu stanja željezničke infrastrukture i prometa na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Karlovac, te opisati izradu modela željezničkog prometa u računalnom programu OpenTrack. Također, u svrhu analize stabilnosti voznog reda provest će se simulacija vožnje vlakova u izvanrednim situacijama.

Rad je podijeljen u 5 cjelina:

1. Uvod
2. Analiza stanja željezničke infrastrukture i prometa na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac
3. Izrada modela željezničkog prometa na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac
4. Simulacija prometa i analiza stabilnosti voznog reda na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac
5. Zaključak

U drugom poglavlju, analizirano je stanje željezničkog prometa i infrastrukture kroz podatke o prometovanju vlakova na dionici od Zagreba do Karlovca te podatke iz poslovnih redova kolodvora koji se nalaze na toj relaciji.

U trećem poglavlju opisan je postupak izrade modela željezničkog prometa u računalnom simulacijskom programu OpenTrack.

U četvrtom poglavlju prikazana je simulacijska analiza stabilnosti voznog reda za godinu 2016./2017. u slučaju izvanrednih situacija koje mogu dovesti do poremećaja u svakodnevnom prometovanju vlakova. Analiza je provedena koristeći simulacijski računalni program OpenTrack.

2. ANALIZA STANJA ŽELJEZNIČKE INFRASTRUKTURE I PROMETA NA RELACIJI ZAGREB GLAVNI KOLODVOR – KARLOVAC

2.1. Analiza željezničkog prometa na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac

Na dionici pruge Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac nalazi se šest kolodvora, a to su redom iz smjera Zagreba: Zagreb Glavni kolodvor, Hrvatski Leskovac, Horvati, Zdenčina, Jastrebarsko, Draganići i Karlovac. Na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac prometuje 37 putničkih i 18 teretnih vlakova. Vršna opterećenja prisutna su u jutarnjim satima od 06:00h do 09:00h i u popodnevnom satima od 15:00h do 18:00h. Ova relacija je od velikog značaja za putnički promet budući da veliki broj ljudi mora ostvariti prijevoz do radnih mjesta u Zagrebu ili Karlovcu. Pruga na dionici Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac također je opterećena i prometom koji se odvija prema Rijeci i suprotno, te prometom u oba smjera pruge prema jugu Hrvatske koja se odvaja na rasputnici Krpelj u blizini kolodvora Ogulin. U unutarnjem prijevozu putnika najveću zastupljenost imaju putnički vlakovi, dok su brzi vlakovi 701, 702, 820 i 821 te InterCity vlakovi 520, 521, 522, 523. Iz međunarodnog prijevoza prometuju EuroCity vlakovi 200 i 205, te sezonski vlakovi 1204 i 1205.

2.2. Analiza željezničke infrastrukture na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac

2.2.1. Zagreb Glavni kolodvor

Zagreb Glavni kolodvor nalazi se u km 424 + 423 koridora RH1 (DG – Savski Marof – Zagreb – Dugo Selo – Novska – Vinkovci – Tovarnik – DG) na nadmorskoj visini od 120 metara.

U pogledu reguliranja prometa Zagreb Glavni kolodvor je međukolodvor za rasporedne odsjeke na prugama:

Zagreb Glavni Kolodvor - Rijeka

- Zagreb GK - Karlovac (za putničke vlakove iz smjera Zagreb GK)
- Hrvatski Leskovac - Delta rasp. - Zagreb Klara - Zagreb RK - Čulinec rasp. - Zagreb GK (za putničke vlakove u oba smjera)

DG Tovarnik - D. Selo - Zagreb Glavni kolodvor

- Zagreb GK - D. Selo - Novska (za putničke vlakove iz smjera Zagreb GK)

Dugo Selo - Koprivnica - Botovo DG

- Zagreb GK - D. Selo - Koprivnica (za putničke vlakove iz smjera Zagreb GK)

Zagreb GK - S. Marof DG

- Zagreb GK - Savski Marof (za putničke vlakove u oba smjera)
- Zagreb GK - Savski Marof - Kumrovec (za putničke vlakove iz smjera Zagreb GK)
- Zagreb GK - Zagreb ZK (za lokomotivske vlakove u oba smjera)

Zaprešić - Varaždin - Kotoriba DG

- Zagreb GK - Varaždin (za putničke vlakove iz smjera Zagreb GK)

Novska - Sisak - Zagreb GK

- Zagreb GK - Zagreb Klara - Sisak Caprag (za putničke vlakove iz smjera Zagreb GK)
- Zagreb GK - Zagreb Klara - Zagreb RK (za lokomotivske vlakove)

Sesvete - V. Gorica

- Zagreb GK - Čulinec (rsp.) - V. Gorica - Sisak Caprag (za putničke vlakove)
- Zagreb GK - Čulinec(rsp.) - Zagreb RK (za lokomotivske vlakove)
- Zagreb GK - Čulinec(rsp.) - V. Gorica (za lokomotivske vlakove)

Trešnjevka (rsp.) Zagreb ZK

- Zagreb ZK - Trešnjevka (rsp.) (za putničke vlakove iz oba smjera)

Iz Zagreb Glavnog kolodvora odvajaju se pruge:

- M 101 Zagreb GK - Savski Marof DG od km 424 + 423
- M 202 Zagreb GK - Rijeka od km 424 + 423

Zagreb Glavni kolodvor otvoren je za promet putnika i ograničeni promet robe sa sljedećim aktivnostima:

- prihvata i otpremu putnika
- prijevoz pošiljaka vlasnika i korisnika industrijskih kolosijeka
- prijevoz pošiljaka za potrebe HŽ-Carga d.o.o.
- prijevoz poštanskih pošiljaka.

Granice kolodvorskog područja Zagreb Glavnog kolodvora u odnosu na otvorenu prugu su:

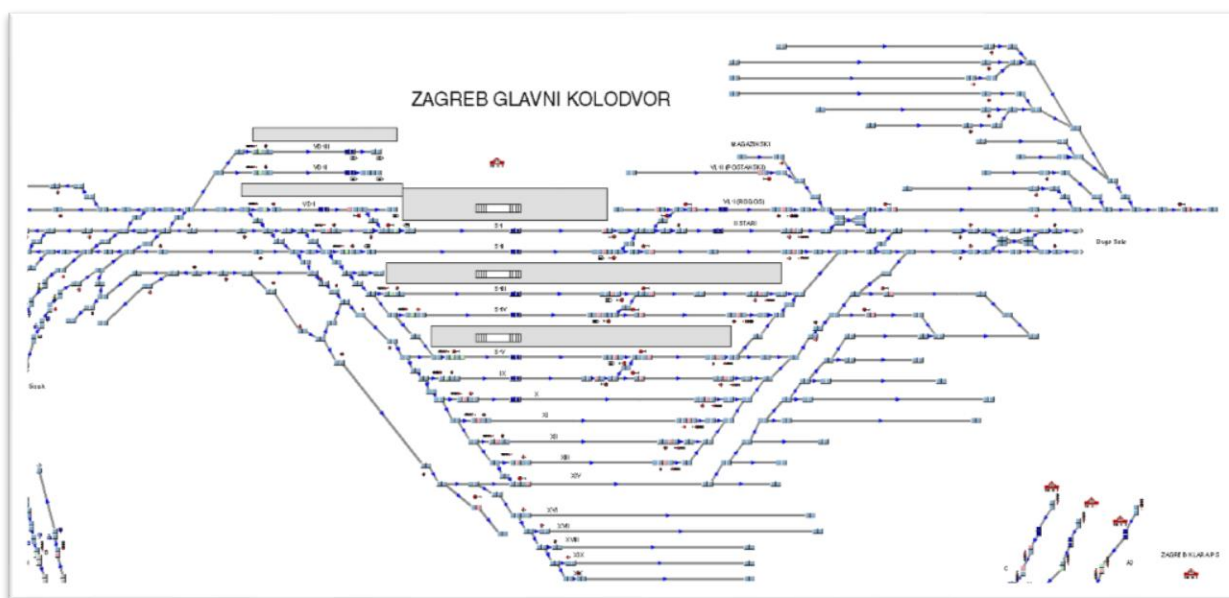
- na glavnoj pruzi prema kolodvoru Zagreb Borongaj ulazni signal "G" u km 425 + 788
- na spojnoj pruzi prema kolodvoru Zagreb Borongaj ulazni signal "H" u km 425 + 788
- prema Zagreb Zapadnom kolodvoru ulazni signal "C1" u km 425 + 393
- prema Zagreb Zapadnom kolodvoru ulazni signal "C2" u km 425 + 393
- prema kolodvoru Hrvatski Leskovac ulazni signal "B" u km 425 + 299
- prema kolodvoru Zagreb Klara ulazni signal "A" u km 423 + 484

Tablica 1. Popis kolosijeka, njihova namjena i položaj za kolodvor Zagreb Glavni kolodvor

BROJ KOLOSIJEKA	NAMJENA KOLOSIJEKA	KORISNA DULJINA (m)
S-1	prijamno – otpremni	383
S-2 / S-2a	prijamno – otpremni	312-339/331
S-3 / S-3a	prijamno – otpremni	271-275/267-251
S-4 / S-4a	prijamno – otpremni	246-245/260-268
S-5 / S-5a	prijamno – otpremni	200/187
VD-1	prijamno – otpremni	186-193
VD-2	prijamno – otpremni	174-190
VD-3	prijamno – otpremni	174-190
VL-1	prijamno – otpremni	223-226
VL (ROGOŠ)	prijamno – otpremni	93-77
9/9a	prijem i otprema teretnih i lok. vlakova, izvanredni prijem vlakova za prijevoz putnika	447-424
10	prijem i otprema teretnih i lokomotivskih vlakova, iznimno dopušteno gariranje	404-401
11	gariranje, prijem i otprema teretnih i lokomotivskih vlakova	359-350
12	gariranje, prijem i otprema teretnih i lokomotivskih vlakova	280-257
13	gariranje, prijem i otprema teretnih i lokomotivskih vlakova	240-242
14	za ulazak/ izlazak lokomotiva u/ iz depoa	
16	gariranje	410-412
17	gariranje i čišćenje	377-379
18	punjenje baterija na vagonima	230
19	temeljno čišćenje na putničkim vagona	220
20	temeljno čišćenje na putničkim vagona	220
21	pražnjenje fekalija	140

