

# Prijedlog rješenja za unapređenje kapaciteta željezničke pruge opremljene ERTMS/ETCS sustavom razine 2

---

**Božičević, Andrija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*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:119:712591>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-19**



*Repository / Repozitorij:*

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



Zagreb, 31. siječnja 2020.

Zavod: **Zavod za željeznički promet**  
Predmet: **Telekomunikacije u željezničkom prometu**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 5495

Pristupnik: **Andrija Božičević (0135241936)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Željeznički promet**

Zadatak: **Prijedlog rješenja za unapređenje kapaciteta željezničke pruge opremljene ERTMS/ETCS sustavom razine 2**

### Opis zadatka:

U okviru ovog istraživanja potrebno je izraditi računalni model postojećeg stanja željezničkog sustava na relaciji Zagreb Glavni kolodvor - Dugo Selo i pomoću njega utvrditi parametre signalno-sigurnosnog sustava koji negativno utječu na kapacitet promatrane pruge. S obzirom na tako utvrđene parametre potrebno je modificirati izrađeni model postojećeg željezničkog sustava u pogledu resignalizacije i uvođenja Europskog sustava vođenja vlakova razine 2 u svrhu povećanja kapaciteta pruga te predložiti izmjene postojećeg voznog reda u pogledu uvođenja taktnog prometa prigradskih vlakova.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Hrvoje Haramina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Andrija Božičević

**PRIJEDLOG RJEŠENJA ZA UNAPREĐENJE KAPACITETA ŽELJEZNIČKE  
PRUGE OPREMLJENE ERTMS/ETCS SUSTAVOM RAZINE 2**

**DIPLOMSKI RAD**

Zagreb, rujan 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

**PRIJEDLOG RJEŠENJA ZA UNAPREĐENJE KAPACITETA ŽELJEZNIČKE  
PRUGE OPREMLJENE ERTMS/ETCS SUSTAVOM RAZINE 2**

***SOLUTION FOR CAPACITY IMPROVEMENT OF RAILWAY LINE EQUIPPED WITH  
ERTMS/ETCS LEVEL 2***

Predmet: Telekomunikacije u željezničkom prometu

Mentor: izv. prof. dr. sc. Hrvoje Haramina

Student: Andrija Božičević

JMBAG: 0135241936

Zagreb, rujan 2020.

## SAŽETAK

Grad Zagreb i njegova okolica čine takozvani „zagrebački prsten“ u kojem se odvija najveći željeznički putnički prijevoz u cijeloj Hrvatskoj. U taj dio željezničke mreže spada i dionica pruge Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo koja prema broju vlakova i prevezenim putnicima čini najznačajniju dionicu u odnosu na kompletan željeznički promet Republike Hrvatske. Na tom dijelu pruge jedan od problema je dionica Sesvete – Dugo Selo jer se kolodvor Sesvete smatra uskim grlom u vrijeme dnevnih vršnih opterećenja. Jedno od rješenja tog problema je uvođenje Europskog sustava vođenja vlakova razine 2 (ETCS – 2), to podrazumijeva opremanje vlakova i infrastrukture. Sa ovim sustavom olakšava se organizacija i odvijanje željezničkog prometa, unaprijeđuje se kapacitet pruge i smanjuje vrijeme zauzeća kolosijeka na prijemno – otpremnim kolosijecima. Ovaj sustav vođenja vlakove čini vozni red mnogo stabilnijim i daje veći prostor za korigiranje i reguliranje vlakova u slučaju izvanrednih situacija. Još jedno od rješenja za povećanje kapaciteta zadane pruge u ovom radu predložena je izrada novog taktnog voznog reda s preporučenim vremenskim razmakom između dva uzastopna vlaka od dvanaest minuta. Pri tome fokus je na prigradskim vlakovima kojih u vršnim opterećenjima na ovoj dionici ima najviše. Spomenute mjere i prijedlozi ispitani su na simulacijskom modelu u računalnom programu OpenTrack gdje se u stvarnom vremenu može simulirati željeznički promet s postojećim sustavom i voznim redom te usporediti s predloženim promjenama.

**KLJUČNE RIJEČI:** željeznički čvor Zagreb; pružna dionica Sesvete – Dugo Selo; kapacitet pruge; ETCS nivo 2; taktni vozni red; simulacijsko modeliranje

## SUMMARY

The city of Zagreb and its surroundings form the so-called "Zagreb ring" in which the most intensive railway passenger traffic in the whole of Croatia takes place. This part of the railway network also includes the section of the Zagreb Glavni kolodvor - Dugo Selo railway, which according to the number of trains and transported passengers is one of the most significant sections in relation to the complete railway traffic of the Republic of Croatia. On that part of the railway, one of the problems is the section Sesvete - Dugo Selo because the Sesvete station is considered a bottleneck during daily peak loads. One of the solutions to this problem is the introduction of the European Level 2 Train Control System (ETCS - 2), which

means the complete equipping of trains running on the observed section and infrastructure. This system facilitates the organization and development of railway traffic, improves the capacity of the railway and reduces the time of occupation of the tracks in the receiving - dispatching stations. This train control system makes the timetable much more stable and provides more space to correct and regulate trains in case of emergencies. Another solution to increase the capacity of the given line is the development of a new clock schedule with a recommended time interval between two consecutive trains of twelve minutes, the focus is on suburban trains which have the most in peak loads. The mentioned measures and proposals were tested in the computer package OpenTrack, where in real time the railway traffic can be simulated with the existing system and timetable and compared with the proposed changes.

**KEYWORDS:** railway node Zagreb; section Sesvete - Dugo Selo; railway line capacity; ETCS level 2; cyclic timetable; simulation modelling

# Sadržaj

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Europski sustavi za interoperabilnost i automatizaciju željezničkog sustava ERTMS i ETCS. 3</b>	<b>3</b>
<b>2.1. ERTMS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Način funkcioniranja ERTMS-a .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2.1. Prednosti ERTMS-a .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.2. Nedostaci ERTMS-a.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. ETCS .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Željeznička pruga Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Zagreb Glavni kolodvor .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2. Kolodvor Sesvete .....</b>	<b>10</b>
<b>3.3. Kolodvor Dugo Selo .....</b>	<b>11</b>
<b>4. Izrada računalnog modela pružne dionice Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1. Formiranje mreže i infrastrukture za zadanu dionicu pruge.....</b>	<b>13</b>
<b>4.2. Izrada voznih putova vlakova.....</b>	<b>18</b>
<b>4.3. Kreiranje vučnih vozila i baze vlakova .....</b>	<b>18</b>
<b>4.4. Izrada trasa vlakova te voznog reda .....</b>	<b>20</b>
<b>5. Analiza organizacije prometa i voznog parka pomoću simulacijskog modela .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1. Trenutno stanje voznog parka .....</b>	<b>22</b>
<b>5.2. Kretanje vlakova na dionici Zagreb GK – Dugo Selo.....</b>	<b>23</b>
<b>6. Prijedlog za unaprijeđenje kapaciteta na dionici pruge Sesvete – Dugo Selo.....</b>	<b>31</b>
<b>6.1. Takti vozni red .....</b>	<b>31</b>
<b>6.2. Dodavanje prigradskih vlakova .....</b>	<b>34</b>
<b>6.3. Uvođenje ETCS razine 2 .....</b>	<b>35</b>
<b>6.3.1. Kretanje vlakova bez sustava ETCS razine 2 .....</b>	<b>35</b>
<b>6.3.2. Kretanje vlakova nakon uvođenja ETCS razine 2.....</b>	<b>37</b>
<b>7. Zaključak .....</b>	<b>39</b>
<b>POPIS LITERATURE.....</b>	<b>40</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>42</b>

# 1. UVOD

U željezničkom čvoru grada Zagreba u koji spadaju pruge od regionalnog i međunarodnog značaja. Značajan je prigradski željeznički prijevoz putnika koji se proteže od grada Zagreba prema drugim okolnim gradovima. U vršnim opterećenjima radnim danom, a to je u jutarnjim satima od 6 do 9 sati i popodnevnim između 16 i 18 sati postoji najveća potražnja u prijevozu putnika. Upravo u tim vremenskim intervalima frekvencija vlakova bi trebala biti što veća što postavlja izazov s obzirom na postojeći kapacitet pruge. Posljednjih godina se mnogo ulaže u željeznički promet iz EU fondova i to je jedna prednost koja se treba iskoristiti za unaprijeđenje i modernizaciju značajnih dionica pruge. Svrha ovog diplomskog rada je dati prijedloge za unaprijeđenje kapaciteta željezničke pruge na dionici Sesvete – Dugo Selo, u prvom redu kroz uvođenje ETCS-a razine 2. Cilj ovog rada je izraditi model pružne dionice Sesvete – Dugo Selo u programu OpenTrack, te simulacijskom analizom ispitati predložene mjere kako bi se uvidjelo unaprijeđenje i kvaliteta organizacije prometa vlakova zadanom dionicom. Rad sadrži sedam cjelina:

1. Uvod
2. Europski sustavi za interoperabilnost i automatizaciju željezničkog sustava ERTMS i ETCS
3. Željeznička pruga Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo
4. Izrada računalnog modela pružne dionice Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo
5. Analiza organizacije prometa i voznog parka pomoću simulacijskog modela
6. Prijedlog za unaprijeđenje kapaciteta na dionici pruge Sesvete – Dugo Selo
7. Zaključak

U drugom poglavlju opisani su europski sustavi koji omogućavaju interoperabilnost i veću automatizaciju željezničkog prometa, a to su Europski sustav upravljanja željezničkim prometom (eng. European Rail Traffic Management System – ERTMS) i Europski sustav vođenja vlakova (eng. European Train Control System – ETCS). Objašnjene su glavne značajke svakog od sustava te na koji način djeluju na željeznički promet. Treće poglavlje obuhvaća dionicu pruge Zagreb Glavni Kolodvor – Dugo Selo sa infrastrukturne strane, nabrojana su sva službena mjesta na toj trasi, a detaljnije su opisani kolodvori Zagreb Glavni, Sesvete i Dugo Selo.



Četvrto poglavlje bazira se na izradu simulacije u računalnom paketu OpenTrack, potrebne podatke vezane za računalno modeliranje željezničke infrastrukture voznog parka, izradu voznih redov te je slikovno objašnjeno korištenje specijaliziranog računalnog programa za modeliranje i simulaciju željezničkog prometa.

Peto poglavlje sadrži analizu organizacije prometa i voznog parka na zadanoj pružnoj dionici pomoću izvođenja simulacijskih eksperimenata. Nakon unosa svih potrebnih podataka za pokretanje simulacije, rezultat je postojeći vozni red. Također, analizirana su dva vlaka, serije 6112 i 1142 te su uspoređene njihove brzine u ovisnosti o prijednom putu i potrošnja energije.

Šesto poglavlje obuhvaća analizu prijedloga za unaprijeđenje kapaciteta na promatranoj dionici, a to su uvođenje taktnog voznog reda, uvođenje novih vlakova kako bi se iskoristio maksimalni kapacitet pruge u zadanom vremenu i za kraj primjena ETCS razine 2 i usporedba kretanja vlakova, njihovih brzina i vremena putovanja sa i bez uporabe ETCS razine 2.

## **2. Europski sustavi za interoperabilnost i automatizaciju željezničkog sustava ERTMS i ETCS**

### **2.1. ERTMS**

Početak razmišljanja o stvaranju nekog univerzalnog sustava upravljanja koji će omogućiti jednostavnost željezničkog sustava u Europi bio je 1980. godine kada je UIC (eng. International Union of Railways) krenuo sa istraživanjem zajedno sa institucijom ERRI (eng. European Rail Research Institute). Do tog trenutka, željeznička mreža u Europi imala je ogromne razlike ovisno o državi i njenoj nacionalnoj željezničkoj mreži, a to su [1]:

- više od 20 različitih sustava zaštite vlakova
- različita nacionalna pravila o homologaciji
- različite upute i pravila za strojovođe
- pet različitih sustava elektrifikacije željeznica
- razlike u širini kolosijeka na glavnim prugama u graničnim državama (Španjolska, Rusija i dr.)

Usporedbe radi, međunarodni vlakovi poput Eurostara ili Thalys-a morali bi imati 6 do 8 različitih sustava zaštite vlakova.

### **2.2. Način funkcioniranja ERTMS-a**

ERTMS se sastoji od dva podsustava od kojih se jedan odnosi na prugu odnosno infrastrukturu dok se drugi odnosi na sami vlak, dakle i infrastruktura i vozilo moraju biti opremljeni ERTMS sustavom. Na taj način razmjenjuju se informacije između stanja na infrastrukturi i stanja u vozilu. Razmjena informacije omogućuje neprestano nadziranje maksimalne brzine dozvoljene na nekom dijelu pruge kao i sve potrebne informacije za strojovođu, a koje se odnose na rad sa kabinskom signalizacijom. [1]

### 2.2.1. Prednosti ERTMS-a

Glavne prednosti ERTMS-a su interoperabilnost, povećanje kapaciteta, sigurnost, pouzdanost i točnost. Prednosti klasificirane prema dionicama na koje bi direktno dijelovalo uvođenje ERTMS-a su [1]:

a) Prednosti za upravitelje infrastrukture

- povećanje sigurnosti: ERTMS ima visoku razinu sigurnosti u usporedbi s većinom postojećih nacionalnih ATP sustava. To se uglavnom postiže kontinuiranim utjecajem na vlak
- Veće brzine: ERTMS omogućuje radne brzine do 500 km/h
- Veći kapacitet pruge: ovisno o opremljenosti sustava, ERTMS-om se može postići smanjenje minimalnog razmaka između vlakova što omogućuje veći kapacitet pruga, što znači da željeznički sustav postaje sposoban za prijevoz većeg broja putnika ili robe.

b) Pogodnosti za željezničke prijevoznike

- Željeznički prijevoznici mogu na više prugama u europskoj mreži opremljenoj ERTMS-om sa samo jednim sustavom vođenja vlakova (ETCS)
- Jednostavniji i brži postupak certificiranja i odobrenja za ugrađenu opremu.

c) Prednosti za željeznički sektor

- ERTMS može učiniti željeznički sektor konkurentnijim. Tradicionalni nedostaci međunarodnog željezničkog prometa (npr. različita širina kolosijeka, različiti naponi napajanja vozila, različiti nacionalni sustavi vođenja vlakova itd.) otežavaju interoperabilnost željezničkog prometa između europskih država, a upravo je ERTMS namijenjen za olakšati prekogranični promet i interoperabilnost
- S aspekta razvoja europske industrije, ERTMS je europski otvoreni standard koji je promovirao europsku industriju željezničke opreme širom svijeta.

