Modeliranje i analiza učinkovitosti željezničkog prometa na pruzi Zagreb Glavni kolodvor - Rijeka

Štefančić, Igor

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:119:463951

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Igor Štefančić

MODELIRANJE I ANALIZA UČINKOVITOSTI ŽELJEZNIČKOG PROMETA NA PRUZI ZAGREB GLAVNI KOLODVOR - RIJEKA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

MODELIRANJE I ANALIZA UČINKOVITOSTI ŽELJEZNIČKOG PROMETA NA PRUZI ZAGREB GLAVNI KOLODVOR - RIJEKA

MODELLING AND EFFICIENCY ANALYSIS OF RAILWAY OPERATION ON THE LINE FROM ZAGREB GLAVNI KOLODVOR TO RIJEKA

Mentor: Doc.dr.sc. Hrvoje Haramina

Student: Igor Štefančić, 2401015945

Zagreb, 2015.

SAŽETAK

U ovom radu izrađen je računalni model pruga Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka, Škrljevo – Bakar i Sušak Pećine – Rijeka Brajdica. Primjenom tog modela provedena je simulacijska analiza aktualnog voznog reda na pruzi Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka. Rezultati provedene analize dokazuju postojanje određenih neusklađenosti u planiranom voznom redu i prikazuju njihov utjecaj na proces njegove realizacije. Na temelju tih rezultata definirane su mjere za unaprjeđenje željezničkog prometa na pruzi Zagreb Glavni kolodvor - Rijeka.

KLJUČNE RIJEČI: željeznički vozni red, simulacijsko modeliranje, željeznička pruga Zagreb Glavni kolodvor - Rijeka

SUMMARY

In this work computer model of railway lines Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka, Škrljevo – Bakar i Sušak Pećine – Rijeka Brajdica is created. The model is used for simulation analysis of existing timetable for the line Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka. Given results prove that some deviations in the planned timetable are present and show their influence on the timetable realization process. Based on these results, measures for improvement of railway operations on the line Zagreb Glavni kolodvor Rijeka are defined.

KEYWORDS: railway timetable, simulation modelling, railway line Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka

SADRŽAJ:

1. UVOD 1
2. IZRADA RAČUNALNOG MODELA PRUGA M202, M602 I M603 2
2.1. Postupak izrade računalnog modela otvorene pruge 2
2.2. Postupak izrade računalnog modela kolodvorskog područja 6
2.3. Postupak izrade računalnog modela vučnih vozila i vlakova 9
2.3.1. Izrada računalnog modela vučnih vozila 9
2.3.2. Izrada računalnog modela vlakova 10
2.4. Postupak definiranja putova vožnje, pathova i itinerera u okviru računalnog modela željezničke pruge 12
2.4.1. Definiranje putova vožnji 12
2.4.2. Definiranje grupe putova vožnje (eng.Path) 14
2.4.3. Definiranje itinerara 14
2.5. Definiranje trasa i karakteristika vlakova 16
2.5.1. Courses / Services izbornik 16
2.5.2. Vozni red 17
3. SIMULACIJSKA ANALIZA AKTUALNOG VOZNOG REDA NA PRUZI ZAGREB – RIJEKA 18
3.1. Usporedba kretanja vlaka u realnom vremenu i u simulacijskom modelu 19
3.2. Stabilnost voznog reda 20
3.2.1. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na dionici Zagreb - Karlovac 22
3.2.2. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na dionici Karlovac - Ogulin 27
3.2.3. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na dionici Ogulin – Moravice 30
3.2.4. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na dionici Moravice - Lokve 32
3.2.5. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na dionici Lokve – Rijeka 34
3.2.6. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na pruzi M602 37
3.2.7. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na pruzi M603 38
3.3. Simulacijska analiza stabilnosti voznog reda 39
3.3.1. Prvi scenarij za analizu stabilnosti voznog reda 39
3.3.2. Drugi scenarij za analizu stabilnosti voznog reda 40

4. MJERE ZA UNAPRJEĐENJE ŽELJEZNIČKOG PROMETA NA PRUZI ZAGREB – RIJEKA 42
4.1. Smanjivanje voznih vremena povećanjem brzine u skretanje u kolodvorima te mjestima s propisanom laganom vožnjom 42
4.2. Povećanje mase vučnog vozila 44
4.3. Uvođenje elektromotornih garnitura u sastav putničkih vlakova 45
4.4. Uvođenje vlakova u snopu na dionici Zagreb - Ogulin 46
4.5. Uvođenje taktnog voznog reda na dionici Zagreb - Karlovac 48
4.6. Prijedlog voznog reda u putničkom prometu za VR 2015/16 49
5. ZAKLJUČAK 50
LITERATURA 51
PRILOZI 56

1. UVOD

Pruga Zagreb – Rijeka dio je mediteranskog koridora TEN-T mreže. Ova pruga od posebnog je značaja za Republiku Hrvatsku budući da povezuje riječku luku sa unutrašnjošću zemlje odnosno državama srednje Europe. U Ogulinu se od pruge Zagreb – Rijeka odvaja pruga prema Lici i Dalmaciji zbog čega je pruga Zagreb – Rijeka na dionici između Zagreba i Ogulina dodatno opterećena prometom s te pruge. Osim što je opterećena prometom iz smjera Like, na dionici pruge Zagreb – Ogulin putnički promet je većeg intenziteta u odnosu na dionicu Ogulin – Rijeka te je u radu analizirana mogućnost uvođenja taktnog voznog reda na toj dionici.

Rad je podijeljen u pet cjelina:

1. Uvod
2. Izrada računalnog modela pruga M202, M602 i M603
3. Simulacijska analiza aktualnog voznog reda na pruzi Zagreb – Rijeka
4. Mjere za unaprjeđenje željezničkog prometa na pruzi Zagreb – Rijeka
5. Zaključak

U drugom poglavlju opisan je način izrade računalnog modela pruge.

Treće poglavlje predstavlja analizu aktualnog voznog reda. Kod analize stabilnosti voznog reda simulirana su dva scenarija s poremećajima u putničkom prometu, dok je kretanje teretnih vlakova analizirano na pojedinim dionicama pruge ovisno o sastavu vlakova predviđenom Prometno transportnom uputom za teretni promet uz vozni red 2014/15.

U četvrtom poglavlju iznesene su mogućnosti za povećanje kvalitete željezničkog prometa na pruzi Zagreb – Rijeka. Analiziran je utjecaj povećanja mase vučnih vozila na brzinu kretanja teretnih vlakova, razlika u potrošnji energije pri korištenju klasičnih i elektromotornih garnitura u putničkom prometu te utjecaj uvođenja prometa vlakova u snopu na propusnu sposobnost pruge. Na temelju izrađenog računalnog modela izrađen je grafikon voznog reda s taktnim prometom putničkih vlakova te prijedlog voznog reda u putničkom prometu za 2015/16 godinu .

2. IZRADA RAČUNALNOG MODELA PRUGA M202, M602 I M603

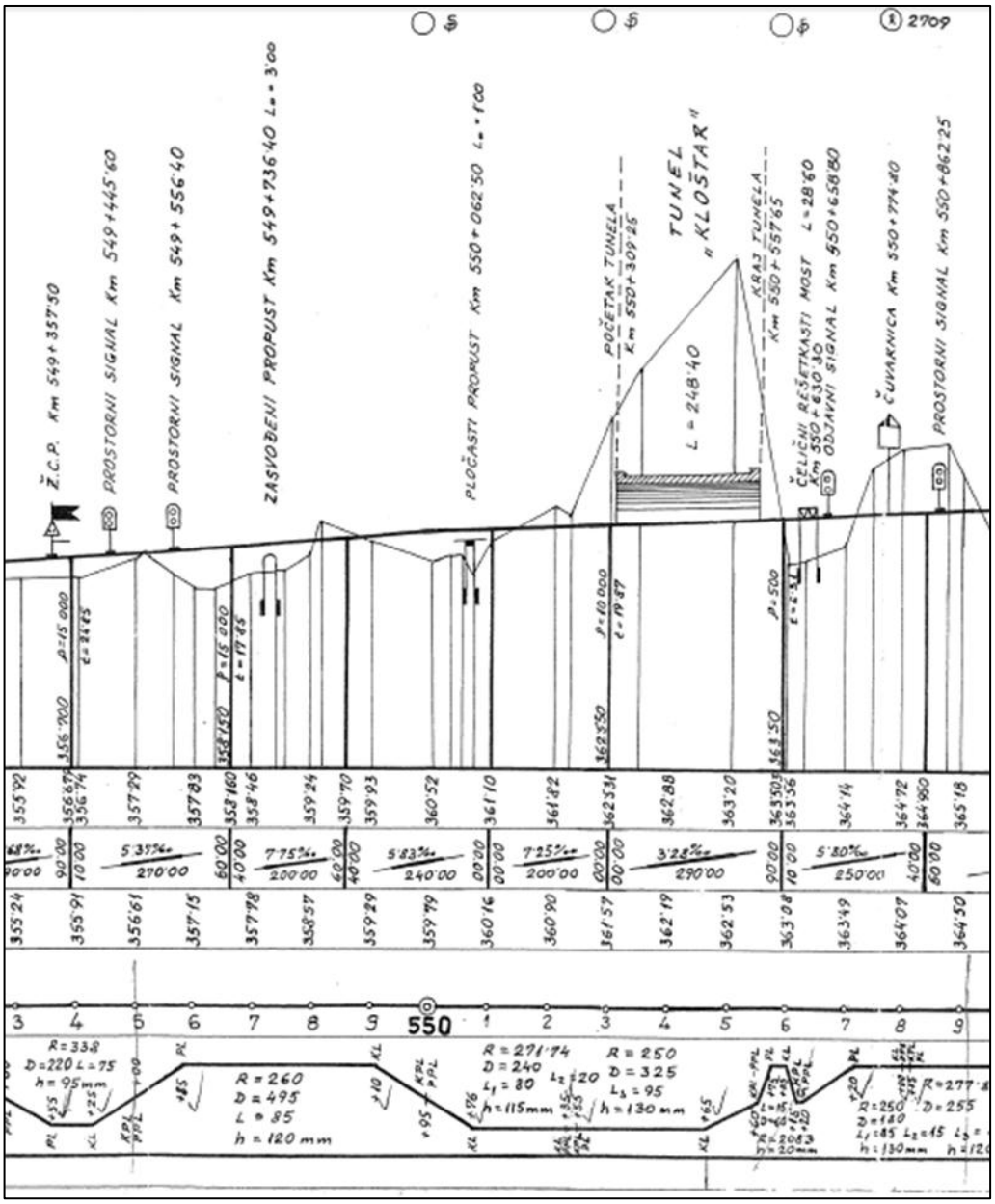
Kod izrade računalnog modela pruga korišten je simulacijski program OpenTrack. S obzirom na duljinu pruga analiziranih u radu, infrastrukturni podaci prikazani su u devet međusobno povezanih dijelova. Osim pruga M202 (Zagreb Glavni kolodvor (ZGGK)– Rijeka), M602 (Škrljevo – Bakar) i M603 (Sušak Pećine – Rijeka Brajdica) prikazane su i dionice pruga na relacijama Zagreb Ranžirni kolodvor (ZGRK)– Zagreb Klara, Zagreb Zapadni kolodvor (ZGZK)- Rasputnica Trešnjevka, Zagreb Klara – Rasputnica Delta, Karlovac – Mahično, Oštarije – Josipdol, Ogulin – Rasputnica Krpel, Rijeka Brajdica – Rijeka te Rijeka – Opatija/Matulji.