22	gariranje	140
23	gariranje	141
24	gariranje vagona za TŽV	141
25	gariranje vagona za radionicu „Graba“	125
26	gariranje vagona	125
MG-1	čišćenje Wl, Bc i WR vagona i gariranje	111
MG-2	čišćenje Wl i Bc vagona i gariranje	193
MG-3	gariranje i čišćenje	353
MG-4	gariranje i čišćenje	308
MG-5	gariranje i čišćenje	308
MG-6	gariranje MDDm vagona	243
RAMPA 1	za potrebe ZOP-a i POSIT-a	226
RAMPA 2	gariranje	195
MALA BOTANIKA	izvlačnjak	117-116
VELIKA BOTANIKA	izvlačnjak	204-203
SEKCIJSKA IZVLAKA	izvlačnjak	155-154
„KOTURAŠKA“	izvlačnjak	239
„POD ZIDOM“	izvlačnjak	73
„ULJARA“	izvlačnjak	201-200
V1-(ROGOŠ)	postava garnitura	243
VL-2	manipulacija Post vagona, izvanredni prijem vlakova za prijevoz putnika sa dizel vučom	310
M-6	za potrebe HŽ Mehanizacije	52
M-7A	utovar/ istovar automobila	57
S-3b	gariranje lokomotiva i TMD-a	24
GARAŽA	gariranje mjernog vagona	
MAGAZINSKI	manipulativni (utovar i istovar pošiljaka), gariranje	118-117

Izvor: [1]



Slika 1. Shema kolodvora Zagreb Glavni kolodvor izrađena u programu OpenTrack

2.2.2. Kolodvor Hrvatski Leskovac

Kolodvor Hrvatski Leskovac nalazi se u kilometru 435 + 168 pruge M202 Zagreb Glavni kolodvor - Rijeka. Između kolodvora Hrvatski Leskovac i Zagreb Glavni kolodvor u kilometru 425 + 896 odvaja se pruga za Zagreb Zapadni kolodvor preko raskrštnice Trešnjevka, te od kilometra 429 + 998 pruga za Zagreb Klaru i Zagreb Ranžirni kolodvor preko Raskrštnice Delta. U pogledu reguliranja prometa kolodvor Hrvatski Leskovac je međukolodvor na rasporednom odsjeku:

- za putnički promet: Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac - Rijeka
- za teretni promet: Zagreb Ranžirni kolodvor - Karlovac - Rijeka

Kolodvor Hrvatski Leskovac u pogledu transportno-komercijalne službe otvoren je za prijam i otpremu putnika, prtljage i vagonskih pošiljaka u međunarodnom i lokalnom prometu. Granice kolodvorskog područja u odnosu na otvorenu prugu čine ulazni signali od strane Zagreb Glavnog kolodvora i kolodvora Horvati:

- ulazni signal A od Zagreb Glavnog kolodvora nalazi se u kilometru 434 + 067
- ulazni signal B od kolodvora Horvati nalazi se u kilometru 435 + 734

Kolodvor je osiguran svjetlosnim signalima od Zagreb Glavnog kolodvora i kolodvora Horvati. Ulazni i izlazni signali u kolodvoru pokazuju dvoznačne signalne znakove. Signali kolodvora navedeni su u tablici 2.

Tablica 2. Popis signala i njihov položaj za kolodvor Hrvatski Leskovac

GLAVNI SIGNALI		PREDSIGNALI	
NAZIV I VRSTA	POLOŽAJ U KM	NAZIV	POLOŽAJ U KM
A (ulazni signal)	434 + 067	PsA (predsignal)	432 + 860
B (ulazni signal)	435 + 734	PsB (predsignal)	436 + 734
C2 (izlazni signal)	434 + 732		
C3 (izlazni signal)	434 + 684		
C4 (izlazni signal)	434 + 607		
C5 (izlazni signal)	434 + 644		
C6 (izlazni signal)	434 + 700		
D2 (izlazni signal)	435 + 313		
D3 (izlazni signal)	435 + 318		
D4 (izlazni signal)	435 + 289		

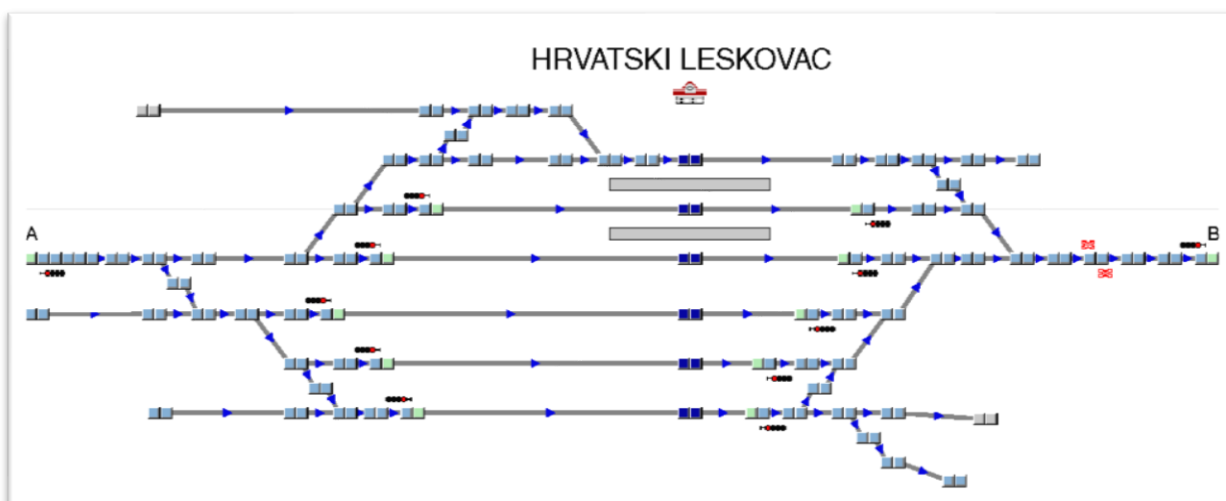
Izvor: [2]

Brojevi kolosijeka kolodvora Hrvatski Leskovac, korisne duljine te namjene navedeni su u tablici 3.

Tablica 3. Namjene i brojevi kolosijeka, te njihove korisne duljine za kolodvor Hrvatski Leskovac

BROJ KOLOSIJEKA	NAMJENA KOLOSIJEKA	KORISNA DULJINA (m)
1.	istovarno – utovarni	517
2.	prijamno – otpremni	593/582
3.	glavni – prolazni	644/645
4.	prijamno – otpremni	693
5.	prijamno – otpremni	626/633
6.	prijamno – otpremni	551/552
7.	izvlačni kolosijek za potrebe ZOP – a	121
8.	izvlačni kolosijek za potrebe ZOP – a	156
9.	dionica kontaktne mreže Hrvatski Leskovac	37
10.	izvlačni kolosijek za potrebe ZOP – a	49
11.		327
11a.		132

Izvor: [2]



Slika 2. Shema kolodvora Hrvatski Leskovac izrađena u programu OpenTrack

2.2.3. Kolodvor Horvati

Kolodvor Horvati je međukolodvor na pruzi Zagreb Glavni Kolodvor - Rijeka u km 441 + 905. Prema zadaći regulacije prometa kolodvor Horvati je međukolodvor na rasporednom odsjeku Zagreb - Karlovac. Kolodvor Horvati zaštićen je ulaznim signalima s predsignalima, a popis signala i njihov položaj navedeni su u tablici 4.

Tablica 4. Popis signala i njihov položaj za kolodvor Horvati

GLAVNI SIGNALI		PREDSIGNALI	
NAZIV I VRSTA	POLOŽAJ U KM	NAZIV	POLOŽAJ U KM
A (ulazni signal)	441 + 190	P sA (predsignal)	440 + 327
B (ulazni signal)	442 + 609	P sB (predsignal)	443 + 514
C1 (izlazni signal)	441 + 520		
C3 (izlazni signal)	441 + 662		
D1 (izlazni signal)	442 + 238		
D2 (izlazni signal)	442 + 215		

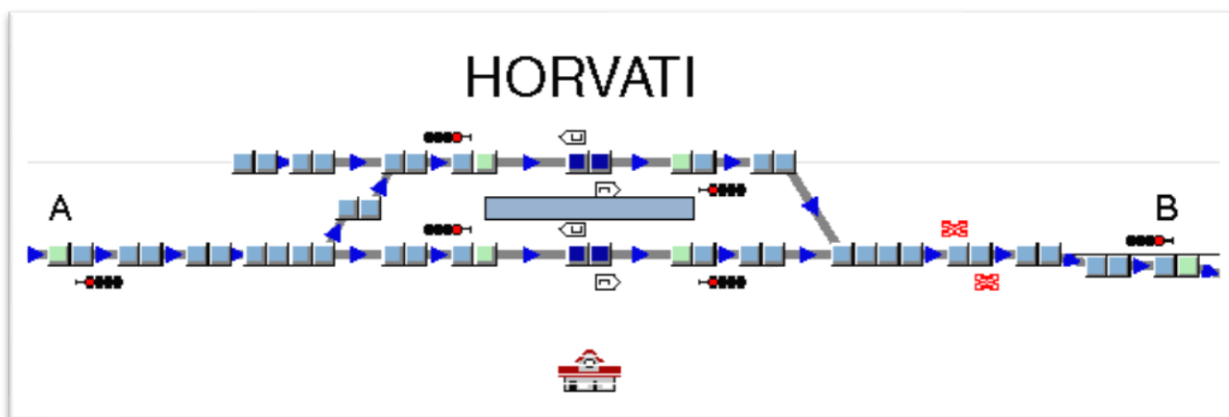
Izvor: [3]

U kolodvoru Horvati nalaze se 3 kolosijeka. Od toga 1. i 2. kolosijek su prijemno - otpremni, a 3. kolosijek je krnji i ima namjenu garažnog kolosijeka. Brojevi kolosijeka, njihova namjena te njihove korisne duljine navedeni su dolje u talici 4.

Tablica 5. Brojevi kolosijeka, njihova namjena i korisne duljine za kolodvor Horvati

BROJ KOLOSIJEKA	NAMJENA KOLOSIJEKA	KORISNA DULJINA (m)
1.	prijemno - otpremni	703/694
2.	prijemno - otpremni	610/666
3.	garažni (krnji)	68

Izvor: [3]



Slika 3. Shema kolodvora Horvati izrađena u programu OpenTrack

2.2.4. Kolodvor Zdenčina

Kolodvor Zdenčina nalazi se na pruzi Zagreb - Rijeka u km 448 + 435. Prema zadaći regulacije prometa ovaj kolodvor je međukolodvor na rasporednom odsjeku Zagreb - Karlovac. Kolodvor Zdenčina je nadzorni kolodvor slijedećim službenim mjestima:

- stajalište Mavračići u km 444 + 400 između kolodvora Zdenčina i kolodvora Horvati - nezaposjednuto.
- stajalište Desinec u km 451 + 951 nalazi se između kolodvora Zdenčina i Jastrebarsko.