### **2.2.2. Nedostaci ERTMS-a**

Što se tiče nedostataka uvođenja ERTMS-a, najveći je problem financijske prirode, a to se odnosi na opremanje infrastrukture i vlakova što je vrlo skupo. Glavni problemi su [1]:

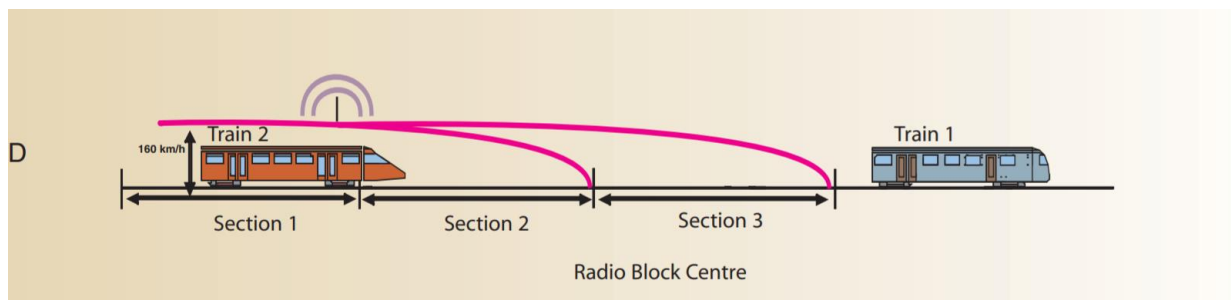
- Financijska sredstva koja mogu osigurati države članice nisu dovoljna, stoga doprinos EU ima važnu ulogu
- Europska industrija traži vrlo visoke troškove isporuke opreme i inženjeringa
- Previsoki su i marginalni troškovi tijekom raznih promjena unutar softvera
- Rijetko koji dobavljač uspije isporučiti svoje proizvode na vrijeme, što za željezničke prijevoznike i upravitelje infrastrukture znače dodatne troškove

### **2.3. ETCS**

Europski sustav vođenja vlakova (eng. European Train Control System) je sustav u željezničkom prometu koji ne omogućuje samo prijenos upravljačkih informacija vezanih za ograničenje brzine prema vlaku već također može kontinuirano nadzirati reakciju strojovođe na dane informacije i ograničenja. Ugrađeni sustav učinkovito uspoređuje brzinu vlaka s najvećom dopuštenom brzinom na određenoj dionici pruge te ukoliko strojovođa ne obrati pažnju na navedena ograničenja, sustav automatski upozorava, a nakon toga i preuzima kontrolu nad sustavom za kočenje, važna komponenta za prijenos informacija je standard za korištenje mobilnih komunikacija u željezničkom prometu GSM-R (eng. Global System for Mobile Communications for Railways). Sustav se bazira na GSM tehnologiji i jamči dostupnost čak i pri kretanju vozila do 500 km/h, bez gubitka komunikacije. Koristi se za prijenos podataka između vlakova i dispečerskih centara, koji imaju ETCS nivo 2 i 3. Trenutno postoje pet razina ETCS-a, a to su [1]

- ETCS razina
- ETCS ETM
- ETCS razina 1
- ETCS razina 2
- ETCS razina 3

Za prijenos upravljačkih informacija prema vlaku te informacija o stvarnom položaju i brzini vlaka od njega prema upravljačkom centru koristi se GSM-R, što je osnova za „ETCS razinu 2“ (ETCS-2). U ovom slučaju više nije potrebno imati signale na pruzi, što omogućuje znatne uštede kod održavanja. Unatoč tome pružni signali mogu i dalje biti postavljeni uz prugu u sklopu nacionalne signalizacije koju koriste drugi vlakovi koji nisu opremljeni sustavom ETCS L2. Detekcija zauzeća pružnih odsjeka provodi se putem izoliranih odsjeka ili brojača osovina. Vlak opremljen ETCS L2 može osim na pruzi opremljenoj s ETCS L2 voziti i na pruzi opremljenoj s ETCS – 1 ili na pruzi opremljenoj sa sustavom nacionalne signalizacije odnosno voženja vlakova kao ETCS L0. Na razini 2 (prikazano na slici 1.), ETCS vlak može primiti informaciju „Ovlaštenje za nastavak vožnje“ odnosno dopuštenje za kretanje u bilo koje vrijeme putem GSM-R sustava. Kako je prikazano na slici 1, čim vlak 1 uđe u prostorni blok 3, RBC (eng. Radio Block Centre) radio blok centar prima informaciju s uređaja za detekciju zauzeća pruge i odmah prenosi dozvolu za vožnju vlaku 2 kako bi on nastavio svoju vožnju do kraja prostornog bloka 3., npr. kod ETCS – 1 nove informacije neće biti primljene sve dok vlak 2 ne stigne do kraja prostornog bloka 2., čime je vozač obavezan regulirati brzinu tijekom cijelog bloka. Na ETCS razini 2 ove informacije su odmah dostupne što pridonosi većem kapacitetu i protočnosti prometa. [1]



Slika 1. ETCS razine 2

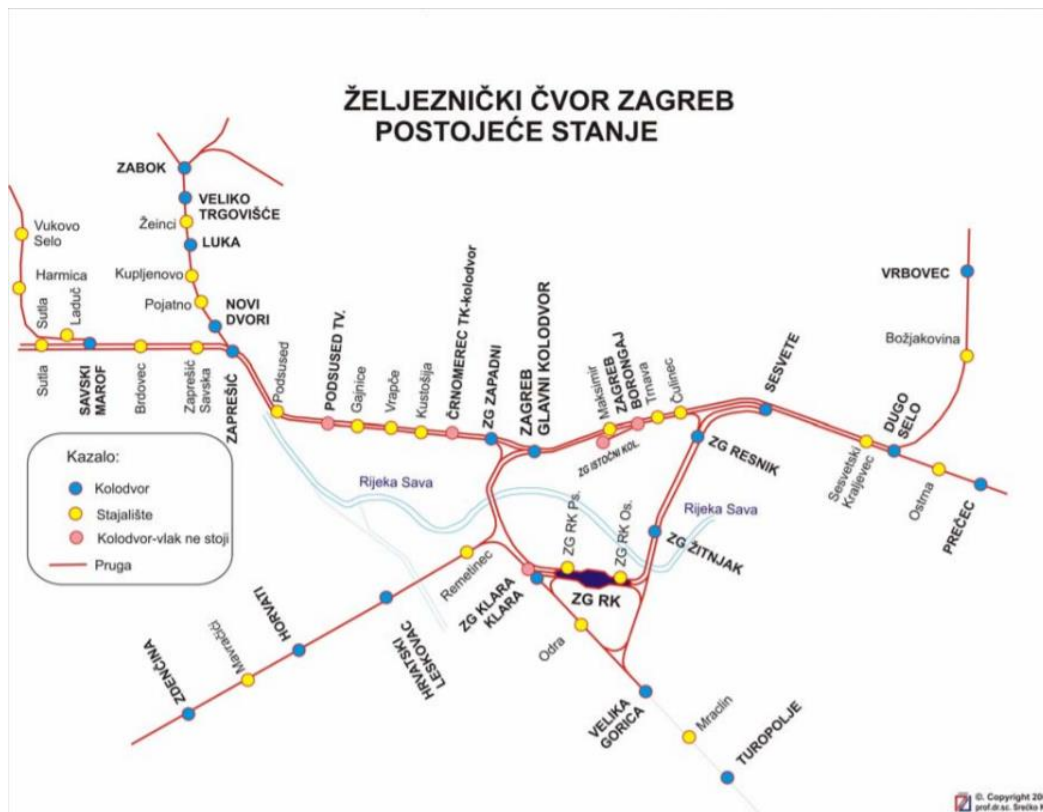
Izvor: [1]

### 3. Željeznička pruga Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo

Željeznička pruga Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo je dvokolosječna i elektrificirana pruga duljine 22 kilometra. Pruga je međunarodnog značaja stoga je njezina oznaka M102 i podjednako je dio koridora RH2 koja se proteže od Rijeke i prolazi kroz Zagreb prema Budimpešte te koridora RH1 koji je značajan dio željezničkog pravca koji se proteže od Salzburga preko Zagreba i Beograda do Soluna. Nalazi se u zagrebačkom željezničkom čvoru gdje se povezuje s drugim željezničkim prugama koje se također nalaze u sklopu ovog čvora. Početak pruge je Zagreb Glavni kolodvor koji je inače odvojni za pruge Savski Marof – Zagreb, Zagreb – Rijeka i Zagreb – Sisak. Nakon Glavnog kolodvora na rasputnici Čulinec odvaja se pruga Čulinec – Zagreb Resnik i u Dugom Selu pruge Dugo Selo – Novska i Dugo Selo – Botovo (slika 2). [2,18]

U doba Austro – Ugarske, Ugarske željeznice su prilikom izgradnje željezničke pruge Dugo Selo – Gyekenyes ujedno i izgradile željezničku prugu Zagreb – Dugo Selo, koja je za promet otvorena 1870. godine. Ovaj dio pruge je bio nastavak na prugu Rijeka – Zagreb koja je otvorena 1873. godine. te je služila prometu između Budimpešte i lučkog grada Rijeke. Elektrifikacija pruge dovršena je 1970. godine te je tada počeo električni pogon pomoću sustava 25 Kv 50Hz AC, a služila je kao poveznica između Beograda i Dobove preko Zagreb Glavnog kolodvora. [2,3]

Službena mjesta na spomenutoj dionici su kolodvori Zagreb Glavni kolodvor, Sesvete, Dugo Selo te stajališta Maksimir, Borongaj, Trnava, Čulinec i Sesvetski Kraljevec. U nastavku se opisuju osnovne karakteristike, kapaciteti i stanje navedenih službenih mjesta. Na slici 6. je prikazano postojeće stanje u željezničkom čvoru Zagreb.



Slika 2. Željeznički čvor Zagreb - Postojeće stanje

Izvor [2]

### 3.1. Zagreb Glavni kolodvor

Zagreb Glavni kolodvor predstavlja središnji željeznički čvor u pružnoj mreži republike Hrvatske, a osiguran je suvremenim elektroničkim signalno-sigurnosnim uređajem.

Granice kolodvorskog područja Zagreb GK čine:

- na glavnoj pruzi prema kolodvoru Zagreb Borongaj ulazni signal „G“ u km 425+791,38
- na spojnoj pruzi prema kolodvoru Zagreb Borongaj ulazni signal „H“ u km 425+791,38
- prema Zagreb Zapadnom kolodvoru ulazni signal „C“ u km 425+240,69
- prema kolodvoru Hrvatski Leskovac ulazni signal „B“ u km 425+297
- prema kolodvoru Zagreb Klara ulazni signal „A“ u km 423+603 [4]:

U Zagreb GK nalazi se više kolosiječnih skupina i to:

- kolosiječna skupina za prijem i otpremu vlakova za prijevoz putnika
- kolosijeci za prijem i otpremu teretnih vlakova
- kolosiječna skupina za gariranje putničkih garnitura
- kolosiječna skupina za gariranje i čišćenje putničkih garnitura
- skupina kolosijeka za izvlačenje garnitura i manevriranje
- ostali kolosijeci [4]

*Tablica 1 Kolosiječna skupina za prijem i otpremu vlakova za prijevoz putnika*

KOLOSIIJEK	NAMJENA
S-1	prijem i otprema vl. za prijevoz putnika
S-2 / S-2a	prijem i otprema vl. za prijevoz putnika
S-3 / S-3a	prijem i otprema vl. za prijevoz putnika
S-4 / S-4a	prijem i otprema vl. za prijevoz putnika
S-5 / S-5a	prijem i otprema vl. za prijevoz putnika
VD-1	prijem i otprema vl. za prijevoz putnika
VD-2	prijem i otprema vl. za prijevoz putnika
VD-3	prijem i otprema vl. za prijevoz putnika
VL-1	prijem i otprema vl. za prijevoz putnika

*Tablica 2 Kolosijeci za prijem i otpremu teretnih vlakova*

KOLOSIIJEK	NAMJENA
9	prijem i otprema teretnih i lokomotivskih vlakova, izvanredni prijem vlakova za prijevoz putnika
10	prijem i otprema teretnih i lokomotivskih vlakova, iznimno dopušteno gariranje



## 3.2. Kolodvor Sesvete

Kolodvor Sesvete (slika 3) je međukolodvor na pruzi Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo (M102), te ujedno i odvojni kolodvor na pruzi Sesvete – Sava Rasputnica (M401). [5]

Kolodvoru Sesvete podređeno je stajalište Sesevski Kraljevac, koje se nalazi u km 439+835, u kojem rad izvršava čuvar CP-a. U pogledu obavljanja transportno – komercijalnih poslova, kolodvor Sesvete otvoren je za [5]:

- prijem i otpremu putnika
- prijem i otpremu vagonskih pošiljaka, izuzev pošiljaka eksplozivnih materija i ostalih pošiljaka RID – a.

Kolodvor Sesvete nalazi se na pruzi:

- Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo; pruga M102
- Sesvete – (Velika Gorica) Sava Rasputnica; pruga M401

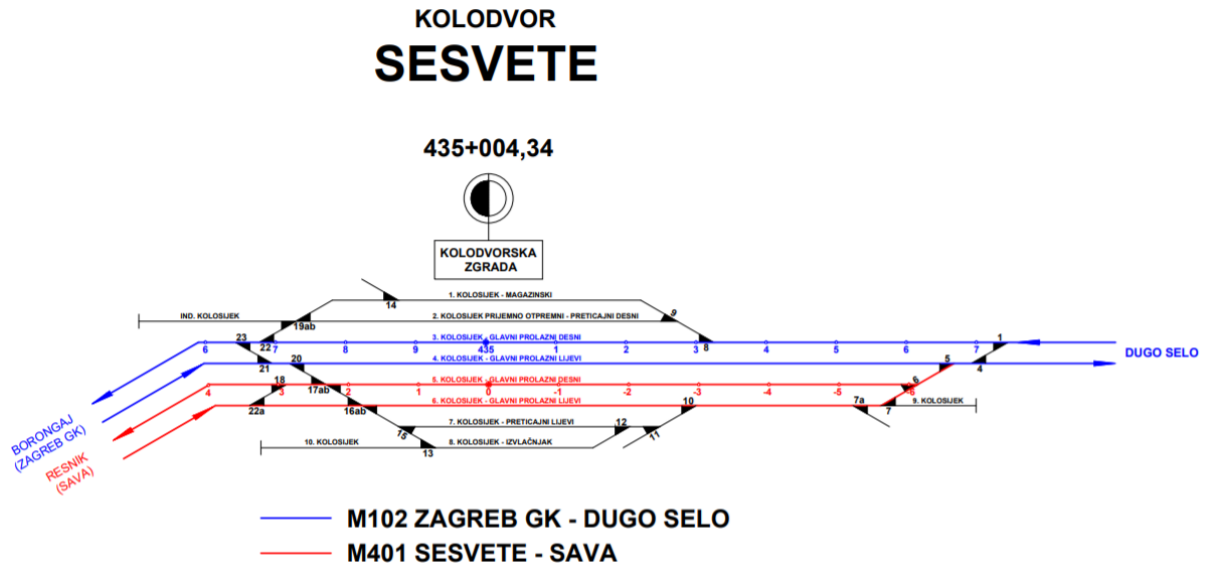
Kolosiječna mreža kolodvora Sesvete sastoji se od:

- pet glavnih prijemno – otpremnih kolosijeka i to 2, 3, 4, 5. i 6.
- glavni prolazni kolosijeci 3, 4, 5. i 6.
- sporedni kolosijeci 1, 7. i 8.
- ostali kolosijeci 9. i 10.