Za izradu modela korišteni su podaci o uzdužnim profilima pruga [1,2,3,4,5], poslovni redovi kolodvora [6-71], Izvješće o mreži 2014. i 2015. [72, 73], grafikoni voznog reda 2014./15. [74, 75, 76, 77, 78] , dijagrami vuče [79], Prometno transportna uputa uz Vozni red (VR) 2014/15 [80], Elektronska knjižica voznog reda uz VR 2014/15 za putnički odnosno teretni promet [81,82], Uputa o tehničkim normativima i podatcima za izradu i provedbu voznoga reda (Uputa 52) [83], Prometna uputa (Uputa HZI-40) [84], Uputa za obavljanje prometne službe u čvorištu Zagreb [86] te video materijali s dionicama pruge [87].

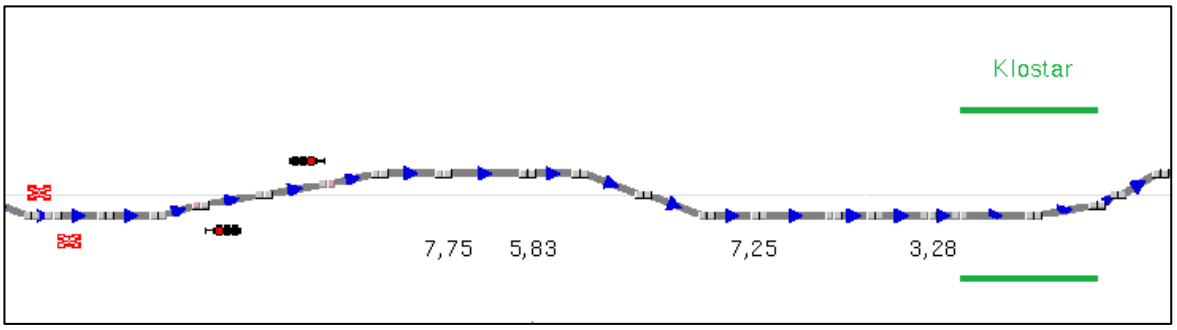
2.1. Postupak izrade računalnog modela otvorene pruge

Kod izrade otvorene pruge koriste se podaci o uzdužnom profilu pruge te podaci sa stacionažama infrastrukturnih objekata koji utječu na odvijanje prometa na pruzi. Podaci prikazani u modelu su:

- nagibi pruge
- zavoji
- signali
- željezničko cestovni prijelazi u razini
- tuneli

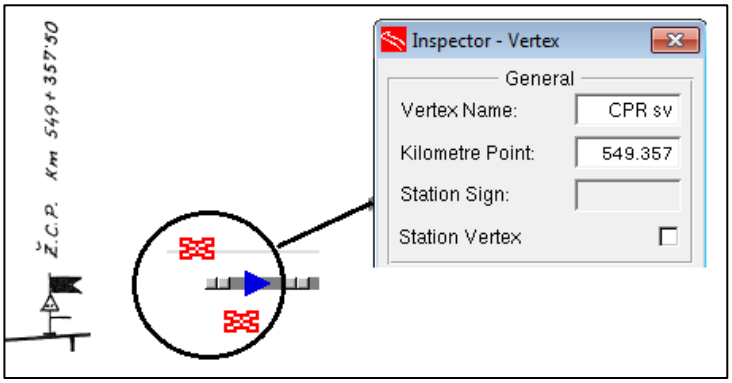


Slika 2.1. Uzdužni profil pruge od KM 549+300 do KM 550+900.

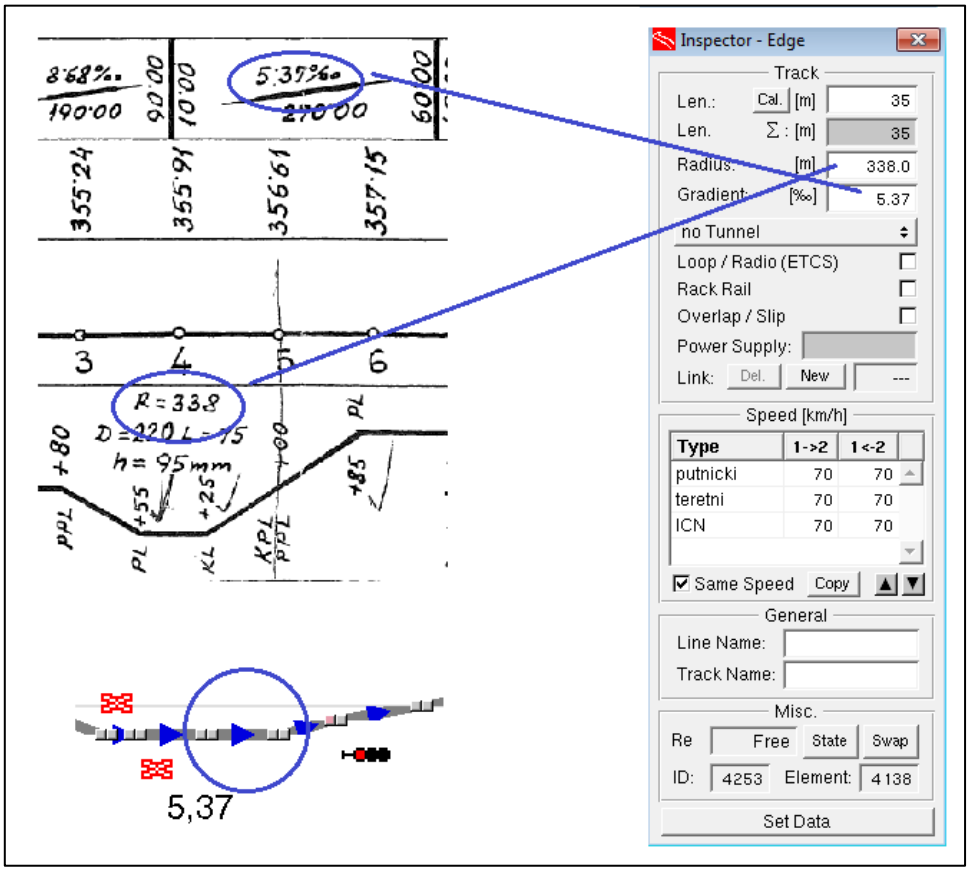


Slika 2.2. Model otvorene pruge izrađen u programu OpenTrack

Svaki element, odnosno točka promjene na pruzi u modelu se prikazuje kao *Vertex*, dok spoj dva *Vertexa* predstavlja *Edge* odnosno dio pruge istih karakteristika. Na slici 2.3 prikazani su podaci uneseni za ŽCPR koji se nalazi u KM 549+357, dok su na slici 2.4 prikazani podaci uneseni za dio pruge od KM 549+390 do KM 549+425.



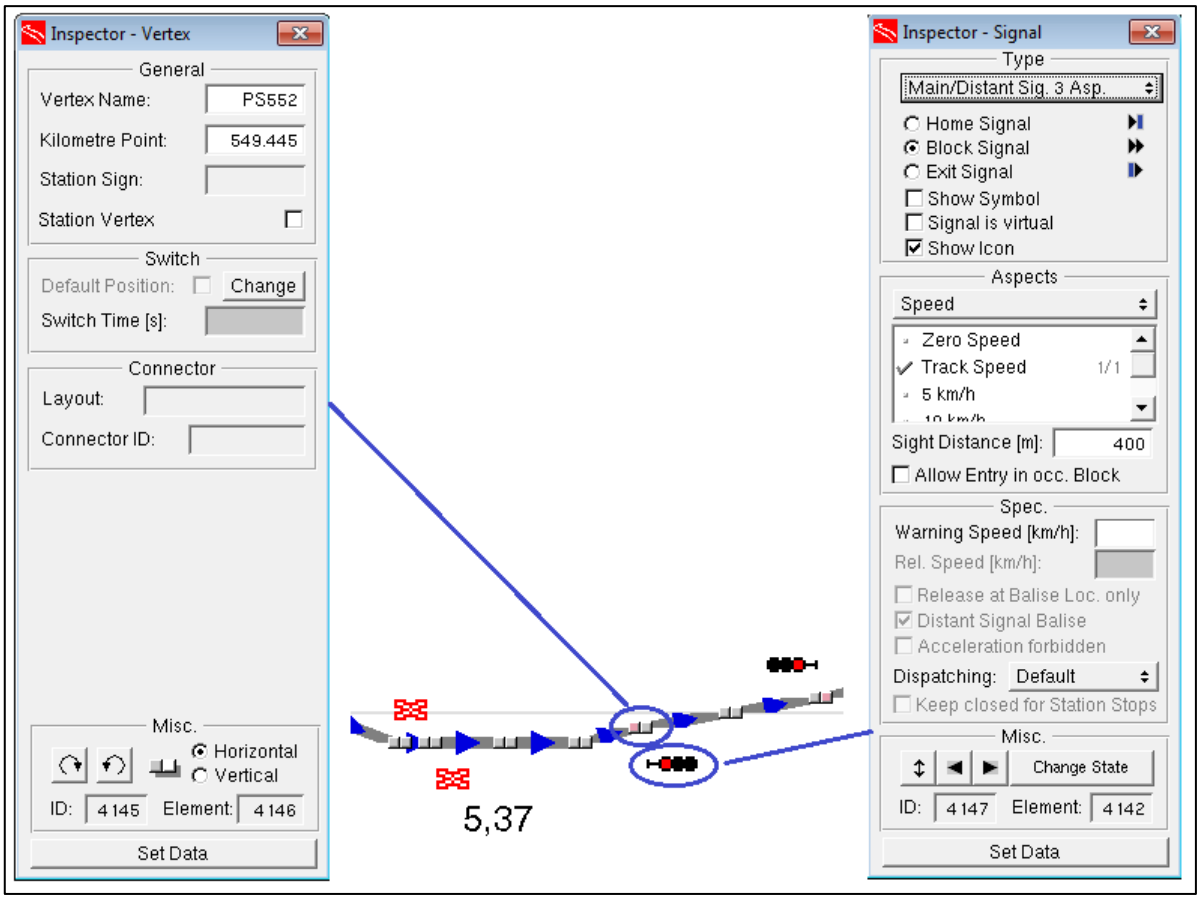
Slika 2.3. ŽCPR prikazan na uzdužnom profilu pruge te u programu OpenTrack



Slika 2.4. Dio pruge od KM 549+390 do KM 549+425

Iz slike 2.4. vidljivo je kako se pruga na dijelu od KM 549+390 do KM 549+425, odnosno na duljini od 35 m nalazi u usponu od 5,37 ‰ sa polumjerom zakrivljenosti od 338 m. Osim navedenih podataka u *Inspector – Edge* prozoru koji je prikazan na desnoj strani slike unose se dodatni podaci o pruzi. U ovom slučaju radi se o dijelu pruge koji se ne nalazi u tunelu, nije opremljen kontinuiranim prijenosom informacija, nije dio puta pretrčavanja, nema određeni sustav vuče, slobodnost promatranog dijela pruge nije uvjetovana zauzećem drugog elementa te kako je brzina na pruzi za sve vrste vlakova u obadva smjera 70 km/h.

Signali su osim u izborniku *Inspector – Vertex* gdje se upisuje njihova stacionaža detaljno određeni u izborniku *Inspector – Signal*. Na slici 2.5. prikazan je prostorni signal 552 koji je definiran kao dvoznačni signal sa tri svjetlosna snopa te daljinom vidljivosti od 400 m.