Kolodvor Zdenčina je otvoren za promet putnika u unutarnjem prometu. Granicu kolodvorskog područja u odnosu na otvorenu prugu čine ulazni signali:

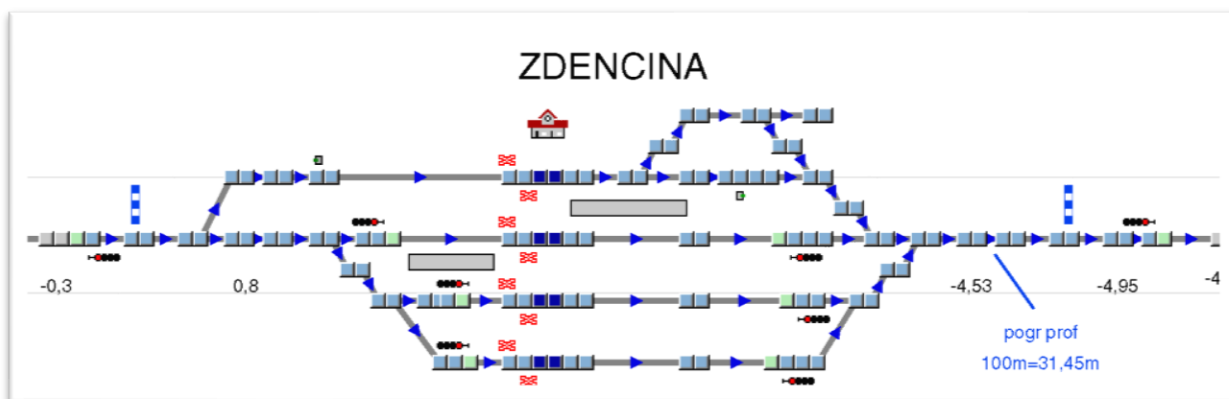
- ulazni signal «A» u km 447 + 853,85 od strane kolodvora Horvati,
- ulazni signal «B» u km 449 + 403 od strane kolodvora Jastrebarsko.

Kolodvor Zdenčina ima 6 kolosijeka od kojih su 2., 3. i 4. prijemno - otpremni, a 1. i 5. kolosijek su manipulativni, dok je 6. kolosijek krnji. Peti kolosijek je vezan skretnicama broj 4 i 5 sa prvim kolosijekom, dok je šesti kolosijek vezan skretnicom broj 5 sa petim kolosijekom. Njihove oznake brojevima, korisne duljine te namjene navedeni su u tablici 6.

Tablica 6. Brojevi kolosijeka, njihova namjena i korisne duljine za kolodvor Zdenčina

BROJ KOLOSIJEKA	NAMJENA KOLOSIJEKA	KORISNA DULJINA (m)
1.	manipulativni	587
2.	prijamno – otpremni	609/607
3.	glavni – prolazni	540/547
4.	prijamno - otpremni	537
5.	manipulativni	190
6.	krnji	125

Izvor: [4]



Slika 4. Shema kolodvora Zdenčina izrađena u programu OpenTrack

2.2.5. Kolodvor Jastrebarsko

Kolodvor Jastrebarsko nalazi se na pruzi Zagreb Glavni Kolodvor - Rijeka u km 457 + 000. Prema zadaći regulacije prometa kolodvor je međukolodvor na rasporednom odsjeku Zagreb - Karlovac.

Kolodvor Jastrebarsko je nadzorni kolodvor slijedećim službenim mjestima:

- TCPR i stajalište Domagović u km 460 + 143 između kolodvora Jastrebarsko i Draganići - nezaposjednuto
- Stajalište Lazina u km 463 + 131, nalazi se između kolodvora Jastrebarsko i Draganići.

Kolodvor Jastrebarsko je otvoren za prijevoz vagonskih pošiljaka u unutarnjem i međunarodnom prometu, te je otvoren za promet putnika i prtljage u unutarnjem prometu.

Kolodvoru Jastrebarsko ima 5 kolosijeka. Od toga 1., 2. i 3. su prijemno - otpremni, a 4. kolosijek je manipulativni. 5. kolosijek je krnji te ima namjenu garažnog kolosijeka. Brojevi kolosijeka te njihove korisne duljine navedeni su dolje u tablici 7.

Tablica 7. Brojevi kolosijeka, njihove namjene i korisne duljine za kolodvor Jastrebarsko

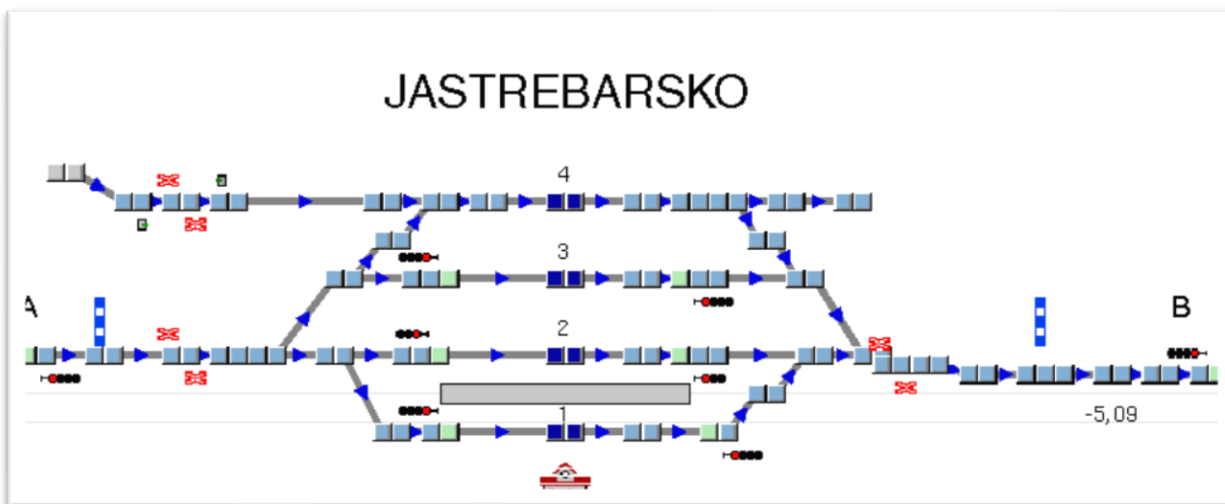
BROJ KOLOSIJEKA	NAMJENA KOLOSIJEKA	KORISNA DULJINA (m)
1.	istovarno – utovarni	593/580
2.	prijamno – otpremni	572/574
3.	glavni – prolazni	559
4.	prijamno - otpremni	494
5.	prijamno - otpremni	62

Izvor: [5]

Tablica 8. Popis signala i njihov položaj za kolodvor Jastrebarsko

GLAVNI SIGNALI		PRED SIGNALI	
NAZIV I VRSTA	POLOŽAJ U KM	NAZIV	POLOŽAJ U KM
A (ulazni signal)	456 + 173	PsA (predsignal)	455 + 149
B (ulazni signal)	457 + 631	PsB (predsignal)	458 + 675
C1 (izlazni signal)	456 + 880		
C2 (izlazni signal)	456 + 669		
C3 (izlazni signal)	456 + 683		
D1 (izlazni signal)	457 + 260		
D2 (izlazni signal)	457 + 249		
D3 (izlazni signal)	457 + 249		

Izvor: [5]



Slika 5. Shema kolodvora Jastrebarsko izrađena u programu OpenTrack

2.2.6. Kolodvor Draganići

Kolodvor Draganići je međukolodvor na rasporednom odsjeku pruge Zagreb - Karlovac. Kolodvor se proteže u dužini 1508 metara i nalazi se na pruzi M 202 Zagreb G.K. - Karlovac - Rijeka, između kolodvora Jastrebarsko i Karlovac. Sredina kolodvorske zgrade nalazi se u km 467 + 500. Kolodvor Draganići udaljen je od kolodvora Jastrebarsko 10,5 km, a od kolodvora Karlovac 10,0 km. Kolodvor Draganići ima 5 kolosijeka. Glavni kolosijeci su prvi, drugi, treći i četvrti kolosijek i služe kao prijemno - otpremni kolosijeci. Peti kolosijek je manipulativni kolosijek sa bočnom rampom. Drugi kolosijek je glavni prolazni kolosijek. Brojevi kolosijeka te njihove korisne duljine navedeni su dolje u tablici 9.

Tablica 9. Brojevi kolosijeka i korisne duljine za kolodvor Draganići

BROJ KOLOSIJEKA	NAZIV KOLOSIJEKA	KORISNA DULJINA (m)
1.	prijemno - otpremni	538/530
2.	glavni – prolazni	546/556
3.	prijamno - otpremni	535/519
4.	prijamno - otpremni	498
5.	manipulativni	153

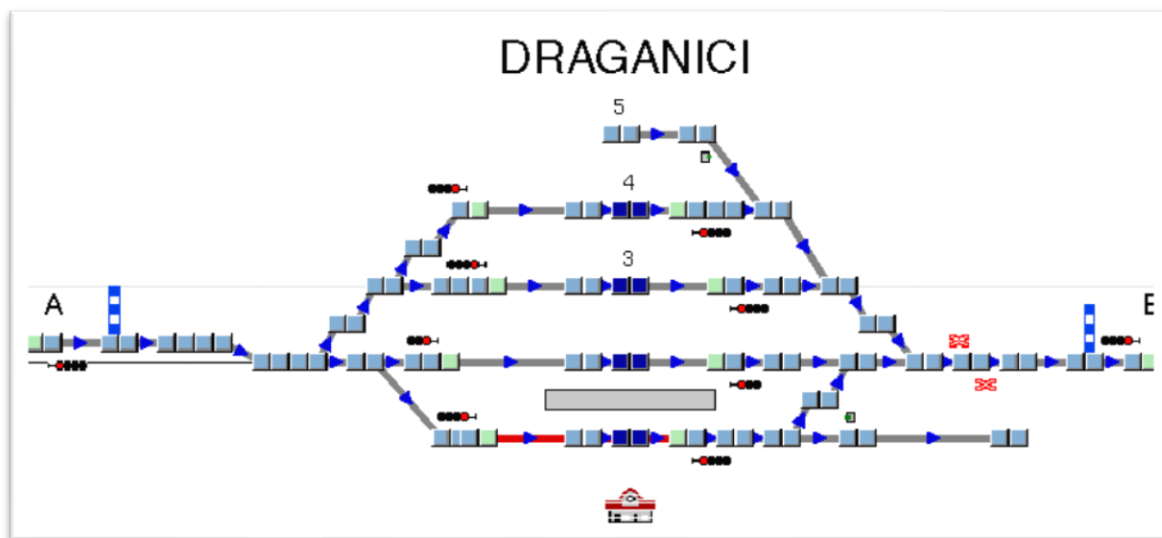
Izvor: [6]

Kolodvor Draganići zaštićen je s obje strane ulaznim signalima i pred signalima i uključen je u APB dijela pruge Hrvatski Leskovac - Moravice. Popis signala i njihov položaj za kolodvor Draganići navedeni su u tablici 10.