Kolodvor je osiguran elektro-relejnim signalno-sigurnosnim (SS) uređajem tipa „Integra – domino“, s blok postavnicom u prometnom uredu iz koje se centralno rukuje signalima, skretnicama, iskliznicama, uređajima za zaštitu cestovnih prijelaza na području kolodvora (B1 i B2), te cestovnim prijelazom „Sesevtska Selnica“ i uređajem za daljinsku kontrolu cestovnih prijelaza „Sesevtska Selnica“ i „Sopnička“. [5]

Skretnice na svim glavnim kolosijecima, koji služe za prijem i otpremu vlakova osigurane su i uključene u relejni SS uređaj, postavljaju se centralno iz prometnog ureda i pri formiranju putova vožnje u zavisnosti su s glavnim signalima. Međukolodvorski odsjeci prema kolodvorima Dugo Selo i Zagreb Borongaj, opremljeni su uređajima APB-a tipa „Integra – domino“, dok je međukolodvorski odsjek Sesvete – Zagreb Resnik opremljen uređajem APB-a tipa „Lorentz“. Kolodvor je osiguran ulaznim signalima s pripadajućim predsignalima, tj.,

prvi prostorni signal ispred ulaznog signala je ujedno i njegov predsigna. Kolodvor je također osiguran i izlaznim signalima. [5]



*Slika 3. Kolodvor Sesvete*

Izvor: [5]

### 3.3. Kolodvor Dugo Selo

U pogledu uloge u mreži HŽI-a, kolodvor Dugo selo je [6]:

- međukolodvor na magistralnoj pruzi M201/M102/M202 Botovo državna granica Koprivnica – Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka,
- odvojni kolodvor za magistralnu prugu M103 Dugo Selo – Novska, a nastavno za prugu M105 Novska – Tovarnik,

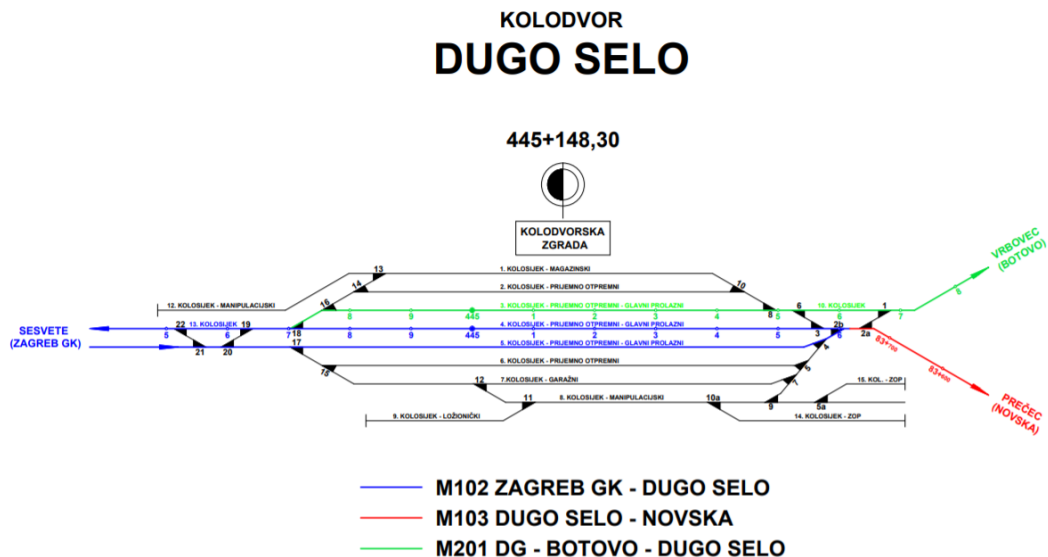
Što se tiče reguliranja prometa, kolodvor Dugo Selo je međukolodvor između rasporednih kolodvora Koprivnica – Zagreb GK (vlakovi za prijevoz putnika), Koprivnica – Zagreb Ranžirni kolodvor (za teretne vlakove) i između rasporednih kolodvora Zagreb GK (Zagreb RK) – Novska. [6]

Kolodvor je otvoren za prijem i otpremu putnika u unutarnjem i međunarodnom pograničnom prometu, te prijem i otpremu vagonskih pošiljaka u unutarnjem i međunarodnom prometu. Granice kolodvorskog područja u odnosu na otvorenu prugu jesu ulazni signali, i to [6]:

- ulazni signal „A“ (prema kolodvoru Prečec) u km. 82+330
- ulazni signal „B“ (prema kolodvoru Vrbovec) u km. 445+997
- ulazni signal „C“ (prema kolodvoru Sesvete) u km. 444+183

Kolodvorski kolosijeci (slika 4), kojih ukupno ima 16, dijele se na glavne (2, 3, 4, 5, 6, 7, 10. i 13.), dok su ostali sporedni i manipulativni kolosijeci (1, 8, 9, 11, 12, 14, 15. i 16.). Za prijem i otpremu vlakova koriste se 2, 3, 4, 5, 6. i 7. kolosijek, dok se kolosijeci 10. (produžetak trećeg kolosijeka od strane Koprivnice) i 13. (produžetak četvrtog kolosijeka u smjeru Zagreba) koriste za prolaz vlakova kod ulaza i izlaza, a kod manevriranja mogu poslužiti za obilazak lokomotive oko vagona. [6]

Kolodvor je osiguran elektro- relejnim signalno – sigurnosnim uređajem tipa „Integra – Domino“, s prilagodbom na „Lorentz“ (pruga Dugo Selo – Vrbovec), te svjetlosnim glavnim signalima s dvoznačnom signalizacijom. Međukolodvorski odsjeci prema kolodvoru Sesvete i ukrižju Prečec, opremljeni su uređajem APB-a tipa „Integra – Domino“ dok je međukolodvorski odsjek Dugo Selo – Vrbovec opremljen uređajem APB-a tipa „Iskra – Lorentz“. [6]



Slika 4. Kolodvor Dugo Selo

Izvor: [6]

## **4. Izrada računalnog modela pružne dionice Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo**

S ciljem unapređenja željezničkog prometa, svijet tehnike i tehnologije naglo je krenuo napredovati. Najveća pažnja je posvećena prema softverskim rješenjima za upravljanje i planiranje željezničkim prometom. Softveri takve prirode rade na principu simulacije koja pomaže detaljno organizirati prijevoz i izraditi vozni red, ujedno štede vrijeme i novac jer je planiranje željezničkog prometa tada vrlo jednostavno i brzo. Jedan od računalnih programa koji se istakao po svojoj kvaliteti je OpenTrack. [7]

Program OpenTrack je razvijen u projektu na Švicarskom federalnom institutu za tehnologiju s ciljem razvijanja posebnog programa koji će moći zadovoljiti korisnike u cijelom svijetu prema svim kriterijima, kao što su npr. razlike željezničkih sustava. OpenTrack je program za izradu mikro računalnih modela. Pod mikro računalnim modelima misli se na međusobno djelovanje elemenata vezanih uz željezničku infrastrukturu, vozne redove i vozila. Kako bi se program koristio, korisnik je dužan odrediti ulazne podatke i unesti ih u baze podataka samog programa. Ulazni podaci obuhvaćaju tri različita modula (modul za upravljanje voznim parkom, modul za izradu voznog reda te infrastrukturni modul). [8]

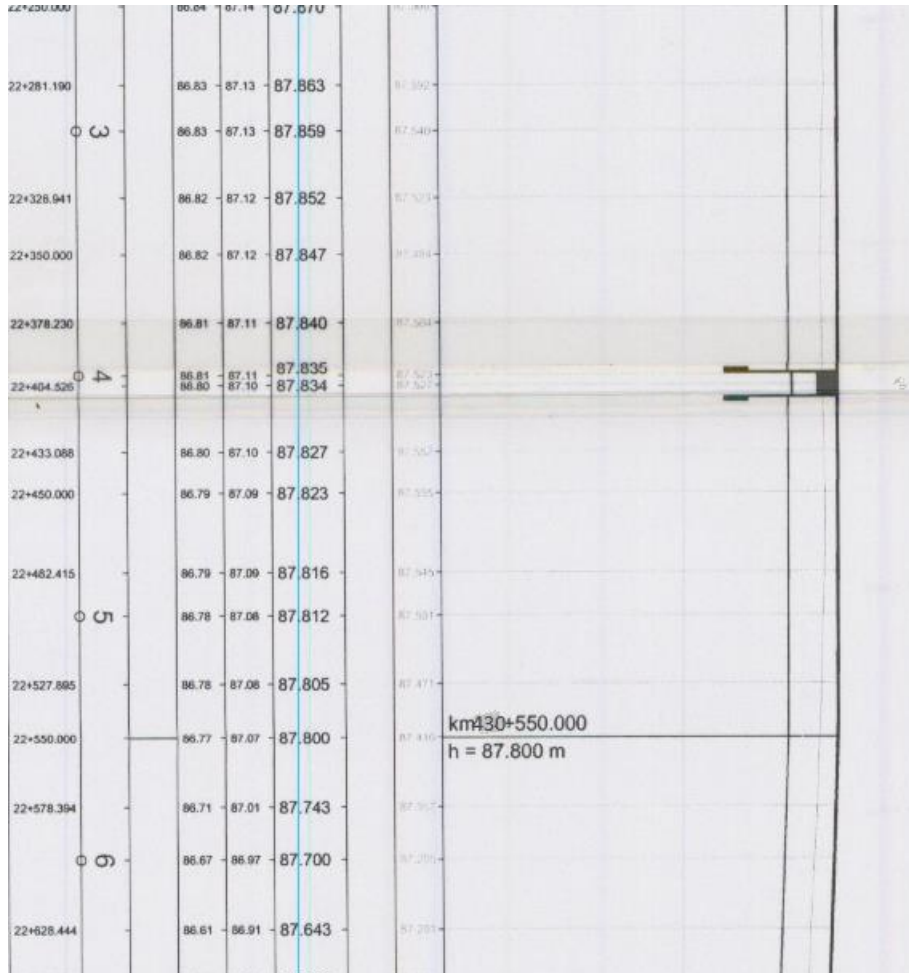
Nakon što korisnik definira sve ulazne podatke, program je spreman za izradu modela. Pod ulazne podatke podrazumijevaju se podaci o uzdužnom profilu pruga koju korisnik izrađuje, sustav osiguranja kolodvorskih područja te otvorene pruge, vozni park, vozni red kao i podaci koji su vezani za tehnološki proces kolodvora.

Rezultat simulacije je prikaz izlaznih podataka u obliku tablica i dijagrama različitih formata kao i omogućeni prikaz kretanja vlakova, putevi vožnje i iscrtavanje trasa u grafikonu voznog reda u stvarnom vremenu.

### **4.1. Formiranje mreže i infrastrukture za zadanu dionicu pruge**

Prvi korak u izradi modela je stvaranje infrastrukture određene dionice pruge sa stvarnim i detaljnim podacima. Podaci sadrže nagibe (uspone i padove pruge) i zavoje te položaj svakog glavnog signala (ulaznog, izlaznog i zaštitnog signala), željezničko – cestovne prijelaze u razini. Takvi podaci se nalaze na uzdužnom profilu pruge, na njemu su prikazani svi topografski uvjeti prema kojima je pruga građena, dakle bilo kakva promjena na pruži na bilo

kojem kilometru je navedena. Na slici 5 prikazan je isječak iz uzdužnog profila pruge M102 s podacima koji se koriste kao ulazni parametri za izradu željezničke infrastrukture. [17]



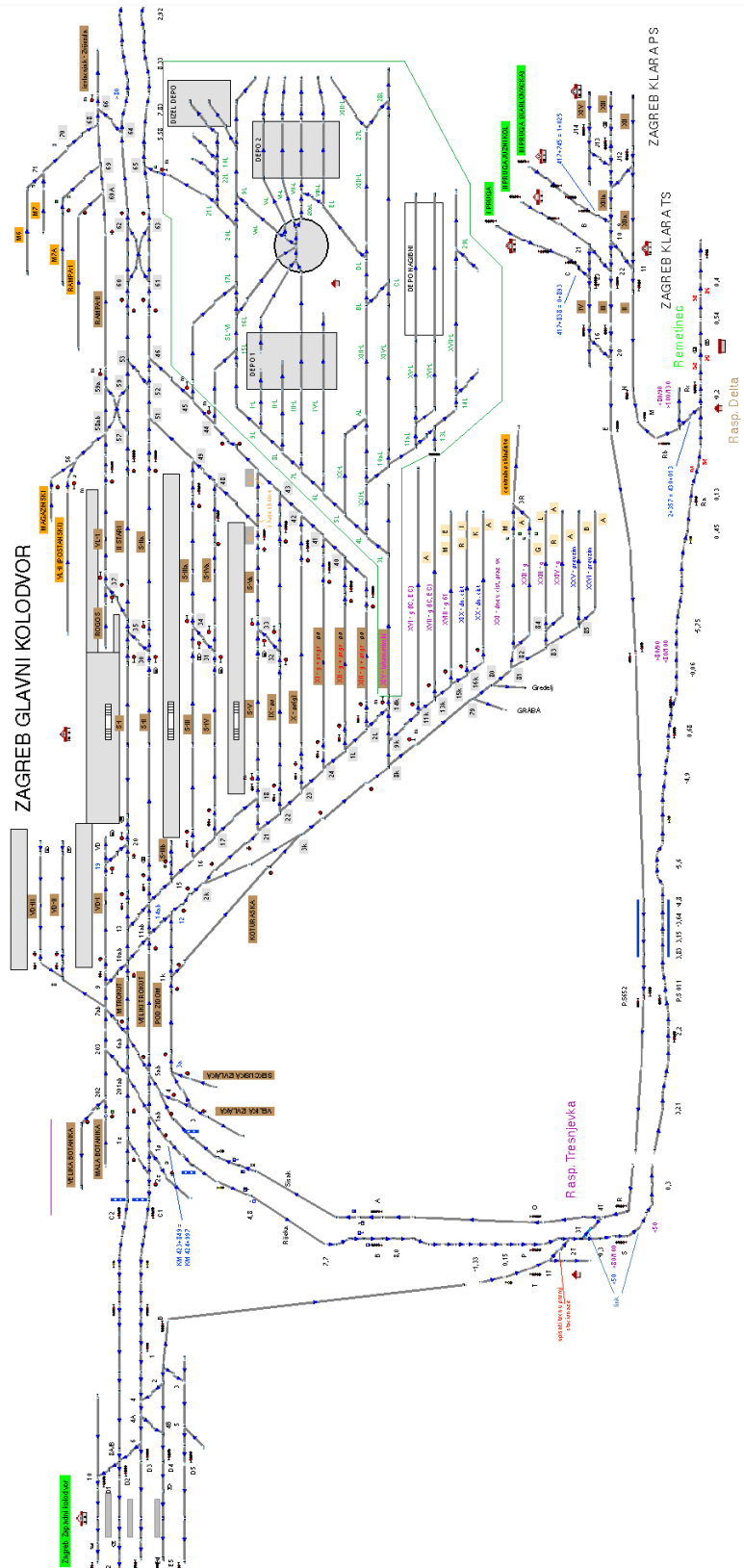
Slika 5. Isječak iz uzdužnog profila pruge M102 u km 430+550.000

Na svakom mjestu bilo kakve promjene na stvarnoj pruzi u modelu se postavlja *verteks*, odnosno čvor čije karakteristike (kilometarski položaj, naziv, itd.) korisnik može mijenjati u izborniku *Inspector – Vertex*. Spoj između dva verteksa (eng. *Edge*) predstavlja dio pruge čije su karakteristike (nagib, brzina, polumjer zakrivljenosti, itd.), a ono se definira u izborniku *Inspector – Edge*. [7]

Otvorena pruga omeđena je kolodvorskim područjima dva susjedna kolodvora. Kolodvorsko područje nekog kolodvora definirana se ulaznim signalima ili prvim ulaznim skretnicama sa svake strane kolodvora [7]. Svi podaci za izradu kolodvorskog područja nalaze

se u Poslovom redu kolodvora I. dio, on obuhvaća prihvatnu zgradu, signale, kolosijeke, perone, skretnice, međike.

Modeliranjem pruge M102 između Zagreb Glavnog Kolodvora i Dugog Sela dobiven je model u računalnom alatu *OpenTrack* sa svim infrastrukturnim parametrima. Zbog svoje kompleksnosti model je napravljen u dva dijela. Prvi dio je Zagreb Glavni Kolodvor dok je drugi dio dionica od izlaznog signala Zagreb Glavnog kolodvora do Dugog Sela koji su prikazani na slikama 6 i 7.