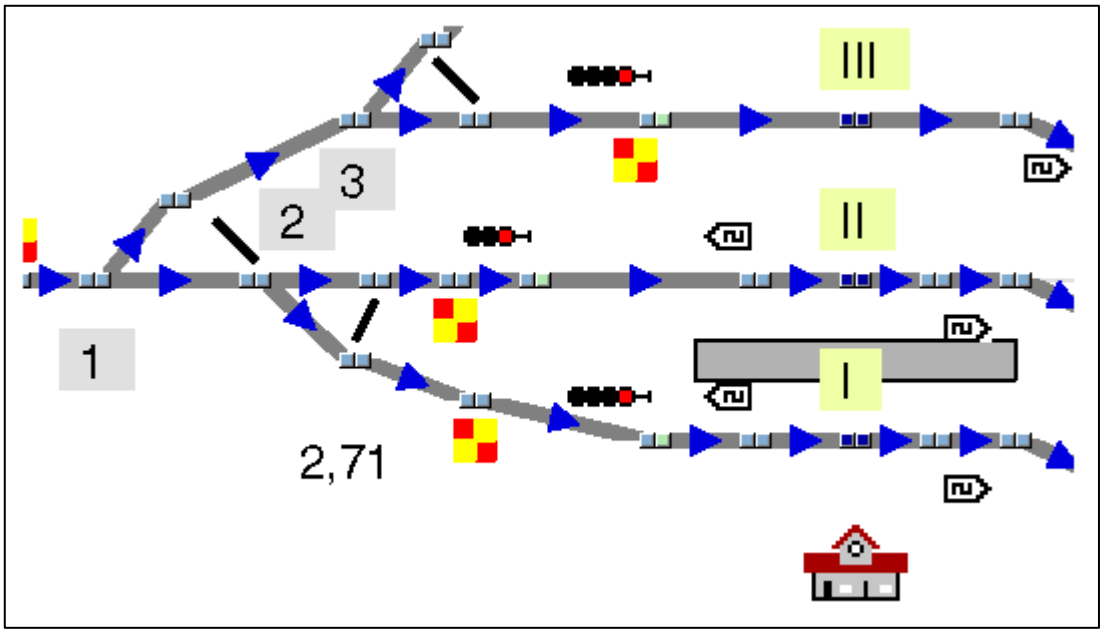


Slika 2.5. Prostorni signal 552 u KM 549+445 prikazan u modelu

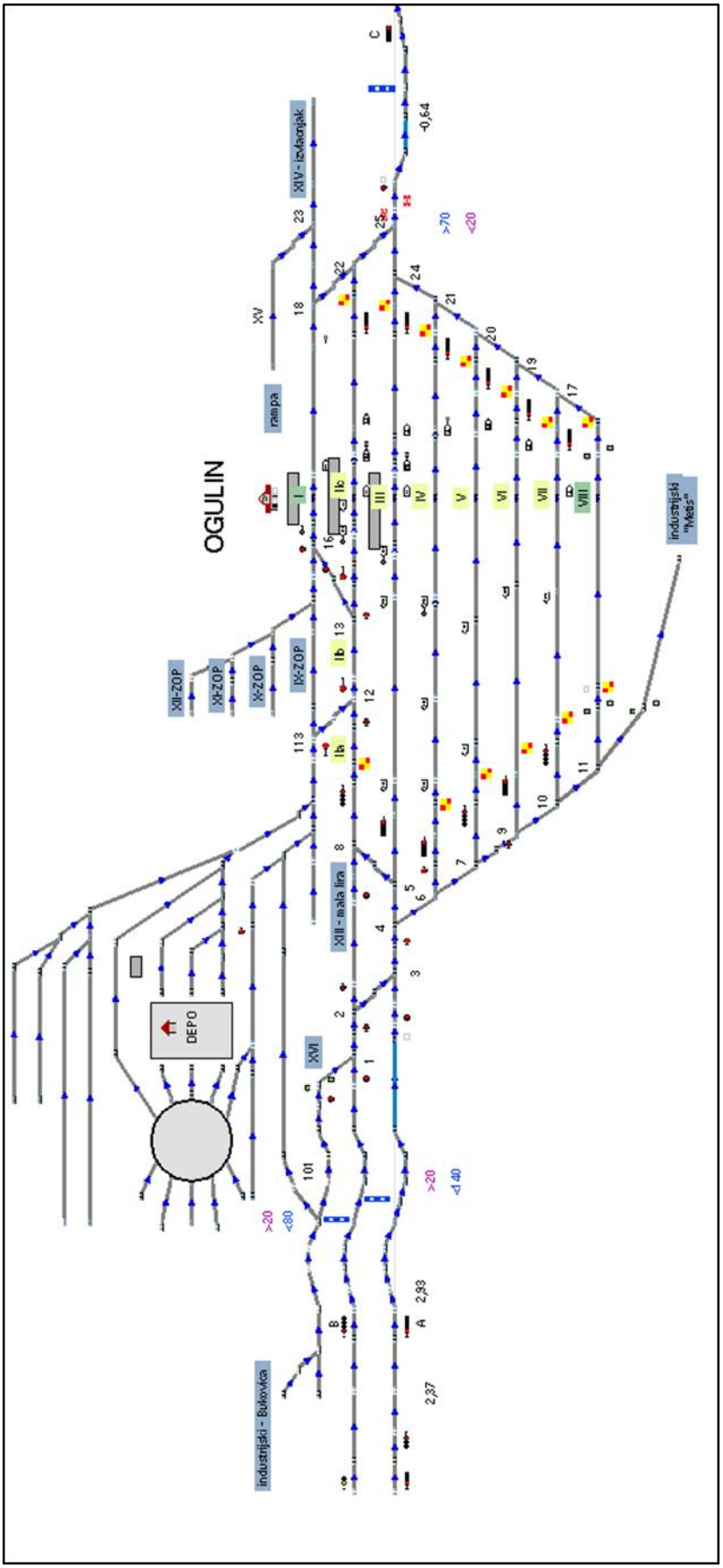
2.2. Postupak izrade računalnog modela kolodvorskog područja

Pri izradi kolodvorskog područja korišteni su podaci iz Poslovnog reda kolodvora I dio, Poslovnog reda kolodvora II dio, sheme kolodvora, Uzdužni profil pruge, Uputa za obavljanje prometne službe u čvorištu Zagreb te video materijali s dionicama pruge. U modelu su prikazani kolodvori s kolosijecima, skretnicama, kolodvorskim zgradama, depoima, peronima, glavnim signalima, graničnim kolosiječnim signalima, manevarskim signalima, iskliznicama, granicama izoliranih odsjeka, međicima i signalnim oznakama mjesta zaustavljanja.

Elektrificirani kolosijeci sa redovno uključenim naponom u kontaktnom vodu označeni su žutom podlogom, elektrificirani kolosijeci na kojima je napon redovno isključen označeni su zelenom podlogom dok su neelektrificirani kolosijeci označeni plavom podlogom. Izgled modela kolodvora izrađen u OpenTracku prikazan je na slikama 2.6. i 2.7.

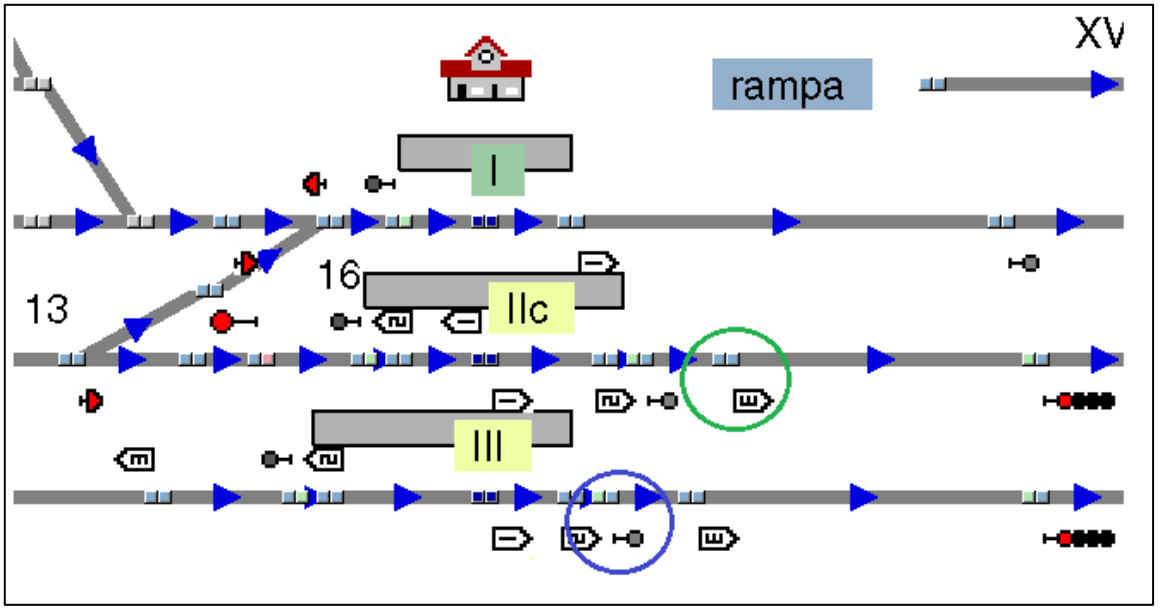


Slika 2.6. Dio kolodvora Gornje Dubrave izrađen u programu OpenTrack



Slika 2.7. Prikaz kolodvora Ogulin u računalnom modelu izrađenom u programu OpenTrack

U simulaciji se svi vlakovi iz polaznog kolodvora pokreću od izlaznog signala. Budući da kod kolodvora osiguranih grupnim izlaznim signalima ne postoji posebni izlazni signal za svaki kolosijek (što je uvjet za pokretanje vlaka u simulaciji) potrebno je omogućiti pokretanje vlaka za svaki kolosijek posebno. Kod pokretanja putničkih vlakova iz polaznog kolodvora, vlakovi se u većini slučajeva ne pokreću od izlaznog signala nego od početka odnosno kraja perona te je zbog toga također potrebno omogućiti pokretanje vlaka sa stvarnog mjesta polaska. Kako bi se u simulaciji odredilo točno mjesto polaska vlakova u simulacijski model dodani su virtualni signali. Na slici 2.8. plavom bojom označen je virtualni signal u kolodvoru Ogulin za pokretanje putničkih i strojnih vlakova sa trećeg kolosijeka u smjeru Rijeke.