Tablica 10. Popis signala i njihov položaj za kolodvor Draganići

GLAVNI SIGNALI		PRED SIGNALI	
NAZIV I VRSTA	POLOŽAJ U KM	NAZIV	POLOŽAJ U KM
A (ulazni signal)	466+609	PsA (predsignal)	465+600
B (ulazni signal)	468+117	PsB (predsignal)	469+129
C1 (izlazni signal)	467+089		
C2 (izlazni signal)	467+079		
C3 (izlazni signal)	467+108		
C4 (izlazni signal)	467+091		
D1 (izlazni signal)	467+598		
D2 (izlazni signal)	467+633.		
D3 (izlazni signal)	467+633		
D4 (izlazni signal)	467+583		

Izvor: [6]



Slika 6. Shema kolodvora Draganići izrađena u programu OpenTrack

2.2.7. Kolodvor Karlovac

Kolodvor Karlovac nalazi se u km 477 + 040 pruge M 202 Zagreb G.K. - Karlovac - Rijeka. Kolodvor Karlovac nalazi se na nadmorskoj visini od 113,8 metara. Kolodvor ima funkciju rasporednog kolodvora za rasporedne odsjeke:

- Karlovac - Kamanje (za sve vlakova u oba smjera)
- Karlovac - Moravice
- Karlovac - Zagreb G.K.
- Karlovac - Zagreb R.K. (samo za teretne vlakove iz smjera Karlovca)

Iz kolodvora Karlovac odvaja se pruga L 217 Karlovac - Sisak Caprag u km 102 + 220 (pruga je izvan funkcije) i pruga L 104 Karlovac - Kamanje D.G. - Metlika (ST) u km 0 + 000. Kolodvoru Karlovac podređeni su kolodvor Draganići i kolodvor Mrzlo Polje, sa sistematiziranim radnim mjestima prometnika vlakova i skretničara. Kolodvor Karlovac otvoren je za promet putnika i svih vrsta vagonskih pošiljaka, uključivo i vagonске pošiljake kojima se prijevoze eksplozivne tvari.

Kolodvor Karlovac ima 20 kolosijeka, određeno i podijeljeno prema svojoj namjeni. Prijemno - otpremna grupa kolosijeka za putnički promet sastoji se od 1.a, 2.a/b, 3.a i 3. kolosijeka. 1.b kolosijek je skladišni kolosijek sa bočnom rampom i služi za utovar i istovar vagonskih pošiljaka.

Prijemno - otpremna grupa kolosijeka za teretne vlakove sastoji se od 4. i 5. kolosijeka. Ranžirno - otpremna grupa kolosijeka sastoji se od:

- 6., 7., 8., 9. i 10. kolosijeka.
- 11. kolosijek („Vojna rampa”) služi za utovar i istovar vojnih pošiljaka RID-a kao i za carinjenje vagonskih pošiljaka.
- 12. i 13. kolosijek („Rožar sturc”) služi za gariranje vagona.
- 14. kolosijek („Prvi vicional”) je otpremni kolosijek za otpremu putničkih vlakova prema Zagrebu, Kamanju i Sisak Capragu.
- 15. kolosijek („Drugi vicional”) je otpremni kolosijek za otpremu putničkih vlakova prema Zagrebu, Kamanju i Sisak Capragu.
- 16. kolosijek („Banija”) je utovarno - istovarni kolosijek sa čeonom rampom.
- 17. kolosijek („Špicburg”) je utovarno - istovarni kolosijek a služi i za postavu vagonskih pošiljaka za carinjenje.
- 18. kolosijek je izvlačni kolosijek prema Rijeci, isti služi za obavljanje manevarskog rada, kao i za ulazak i izlazak vučnih vozila
- 19. kolosijek je izvlačni kolosijek prema Zagrebu i služi za manevarski rad.
- 20. kolosijek („Novi kolosijek”) služi za smještaj radnih vagona.

Tablica 11. Brojevi kolosijeka i korisne duljine za kolodvor Karlovac

BROJ KOLOSIJEKA	KORISNA DULJINA (m)
1a	382/381
1b	340
2a	367/366
2b	243/249
3a	647/604
3	761/751
4	679/687
5	634/639
6	545/555
7	474/477
8	416/410
9	740/796
10	740/743
11	548/551
12	192
13	205
14	47
15	138
16	83
17	277
18	84
19	185
20	147
2a+2b	701/706

Izvor: [7]

Tablica 12. Popis signala i njihov položaj za kolodvor Karlovac

GLAVNI SIGNALI		PREDSIGNALI	
NAZIV I VRSTA	POLOŽAJ U KM	NAZIV	POLOŽAJ U KM
A (ulazni signal)	475+858	PsA (predsignal)	465+600
B (ulazni signal)	1+300	PsB (predsignal)	469+129
C (ulazni signal)	101+038	PsC (predsignal)	
D (ulazni signal)	478+152	PsD (predsignal)	
E1, 14-15(izlazni signal)	476+653		
E-2 (izlazni signal)	476+473		
E-3a(izlazni signal)	476+784		
E-3 (izlazni signal)	476+632		
E-4 (izlazni signal)	476+718		
E-5 (izlazni signal)	476+745		
E-6 (izlazni signal)	476+770		
E-7 (izlazni signal)	476+796		
E-8 (izlazni signal)	476+800		
E-9-11 (izlazni signal)	476+335		
F-2 (izlazni signal)	476+479		
F-3a (izlazni signal)	477+429		
F-3 (izlazni signal)	477+429		
F-4 (izlazni signal)	477+439		
F-5 (izlazni signal)	477+413		
F-6 (izlazni signal)	477+352		

F-7 (izlazni signal)	477+304		
F-8 (izlazni signal)	477+270		
F-9-10 (izlazni signal)	477+244		

Izvor: [7]

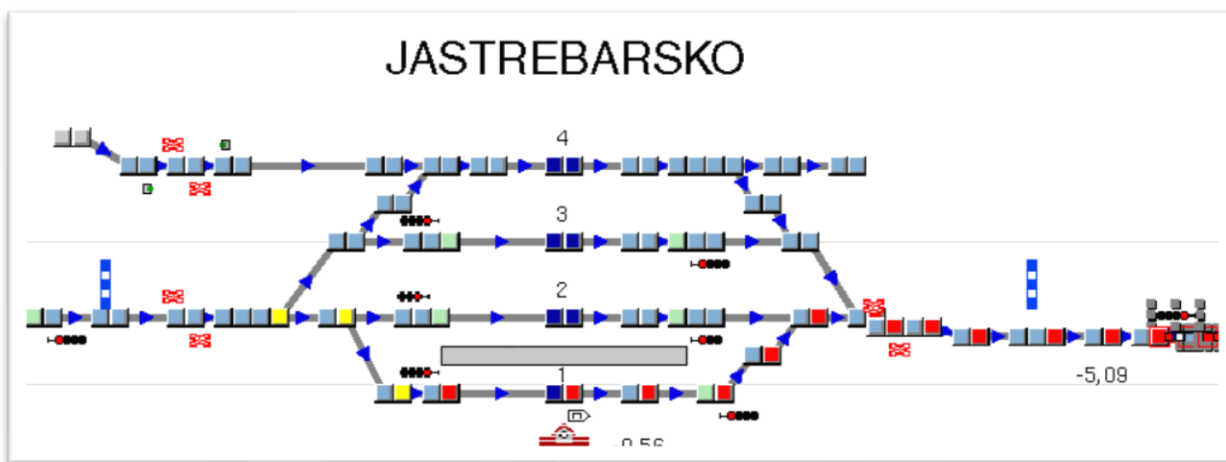
3. IZRADA MODELA ŽELJEZNIČKOG SUSTAVA NA RELACIJI ZAGREB GLAVNI KOLODVOR - KARLOVAC

3.1. Postupak izrade trasa simulacijskog modela

OpenTrack koristi nekoliko vrsta strukture podataka za opisivanje trase koja se koristi u simulaciji vožnje vlaka. Određivanje, odnosno izrada trasa u računalnom simulacijskom programu OpenTrack provedena je kroz tri razine, od koje svaku karakterizira određeni tip podatka.

3.1.1. Izrada puta vožnje

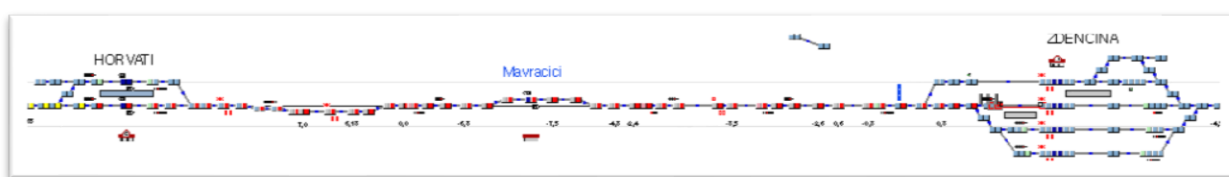
Hijerarhijski najniža razina je *Route* koja predstavlja put vožnje. *Route* povezuje dva ili više čvorova (*Vertexa*) te uvijek kreće i završava na glavnim signalima. Slika 7. prikazuje put vožnje od ulaznog signala u kolodvor Jastrebarsko do izlaznog signala na prvom kolosijeku kolodvora. Prilikom simulacije vožnje vlakova, zauzme li jedan vlak određeni *Route*, odnosno put vožnje, taj će put vožnje biti rezerviran samo za taj vlak. Tek nakon što vlak zadnjim krajem izađe iz rezerviranog puta vožnje, moguća je alokacija tog istog puta vožnje za drugi vlak u taj isti put vožnje.