Slika 6. Prikaz modela mreže izradenog računalmim alatom OpenTrack I. dio





## 4.2. Izrada voznih putova vlakova

Nakon završetka kreiranja željezničke infrastrukture, dolazi se do dijela modeliranja u kojem se definiraju vozni putovi vlakova, ti putovi su definirani s tri razine [7]:

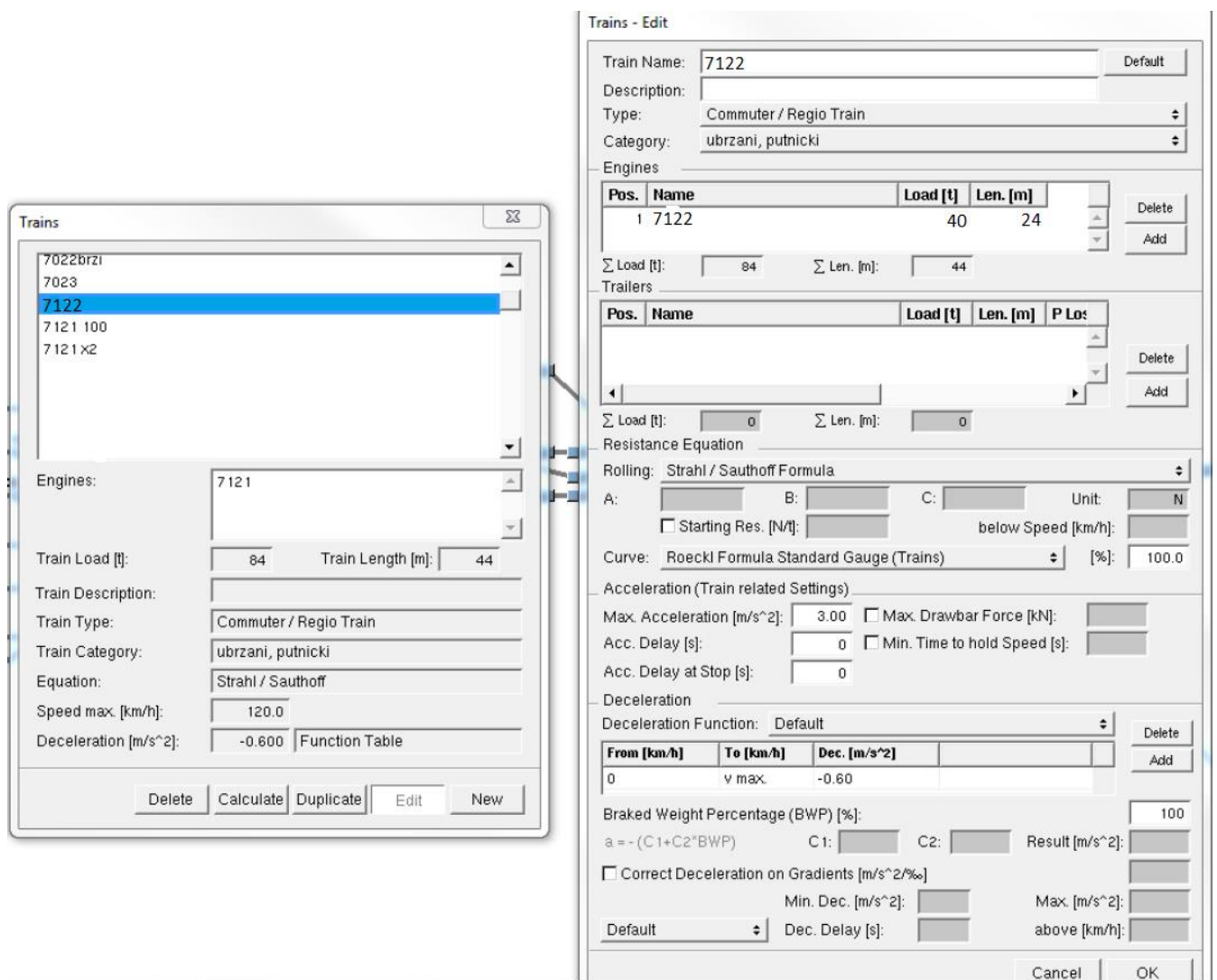
- a) put vožnje (eng. *route*) osnovna je razine, a vezan je uz glavni signal od kojeg započinje vožnja te može sadržavati put pretrčavanja odnosno predviđenu sigurnosnu rezervu za zaustavljanje vlaka ako se on ne zaustavi na vrijeme kod izlaznog signala (eng. *overlap*).
- b) skup putova vožnje (eng. *path*) čini jedan ili više uzastopnih putova vožnje istog smjera u jednom kolodvoru, na dijelu otvorene pruge ili između dva ili više kolodvora. Obično se definira od ulaznog do izlaznih signala u svakom pojedinom kolodvoru i od izlaznih signala nekog kolodvora do ulaznog signala susjednog kolodvora, a uređuje se u izborniku *Paths*.
- c) itinerar (eng. *itinerary*) je logički element najviše razine te predstavlja jedan ili više skupova putova vožnji kojima se opisuje cijeli put kojim prolazi vlak. U ovom slučaju oni ne moraju svi biti u istome smjeru kako bi se mogle simulirati i vožnje unatrag. Jedan vlak može imati više itinerara poredanih po prioritetima, pa u slučaju zauzeća određenog kolosijeka vlak može voziti alternativnim itinerarom.

## 4.3. Kreiranje vučnih vozila i baze vlakova

Nakon prethodno opisanog koraka može se pristupiti izradi vučnih vozila. Željezničke lokomotive i motorne garniture (eng. *engines*) nalaze se u posebnoj bazi podataka nazvanoj depo (eng. *depot*) u koju se mogu pohraniti modeli vučnih vozila unosom podataka koji opisuju njihove glavne značajke poput naziva vučnog vozila, njegove mase i duljine, maksimalne brzine, vučnog pasoša, sustava napajanja i dr. [7].

Za kreiranje različitih kompozicija vlakova koristi se izbornik *Trains*. Vlak može biti sastavljen od jednog ili više vučnih vozila i određenog broja vagona ili pak jedne ili više motornih garnitura. Osim imena, tipa i kategorije vlaka, unose se podaci o vrsti vučnog vozila, eventualno broju pridruženih vagona s podacima o masi, duljini, maksimalnoj brzini, potrošnji energije i dr, formule za izračun otpora kretanja vlaka te podaci vezani uz sustave ubrzanja i kočenja. Ako je potrebno, svaki sastav vlaka je moguće naknadno promijeniti opcijom *Edit* [7].

Na slici 9 može se vidjeti da označeni sastav vlaka broj 7121 u izborniku *Trains* čini jednodjelni dizel-hidraulični vlak, tzv. Šved, ukupne težine 40 t i duljine 24 m.

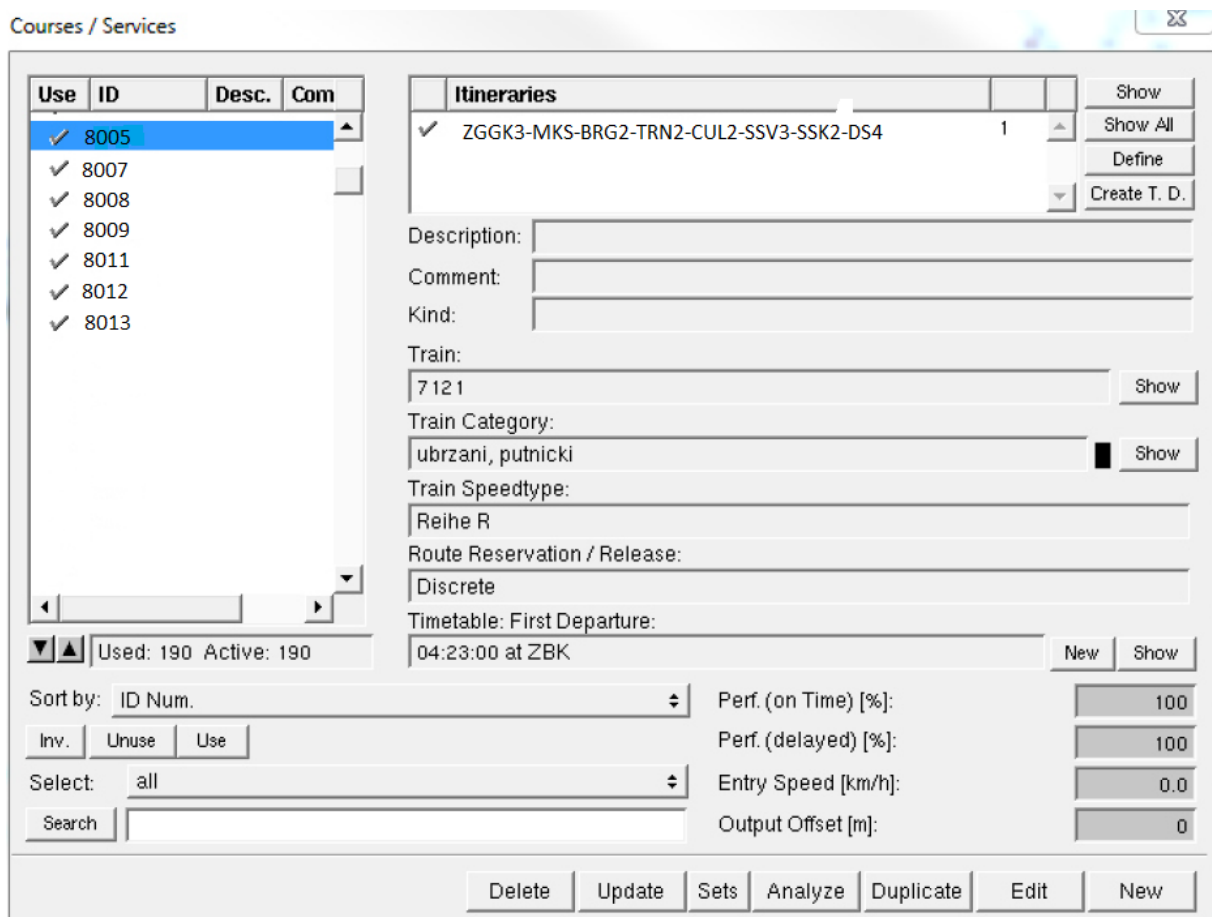


Slika 8. Izgled izbornika za kreiranje vlakova te prozor Edit za uređivanje sastava vlakova

Kao što je određeno i u stvarnosti, tako i tijekom simulacije u računalnom modelu *OpenTrack* program u ovisnosti o kategoriji vlaka, koja se određuje kroz izbornik *Train Category*, ako nije određeno drugačije, uvijek daje prioritet vlaku koji je višeg ranga u slučaju da dođe do poklapanja s vlakom nižeg ranga. Kako bi se lakše raspoznalo o kojem vlaku i rangu je riječ, svakom se dodjeljuje posebna boja prema kojoj se razlikuju rangovi.

## 4.4. Izrada trasa vlakova te voznog reda

U izborniku *Courses/Services*, prikazanom na slici 9, sadržani su svi sastavi vlakova koji su kreirani u simulacijskom modelu. Ovdje se definira jedinstveni broj ili oznaka trase vlaka, sastav i kategorija vlaka, odabire jedan ili više itinerara po kojima će odabrani sastav vlaka voziti te unose pripadajuća vremena dolaska i odlaska vlakova u odnosno iz pojedinih službenih mjesta. Moguće je i neki vlak isključiti iz simulacije dvostrukim klikom na kvačicu pored njegova broja ili oznake trase. Za naknadno uređivanje pojedinih parametara određene trase koristi se opcija *Edit* [7].



Slika 9. Izbornik *Courses/Services* za kreiranje trasa vlakova

Klikom na *Timetable* – „New“ otvara se izbornik za izradu voznog reda za svaki uneseni vlak na trasi prema Voznom redu za 2019./2020. godinu. Unose se pripadajuća vremena polazaka, dolazaka te odlazaka iz svakog pojedinog službenog mjesta, minimalno vrijeme zadržavanja vlaka u nekom kolodvoru itd. Slika 10 prikazuje izbornik za kreiranje voznog reda na primjeru trase 8007, gdje je vidljivo da putnički vlak, sastavljen od elektromotorne garniture serije 6112, polazi iz kolodvora Zagreb Glavni kolodvor u 5:58 sati, te se do određižnog kolodvora Dugo Selo u koji stiže u 6:22 sati, zaustavlja u svim službenim mjestima osim na stajalištu Zagreb Borongaj.

Ukoliko je vrijeme dolaska i polaska u voznom redu jednako, u simulaciji je definirano minimalno zadržavanje od 30 sekundi radi omogućavanja izmjena putnika.

Course ID	Station	Arrival	Departure	Dwell	Stop
8007	Zagreb Glavni Kolodvor	HH:MM:SS	5:58:00	0	✓
8007	Maksimir	6:03:00	6:03:00	30	✓
8007	Zagreb Borongaj		6:05:00		
8007	Trnava	6:06:00	6:07:00	60	✓
8007	Čulinec	6:08:00	6:08:00	30	✓
8007	Sesvete	6:12:00	6:13:00	60	✓
8007	Sesvetski Kraljevec	6:17:00	6:17:00	30	✓
8007	Dugo Selo	6:22:00		0	✓

Additional interface elements visible in the screenshot include: 'Add Rows', 'Ins. Rows', 'Del. Rows', 'Function: Add Stops', 'Dwell [s]: 60', 'Go', 'Show Conn. Course', 'Ins. Connection', 'Del. Connection', 'Show all Connections', 'Interval', 'Course ID: +2', 'Delta Time: 01:00:00', 'Actual Course ID: 8007', 'Ref. Course ID: 6112', 'Train: Reihe R', 'Train Speedtype: ubrzani, putnicki', 'Train Category: ubrzani, putnicki', and various display options like 'Show Operations', 'Show Stationnames', 'Show Stops only', 'Show Track Name', 'Show Day', 'Show act. Data', 'Show Delay Colors', 'Show Use Departure Time', 'Show Delta Load', 'Show Distribution Name', 'Show Mean Delay'.

Slika 10. Izbornik *Timetable* za izradu voznog reda trase 8007

Tijekom svake simulacije te na kraju, u izborniku *Timetable* postoji mogućnost usporedbe stvarnog i planiranog voznog vremena prema službenom voznom redu. Tako se može lako vidjeti određena odstupanja koja su izražena u raznim bojama: zelena označava vrijeme ranijeg dolaska vlaka, žuta označava kašnjenje do 60 sekundi te crvenom bojom se označava kašnjenje veće od 180 sekundi odnosu na stvarni vozni red.

## **5. Analiza organizacije prometa i voznog parka pomoću simulacijskog modela**

Nakon odrađenih svih koraka koji su prethodno opisani, tada se pristupa simuliranju vožnje unesenih vlakova pomoću izbornika *Simulation*. U ovom izborniku moguće je regulirati intenzitet simulacije, odrediti vrijeme početka simulacije kao i vrijeme kada će simulacija završiti, tijekom vožnje vlakova te pratiti različite parametre pomoću raznih poruka koje se pojavljuju tijekom simulacije. Moguće je prema volji korisnika uključiti ili isključiti prikaz vlaka na mreži tijekom simulacije, a to se odnosi na podatke vezane uz broj vlaka, vremena kašnjenja, veličine prikaza vlaka na mreži itd.

Krajnji rezultat simulacije kretanja vlakova na izrađenom računalnom modelu mreže je grafikon voznog reda za neki određeni vremenski interval. Grafikon je sastavljen od prostorne osi koja sadrži sva službena mjesta na simuliranoj dionici pruge, vremenske osi koja je definirana vremenskim intervalom trajanja simulacije te trase vlakova koji prometuju tom dionicom. Osim grafikona voznog reda, program *OpenTrack* korisniku omogućuje izradu dijagrama i grafikona za vlakove za prijevoz putnika i teretne vlakove za njihovo kretanje, potrošnju pogonske energije, iskorištenje snage te još mnogo parametara koji mogu poslužiti za što kvalitetniju analizu izvedbe pojedinih sastava vlakova na različitim dionicama na kojima se kreću. [7]

### **5.1. Trenutno stanje voznog parka**

HŽ Putnički prijevoz jedini je željeznički operater koji pruža uslugu prijevoza putnika u Hrvatskoj, a zakonodavnim prijedlozima tzv. „četvrtog željezničkog paketa“ definirano je da će tako ostati barem do prosinca 2019. godine te da će nakon toga stranim prijevoznicima biti omogućen pristup ugovorima o pružanju javnih usluga na domaćem tržištu radi poboljšanja kvalitete i učinkovitosti nacionalnih usluga prijevoza putnika kao preduvjeta stvaranju jedinstvenog europskog željezničkog prostora. [9] Tijekom 2020. godine još nije donesena odluka od puštanju stranih prijevoznika na nacionalno tržište no takva odluka se očekuje u skorije vrijeme.

Postojeće stanje obilježeno je velikim udjelom zastarjelog voznog parka, prosječne starosti iznad 30 godina. Sa starošću dolaze i razni kvarovi vučnih sredstava (pogotovo u zimskom razdoblju) te održavanje postaje teže i skuplje [10,11]. S pogonskom nepouzdanosti

direktno se utječe na stabilnost planiranog voznog reda jer dolazi do odstupanja od planiranih vremena vožnji vlakova. Pored toga, premali prijevozni kapacitet pojedinih vozila je jedna od posljedica zastarjelosti vozila i voznog parka, takvo stanje definitivno ne odgovara potrebama svakodnevnih korisnika u zagrebačkom gradsko – prigradskom i regionalnom prijevozu.