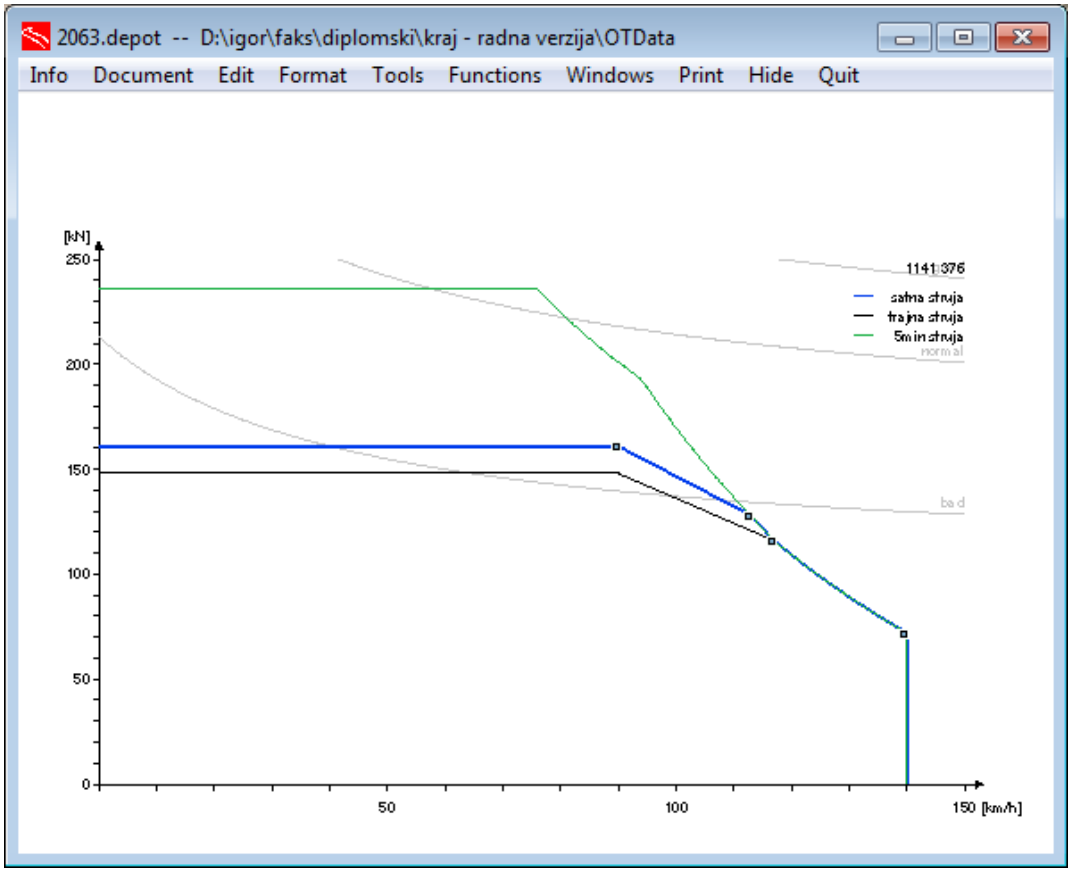
Slika 2.8. Virtualni izlazni signal i mjesto zaustavljanja za vlakove duljine do 300 m

Osim virtualnih signala u modelu se nalaze signalne oznake koje označavaju mjesto zaustavljanja vlakova prema određenoj duljini vlaka. U primjeru prikazanom na slici 2.8. zelenom bojom označena je signalna oznaka za zaustavljanje čela vlakova duljine manje od 300 m. U prikazanom primjeru, osigurano je da se vlak duljine do 300 m zaustavi iza izolacije desnog kraka skretnice 13.

2.3. Postupak izrade računalnog modela vučnih vozila i vlakova

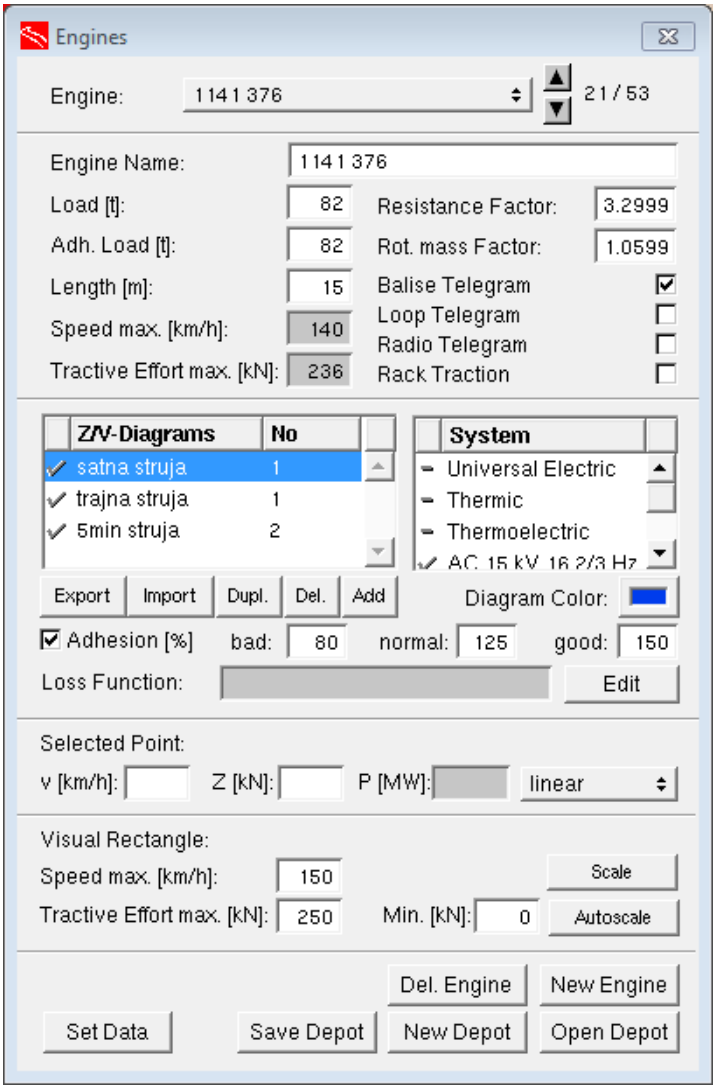
2.3.1. Izrada računalnog modela vučnih vozila

U modelu je simulirana vožnja vlakova sa svim serijama vozila koja prometuju prugom Zagreb – Rijeka osim službenih vozila HŽ Infrastrukture umjesto kojih je simulirana vožnja garniture serije HŽ 7122. Vučna vozila i motorne garniture u simulacijskom modelu kreirani su u izborniku *Engines*. U modelu su prikazani dijagrami vuče, masa vozila[1], adhezijska masa vozila, adhezija, koeficijent otpora, koeficijent otpora rotirajućih dijelova te opremljenost vučnog vozila uređajima za prijenos informacija u upravljačnicu. Na slikama 2.9. i 2.10. prikazani su uneseni podaci za lokomotivu serije HŽ 1141 376.



Slika 2.9. Dijagram vuče lokomotive serije HŽ 1141 376 izrađen u programu OpenTrack

[1] Kod modela motornih vlakova prikazana je ukupna masa vozila



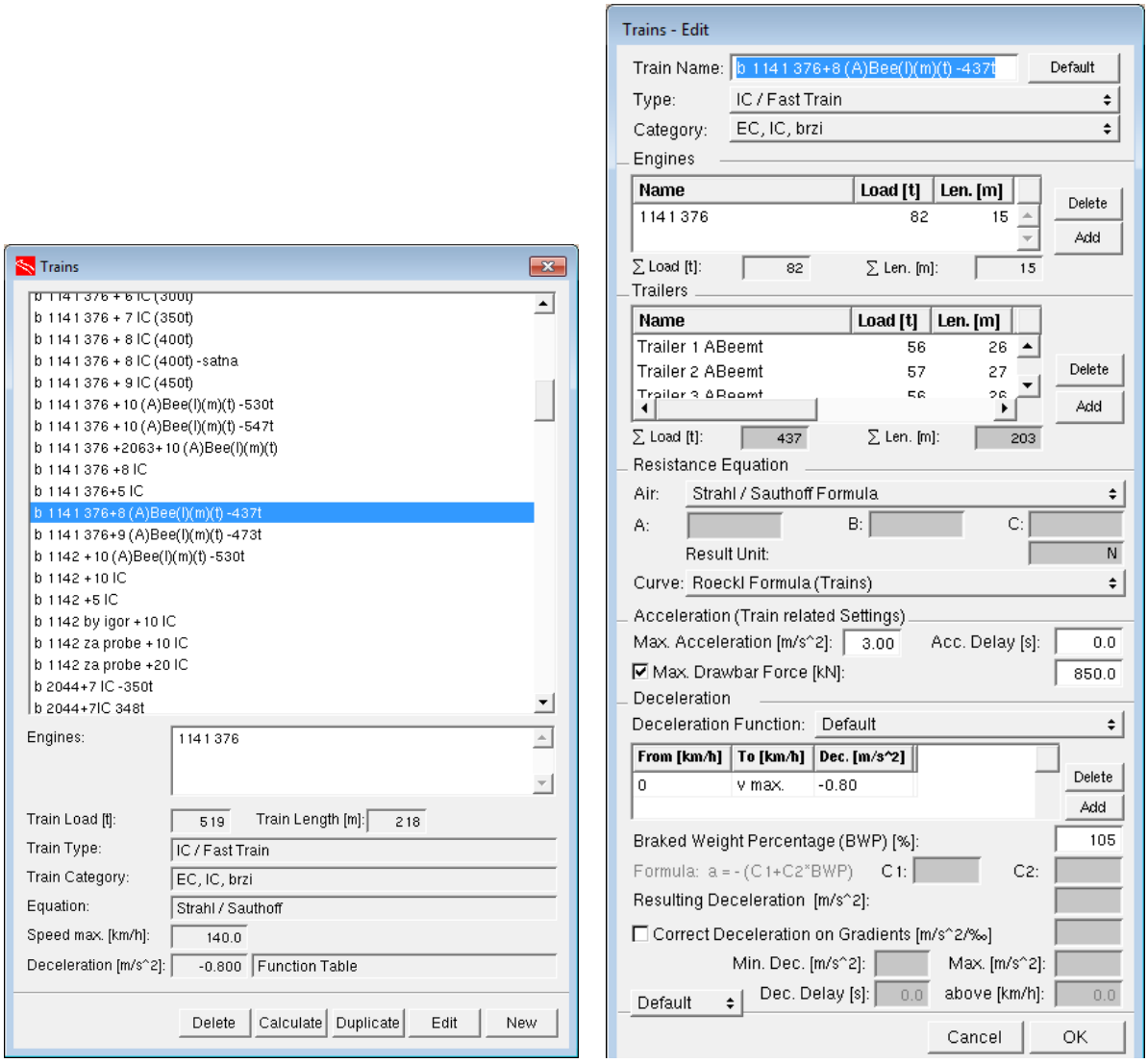
Slika 2.10. Prozor s unesenim podacima za lokomotivu serije HŽ 1141 376

U slučaju unosa podataka za motorne garniture za duljinu i masu vozila podaci upisani u simulacijskom modelu predstavljaju ukupnu masu i duljinu garniture.

2.3.2. Izrada računalnog modela vlakova

Sastav vlakova u simulacijskom modelu naziva se *Trains*. Pri izradi sastava vlakova koriste se vučna vozila kreirana u bazi *Engines* te vagoni koji se dodaju pojedinačno za svaki sastav vlaka. U izborniku *Trains* prikazani su svi izrađeni sastavi vlakova s podacima o dužini, masi, maksimalnoj brzini tipu vlaka, kategoriji vlaka, formulama prema kojima se

računa kretanje vlaka i deceleracija sastava vlaka. Ovdje je važno napomenuti kako je u slučaju simulacije kretanja vlaka istog sastava ali različite kategorije, odnosno tipa vlaka, potrebno napraviti novi sastav vlaka u izborniku *Trains*. Svaki sastav vlaka izrađuje se i kasnije izmjenjuje u izborniku *Trains-Edit* gdje se unose svi podaci o pojedinom sastavu vlaka.