Slika 7. *Route* – put vožnje u kolodvoru od ulaznog do izlaznog signala (označen crvenom bojom)

3.1.2. Izrada skupa puteva vožnje

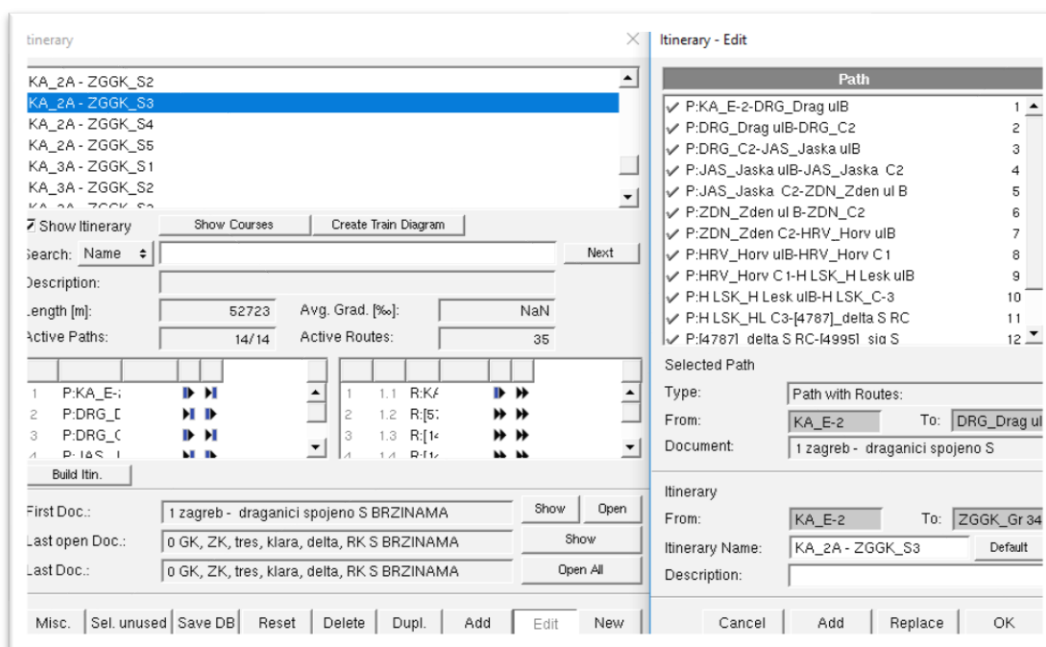
Sljedeća razina koja podrazumijeva skup putova vožnje, odnosno *Route-a*, naziva se *Path*. Ta razina omogućuje povezivanje više puteva vožnje u jednu cjelinu. Skup puteva vožnje dakle jedan *Path* čine jedan ili više *Route-a*. Path je određen samo u jednom kolodvoru, na dijelu otvorene pruge, te između dva ili više kolodvora. U modelu korištenom u simulaciji *path*-ovi su definirani od izlaznih do ulaznih signala između svaka dva kolodvora te od ulaznih signala do izlaznih signala u svakom kolodvoru.



Slika 8. Route – put vožnje u kolodvoru od ulaznog do izlaznog signala

3.1.3. Izrada itinerara

Najviša razina kojom definiramo trasu vlaka naziva se itinerar (*eng. Itinerary*) koji obuhvaća jedan ili više pridodanih skupova puteva vožnji, odnosno *Path*-ova. Svakom se vlaku pridodaje određeni itinerar te njime određujemo trasu kojom će se vlak kretati prilikom simulacije. Vlaku se osim jednog može odrediti više itinerara koji će se koristiti po prioritetu. Uvijek će se koristiti prvi itinerar po prioritetu ako je ruta na tom itineraru slobodna, odnosno ako ni jedan drugi vlak u tom trenutku nije zauzeo taj itinerar. Ukoliko je put vožnje već zauzet nekim drugim vlakom tijekom simulacije prometa vlakova bit će odabran slijedeći dostupni itinerar koja ima najviši prioritet.



Slika 9. Prozori (*Itinerary*) s popisom itinerara i (*Itinerary – Edit*) za izradu itinerara

3.2. Postupak izrade modela vučnih vozila i kompozicije vlakova

3.2.1. Izrada modela vučnih vozila

U računalnoj simulaciji korišteni su modeli svih serija željezničkih vozila koja sudjeluju u željezničkom prometu na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac. Modeli vučnih vozila i motornih garnitura izrađeni su pomoću funkcije *Engines* koja nam omogućuje unošenje svih ključnih parametara, te karakteristika vučnog vozila. Kao što je prikazano na slici 10. prilikom izrade modela elektromotornog vlaka serije HŽ 6112 u model su uneseni podaci o masi vozila, vučnom pasošu, adhezijskoj masi vozila, adheziji, koeficijentu otpora, maksimalnoj brzini, koeficijentu otpora rotirajućih masa, kao i opremljenosti vučnog vozila uređajima za prijenos upravljačkih informacija u upravljačnicu vlaka.

Engines

Engine: 6112 30 / 54

Engine Name: 6112

Load [t]: 175 Resistance Factor: 3.30

Adh. Load [t]: 175 Rot. mass Factor: 1.06

Length [m]: 75 Balise Telegram ☒

Speed max. [km/h]: 160 Loop Telegram ☒

Tractive Effort max. [kN]: 194 Radio Telegram ☒

Rack Traction ☐

Z/V-Diagrams No

Diagram 1 1

System

Universal Electric

Thermic

Thermoelectric

AC 15 kV 16 2/3 Hz

Export Import Dupl. Del. Add

Diagram Color: ■

☒ Adhesion [%] bad: 80 normal: 125 good: 150

Loss Function: linear Edit

Selected Point:

v [km/h]: 160 Z [kN]: 194 P [MW]: 1.06 linear

Visual Rectangle:

Speed max. [km/h]: 170 Scale

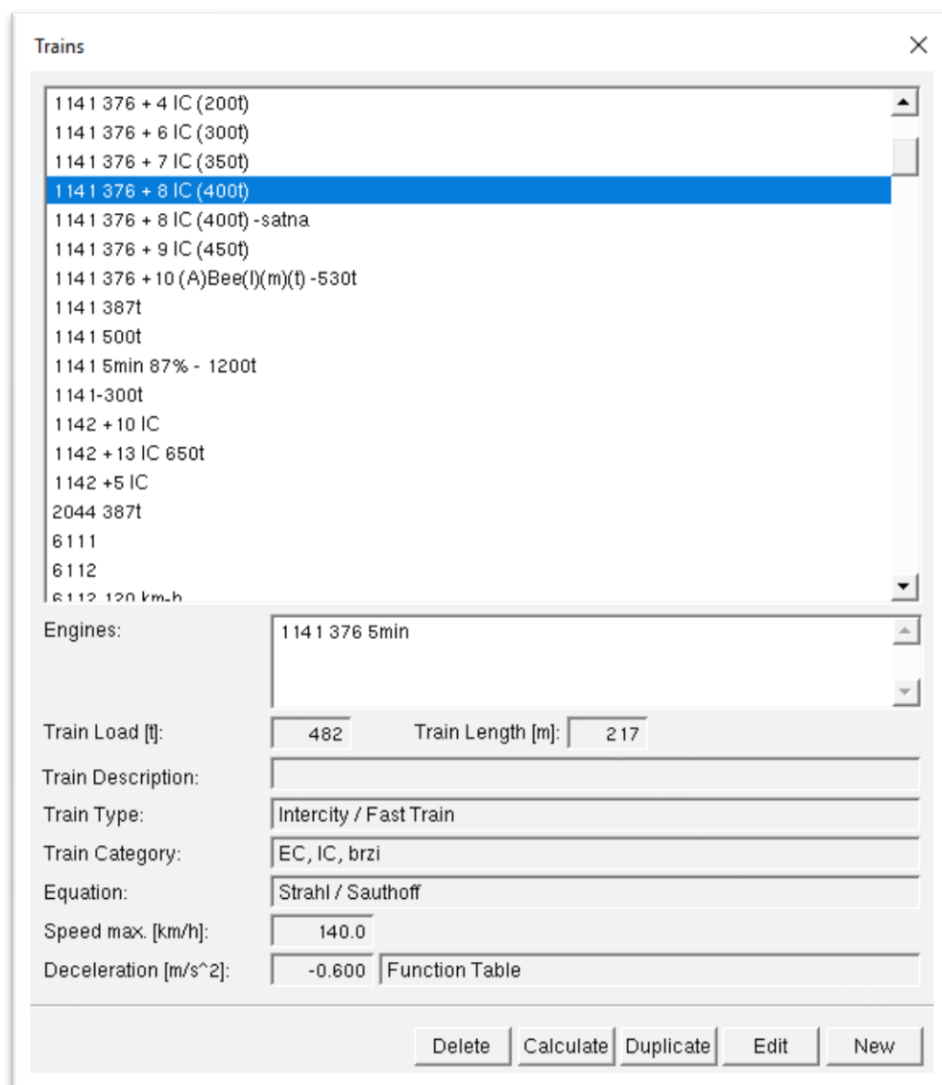
Tractive Effort max. [kN]: 210 Min. [kN]: 0 Autoscale

Set Data Save Depot New Depot Open Depot Del. Engine New Engine

Slika 10. Podaci uneseni u funkciju *Engines* za elektromotorni vlak serije HŽ 6112

3.2.2. Izrada modela kompozicije vlakova

Popis modela kompozicije vlakova izrađenih u računalnom programu nalazi se u izborniku *Trains*. Kao što je prikazano na slici 11. u izborniku *Trains* moguće je vidjeti podatke o masi, dužini, maksimalnoj brzini, kategoriji i tipu vlaka, formule pomoću kojih se računa kretanje vlaka te iznos deceleracije kompozicije vlaka.



Slika 11. Izbornik *Trains* za odabir kompozicije vlakova

Izrada modela vlakova vrši se funkcijom *Trains - Edit*. Kompozicija vlaka definirana je vučnim vozilom prethodno izrađenim pomoću funkcije *Engines*, te podacima o vagonima koji sudjeluju u sastavu. Slika 12. prikazuje unesene podatke o vlaku koji sadrže ime vlaka, tip vlaka, kategoriju vlaka, broj i seriju vučnog vozila, broj vagona sa podacima o njihovoj pojedinačnoj dužini, masi, maksimalnoj brzini, potrošnji energije te otporu rotirajućih masa.