Europska komisija 18.3.2020. godine odobrila je sufinanciranje obnove voznog parka HŽ Putničkog prijevoza sa 21 novim elektromotornim vlakom u iznosu od 119,3 milijuna eura. Putnički prijevoz će ovim projektom modernizirati svoj vozni park s 21 novim elektromotornim vlakom (11 gradsko-prigradskih i 10 regionalnih) koji će putnicima pružiti veću udobnost, smanjiti vrijeme putovanja, osigurati veći kapacitet i pouzdaniji prijevoz te na taj način poboljšati konkurentnost pruženih putničkih usluga.

Cilj ovog projekta je poboljšanje regionalne povezanosti i mobilnosti radi boljeg pristupa tržištu rada i uslugama u većim gradskim centrima. Osim toga, projekt je usmjeren i na osiguranje učinkovitijeg i konkurentnijeg željezničkog putničkog prijevoza koji će doprinijeti održivosti prometnog sustava u Republici Hrvatskoj.[12]

U nastavku će biti prikazana analiza grafikona voznog reda za period jutarnjeg vršnog opterećenja te grafikona ovisnosti brzine vožnje o prijađenom putu i utrošene energije za nekoliko različitih sastava vlakova na dionici Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo. Na grafikonu voznog reda plavom bojom prikazani su vlakovi za prijevoz putnika, a crvenom teretni vlakovi.

## **5.2. Kretanje vlakova na dionici Zagreb GK – Dugo Selo**

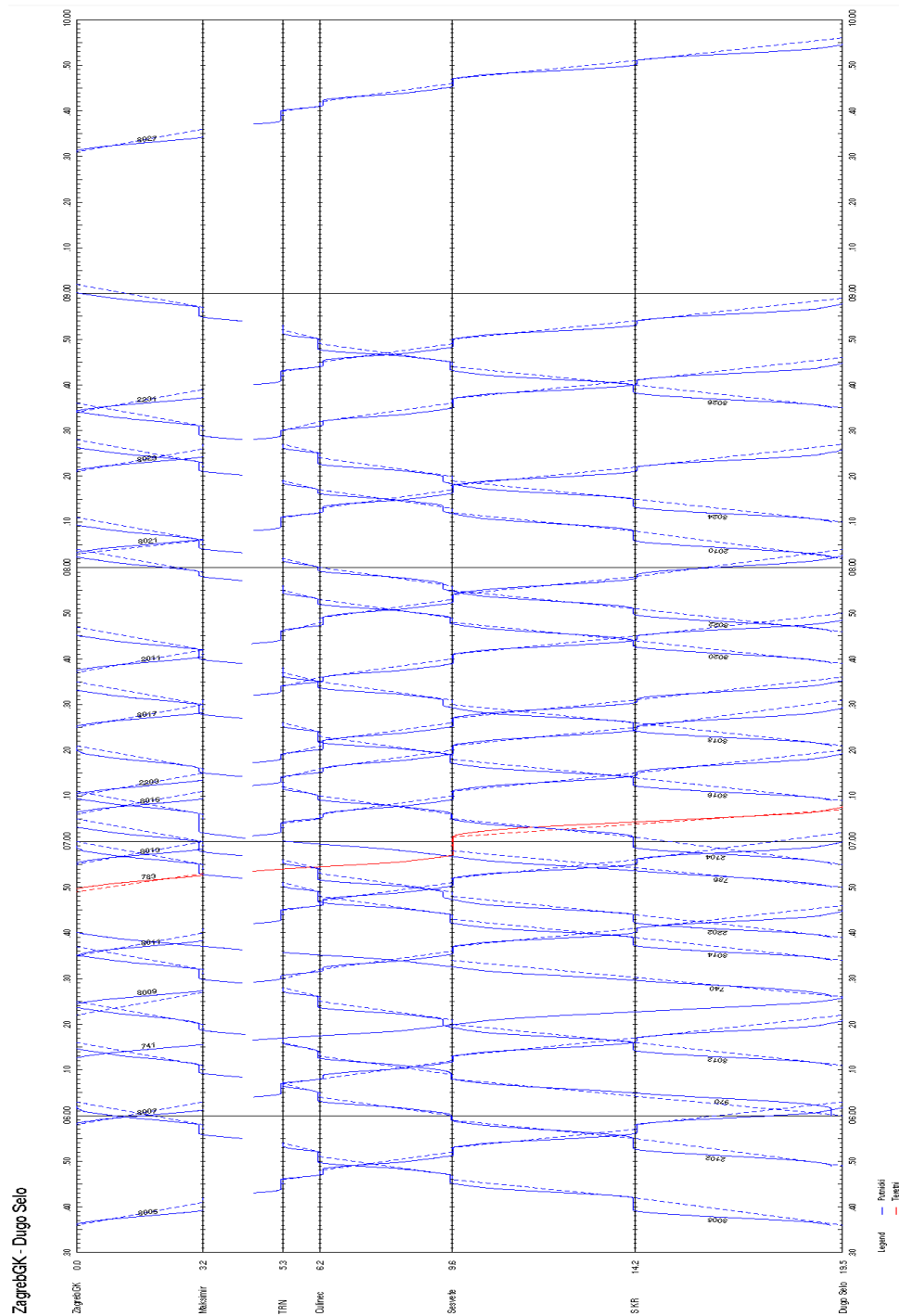
Vozni red 2019./2020. poprilično je dobro usklađen sa svakodnevnim potrebama lokalnog stanovništva koje najčešće putuje na posao ili zbog višeg obrazovanja u veće gradove, što se može vidjeti na dionici Zagreb – Dugo Selo gdje je intenzitet i kretanje stanovništva prilično velik. U voznom redu za 2019./2020. godinu u intervalu jutarnjeg vršnog opterećenja između 6:00 i 9:00 sati uvršteni su vlakovi koji prometuju na dionici Harmica – Dugo Selo, to su sve vlakovi za prijevoz putnika koji se zaustavljaju na svakom službenom mjestu, a na samoj sredini te dionice nalazi se Zagreb Glavni kolodvor u kojem se dešava najveća izmjena putnika bilo da se radi o vlaku koji ide iz smjera Harmice ili Dugog Sela. [13, 14]

Radnim danom u intervalu između 6:00 i 9:00 sati iz smjera Zagreba prema Dugom Selu prometuje trinaest vlakova za prijevoz putnika od kojih tri nastavljaju vožnju prema Koprivnici i dva brza koji nastavljaju vožnju dalje prema Osijeku. Brzim vlakom postiže se najkraće vrijeme putovanja na promatranoj dionici od 17 minuta jer vlak vozi izravno iz Zagreb Glavnog kolodvora u kolodvor Dugo Selo dok je vrijeme putovanja putničkim vlakom 27 minuta. Vikendom, broj vlakova se smanjuje tako da subotom vozi deset vlakova, a nedjeljom sedam.[13,14]

U suprotnom smjeru od Dugog Sela do Zagreba prometuje četrnaest vlakova za prijevoz putnika od kojih pet vlakova se pokreće u Koprivnici te voze preko Dugog Sela prema Zagrebu, jedan ubrzani te dva brza vlaka koji dolaze iz smjera Osijeka te se zaustavljaju u kolodvoru Dugo Selo odakle voze izravno prema Zagrebu. Isto tako, vikendom se broj vlakova smanjuje što znači da subotom prometuju jedanaest vlakova, a nedjeljom osam. Teretnog prijevoza u vršnom opterećenju nema jer bi to utjecalo na stabilnost voznog reda odnosno prigradskog prijevoza. [13,15]

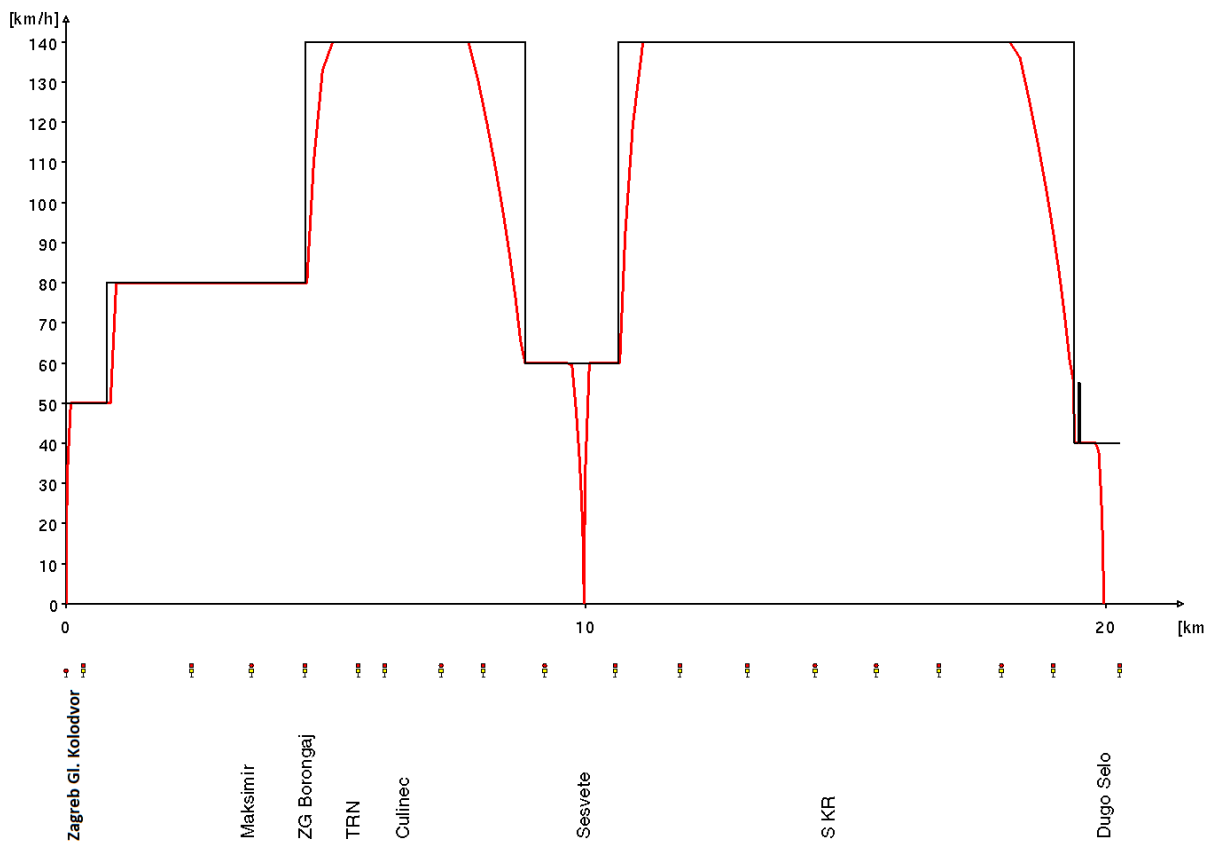
Dnevno na prugama od Savskog Marofa do Dugog Sela vozi oko četiristo prigradskih, regionalnih, međunarodnih putničkih vlakova te teretnih vlakova, u grafikonu voznog reda dobivenog simulacijom nalaze se samo vlakovi koji prometuju u intervalu vršnog opterećenja od 6:00 do 9:00 sati prugom M102. Time je ostvarena lakša analiza i pregled za buduće prijedloge promjena i poboljšanja trenutne situacije na tom dijelu pruge. [14, 15]

Grafikon voznog reda za dionicu Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo dobiven simulacijom za radni dan u periodu od 6 do 9 sati nalazi se na slici 11. Vidljivo je da na toj dionici vremenska razlika između vlakova varira od 15 do 20 minuta te koliko u odnosu na tu razliku može prometovati vlakova u tom periodu.





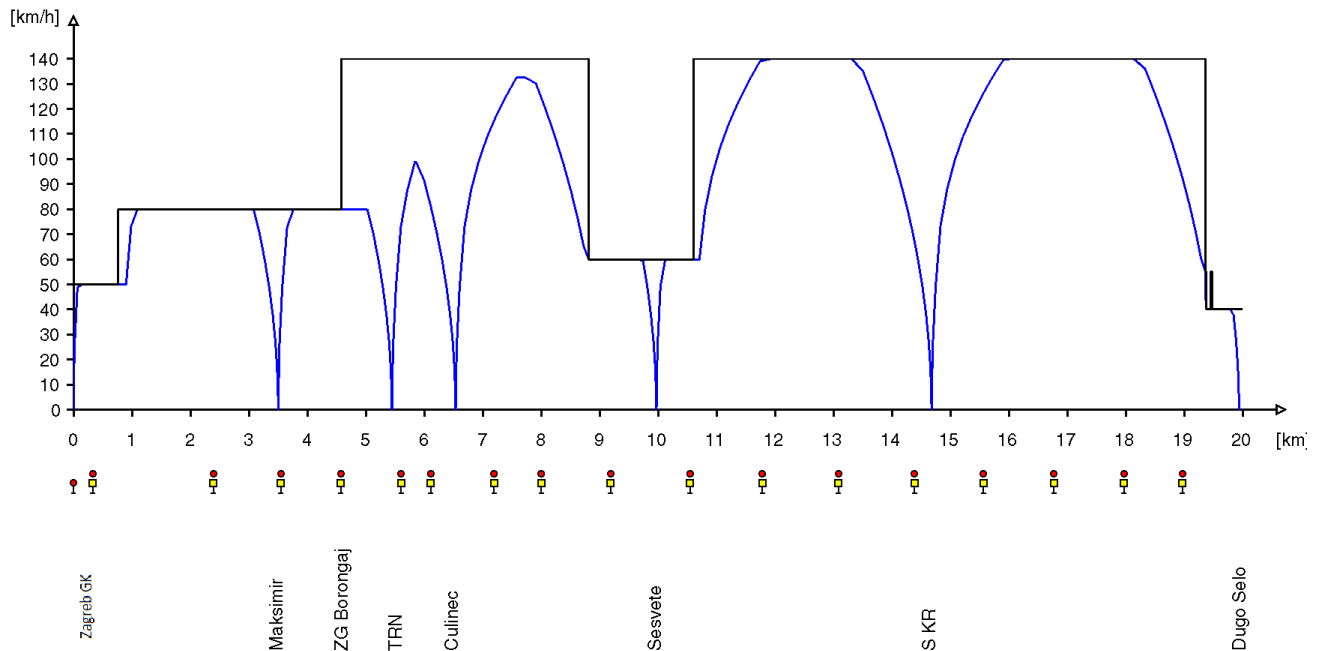
Na slikama 13, 14 i 15 prikazana je ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu od Zagreb GK do Dugog Sela za tri različita vlaka za prijevoz putnika u čijem su sastavu spomenuta željeznička vozila. Na slici 12. vidljivo je da nakon napuštanja kolodvorskog područja sastav kojeg pokreće električna lokomotiva 1142 maksimalnu brzinu od 140 km/h postiže poslije prolaza Zagreb Borongaj te se na toj brzini zadržava sljedeća tri i pol kilometra da bi nakon toga brzina bila smanjena na 60 km/h zbog ulaska u kolodvorsko područje Sesvete. Prolaskom kolodvor Sesvete ubrzava u kratkom roku na maksimalnu brzinu i njom se kreće do zadnjeg predsignala prije kolodvora Dugo Selo.