Slika 2.11. Sastav vlaka prikazan u izbornicima Trains i Trains - Edit

U izborniku *Trains – Edit* unose se slijedeći podaci:

- ime vlaka
- tip vlaka
- kategorija vlaka

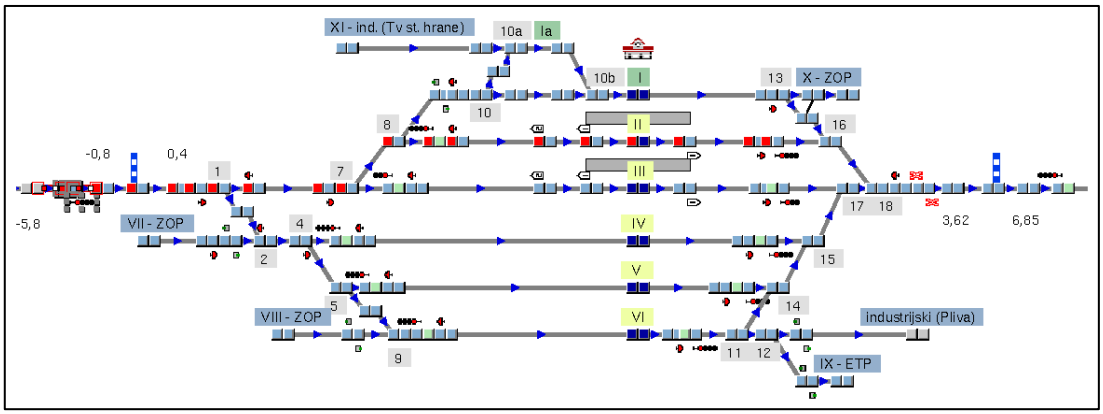
- broj i vrsta vučnih vozila
- broj vagona s podacima o masi, dužini, potrošnji energije, maksimalnoj brzini i otporu rotirajućih masa za svaki vagon u sastavu
- formule za izračunavanje otpora kretanja vlaka
- maksimalna akceleracija
- maksimalna deceleracija
- maksimalna vučna sila
- postotak kočenja
- koeficijent korekcije deceleracije

2.4. Postupak definiranja putova vožnje, pathova i itinerera u okviru računalnog modela željezničke pruge

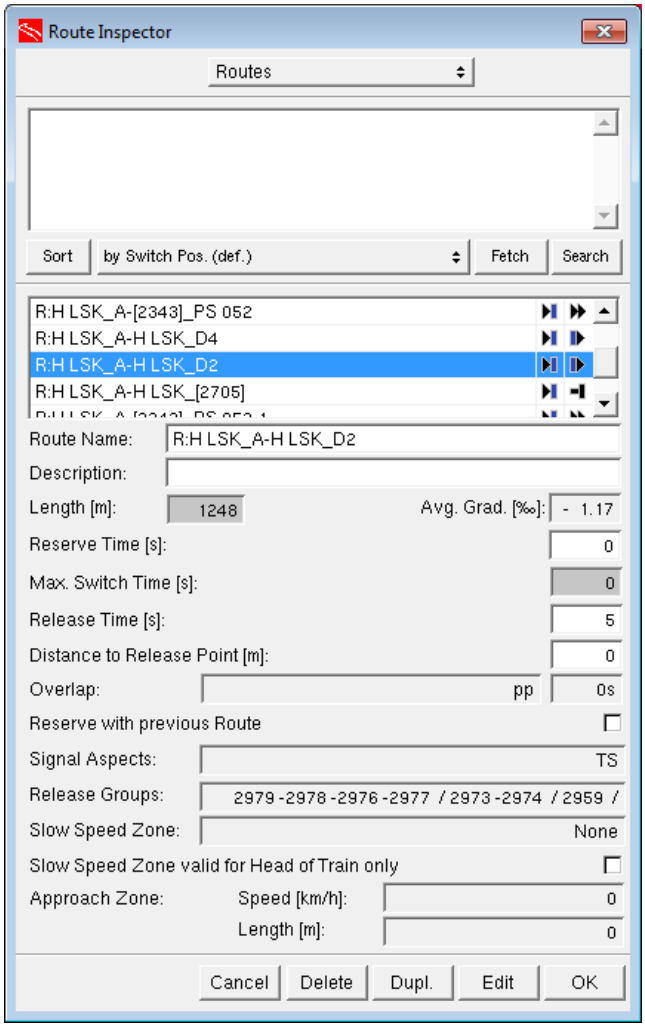
Trasa vlaka u OpenTrack-u je definirana kroz tri razine koje se nazivaju rute odnosno putevi vožnje (*eng Routes), pathovi* odnosno skup puteva vožnji (*eng. Paths*) i itinereri *(eng. Itineraries)* te voznim redom definiranim u izborniku *Timetable*. Svakoj trasi pridružuje se jedan ili više Itinerera pri čemu svaki Itinerer ima određen prioritet. Vlak se kreće prema Itinereru s najvećim prioritetom ukoliko je to moguće (ovisno o zauzeću pojedinih kolosijeka), a ako to nije moguće trasa vlaka se mijenja prema Itinereru sljedećeg prioriteta.

2.4.1. Definiranje putova vožnji

U simulacijskom modelu moguće je definirati dvije vrste putova vožnje (eng. rute) i to vlakovne i manevarske.. U izborniku *Routes* definira se ime puta vožnje, njegov opis , vrijeme njegove rezervacije , i razrješenja, udaljenost do točke razrješenja, područje laganih vožnji, područje razrješenja dijela puta vožnje nakon prolaska vlaka, brzina u ovisnosti sa signalnim znakom na signalu odnosno predsignalu, put pretrčavanja te mogućnost ulaska vlaka na zauzet put vožnje (u ovisnosti s postavkama na signalu).



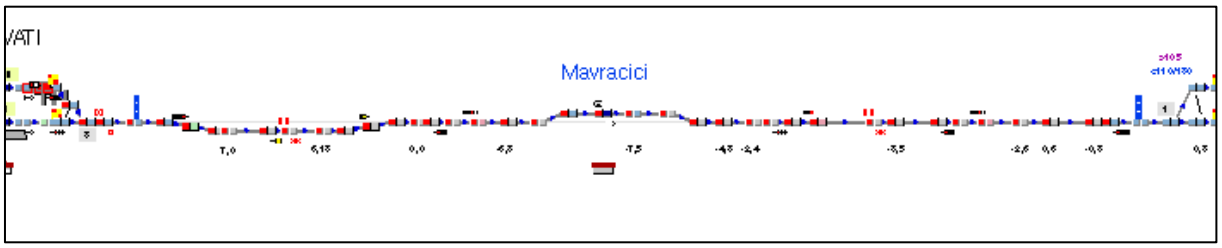
Slika 2.12. Ruta do od ulaznog signala A do izlaznog signala D2 kolodvora Hrvatski Leskovac



Slika 2.13. Route Inspector okvir u OpenTracku

2.4.2. Definiranje grupe putova vožnje (eng.Path)

Path u programu OpenTrack predstavljaju skup puteva vožnji. On može biti sastavljen od jednog ili više putova vožnje pri čemu može biti definiran samo u jednom kolodvoru, na dijelu otvorene pruge, te između dva ili više kolodvora. U modelu prikazanom u radu path-ovi su definirani od izlaznih signala do ulaznih signala između svaka dva kolodvora te od ulaznih signala do izlaznih signala u svakom kolodvoru (u ovom slučaju *path* je definiran jednom rutom). U slučajevima kada se između dva kolodvora nalaze rasputnice, odnosno štitni signali, *pathovi* između dva kolodvora su definirani od izlaznog do štitnog signala, te od štitnog do ulaznog signala. Iako se u literaturi predlaže definiranje *pathova* između dva izlazna signala ovakav način izabran je kako bi se kasnije pri definiranju karakteristika vlakova smanjio broj itinerera.



Slika 2.14. Path od izlaznog do ulaznog signala

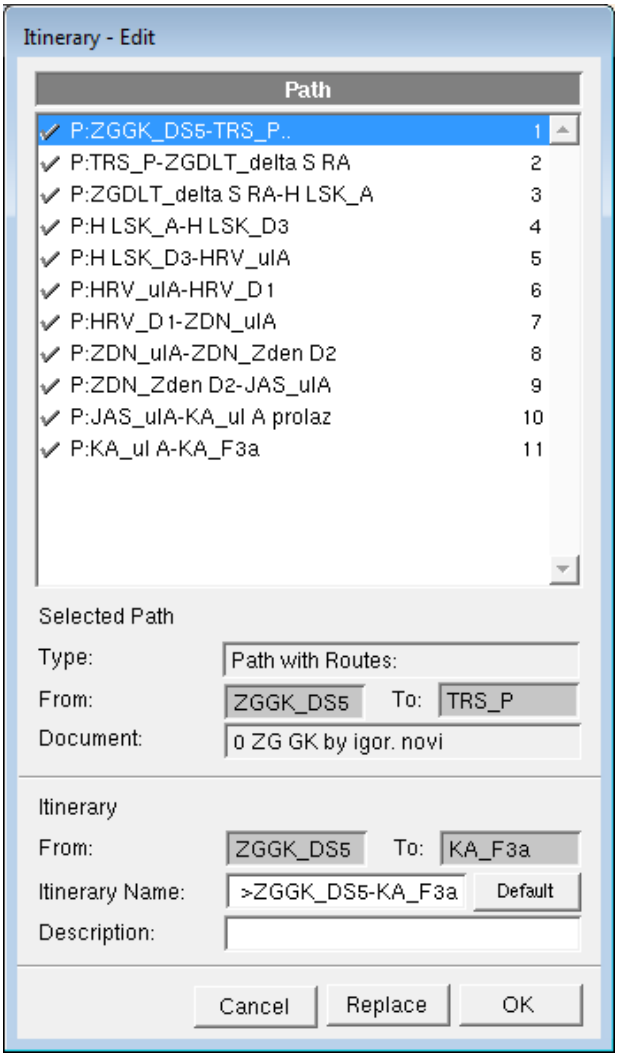
Budući da su *pathovi* sastavljeni od više ruta u *Path Inspector* okviru postoji mogućnost promjene imena *patha*, no nije moguće unositi promjene koje bi utjecale na simulaciju budući da je pruga definirana kroz rute.

2.4.3. Definiranje itinerara

Itinerari odnosno razrađeni planovi putovanja vlakova u programu OpenTrack predstavljaju najvišu razinu pri definiranju trase vlakova. Sastavljeni su od jednog ili više *path-ova*. U simulacijskom modelu razlikujemo dvije vrste itinerera:

- potpuni itinerer (primarni itinerer koji definira skup puteva vožnji duž cijele trase vlaka)
- lokalni itinerer (definira put vožnje ili skup puteva vožnji na jednom dijelu trase vlaka)

Pri izradi simulacijskog modela potrebno je definirati primarni itinerer za svaki vlak pri čemu više vlakova može koristiti jedan itinerer kao primarni. Lokalni itinereri se koriste kao alternativni u slučaju zauzeća kolosijeka na dijelu primarnog itinerera. Pri definiranju vlaka svakom itinereru određen je prioritet pri čemu se primarnom itinereru dodjeljuje prioritet 1. Itinereri se osim za određivanje trase vlaka koriste i za definiranje manevarskih vožnji. Na slici 2.15 prikazan je potpuni itinerer između izlaznog signala DS5 u kolodvoru Zagreb Glavni i izlaznog signala F3A u kolodvoru Karlovac.