Trains - Edit

Train Name: Default

Description:

Type: Intercity / Fast Train

Category: EC, IC, brzi

Engines

Pos.	Name	Load [t]	Len. [m]
1	1141 376 5min	82	15

Σ Load [t]: Σ Len. [m]:

Trailers

Pos.	Name	Load [t]	Len. [m]
2	Trailer 1	50	24
3	Trailer 2	50	25
4	Trailer 3	50	26

Σ Load [t]: Σ Len. [m]:

Resistance Equation

Rolling: Strahl / Sauthoff Formula

A: B: C: Unit:

☐ Starting Res. [N/t]: below Speed [km/h]:

Curve: Roeckl Formula Standard Gauge (Trains) [%]:

Acceleration (Train related Settings)

Max. Acceleration [m/s²]: ☒ Max. Drawbar Force [kN]:

Acc. Delay [s]: ☐ Min. Time to hold Speed [s]:

Acc. Delay at Stop [s]:

Deceleration

Deceleration Function: Default

From [km/h]	To [km/h]	Dec. [m/s ²]
0	v max.	-0.60

Braked Weight Percentage (BWP) [%]:

a = - (C1 + C2 * BWP) C1: C2: Result [m/s²]:

☐ Correct Deceleration on Gradients [m/s²/‰]

Min. Dec. [m/s²]: Max. [m/s²]:

Dec. Delay [s]: above [km/h]:

Default

Cancel OK

Slika 12. Podaci uneseni u funkciju *Trains - Edit* za izradu kompozicije vlaka

3.3. Postupak definiranja vlakova i izrade voznog reda

Završna faza koja prethodi simulaciji u računalnom programu OpenTrack je izrada, odnosno definiranje trasa vlakova. Definiranju trase vlakova te izradi voznog reda pristupa se nakon što su određeni svi itinerari, izrađeni modeli vučnih vozila te definirani sastavi vlakova.

3.3.1. Postupak definiranja trase vlaka

Za simulaciju, potrebno je kreirati vlakove te ih definirati potrebnim podacima. Popis svih vlakova u računalnom modelu nalazi se u izborniku *Courses/Services*. Iz primjera sa slike 13. možemo vidjeti popis svih vlakova te podatke o vlaku koji je označen. Također u ovome se izborniku određuju vlakovi koji će sudjelovati u simulaciji (na primjeru sa slike 13. u simulaciji sudjeluje samo vlak 4051, označen kvačicom).

The screenshot shows the 'Courses / Services' window. On the left is a list of train services with columns 'Use' and 'ID'. Service 4051 is selected and marked with a checkmark. On the right, the 'Itineraries' section shows 'KA_3A - ZGGK_S3' with a 'Show' button. Below this are fields for 'Description', 'Comment', 'Kind', 'Train' (114 1-300t), 'Train Category' (ubrzani, putnicki), 'Train Speedtype' (Reihe R), 'Route Reservation / Release' (Discrete), and 'Timetable: First Departure' (05:22:00 at KA). At the bottom, there are filters for 'Sort by: ID Num.', 'Inv.', 'Unuse', 'Use', 'Select: all', and a 'Search' field. Performance metrics are shown on the right: 'Perf. (on Time) [%]: 100', 'Perf. (delayed) [%]: 100', 'Entry Speed [km/h]: 0.0', and 'Output Offset [m]: 0'. At the very bottom are buttons for 'Delete', 'Update', 'Sets', 'Analyze', 'Duplicate', 'Edit', and 'New'.

Slika 13. Prozor *Courses/Services* na kojem su vidljivi podaci vlaka

Izrada novog vlaka ili promjena karakteristika već postojećeg izvodi se u izborniku *Courses/Service - Edit* (slika 14.), gdje je potrebno odabrati sve podatke kojima će vožnja vlaka biti određena, pa tako određujemo:

- ime vlaka
- itinerare kojima će se vlak služiti
- sastav vlaka
- način rezervacije voznih puteva

Courses / Services - Edit

Course ID:

Description:

Comment:

Kind:

Itinerary	Priority
4064xZGGK_S2 - KA_2A	
✓ 4101xKA_2A - ZGGK_S2	1
4103xKA_2A - ZGGK_S2	
4104xZGGK_S2 - KA_2A	
4105xKA_2A - ZGGK_S1	

Search:

Train:

Speedtype:

Route Reservation / Release:

Route Additional Reservation Time [s]:

Route Additional Release Time [s]:

Performance (on Time) [%]:

Performance (delayed) [%]:

Entry Speed [km/h]:

Output Offset [m]:

Slika 14. Prozor *Courses/Services - Edit*

3.3.2. Postupak izrade voznog reda

U programu OpenTrack vozni red za pojedini vlak izrađuje se pomoću izbornika *Timetable*. Vozni red se kreira tako da se unose podaci o odlascima i dolascima vlakova na pojedinim kolodvorima i stajalištima, te minimalno vrijeme zadržavanja vlaka u službenom mjestu. Također, moguće je povezati dva vlaka te tako onemogućiti kretanje jednog vlaka iz kolodvora sve dok drugi vlak ne dođe u kolodvor. Na slici 15. prikazan je unos podataka o odlascima i dolascima u kolodvore i na stajališta za vlak 4052 iz EKVR-PP 2016_17. u izbornik *Timetable*, odnosno vozni red simulacijskog modela.

Timetable X EKVR-PP 610

ZAGREB GL. KOL.-OGULIN SV Kdk

R p=101% SVW:6 111* X * 1 141,300t Su

Course ID	Station	Arrival	Departure	Dwell	Stop
4052	ZGK	HH:MM:SS	09:52:00	0	✓
4052	TRS	HH:MM:SS	09:55:00	0	✓
4052	ZGDLT	HH:MM:SS	09:59:00	0	✓
4052	RMT	10:00:00	10:00:00	0	✓
4052	H LSK	10:04:00	10:05:00	0	✓
4052	HRV	10:10:00	10:10:00	0	✓
4052	MVR	10:13:00	10:13:00	0	✓
4052	ZDN	10:17:00	10:20:00	0	✓
4052	DSN	10:23:00	10:23:00	0	✓
4052	JAS	10:27:00	10:28:00	0	✓
4052	DMG	10:31:00	10:31:00	0	✓
4052	LZN	10:34:00	10:34:00	0	✓
4052	DRG	10:38:00	10:39:00	0	✓
4052	KA	10:46:00	10:48:00	0	✓

Add Rows Ins. Rows Del. Rows Function: Add Stops Dwell [s]: 60 Go

Course ID	Station	Type	Min. Wait	Max. Wait	Join	Split
-----------	---------	------	-----------	-----------	------	-------

Show Conn. Course Ins. Connection Del. Connection Show all Connections

Interval 54 Courses 740 Entries

Course ID: + 2 Delta Time: + 01:00:00

☒ Keep Interval References ☒ Keep Interval Ref. for Delays ☐ Keep Interval Ref. for Conn. ☒ Update Courses / Services

Create 1 Courses

Ref. Course ID: Actual Course ID: 4052 Course

Train: 6111 Train Speedtype: Reihe R Train Category: ubrzani, putnicki

☐ Show Operations ☐ Show Day ☐ Show Use Departure Time ☐ Show Stationnames ☒ Show act. Data Adjust ☐ Show Delta Load ☐ Show Distribution Name ☐ Show Stops only ☒ Show Delay Colors ☒ Show Mean Delay ☐ Show Track Name

Delete Sync. Update Save DB Add Move Start Sort Show All Show

KM. POLOŽAJ	SLUŽBENA MJESTA	BRZINA		VRIJEME		SASTAJANJA
		PREKO SKRETNICA	NAJBLIŽE DOLASKA	DOLASKA	ODLASKA	
1	2	3	4	5	6	7
4052						
424.4	ZAGREB GL. KOL.	RD A-63; AS R-1	30	50	9.52	
425.9	Trešnjevka (R) (rsp)	—			9.55	
430.0	Delta (rsp)	—		80	9.59	
430.4	Remetinec	—		110	10.00	10.00
435.2	HRV. LESKOVAC	RD A-65	40		10.04	10.05
441.9	HORVATI	—	65		10.10	10.10
444.4	Mavračići	—			10.13	10.13
448.4	ZDENČINA	km 448+156	50		10.17	10.20
451.9	Desinec	km 448+936		120	10.23	10.23
457.0	JASTREBARSKO	km 456+573	40	75	10.27	10.28
460.1	Domagović	km 458+165		80	10.31	10.31
463.1	Lazina	—			10.34	10.34
467.5	DRAGANIĆI	km 476+147	40	100	10.38	10.39
477.0	KARLOVAC	km 477+619	35	75	10.46	10.48
478.5	Karlovac Centar	—		80	10.50	10.50
483.1	MRZLO POLJE	—	40		10.55	10.55

VR 2016/17.

Slika 15. Sučelje za izradu voznog reda za vlak 4052 lijevo,

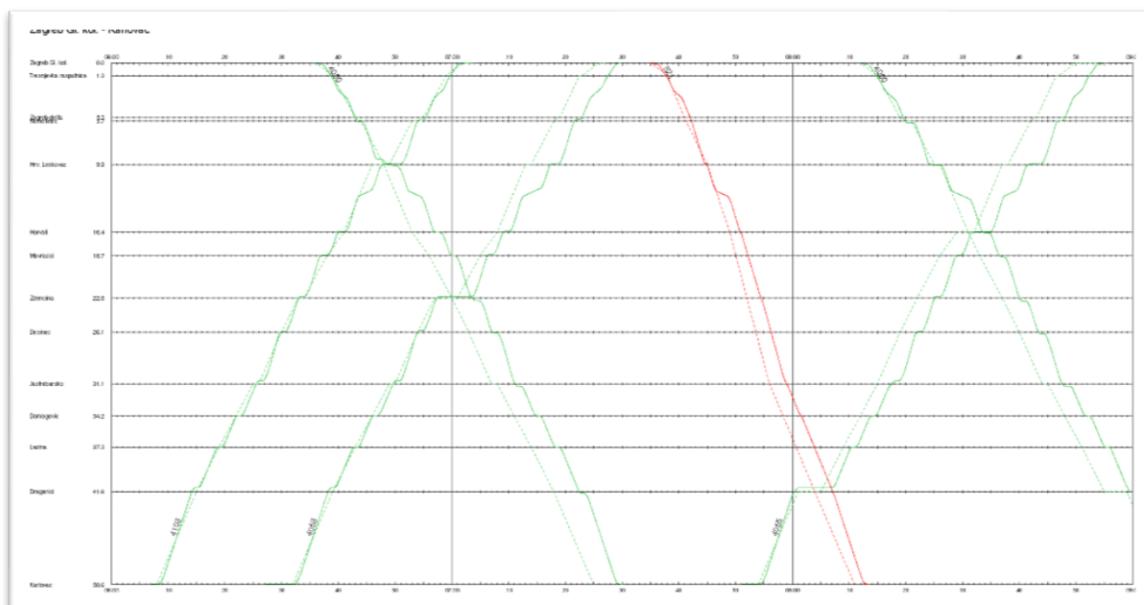
izvadak iz EKVR-PP 2016_17 za vlak 4052 desno

4. SIMULACIJA PROMETA I ANALIZA STABILNOSTI POSTOJEĆEG VOZNOG REDA NA RELACIJI ZAGREB GLAVNI KOLODVOR - KARLOVAC

Stabilnost voznog reda pokazuje koliko će određeni neplanirani događaj koji utječe na normalno odvijanje željezničkog prometa utjecati na realizaciju planiranog voznog reda. U ovom poglavlju analiza stabilnosti postojećeg voznog reda provedena je pomoću dva simulacijska scenarija koje će dovesti do poremećaja u željezničkom prometu vezanih uz realizaciju planiranog voznog reda.