Slika 12. Grafikon ovisnosti brzine vožnje o prijeđenom putu serijom 1142 za relaciju Zagreb GK – Dugo Selo

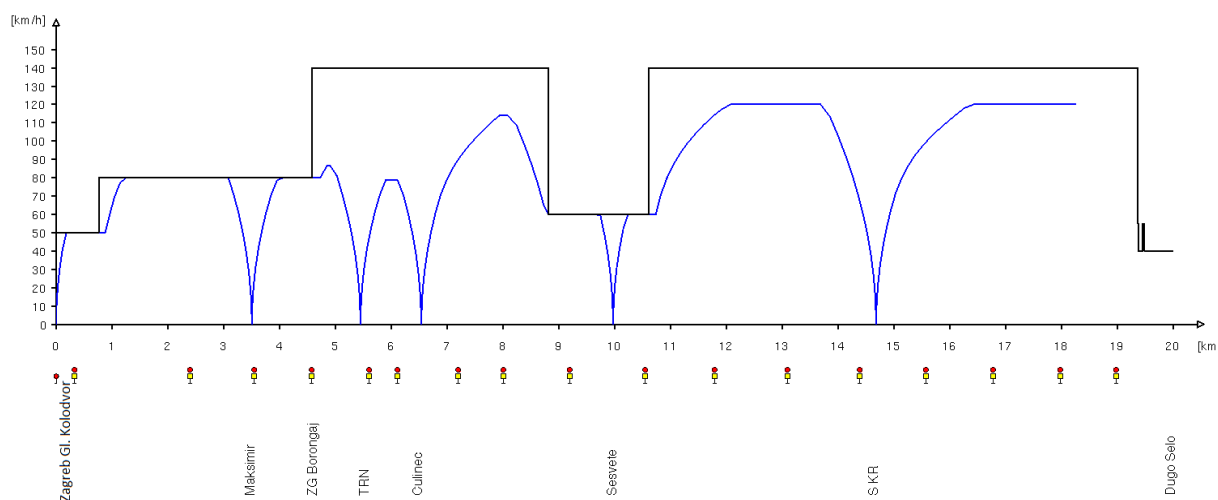
Na slici 13. prikazana je ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za seriju niskopodnog elektromotornog vlaka namjenjenog za gradsko – prigradski promet. Vidljivo je da nakon napuštanja kolodvorskog područja Zagreb GK brzina ne prelazi 80 km/h zbog ograničenja na pruzi. Nakon prolaska stajališta Čulinec brzina se diže u jednom trenutku na 140 km/h, no zbog brzog nailaska na kolodvor Sesvete usporava. Odlaskom iz kolodvorskog područja Sesvete

postiže se maksimalna brzina na toj dionici od 140 km/h, maksimalna brzina postiže se također i između stajališta Sesvetski Kraljevec i kolodvora Dugo Selo.



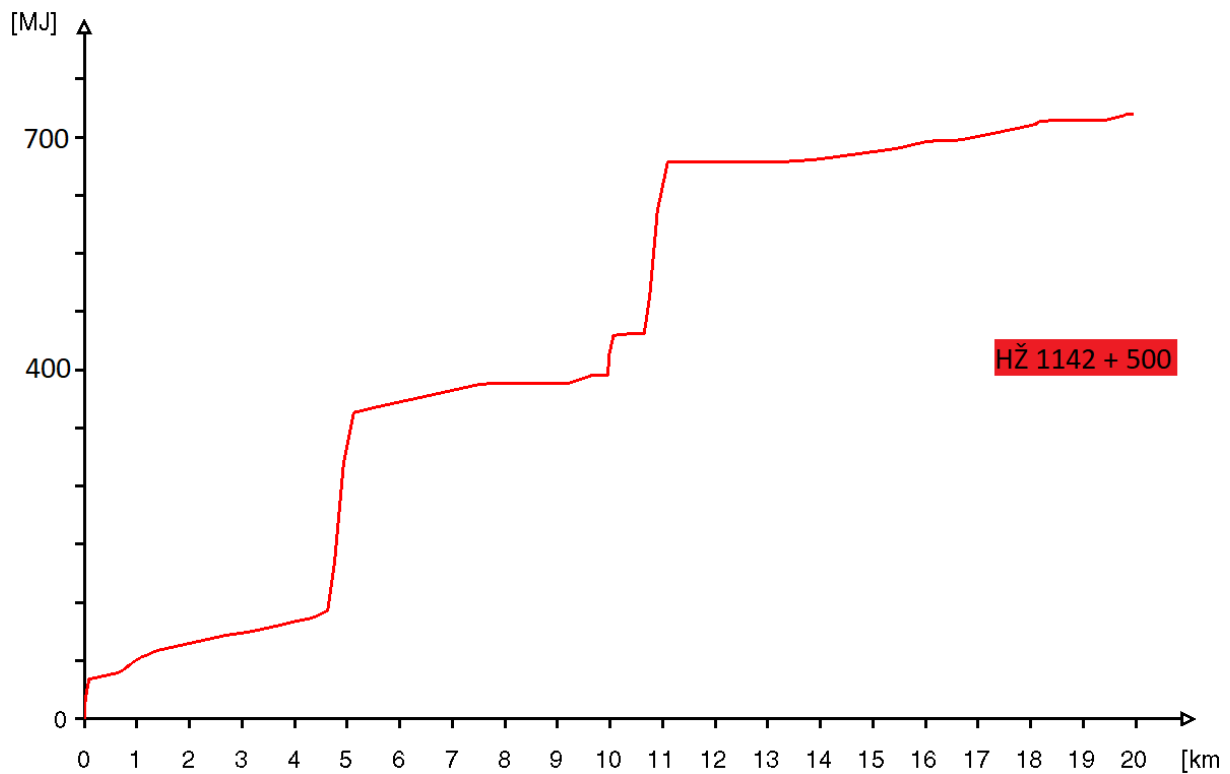
Slika 13. Grafikon ovisnosti brzine o prijeđenom putu za seriju 6112

Na slici 14. prikazan je grafikon brzine koju postiže serija elektromotornog vlaka 6111 (nadimak Mađar). Vidljiva je razlika u ubrzanju u odnosu na spomenutu seriju 6112, gdje promatranom sastavu treba više vremena za postizanje maksimalne brzine kojom može prometovati iako je ona 120 km/h što je manje od najveće dopuštene brzine na promatranjoj dionici pruge.



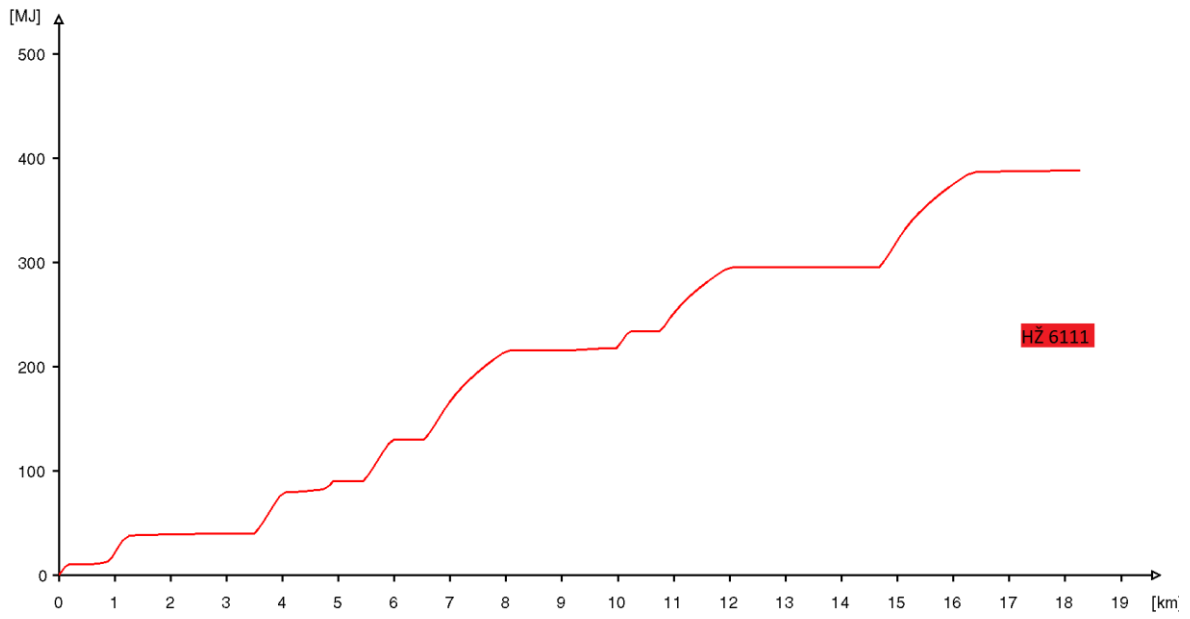
Slika 14. Grafikon ovisnosti brzine o prijeđenom putu za seriju 6111

Na sljedećim slikama biti će prikazani grafikoni ovisnosti potrošnje energije izraženi u megadžulima [MJ] o prijeđenom putu između Zagreb GK i kolodvora Dugo Selo za iste putničke vlakove kao na prethodnim grafikonima. Prijedena udaljenost je jednaka za svaki vlak, a ona iznosi 20 km, ali brzi vlak najveće ukupne mase 500 t s lokomotivom serije HŽ 1142, ima približno dvostruko veću potrošnju energije za otprilike jednaki kapacitet putnika u odnosu na druga dva elektromotorna vlaka serije HŽ 6111 i HŽ 6112. Na slici 15 vidljivo je da potrošnja energije za vlak koji je sastavljen od električne lokomotive serije HŽ 1142 iznosi 750 [MJ], može se vidjeti da potrošnja energije ovisi i o broju stajališta na dionici odnosno u ovom slučaju kolodvora pošto se radi o brzom vlaku, pa se tako nakon svakog stajanja potrošnja energije drastično povećava dok na otvorenoj pruzi ona bude konstantna.

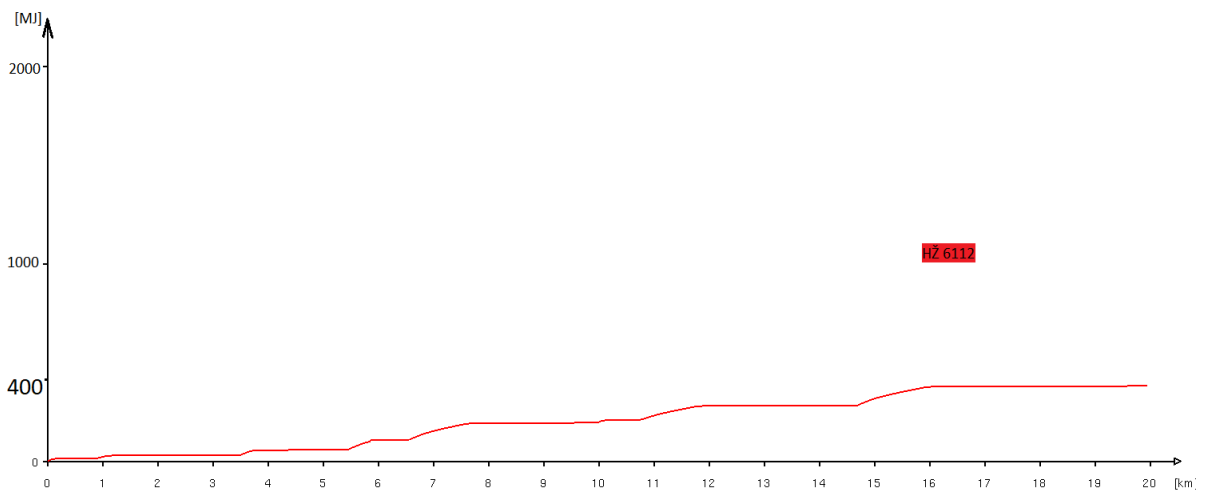


Slika 15. Grafikon potrošnje energije vlaka sastavljenog od električne lokomotive serije HŽ 1142

Na slikama 16. i 17. na kojima su prikazani putnički elektromotorni vlakovi serije HŽ 6111 i HŽ 6112 može se uočiti da u odnosu na brzi vlak kojeg smo prethodno promatrali oni zbog većeg broja stajališta imaju puno više naglih povećanja potrošnje energije prilikom svakog ubrzanja nakon stajanja. S obzirom da je najveća ukupna masa ova dva elektromotorna vlaka uvelike manja od sastava s električnom lokomotivom, ta učestala nagla ubrzavanja nemaju bitnu ulogu. Potrošnja energije za oba elektromotorna vlaka na dionici Zagreb GK – Dugo Selo iznosi približno 400 [MJ] što je skoro pa dvostruko manje od prethodno promatranog sastava sa električnom lokomotivom serije HŽ 1142.



Slika 16. Grafikon potrošnje energije putničkog vlaka serije HŽ 6111



Slika 17. Grafikon potrošnje energije putničkog vlaka serije HŽ 6112

## **6. Prijedlog za unaprijeđenje kapaciteta na dionici pruge Sesvete – Dugo Selo**

U prethodnom opisivanju stanja na željezničkom čvoru Zagreb Glavnog kolodvora fokus je bio na dionici Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo jer na toj relaciji nema putničkih i prigradskih vlakova koji se kreću samo na dionici Sesvete – Dugo Selo. Stoga je prikazano stanje na širem dijelu kako bi se moglo vidjeti kakvi sve problemi postoje i koje su mogućnosti za rješenje tih problema. Može se vidjeti da ima prostora za unapređenje ponude za prijevoz putnika dodavanjem novih trasa prigradskih vlakova kroz povećanje kapaciteta željezničke pruge na dva načina, a to su:

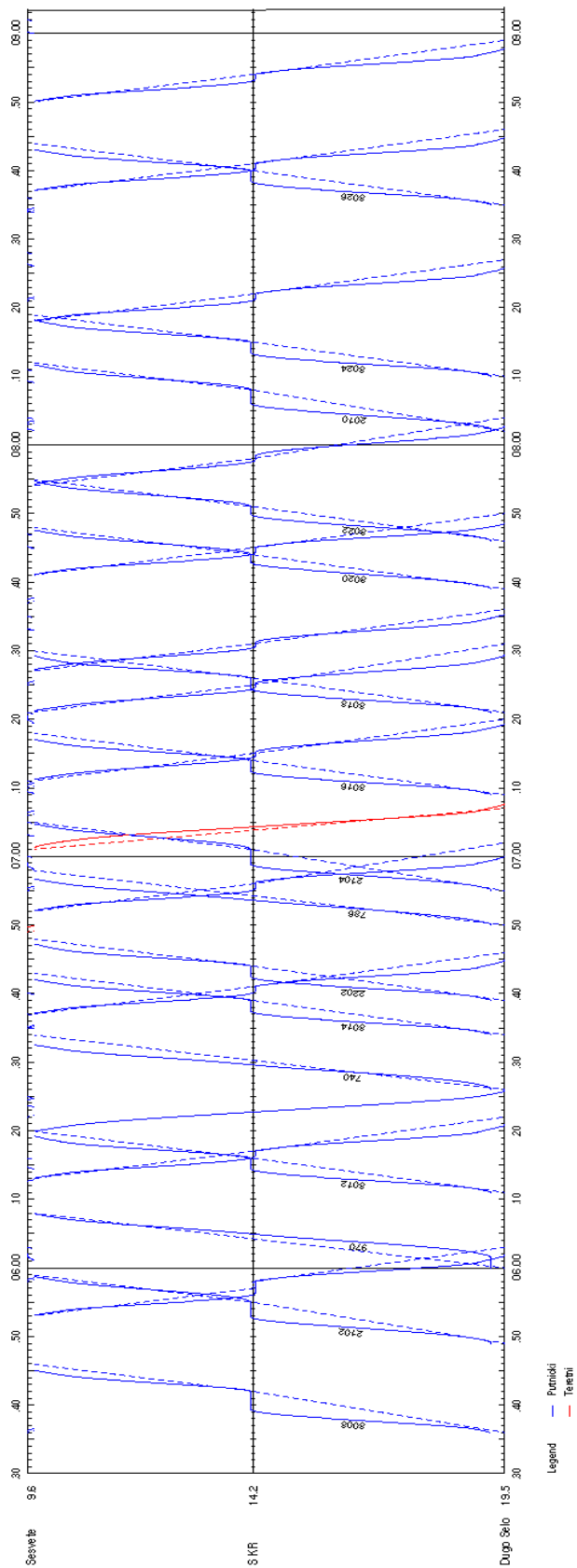
- Izrada taktnog voznog reda vlakova za prijevoz putnika
- Uvođenje ETCS-a razine 2

### **6.1. Taktni vozni red**

Kod integriranog prijevoza putnika često se koriste taktni vozni redovi s točno određenim vremenom polaska/dolaska. Taktni vozni red je vrsta voznog reda koji ima polaske sa svakog stajališta u točno određenim vremenskim intervalima (npr. svakih 5, 10, 15, 20, 30 minuta). Takt ovisi o potražnji za uslugom prijevoza putnika koja između ostalog ovisi o naseljenosti urbane sredine, dobu dana, održavanju raznoraznih manifestacija koje privlače veliki broj stanovništva i dr. [16]

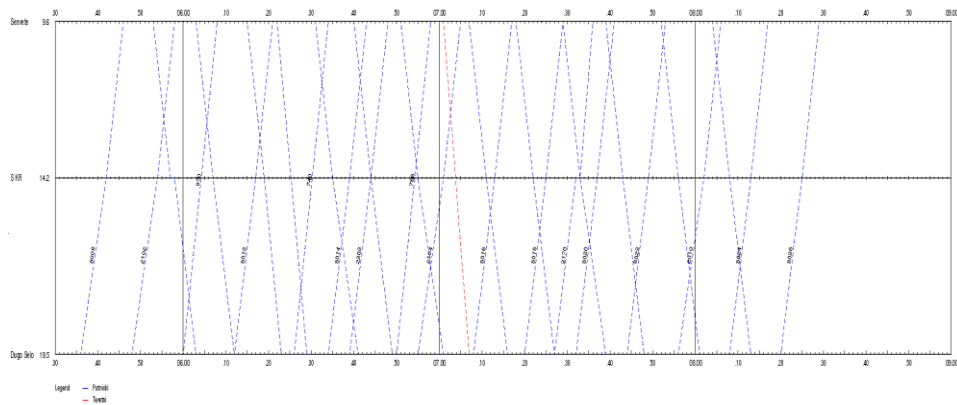
Prvi prijedlog za unaprijeđenje kapaciteta na dionici pruge Sesvete – Dugo Selo je upravo uvođenje taktnog voznog reda. Postojeći vozni red je kvalitetno izrađen i analiziran no i dalje postoje mogućnosti za njegovo poboljšanje.