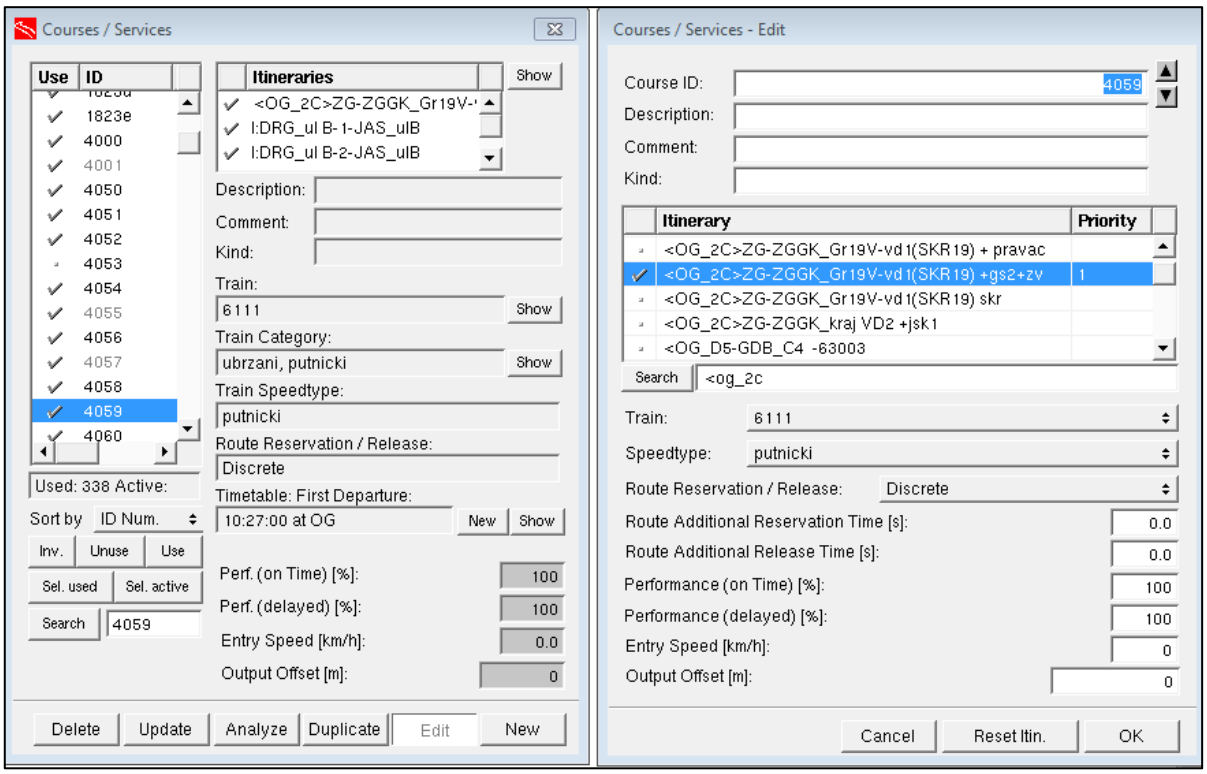
Slika 2.15. Itinerary – Edit okvir u OpenTracku

2.5. Definiranje trasa i karakteristika vlakova

Nakon što su određeni itinereri, definirani sastavi vlakova i određena brzina na pruzi za pojedinu vrstu vlakova pristupa se izradi vlakova s definiranim trasama i karakteristikama.

2.5.1. Courses / Services izbornik

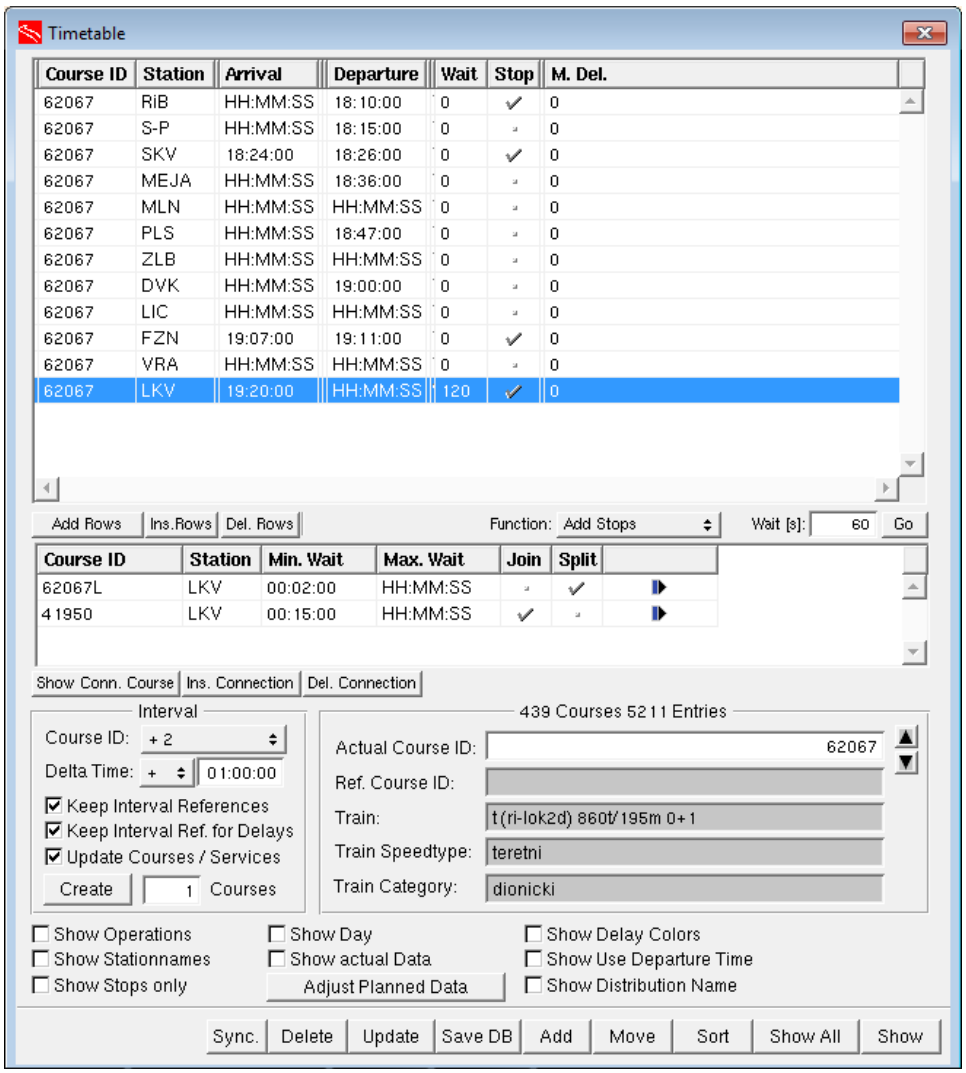
U *Courses / Services* izborniku prikazani su svi vlakovi kreirani u simulacijskom modelu. Promjena karakteristika kreiranih vlakova kao i kreiranje novih izvodi se u izborniku *Courses / Servces – Edit*. Na slici 2.16 prikazani su izbornici *Courses / Servces i Courses / Servces – Edit* s odabranim vlakom 4059.



Slika 2.16. Vlak 4059 u izbornicima Courses / Servces i Courses / Servces – Edit

2.5.2. Vozni red

Vozni red se u programu OpenTrack definira u izborniku *Timetable*. Pri izradi voznog reda upisuju se podaci o vremenu dolaska i odlaska u/iz kolodvora, minimalno vrijeme zadržavanja u službenom mjestu, vrijeme čekanja na vezu s drugim vlakovima te spajanje i rastavljanje vlaka. Osim toga u izborniku *Timetable* prikazan je sastav vlaka (*Train*), brzina kretanja pridružena vlaku (*Train Speedtype*) te kategorija vlaka (*Train Category*) Vozni red vlaka 62067. Na slici 2.17. prikazan je vozni red vlaka 62067.



Slika 2.17. Vlak 62067 u *Timetable* izborniku

3. SIMULACIJSKA ANALIZA AKTUALNOG VOZNOG REDA NA PRUZI ZAGREB – RIJEKA

Aktualni vozni red u radu je analiziran izradom simulacijskog modela u programu OpenTrack te praćenjem kretanja vlakova na službenoj Internet stranici HŽ Infrastrukture http://vred.hzinfra.hr/hzinfo (mapper). U prilogu 1 prikazan je grafikon voznog reda izrađen u programu OpenTrack. Punim linijama prikazane su trase vlakova sa ostvarenim voznim vremenima te vremenom zauzeća blokovnih odsjeka. U grafikonu su trase vlakova označene bojama kako slijedi:

- IC i brzi vlakovi – crna
- ubrzani i putnički vlakovi – smeđa
- ekspresni, brzi i maršrutni vlakovi – tamno plava
- direktni vlakovi – svijetlo plava
- dionički vlakovi – sivo plava
- sabirni, kružni i industrijski vlakovi – zelena
- strojni vlakovi - ljubičasta
- ostali vlakovi – crvena

3.1. Usporedba kretanja vlaka u realnom vremenu i u simulacijskom modelu

Na slikama 3.1. i 3.2. prikazana je snimka pregleda kretanja vlaka 4053. Iz slika je vidljivo kako vlak 4053 nakuplja kašnjenje između kolodvora Zvečaj i Karlovac.

vlak **4053 OGULIN - ZAGREB GL.**
Kolodvor **ZAGREB GL. KOL.**
Dolazak 20.04.15. 07:29
Vlak je redovit

Kolodvor	Dolazak Odlazak	Datum	Sat	Kasni
OGULIN	Odlazak	20.04.15	05:20	
OŠTARIJE	Dolazak	20.04.15	05:26	
OŠTARIJE	Odlazak	20.04.15	05:27	
KUKAČA	Dolazak	20.04.15	05:33	
KUKAČA	Odlazak	20.04.15	05:34	
GORNJE DUBRAVE	Dolazak	20.04.15	05:42	
GORNJE DUBRAVE	Odlazak	20.04.15	05:43	
GENERALSKI STOL	Dolazak	20.04.15	05:56	
GENERALSKI STOL	Odlazak	20.04.15	05:57	
ZVEČAJ	Dolazak	20.04.15	06:06	1
ZVEČAJ	Odlazak	20.04.15	06:07	2
DUGA RESA	Dolazak	20.04.15	06:16	2
DUGA RESA	Odlazak	20.04.15	06:17	2
MRZLO POLJE	Dolazak	20.04.15	06:24	4
MRZLO POLJE	Odlazak	20.04.15	06:24	4
KARLOVAC	Dolazak	20.04.15	06:29	2
KARLOVAC	Odlazak	20.04.15	06:32	
DRAGANIĆI	Dolazak	20.04.15	06:39	
DRAGANIĆI	Odlazak	20.04.15	06:40	
JASTREBARSKO	Dolazak	20.04.15	06:50	
JASTREBARSKO	Odlazak	20.04.15	06:54	
ZDENČINA	Dolazak	20.04.15	07:01	
ZDENČINA	Odlazak	20.04.15	07:04	
HORVATI	Dolazak	20.04.15	07:10	
HORVATI	Odlazak	20.04.15	07:11	
HRVATSKI LESKOVAC	Dolazak	20.04.15	07:16	
HRVATSKI LESKOVAC	Odlazak	20.04.15	07:17	

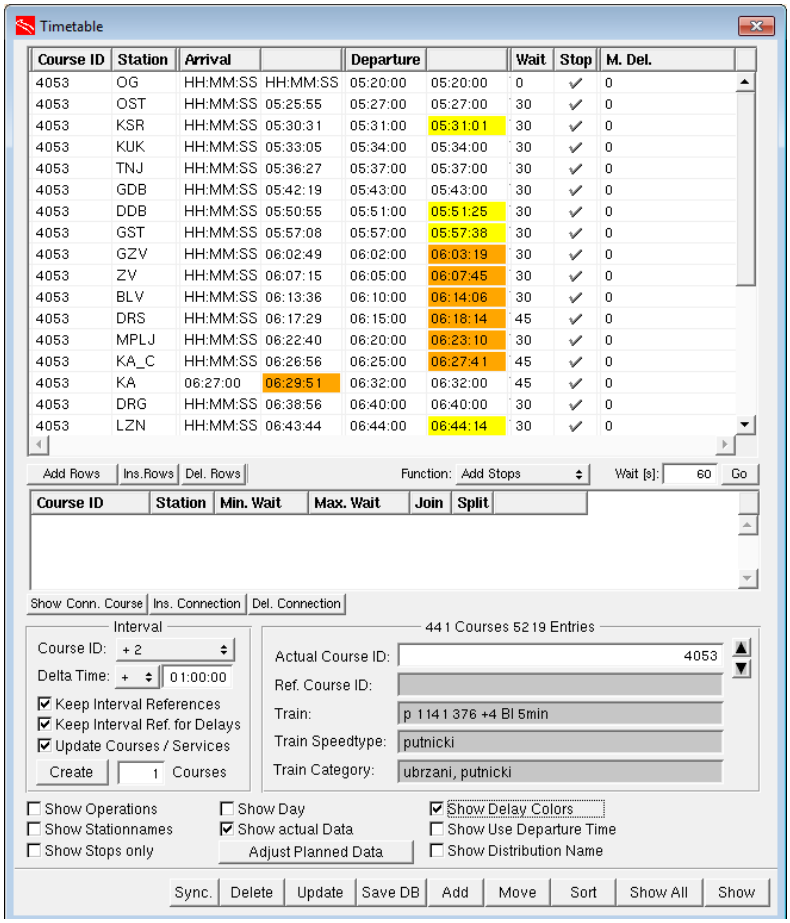
Slika 3.1. Kretanje vlaka 4053 dana 20.04.2015.

vlak **4053 OGULIN - ZAGREB GL.**
Kolodvor **ZAGREB GL. KOL.**
Dolazak 09.07.15. 07:32
Kasni 3 min.