4.1. Prvi scenarij za simulaciju željezničkog prometa uslijed pojave neplaniranog događaja koji uzrokuje poremećaje u prometu

Prvi scenarij podrazumijeva simulaciju željezničkog prometa u uvjetima lagane vožnje, brzinom od 15 km/h na relaciji između Hrvatskog Leskovca i Horvata između km 437 + 200 i km 437 + 800. Režim lagane vožnje primjerice može biti uveden zbog građevinskih radova u blizini kolosijeka na toj dionici. Slika 16. prikazuje grafikon voznog reda u periodu vršnog opterećenja od 06:00h do 09:00h. Iz grafikona je moguće vidjeti kako će ograničenje brzine na dijelu pruge gdje je uvedena lagana vožnja utjecati na kašnjenje vlakova koji prometuju na dionici od Zagreb Glavnog kolodvora do Karlovca. Grafikon voznog reda u periodu od 6 do 9 sati nakon simulacije prometa prikazan je na slici 16.



Slika 16. Grafikon voznog reda u periodu od 6 do 9 sati nakon simulacije prometa na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Karlovac

Rezultati simulacije prikazuju kašnjenje vlakova 4053, 4050, 521, 4055 i 4000, dok je vlak 4103 uspio nadoknaditi vrijeme na relaciji od Hrvatskog Leskovca do Zagreba. Na slici 17. prikazan je vozni red putničkog vlaka 4053 na kojem su vidljiva predviđena vremena odlazaka i dolazaka vlakova, te vremena odlazaka i dolazaka dobivena nakon simulacije tijekom izvanredne situacije na pruzi. Iscrtnim linijama označene su planirane trase vlakova, dok puna linija predstavlja njihove stvarno realizirane trase u simulacijskom procesu.

Course ID	Station	Arrival	Departure	Use	Dwel
4053	Karlovac	06:27:00	06:32:00	✓	0
4053	Draganici	06:39:00	06:39:22	✓	30
4053	Lazina	06:43:00	06:43:27	✓	30
4053	Domagovic	06:46:00	06:46:50	✓	30
4053	Jastrebarsko	06:49:00	06:50:46	✓	30
4053	Desinec	06:54:00	06:54:53	✓	30
4053	Zdencina	06:57:00	07:03:33	✓	240
4053	Mavraci	07:05:00	07:07:17	✓	30
4053	Horvati	07:08:00	07:10:05	✓	30
4053	Hrv. Leskovac	07:13:00	07:18:40	✓	30
4053	Remetinec	07:18:00	07:22:33	✓	30
4053	Zagreb delta	HH:MM:SS	07:19:00	✓	30
4053	Tresnjevka rasputnica	HH:MM:SS	07:23:00	✓	30
4053	Zagreb Gl. kol.	07:26:00	HH:MM:SS	✓	60

Slika 17. Vozni red vlaka 4053 nakon simulacije izvanredne situacije

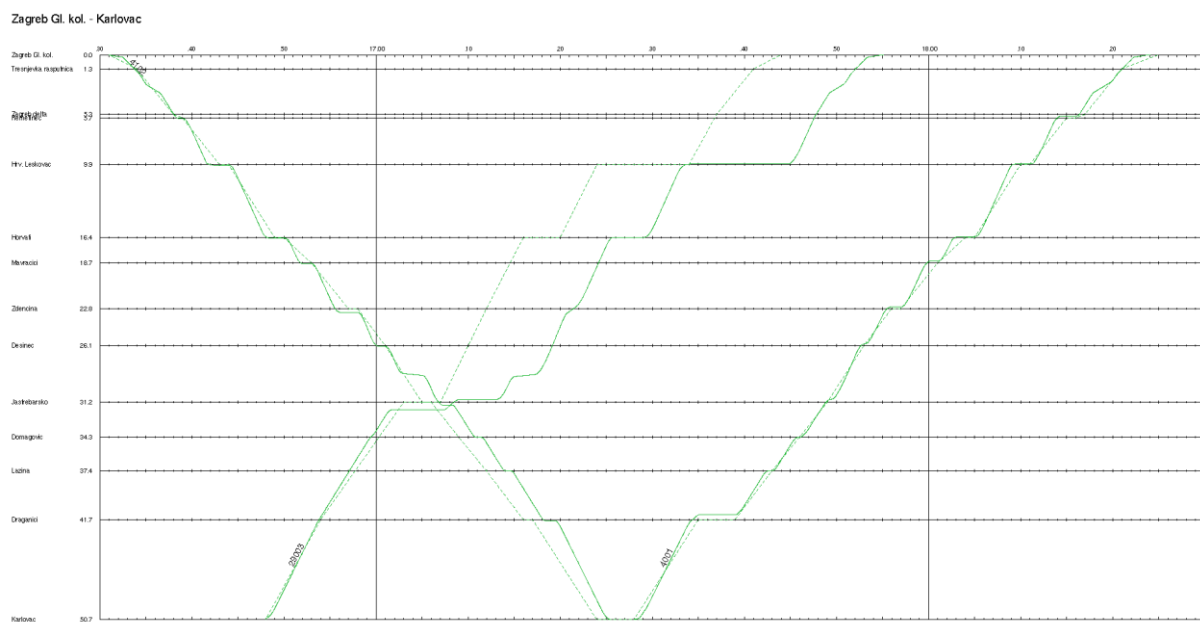
Iz voznog reda na slici 17. vidljivo je da je vlak 4053 u Zdenčini kasnio u polasku 2 minute i 33 sekundi, a to kašnjenje je posljedica kašnjenja vlaka 4050 koji je zakasnio u dolasku u Zdenčinu 4 minute i 15 sekundi (slika 18.). Zatim, vlak je nastavio kasniti na stajalištu Mavračići 1 minutu i 47 sekundi te u Horvatima 1 minutu i 35 sekundi. Nakon Horvata prošao je dionicu na kojoj je jednim dijelom uvedena lagana vožnja te je iz tog razloga svoje kašnjenje u Hrvatski Leskovac povećao na 5 minuta i 10 sekundi. U Zagreb Glavni kolodvor vlak je zakasnio 4 minute i 12 sekundi.

Course ID	Station	Arrival	Departure	Use	Dwell	Stop
4050	Zagreb Gl. kol.	HH:MM:SS	HH:MM:SS	06:36:00	06:36:00	✓ 0
4050	Tresnjevka rasputnica	HH:MM:SS	HH:MM:SS	06:39:00	06:38:42	✓ 0
4050	Zagreb delta	HH:MM:SS	HH:MM:SS	06:43:00	06:43:02	✓ 0
4050	Remetinec	06:44:00	06:43:33	06:44:00	06:44:03	✓ 30
4050	Hrv. Leskovac	06:48:00	06:49:48	06:48:00	06:50:18	✓ 30
4050	Horvati	06:53:00	06:57:15	06:53:00	06:57:45	✓ 30
4050	Mavracici	06:56:00	07:00:05	06:56:00	07:00:35	✓ 30
4050	Zdencina	07:00:00	07:04:15	07:00:00	07:04:45	✓ 30
4050	Desinec	07:03:00	07:07:21	07:03:00	07:07:51	✓ 30
4050	Jastrebarsko	07:07:00	07:11:37	07:08:00	07:12:07	✓ 30
4050	Domagovic	07:11:00	07:14:57	07:11:00	07:15:27	✓ 30
4050	Lazina	07:14:00	07:18:19	07:14:00	07:18:49	✓ 30
4050	Draganici	07:18:00	07:22:48	07:18:00	07:23:18	✓ 30
4050	Karlovac	07:25:00	07:30:35	07:26:00	HH:MM:SS	✓ 60

Slika 18. Vozni red vlaka 4050 nakon simuliranja izvanredne situacije

4.2. Drugi scenarij za simulaciju željezničkog prometa uslijed pojave neplaniranog događaja koji uzrokuje poremećaje u prometu

U drugom scenariju zbog kvara signalno - sigurnosnog uređaja za osiguranje željezničko – cestovnog prijelaza između kolodvora Jastrebarsko i stajališta Desinec u km 454 + 426, vlakovi su se morali zaustavljati na ŽCP-u. Kvar je trajao u periodu od 17:00 do 17:50h. Simulacija prometovanja vlakova promatrana je u periodu od 16:30 do 18:30h. Na slici 19. prikazan je grafikon voznog reda nakon simulacije spomenutog kvara.



Slika 19. Grafikon voznog reda simulacije prometa na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac uslijed kvara uređaja za osiguranje ŽCP-a

Na grafikonu voznog reda vidljivo je da vlakovi 4102 i 29003 nakon prolaska dionice na kojoj je kvar na željezničko - cestovnom prijelazu kasne u naredne kolodvore i stajališta. Na vlak 4001 kvar nije imao utjecaj, budući da je otklonjen u 17:50h, nekoliko minuta prije prolaska tog vlaka preko željezničko - cestovnog prijelaza.