Na slici 18. prikazano stanje postojećeg voznog reda na relaciji Sesvete – Dugo Selo. Vidljivo je da je interval slijeđenja između svaka dva uzastopna vlaka različit, na nekom dijelu je taj interval 12 minuta dok je na drugom 25 minuta, što putnicima ne olakšava planiranje putovanja. Važno je istaknuti kako se taktni vozni red izrađuje s ciljem da se korisniku skрати vrijeme zadržavanja na stajalištu te isto tako kako bi bez žurbe stigao prijeći s jednog oblika prijevoza na drugi. Ovaj prijedlog se odnosi prvenstveno na unaprijeđenje i povećanje kapaciteta i protočnosti željezničke pruge, no pridonosi i boljim uvjetima za same putnike.

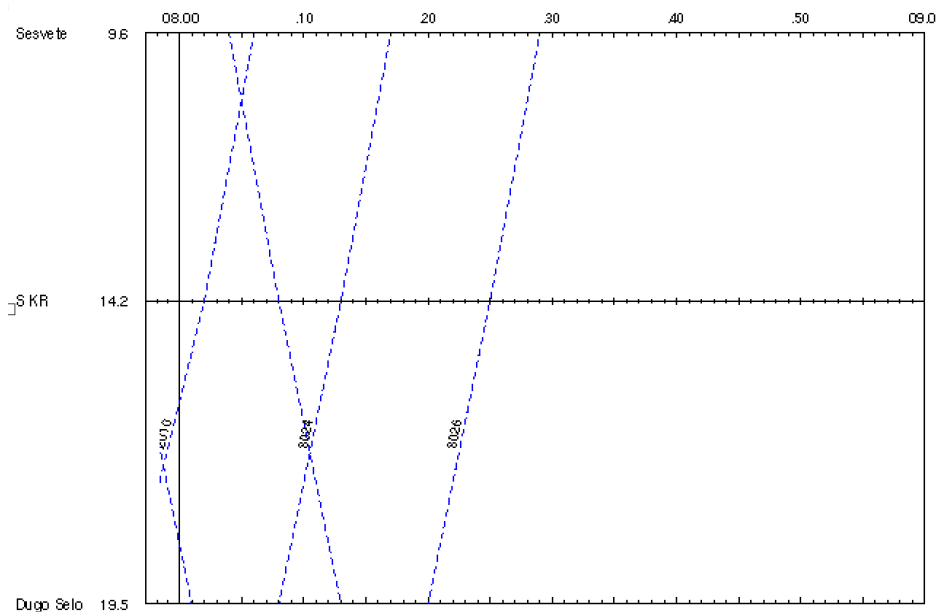


Slika 18. Postojeći vozni red na dionici pruge Sesvete – Dugo Selo

Izradom taktnog voznog reda s vremenskim razmakom između dva uzastopna vlaka od 12 minuta u intervalu vršnog opterećenja radnim danom od 6 do 9 sati došlo je do vidljivih promjena. U dijagramu na slici 19. je vidljivo da se uvođenjem taktnog voznog reda iz smjera Sesveta prema kolodvoru Dugo Selo uštedjelo 40 minuta što u postocima iznosi 22% vremena od ukupnog intervala. Ovakva promjena otvara nove opcije i široki izbor mogućnosti. Ovisno o potrebama moguće je uvođenje prigradskih, regionalnih i teretnih vlakova kojima je najvažnije vrijeme koje mogu iskoristiti za prolaz između dva kolodvora.



Slika 19. Izrada taktnog voznog reda pomoću postojećeg voznog reda 19./20.

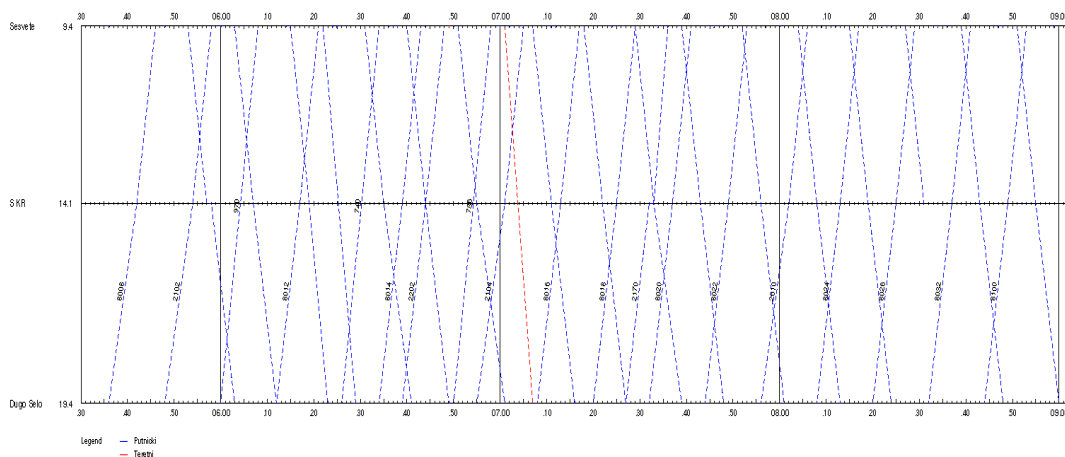


Slika 20. Pogled na dobiveno vrijeme izradom taktnog voznog reda s prethodnog dijagrama

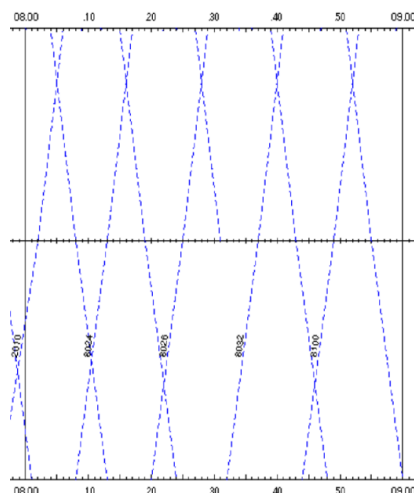


## 6.2. Dodavanje prigradskih vlakova

Rezultat novog taktnog voznog reda je dobiveno vrijeme u kojem željeznička pruga od Seseveta prema Dugom Selu nije zauzeta. Vidljivo je da je posljednji vlak iz smjera kolodvora Seseveta krenu u 8 sati i 4 minute i stigao u Dugo Selo u 8sati i 13 minuta. S obzirom da je iz smjera Dugog Sela prema Sesevetama potreban veći broj vlakova u jutarnjim satima zbog uobičajenih dnevnih migranata poslije izrade taktnog voznog reda iz smjera Dugog Sela prema Sesevetama zadnji vlak krenuo je u 8:20h i u Sesevete stigao u 8:29h. Vremenski interval od 8:13h do 9h je iskorišten za uvođenje novih prigradskih vlakova serije 6112. Uvedena su 4 nova vlaka iz smjera kolodvora Seseveta prema kolodvoru Dugo Selo u vremenskom razmaku od 12 minuta dok je iz smjera Dugo Selo – Sesevete dodano 2 nova vlaka. U dijagramu na slici 21. se može vidjeti kompletirani vozni red sa svim promjenama.



Slika 21. Izgled voznog reda poslije dodavanja novih vlakova



Slika 22. Pogled na vremenski interval u koji su dodani novi vlakovi

## 6.3. Uvođenje ETCS razine 2

S obzirom na mogućnost simuliranja vlakova u specijaliziranom programu *OpenTrack* analizirano je ponašanje vlakova odnosno njihovo kretanje zadanom trasom, a to je u ovom slučaju dionica Sesvete – Dugo Selo na kojoj ne postoji sustav vođenja vlakova koji podrazumijeva primjenu kabinske signalizacije poput ETCS-a razine 2 te je taj rezultat uspoređen s vožnjom vlakova koji su podržani spomenutim sustavom. Naravno, to se odnosi na cjelokupno opremanje infrastrukture zadanim sustavom kao i vlakova koji u ovom trenutku nisu opremljeni ETCS-om razine 2. U analizi je korišten jedan prigradski vlak serije 6112 i jedan teretni vlak mase 1500 tona kojeg pokreće lokomotiva serije 1142.

### 6.3.1. Kretanje vlakova bez sustava ETCS razine 2

Na slici 24. prikazan je vozni red teretnog vlaka koji iz kolodvora Sesvete kreće u 6:59h prolazi stajalište Sesvetski Kraljevac u 7:03:35h i u kolodvor Dugo Selo dolazi u 7:07:45h. Ovaj vlak je uveden ispred prigradskog koji iz kolodvora Sesvete kreće jednu minutu nakon njega odnosno u 7:00h. Na slici 25. prikazan je vozni red prigradskog vlaka, planirano vrijeme odlaska iz kolodvora Sesvete i planirani dolazak u kolodvor Dugo Selo.

The screenshot shows the 'Timetable' window in OpenTrack. The main table displays the following schedule:

Course ID	Station	Track	Arrival	Departure	Use	Dwell	Stop	Delta Load	Distr.	M. Del.	
ETCS_TER	Sesvete		HH:MM:SS	06:59:00	06:59:00	✓	0	+	0.000	0	
ETCS_TER	SKR		HH:MM:SS	07:03:35	07:03:35	✓	0	-	0.000	0	
ETCS_TER	Dugo Selo		07:07:50	07:07:45	HH:MM:SS	HH:MM:SS	✓	0	✓	0.000	0

Below the table, there are several control panels:

- 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, 48 Courses 354 Entries
- Interval:** Course ID: +2, Delta Time: 01:00:00
- Actual Course ID:** ETCS\_TERET
- Ref. Course ID:** (empty)
- Train:** HZ 1142 + 500
- Train Speedtype:** Reihe R
- Train Category:** Teretni
- Checkboxes:** Show Operations, Show Stationnames, Show Stops only, Show Track Name, Show Day, Show act. Data, Show Delay Colors, Show Use Departure Time, Show Delta Load, Show Distribution Name, Show Mean Delay.
- Buttons:** Create (1 Courses), Delete, Sync., Update, Save DB, Add, Move, Start, Sort, Show All, Show

Slika 23. Vozni red za teretni vlak serije 1142

Course ID	Station	Track	Arrival	Departure	Use	Dwell	Stop	Delta Load	Distr.	M. Del.
ETCS_PRC	Sesvete		HH:MM:SS	07:00:00	07:01:45	✓	0	0.000		0
ETCS_PRC S KR			07:04:00	07:05:15	07:05:00	07:06:15	✓	60	✓	0.000
ETCS_PRC	Dugo Selo		07:10:00	07:11:00	HH:MM:SS	HH:MM:SS	✓	0	✓	0.000

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

Interval	Actual Course ID
48 Courses 354 Entries	ETCS_PRC

Course ID: + 2	Actual Course ID: ETCS_PRC
Delta Time: + 01:00:00	Ref. Course ID:
<input type="checkbox"/> Keep Interval References	Train: HZ 6112
<input checked="" type="checkbox"/> Keep Interval Ref. for Delays	Train Speedtype: Reihe A
<input type="checkbox"/> Keep Interval Ref. for Conn.	Train Category: Putnicki
<input checked="" type="checkbox"/> Update Courses / Services	
Create 1 Courses	

<input checked="" type="checkbox"/> Show Operations	<input checked="" type="checkbox"/> Show Day	<input checked="" type="checkbox"/> Show Use Departure Time
<input checked="" type="checkbox"/> Show Stationnames	<input checked="" type="checkbox"/> Show act. Data Adjust	<input checked="" type="checkbox"/> Show Delta Load
<input type="checkbox"/> Show Stops only	<input checked="" type="checkbox"/> Show Delay Colors	<input checked="" type="checkbox"/> Show Distribution Name
<input checked="" type="checkbox"/> Show Track Name		<input checked="" type="checkbox"/> Show Mean Delay

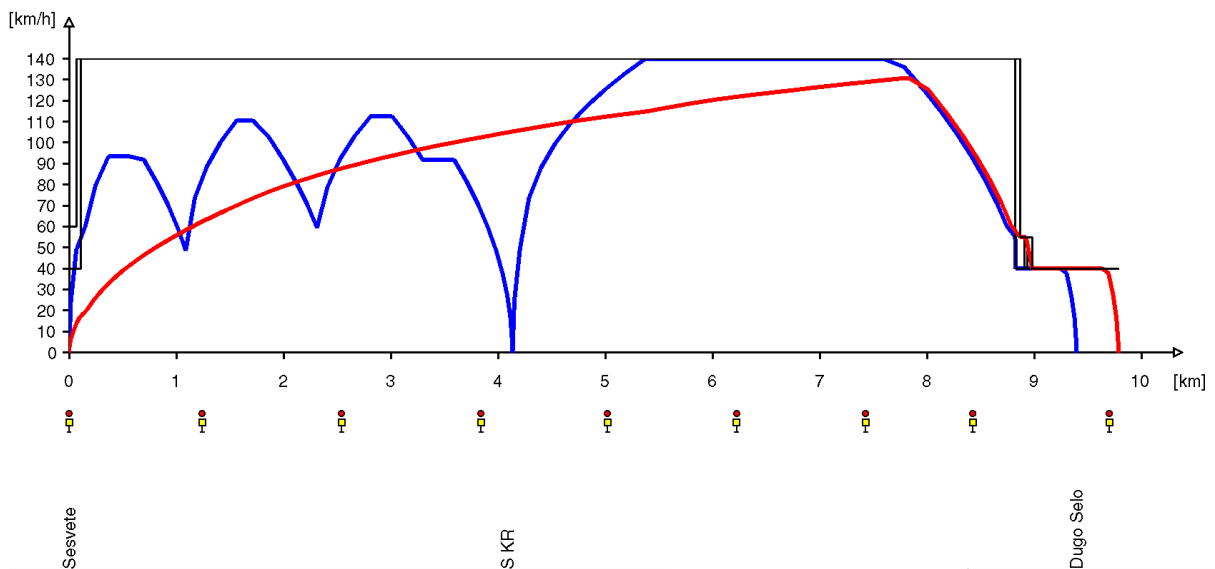
  

Delete	Sync.	Update	Save DB	Add
--------	-------	--------	---------	-----

Slika 24. Vozni red prigradskog vlaka serije 6112

Na slici 25. vidljiv je vozni red s planiranim odlaskom vlaka iz kolodvora Sesvete u 7:00h, dolazak vlaka na stajalište Sesevski Kraljevac u 7:04h te konačni dolazak u kolodvor Dugo Selo u 7:10h. Također je vidljivo da vlak ima odstupanja u tim planiranim odlascima i dolascima, što znači da je vlak iz kolodvora Sesvete u polasku kasnio 1 minutu i 45 sekundi, stigao na stajalište Sesevski Kraljevac u 7:05:15 što je u odnosu na planirani dolazak kašnjenje od 1 minute i 15 sekundi te dolazak u kolodvor Dugo Selo s konačnim kašnjenjem od 1 minute. Ono što utječe na prigradski vlak pri kretanju iz kolodvora Sesvete je nemogućnost polaska prije nego što teretni vlak ispred ne izađe iz prvog prostornog bloka poslije kolodvora.