Kolodvor	Dolazak Odlazak	Datum	Sat	Kasni
OGULIN	Odlazak	09.07.15	05:20	
OŠTARIJE	Dolazak	09.07.15	05:26	
OŠTARIJE	Odlazak	09.07.15	05:27	
KUKAČA	Dolazak	09.07.15	05:33	
KUKAČA	Odlazak	09.07.15	05:34	
GORNJE DUBRAVE	Dolazak	09.07.15	05:42	
GORNJE DUBRAVE	Odlazak	09.07.15	05:43	
GENERALSKI STOL	Dolazak	09.07.15	05:56	
GENERALSKI STOL	Odlazak	09.07.15	05:57	
ZVEČAJ	Dolazak	09.07.15	06:05	
ZVEČAJ	Odlazak	09.07.15	06:05	
DUGA RESA	Dolazak	09.07.15	06:17	3
DUGA RESA	Odlazak	09.07.15	06:18	3
MRZLO POLJE	Dolazak	09.07.15	06:25	5
MRZLO POLJE	Odlazak	09.07.15	06:25	5
KARLOVAC	Dolazak	09.07.15	06:33	6
KARLOVAC	Odlazak	09.07.15	06:34	2
DRAGANIĆI	Dolazak	09.07.15	06:46	7
DRAGANIĆI	Odlazak	09.07.15	06:47	7
JASTREBARSKO	Dolazak	09.07.15	06:58	8
JASTREBARSKO	Odlazak	09.07.15	06:59	5

Slika 3.2. Kretanje vlaka 4053 dana 09.07.2015.

Usporedi li se kretanje vlaka evidentirano u Mapperu sa kretanjem vlaka simuliranom u programu OpenTrack, a prikazanom na slici 3.3. uočljivo je kako se vozna vremena odnosno kašnjenja u stvarnosti i u simulaciji podudaraju iz čega se može zaključiti kako je došlo do pogreške pri izradi voznog reda. Simulacijom kretanja vlaka 4050 dolazi se do istih rezultata.



Slika 3.3. Timetable okvir vlaka 4053 nakon simulacije u programu Opentrack

3.2. Stabilnost voznog reda

S obzirom da teretni vlakovi uglavnom ne prometuju prema voznom redu i sastavu predviđenom prema PTU, već se određeni vlak u promet uvodi po elementima trase nekog drugog vlaka, dok se sastav vlakova prilagođava smjeru kretanja tereta, u radu je stabilnost voznog reda analizirana samo sa putničkim vlakovima. Na slikama 3.4 i 3.5 prikazan je primjer voznog reda i kretanja vlaka 45902 na kojem se vidi kako je vlak pokrenut iz Škrljeva

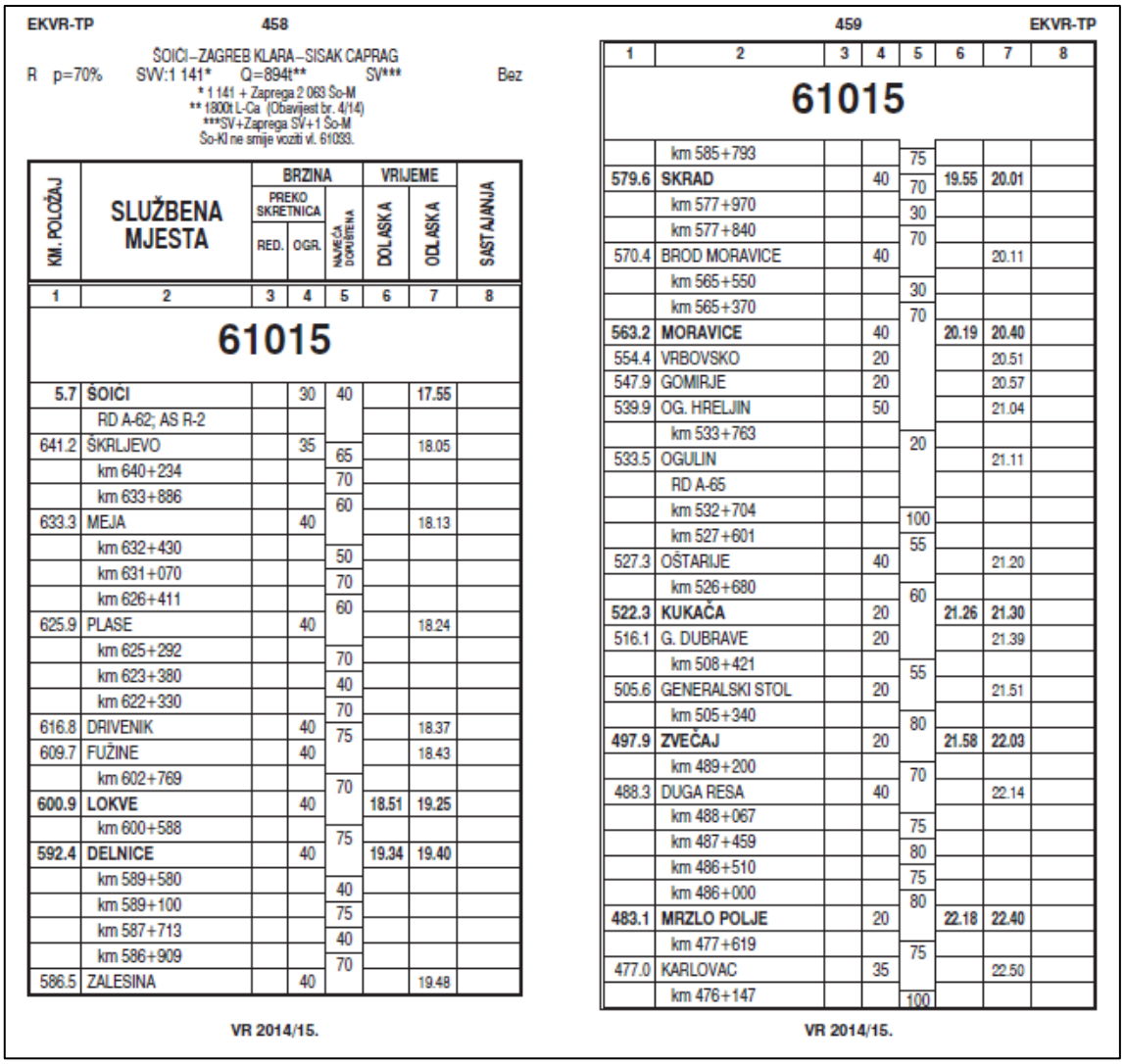
po vlastitoj trasi sa 189 minuta zakašnjenja dok je od kolodvora Lokve prometovao po elementima voznog reda drugih vlakova.

vlak **45902 -**
Kolodvor **KOPRIVNICA**
Dolazak 14.07.15. 05:17
Vlak je redovit

Kolodvor	Dolazak Odlazak	Datum	Sat	Kasni
ŠKRLJEVO	Odlazak	13.07.15	07:26	189
MEJA	Odlazak	13.07.15	07:34	189
PLASE	Odlazak	13.07.15	07:42	186
DRIVENIK	Odlazak	13.07.15	07:51	182
FUŽINE	Dolazak	13.07.15	07:58	183
FUŽINE	Odlazak	13.07.15	08:02	187
LOKVE	Dolazak	13.07.15	08:12	189
LOKVE	Odlazak	13.07.15	19:16	
DELNICE	Odlazak	13.07.15	19:26	
ZALESINA	Odlazak	13.07.15	19:33	
SKRAD	Dolazak	13.07.15	19:43	
SKRAD	Odlazak	13.07.15	20:10	
BROD MORAVICE	Odlazak	13.07.15	20:22	
MORAVICE	Dolazak	13.07.15	20:30	
MORAVICE	Odlazak	14.07.15	00:43	
VRBOVSKO	Odlazak	14.07.15	00:55	
GOMIRJE	Odlazak	14.07.15	01:03	
OGULINSKI HRELJIN	Odlazak	14.07.15	01:14	
OGULIN	Odlazak	14.07.15	01:24	
OŠTARIJE	Odlazak	14.07.15	01:31	
KUKAČA	Odlazak	14.07.15	01:36	
GORNJE DUBRAVE	Odlazak	14.07.15	01:42	
GENERALSKI STOL	Odlazak	14.07.15	01:55	
ZVEČAJ	Dolazak	14.07.15	02:04	
ZVEČAJ	Odlazak	14.07.15	02:13	
DUGA RESA	Odlazak	14.07.15	02:29	
MRZLO POLJE	Odlazak	14.07.15	02:34	
KARLOVAC	Odlazak	14.07.15	02:40	

Slika 3.4. Kretanje vlaka 45902 14.07.2015.

Za teretne vlakove je napravljena analiza kretanja po pojedinim dionicama ovisno o sastavu vlaka predviđenom Prometno transportnom uputom za teretni promet uz vozni red 2014/15 (PTU). U radu su analizirana vozna vremena teretnih vlakova na dionicama Zagreb – Karlovac, Karlovac – Ogulin, Ogulin - Moravice, Moravice – Lokve i Lokve – Rijeka te na prugama Škrljevo – Bakar i Sušak – Rijeka Brajdica. Pruga je u radu podijeljena na ove dionice s obzirom da u kolodvorima Karlovac, Ogulin, Moravice i Lokve dolazi do promjena u sastavu vlakova.



EKVR-TP 458

ŠOIĆI – ZAGREB KLARA – SISAK CAPRAG

R p=70% SVV:1 141* Q=894t** SV*** Bez

* 1 141 + Zaprega 2 063 So-M

** 1800t L-Ca (Obavijest br. 4/14)

***SV+Zaprega SV+1 So-M

So-Kl ne smije vozit vl. 61033.