Timetable

Course ID	Station	Arrival	Departure	Use	Dwell	Stop
4 102	Zagreb Gl. kol.	HH:MM:SS	HH:MM:SS	16:31:00	16:31:00	✓ 0
4 102	Tresnjevka rasputnica	HH:MM:SS	HH:MM:SS	16:34:00	16:33:46	✓ 0
4 102	Zagreb delta	HH:MM:SS	HH:MM:SS	16:38:00	16:38:03	✓ 0
4 102	Remetinec	16:39:00	16:38:34	16:39:04	✓ 30	✓
4 102	Hrv. Leskovac	16:43:00	16:42:26	16:44:00	✓ 60	✓
4 102	Horvati	16:49:00	16:48:23	16:50:00	✓ 60	✓
4 102	Mavranci	16:53:00	16:52:01	16:53:00	✓ 30	✓
4 102	Zdenčina	16:57:00	16:56:07	16:58:00	✓ 60	✓
4 102	Desinec	17:01:00	17:00:14	17:01:00	✓ 30	✓
4 102	Jastrebarsko	17:05:00	17:07:16	17:06:00	17:08:16	✓ 60
4 102	Domagovci	17:09:00	17:10:56	17:09:00	17:11:26	✓ 30
4 102	Lazina	17:12:00	17:14:08	17:12:00	17:14:38	✓ 30
4 102	Draganici	17:16:00	17:18:27	17:17:00	17:19:27	✓ 60
4 102	Karlovac	17:24:00	17:25:39	17:29:00	HH:MM:SS	✓ 300

Slika 20. Vozni red vlaka 4102 nakon simuliranja izvanredne situacije

Na slici 20. prikazana su vremena odlazaka i dolazaka vlaka 4102 u kolodvore, te planirani vozni red. Možemo vidjeti da je vlak do stajališta u Desinecu pratio vremena planiranog voznog reda i nije imao kašnjenja. Nakon prolaska dionice na kojoj je neplanirana situacija rezultirala zaustavljanjem vlaka na željezničko - cestovnom prijelazu vlak je u kolodvor Jastrebarsko zakasnio 2 minute i 16 sekundi. U sljedećim je kolodvorima nastavio kasniti, ali uz malo nadoknađivanje odnosno smanjenje tog kašnjenja, kako bi na kraju u Karlovcu kasnio 1 minutu i 39 sekundi.

Timetable ×

Course ID	Station	Arrival	Departure	Use	Dwell	Stop
29003	Karlovac	HH:MM:SS HH:MM:SS	16:48:00 16:48:00	✓	0	✓
29003	Draganici	HH:MM:SS HH:MM:SS	16:54:00 16:53:51	✓	0	✓
29003	Lazina	HH:MM:SS HH:MM:SS	HH:MM:SS 16:57:07	✓	0	✓
29003	Domagovic	HH:MM:SS HH:MM:SS	HH:MM:SS 16:59:26	✓	0	✓
29003	Jastrebarsko	17:03:00 17:09:03	17:07:00 17:13:03	✓	240	✓
29003	Desinec	HH:MM:SS HH:MM:SS	HH:MM:SS 17:19:10	✓	0	✓
29003	Zdencina	HH:MM:SS HH:MM:SS	17:12:00 17:21:28	✓	0	✓
29003	Mavraci	HH:MM:SS HH:MM:SS	HH:MM:SS 17:24:11	✓	0	✓
29003	Horvati	17:16:00 17:25:48	17:20:00 17:29:08	✓	200	✓
29003	Hrv. Leskovac	17:24:00 17:34:39	17:34:00 17:44:33	✓	600	✓
29003	Remetinec	HH:MM:SS HH:MM:SS	HH:MM:SS 17:47:36	✓	0	✓
29003	Zagreb delta	HH:MM:SS HH:MM:SS	17:37:00 17:47:49	✓	0	✓
29003	Tresnjevka rasputnica	HH:MM:SS HH:MM:SS	17:41:00 17:52:07	✓	0	✓
29003	Zagreb Gl. kol.	17:44:00 17:55:32	HH:MM:SS HH:MM:SS	✓	0	✓

Slika 21. Vozni red vlaka 29003 nakon simulacije prometa uslijed pojave kvara na ŽCP-u

Događaj kvara na željezničko-cestovnom prijelazu imao je puno veći utjecaj na vlak 29003 nego prethodno analiziranog vlaka 4102, budući da je na vlak 29003 osim zaustavljanja na željezničko cestovnom – prijelazu, imao utjecaj i vlak 4102 koji je kasnio u kolodvor Jastrebarsko. Zbog križanja ova dva vlaka u kolodvoru Jastrebarsko kašnjenje vlaka 4102 imalo je posljedice na kašnjenje vlaka 29003. Nakon polaska iz kolodvora Jastrebarsko vlak 29003 također se morao zaustaviti na željezničko-cestovnom prijelazu, te je u kolodvor Horvati zakasnio 9 minuta i 48 sekundi. Vlak je nastavio kasniti sve do Zagreba s istim iznosom kašnjenja.

Smanjenje kašnjenja vlaka 29003 moguće je reducirati smanjenjem vremena zadržavanja u kolodvorima Jastrebarsko, Horvati i Hrvatski Leskovac.

5. ZAKLJUČAK

Svrha ovog rada bila je analiza željezničke infrastrukture i prometa na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Karlovac. Na temelju provedene simulacije željezničkog prometa primjenom računalnog programa za modeliranje i simuliranje željezničkog prometa OpenTrack, izvršena je analiza stabilnosti postojećeg voznog reda. Provedene su simulacije za dvije situacije koje su imale utjecaj na uredno odvijanje željezničkog prometa. Rezultati simulacija u obliku voznog reda i grafikona pokazuju poremećaje u realizaciji planiranog voznog reda, odnosno kašnjenju vlakova zbog ograničenja brzine vožnje na dijelovima kolosijeka gdje je smanjena sigurnost željezničkog prometa. Uporabom simulacijskog programa OpenTrack moguće je provođenje niza analiza koje rezultiraju korisnim podacima o trenutnom ili budućem stanju željezničkog prometa i infrastrukture. Implementacija takvog programa u rad subjekata koji sudjeluju u planiranju i pružanju usluga željezničkog prijevoza može doprinjeti povećanju razvoja, sigurnosti te efikasnosti željezničkog prometa.

LITERATURA

1. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Zagreb Glavni kolodvor, 1. dio, Zagreb, 2014/2015.
2. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Hrvatski Leskovac 1. dio, 2014/2015.
3. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Horvati, 1. dio, HŽ infrastruktura, 2014/2015.
4. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Zdenčina, 1. dio, 2014/2015.
5. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Jastrebarsko, 1. dio, 2014/2015.
6. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Draganići, 1. dio, 2014/2015.
7. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Karlovac, 1. dio, 2014/2015.
8. HŽ infrastruktura d.o.o.: Grafikon voznog reda za prugu Zagreb GK – Rijeka, 2016/2017.
9. HŽ infrastruktura d.o.o.: Knjižica voznog reda za putnički promet, Vozni red 2016/2017.
10. HŽ infrastruktura d.o.o.: Knjižica voznog reda za teretni promet, Vozni red 2016/2017.
11. Huerlimann, D., Nash, A. B.: OpenTrack Simulation of Railway Networks manual, Version 1.6

POPIS SLIKA

Slika 1. Shema kolodvora Zagreb Glavni kolodvor izrađena u programu OpenTrack	7
Slika 2. Shema kolodvora Hrvatski Leskovac izrađena u programu OpenTrack	10
Slika 3. Shema kolodvora Horvati izrađena u programu OpenTrack	11
Slika 4. Shema kolodvora Zdenčina izrađena u programu OpenTrack.....	13
Slika 5. Shema kolodvora Jastrebarsko izrađena u programu OpenTrack.....	15
Slika 6. Shema kolodvora Draganići izrađena u programu OpenTrack.....	17
Slika 7. Route – put vožnje u kolodvoru od ulaznog do izlaznog signala (označen crvenom bojom)	22
Slika 8. Route – put vožnje u kolodvoru od ulaznog do izlaznog signala	23
Slika 9. Prozori (Itinerary) s popisom itinerara i (Itinerary – Edit) za izradu itinerara.....	24
Slika 10. Podaci uneseni u funkciju Engines za elektromotorni vlak serije HŽ 6112	25
Slika 11. Izbornik Trains za odabir kompozicije vlakova.....	26
Slika 12. Podaci uneseni u funkciju Trains - Edit za izradu kompozicije vlaka	27
Slika 13. Prozor Courses/Services na kojem su vidljivi podaci vlaka	28
Slika 14. Prozor Courses/Services - Edit	29
Slika 15. Sučelje za izradu voznog reda za vlak 4052 lijevo,	30
izvadak iz EKVR-PP 2016_17 za vlak 4052 desno	30
Slika 16. Grafikon voznog reda u periodu od 6 do 9 sati nakon simulacije prometa na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Karlovac.....	32
Slika 17. Vozni red vlaka 4053 nakon simulacije izvanredne situacije	32
Slika 18. Vozni red vlaka 4050 nakon simuliranja izvanredne situacije.....	33
Slika 19. Grafikon voznog reda simulacije prometa na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Karlovac uslijed kvara uređaja za osiguranje ŽCP-a	34
Slika 20. Vozni red vlaka 4102 nakon simuliranja izvanredne situacije.....	34
Slika 21. Vozni red vlaka 29003 nakon simulacije prometa uslijed pojave kvara na ŽCP-u ..	35

POPIS TABLICA

Tablica 1. Popis kolosijeka, njihova namjena i položaj za kolodvor Zagreb Glavni kolodvor..	5
Tablica 2. Popis signala i njihov položaj za kolodvor Hrvatski Leskovac.....	8
Tablica 3. Namjene i brojevi kolosijeka, te njihove korisne duljine za kolodvor Hrvatski Leskovac.....	9
Tablica 4. Popis signala i njihov položaj za kolodvor Horvati	10
Tablica 5. Brojevi kolosijeka, njihova namjena i korisne duljine za kolodvor Horvati.....	11
Tablica 6. Brojevi kolosijeka, njihova namjena i korisne duljine za kolodvor Zdenčina	12
Tablica 7. Brojevi kolosijeka, njihove namjene i korisne duljine za kolodvor Jastrebarsko ...	14
Tablica 8. Popis signala i njihov položaj za kolodvor Jastrebarsko	14
Tablica 9. Brojevi kolosijeka i korisne duljine za kolodvor Draganići.....	16
Tablica 10. Popis signala i njihov položaj za kolodvor Draganići.....	16
Tablica 11. Brojevi kolosijeka i korisne duljine za kolodvor Karlovac	19
Tablica 12. Popis signala i njihov položaj za kolodvor Karlovac	20