U dijagramu na slici 25. vidljivo je kako poštivanje prostornog bloka utječe na prigradski vlak koji ima obavezu praćenja prostornih signala. Dok teretni vlak od polaska iz kolodvora Sesvete linearno povećava svoju brzinu i nema nikakvih smetnji pri kretanju prema kolodvoru Dugo Selo, prigradski vlak ima nagla smanjenja brzina upravo zbog poštivanja prostornog bloka u kojem se nalazi teretni vlak. Na dijagramu plava boja prikazuje kretanje prigradskog vlaka dok crvena boja prikazuje kretanje teretnog vlaka.



Slika 25. Prikaz kretanja prigradskog vlaka u odnosu na teretni

### 6.3.2. Kretanje vlakova nakon uvođenja ETCS razine 2

Na slici 26. je prikazan vozni red sa jednakim planiranim vremenima polazaka i dolazaka. U ovom slučaju, vidljivo je da prigradski vlak serije 6112 kreće točno minutu poslije kretanja teretnog vlaka i bez ikakvih poteškoća izlazi iz kolodvora Sesvete.

Course ID	Station	Track	Arrival	Departure	Use	Dwell	Stop	Delta Load	Distr.	M. Det.
ETCS_PRC Sesvete			HHMMSS HHMMSS	07:00:00	07:00:00	07:00:00	07:00:00	0	0.000	0
ETCS_PRC S KR			07:04:00	07:04:35	07:05:00	07:05:35	✓ 60	✓ 0.000		0
ETCS_PRC Dugo Selo			07:10:00	07:10:35	HHMMSS HHMMSS	✓ 0	✓ 0.000			0

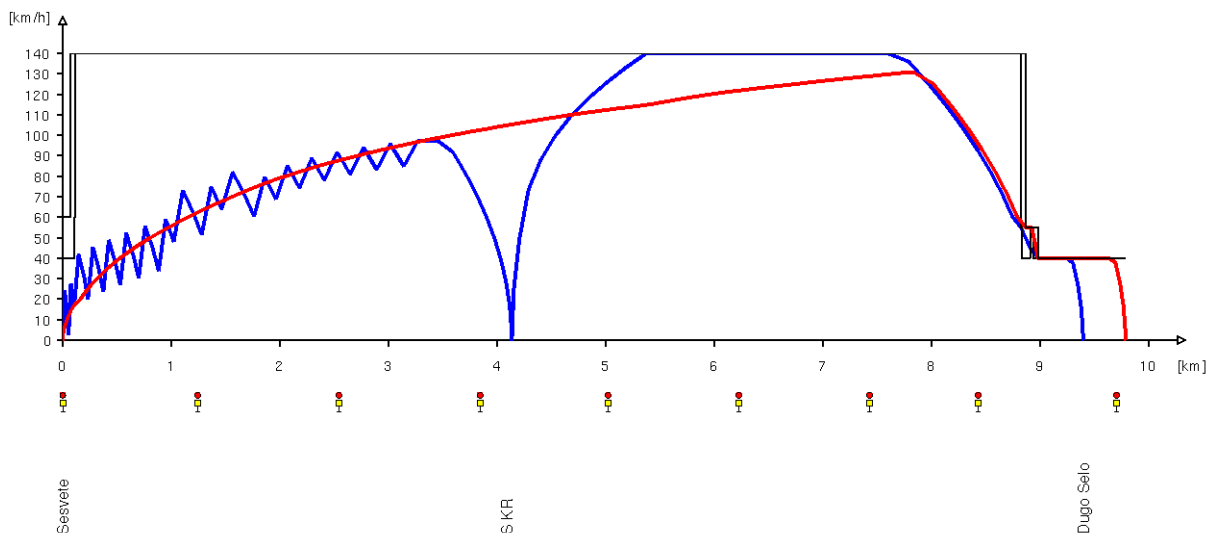
Course ID	Station	Type	Min. Wait	Max. Wait	Join	Split

Course ID	Interval	Actual Course ID	Ref Course ID	Train	Train Speedtype	Train Category
2	01:00:00	ETCS_PRC		HZ 6112	Railhe A	Rubnicki

Slika 26. Vozni red sa stvarnim vremenima dolazaka i odlazaka u odnosu na planirani kod primjene ETCS-a razine 2

Može se uočiti da je kašnjenje u dolasku na stajalište Sesevski Kraljevac smanjeno za 50 sekundi dok je dolazak u kolodvor Dugo Selo zabilježen u 7:08h što znači 2 minute prije planiranog dolaska sa vožnjom pod utjecajem ETCS-a razine 2. Na ovoj dionici pruge, 2 minute znače približno 20% kraće vrijeme putovanja što je odličan rezultat koji prikazuje jednu od prednosti uvođenja ETCS-a razine 2 na zadanu dionicu pruge. U dijagramu na slici 27. je prikazano kretanje vlakova pod utjecajem sustava ETCS razine 2 kod kojeg strojovođa više nema obavezu praćenja prostornih signala jer sustav u bilo kojem trenutku zna točnu poziciju vlaka ispred i prema tim podacima daje informacije strojovođi koji sukladno s tim reagira i regulira brzinu kretanja kako bi se ostvario dovoljan razmak između vlakova.



Slika 27. Kretanje prigradskog vlaka u odnosu na teretni primjenom ETCS-a razine 2

Također se može vidjeti isprekidano kretanje prigradskog vlaka u odnosu na teretni koji kao i u prošlom primjeru linearno ubrzava napuštanjem kolodvora Sesevete. Već u prvom prostornom bloku prigradski vlak bi sustigao teretni no tu je vidljiv utjecaj ETCS-a razine 2 koji regulira brzinu prigradskog vlaka i drži minimalni razmak u odnosu na teretni vlak. Ovakav način vožnje pridonosi kraćem vremenu putovanja od točke A do točke B u ovom slučaju od kolodvora Sesevete do kolodvora Dugo Selo kao i povećanje kapaciteta promatrane pruge. ETCS razine 2 ujedno smanjuje zadržavanje vlakova u kolodvorima što omogućuje veću protočnost vlakova kroz kolodvore i time može pridonijeti rješavanju problema uskog grla na promatranoj pruzi.

## 7. Zaključak

Zbog velikog broja dnevnih migracija željeznički gradski i prigradski promet na području grada Zagreba ima veliku prednost nad cestovnim prometom. Velika frekvencija vlakova na dionici pruge od Savskog Marofa do kolodvora Dugo Selo čine tu dionicu najznačajnijom u pogledu prijevoza putnika.

Zbog velikog broja vlakova u dnevnim vršnim opterećenjima, poznato je da se na pruzi Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo, kolodvor Sesevete smatra uskim grlom. Velike migracije stanovništva radnim danima na ovom području okolice Zagreba zadovoljava uvjet za uvođenje novih mjera za unaprijeđenje kapaciteta samog kolodvora Sesevete, kao i dionice pruge između Seseveta i Dugog Sela. Uvođenjem taktnog voznog reda i Europskog sustava za vođenje vlakova razine 2 zasigurno bi se unaprijedila usluga prijevoza putnika.

Izradom modela postojećeg i budućeg stanja pruge za promet vlakova na dionici Sesevete – Dugo Selo u računalnom programu OpenTrack dobila se vidljiva razlika kretanja vlakova. OpenTrack pruža mogućnost izrade simulacije koja prikazuje željeznički sustav u stvarnom vremenu sa stvarnim parametrima stoga su ovi prijedlozi poprilično realni i mjerodavni. Simulirani su vlakovi koji se kreću prema postojećem voznom redu i nakon uvođenja taktnog voznog reda, da bi se nakon završetka simulacije usporedili rezultati i došlo do zaključka kako bi se uvođenjem taktnog voznog reda na promatranoj dionici povećao kapacitet pruge i dobila mogućnost uvođenja novih vlakova pri čemu bi se tako dobiveni kapacitet iskoristio maksimalno. Drugi prijedlog je malo kompleksije prirode, a odnosi se na uvođenje ETCS razine 2 što podrazumijeva opremanje infrastrukture i vlakova koji prometuju tom dionicom. Takav sustav iziskuje velike troškove i vrijeme za provedbu, ali rezultati provedene simulacijske analize ukazuju na to da daje rezultate u pogledu povećanja kapaciteta promatrane dionice, smanjenja vremena zauzeća kolosijeka u kolodvoru Sesevete čime se rasterećuje sami kolodvor koji tada može primiti više vlakova. Uz to uvođenje kabinske signalizacije u obliku ETCS sustava razine 2 trebalo bi omogućiti lakšu regulaciju i kontrolu prometa uz stabilniji vozni red i što je najvažnije povećanje sigurnosti željezničkog prometa.

Provedeno istraživanje i analiza u ovom diplomskom radu svakako može biti od pomoći donositelju odluke za željeznički sustav koji može vrednovati sve spomenute prijedloge i mjere unaprijeđenja kapaciteta i time dobiti širu sliku za razmatranje.

## POPIS LITERATURE

- [1] Funkcija ERTMS/ETC URL:<https://ec.europa.eu/transport/modes/rail/ertms/>(pristupljeno: srpanj 2020.)
- [2] "Zaposlenici na željeznicama u Hrvatskoj 1903. godine", Ljiljana Dobrovšak, "Časopis za suvremenu povijest", Vol. 40 No.2, listopad 2008.
- [3] Vlada Republike Hrvatske (20. srpnja 2017.). Odluka o dopuni Odluke o razvrstavanju željezničkih pruga
- [4] HŽ Infrastruktura, Poslovni red kolodvora Zagreb I. dio
- [5] HŽ Infrastruktura, Poslovni red kolodvora Sesvete I. dio
- [6] HŽ Infrastruktura, Poslovni red kolodvora Dugo Selo I. dio
- [7] Haramina, H., Schöbel, A., Bojić, M.: Računalno modeliranje i simulacija željezničkog prometa na relaciji Savski Marof – Dugo Selo primjenom programskog alata OpenTrack, Željeznice 21, Vol. 13, No. 2., str. 17-19., 2014.
- [8] [http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack\\_e/opentrack\\_e.html](http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_e/opentrack_e.html) (pristupljeno: kolovoz 2020.)
- [9] Četvrti željeznički paket: poboljšanje europskih željeznica, URL: <http://www.consilium.europa.eu/hr/policies/4th-railway-package/>(pristupljeno: kolovoz 2020.)
- [10] Pintarić, Lj.: Osnovne karakteristike tržišta željezničkoga gradsko –prigradskog putničkog prijevoza (GPPP–a), Željeznice 21, Vol. 13, No. 2, str. 21-30., 2014,
- [11] Klečina, A.: Stanje i perspektive pruga Zaprešić – Čakovec i Zabok – Đurmanec – državna granica, Željeznice 21, Vol. 7, No. 3, Hrvatske željeznice, str. 13-23., 2008.
- [12] <https://novac.jutarnji.hr/aktualno/ek-odobrila-1193-milijuna-eura-za-obnovu-voznog-parka-hz-putnickog-prijevoza/10105918/> (pristupljeno: srpanj 2020.)
- [13] Vozni red – kupnja karte, URL: <https://prodaja.hzpp.hr/hr/Ticket> (pristupljeno lipanj 2020.)
- [14] HŽ Infrastruktura, Elektronska knjižica voznog reda uz VR 2019./2020. za putnički promet, Zagreb, 2019.
- [15] HŽ Infrastruktura, Elektronska knjižica voznog reda uz VR 2019./2020. za teretni promet, Zagreb, 2019.
- [16] Savez za željeznicu <https://szz.hr/projekti/ipp> (pristupljeno: srpanj 2020.)
- [17] HŽ Infrastruktura, Uzdužni profil željezničke pruge M102 Zagreb GK - Dugo Selo

[18] HŽ Infrastruktura d.o.o.: Plan upravljanja okolišem, Obnova (remont) željezničke pruge M101 DG – S.MAROF – ZAGREB GK, URL: <https://www.hzinfra.hr/poziv-na-javnu-raspravu-obnova-zeljeznicke-pruge-na-dionici-savski-marof-zagreb-zk/> (pristupljeno: lipanj 2020.)



## POPIS SLIKA

Slika 1. ETCS razine 2 .....	6
Slika 2. Željeznički čvor Zagreb - Postojeće stanje.....	8
Slika 3. Kolodvor Sesvete .....	11
Slika 4. Kolodvor Dugo Selo .....	12
Slika 5. Isječak iz uzdužnog profila pruge M102 u km 430+550.000.....	14
Slika 6. Prikaz modela mreže izrađenog računalnim alatom OpenTrack I. dio .....	16
Slika 7. Prikaz modela mreže izrađenog računalnim alatom OpenTrack II. dio .....	17
Slika 8. Izgled izbornika za kreiranje vlakova te prozor Edit za uređivanje sastava vlakova .....	19
Slika 9. Izbornik Courses/Services za kreiranje trasa vlakova.....	20
Slika 10. Izbornik Timetable za izradu voznog reda trase 8007 .....	21
Slika 11. Grafikon voznog reda za dionicu Zagreb GK – Dugo Selo za period 6:00 – 9:00h .....	25
Slika 12. Grafikon ovisnosti brzine vožnje o prijađenom putu serijom 1142 za relaciju Zagreb GK – Dugo Selo.....	26
Slika 13. Grafikon ovisnosti brzine o prijađenom putu za seriju 6112 .....	27
Slika 14. Grafikon ovisnosti brzine o prijađenom putu za seriju 6111.....	28
Slika 15. Grafikon potrošnje energije vlaka sastavljenog od električne lokomotive serije HŽ 1142... ..	29
Slika 16. Grafikon potrošnje energije putničkog vlaka serije HŽ 6111 .....	30
Slika 17. Grafikon potrošnje energije putničkog vlaka serije HŽ 6112 .....	30
Slika 18. Postojeći vozni red na dionici pruge Sesvete – Dugo Selo .....	32
Slika 19. Izrada taktnog voznog reda pomoću postojećeg voznog reda 19./20.....	33
Slika 20. Pogled na dobiveno vrijeme izradom taktnog voznog reda s prethodnog dijagrama.....	33
Slika 21. Izgled voznog reda poslije dodavanja novih vlakova .....	34
Slika 22. Pogled na vremenski interval u koji su dodani novi vlakovi .....	34
Slika 23. Vozni red za teretni vlak serije 1142.....	35
Slika 24. Vozni red prigradskog vlaka serije 6112.....	36
Slika 25. Prikaz kretanja prigradskog vlaka u odnosu na teretni.....	37
Slika 26. Vozni red sa stvarnim vremenima dolazaka i odlazaka u odnosu na planirani kod primjene ETCS-a razine 2 .....	37
Slika 27. Kretanje prigradskog vlaka u odnosu na teretni primjenom ETCS-a razine 2.....	38

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1 Kolosiječna skupina za prijem i otpremu vlakova za prijevoz putnika .....	9
Tablica 2 Kolosijeci za prijem i otpremu teretnih vlakova .....	9



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada

pod naslovom \_\_\_\_\_ **Prijedlog rješenja za unapređenje kapaciteta željezničke**

\_\_\_\_\_ **pruge opremljene ERTMS/ETCS sustavom razine 2**

na Internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 17.9.2020 \_\_\_\_\_

Student/ica:

*Andrija Božičević*

(potpis)