KM. POLOŽAJ	SLUŽBENA MJESTA	BRZINA PREKO SKRETNICA RED.	BRZINA PREKO SKRETNICA OGR.	NAJVEĆA DOPUŠTENA	VRIJEME DOLASKA	VRIJEME ODLASKA	SASTAJANJA
1	2	3	4	5	6	7	8
	61015						
5.7	**ŠOIĆI**		30	40		17.55	
	RD A-62; AS R-2						
641.2	ŠKRLJEVO		35			18.05	
	km 640+234			65			
	km 633+886			70			
633.3	MEJA		40	60		18.13	
	km 632+430						
	km 631+070			50			
	km 626+411			70			
625.9	PLASE		40	60		18.24	
	km 625+292						
	km 623+380			70			
	km 622+330			40			
616.8	DRIVENIK		40	70		18.37	
609.7	FUŽINE		40	75		18.43	
	km 602+769						
600.9	**LOKVE**		40	70	**18.51**	**19.25**	
	km 600+588						
592.4	**DELNICE**		40	75	**19.34**	**19.40**	
	km 589+580						
	km 589+100			40			
	km 587+713			75			
	km 586+909			40			
586.5	ZALESINA		40	70		19.48	

VR 2014/15.

459 EKVR-TP

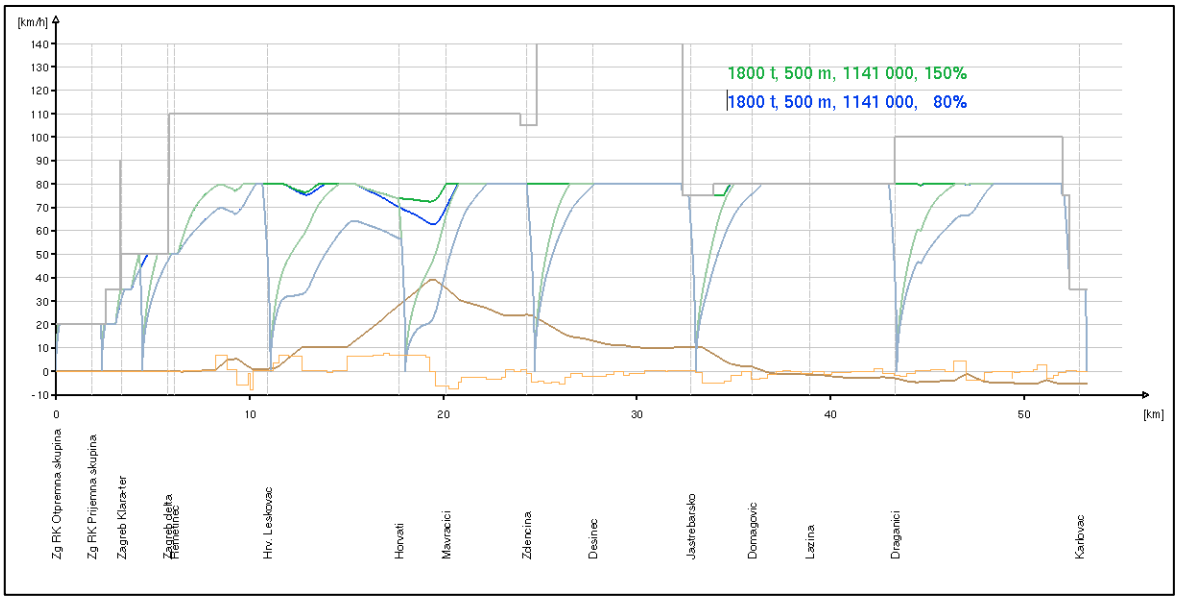
1	2	3	4	5	6	7	8
	61015						
	km 585+793			75			
579.6	**SKRAD**		40	70	**19.55**	**20.01**	
	km 577+970			30			
	km 577+840			70			
570.4	BROD MORAVICE		40			20.11	
	km 565+550			30			
	km 565+370			70			
563.2	**MORAVICE**		40		**20.19**	**20.40**	
554.4	VRBOVSKO		20			20.51	
547.9	GOMIRJE		20			20.57	
539.9	OG. HRELJIN		50			21.04	
	km 533+763			20			
533.5	OGULIN					21.11	
	RD A-65						
	km 532+704			100			
	km 527+601			55			
527.3	OŠTARIJE		40			21.20	
	km 526+680			60			
522.3	**KUKAČA**		20		**21.26**	**21.30**	
516.1	G. DUBRAVE		20			21.39	
	km 508+421			55			
505.6	GENERALSKI STOL		20			21.51	
	km 505+340			80			
497.9	**ZVEČAJ**		20		**21.58**	**22.03**	
	km 489+200			70			
488.3	DUGA RESA		40			22.14	
	km 488+067			75			
	km 487+459			80			
	km 486+510			75			
	km 486+000			80			
483.1	**MRZLO POLJE**		20		**22.18**	**22.40**	
	km 477+619			75			
477.0	KARLOVAC		35			22.50	
	km 476+147			100			

VR 2014/15.

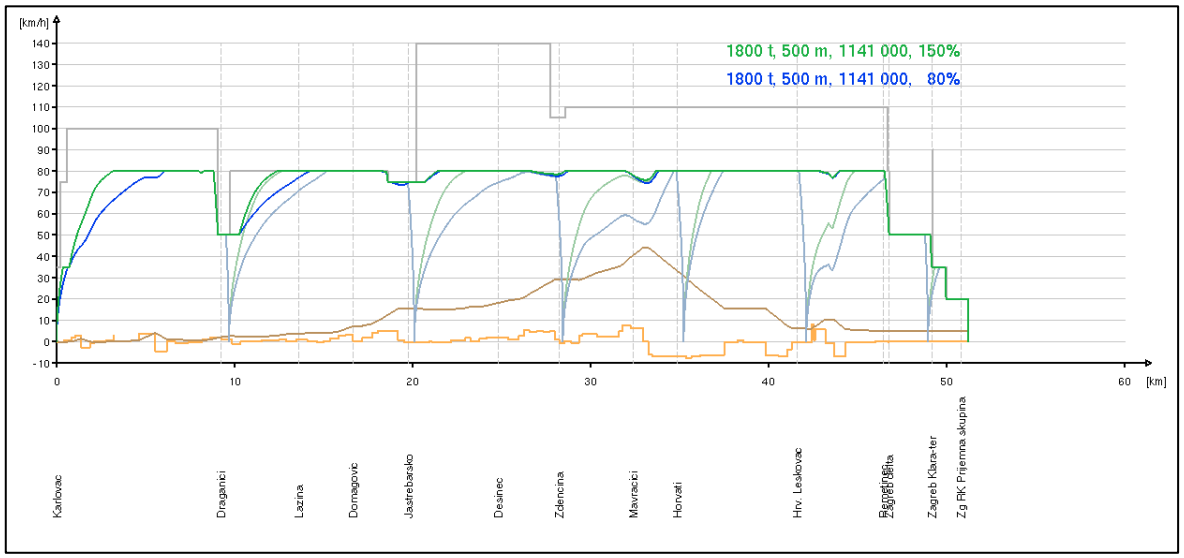
Slika 3.5. Izvod iz EKVR za vlak 61015

3.2.1. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na dionici Zagreb - Karlovac

Na dionici pruge Zagreb – Karlovac PTU-om je planirano prometovanje vlakova mase do 1800 t i duljine 500 m dok je za vuču predviđena lokomotiva serije HŽ 1141. Grafikoni 3.1. i 3.2. prikazuju ovisnost brzine o prijeđenom putu na dionici Zagreb RK – Karlovac za vlak mase 1800 t dužine, 500 m pokretan lokomotivom serije HŽ 1141 000 u različitim uvjetima adhezije.



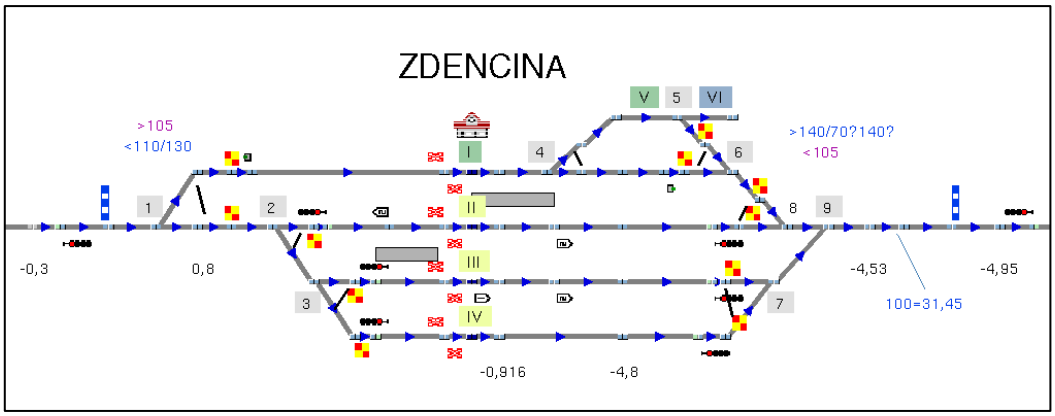
Grafikon 3.1. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za teretni vlak na relaciji Zagreb RK - Karlovac



Grafikon 3.2. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za teretni vlak na dionici Karlovac - Zagreb RK

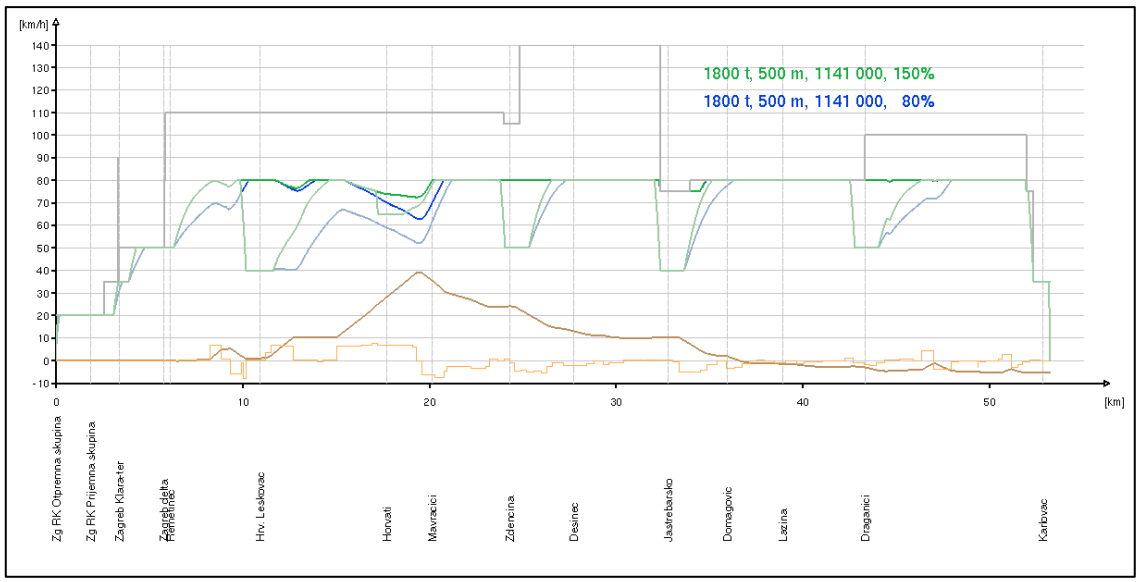
Iz grafikona 3.1. i 3.2. vidljivo je kako se brzina teretnog vlaka mase 500 t smanjuje prilikom uspona između kolodvora Horvati i Zdenčina. Također se može uočiti kako je u uvjetima smanjene adhezije pokretanje vlaka otežano iz kolodvora Hrvatski Leskovac i Horvati u smjeru Karlovca, odnosno iz kolodvora Jastrebarsko, Zdenčina i Horvati u smjeru Zagreba. Na ovoj dionici pruge poseban problem predstavlja ŽCPR koji se nalazi između

izlaznih signala kolodvora Zdenčina budući da isti ne može biti otvoren ukoliko se u kolodvoru nalazi vlak duži od 400m. na slici 3.6. prikazan je kolodvor Zdenčina izrađen u programu OpenTrack.

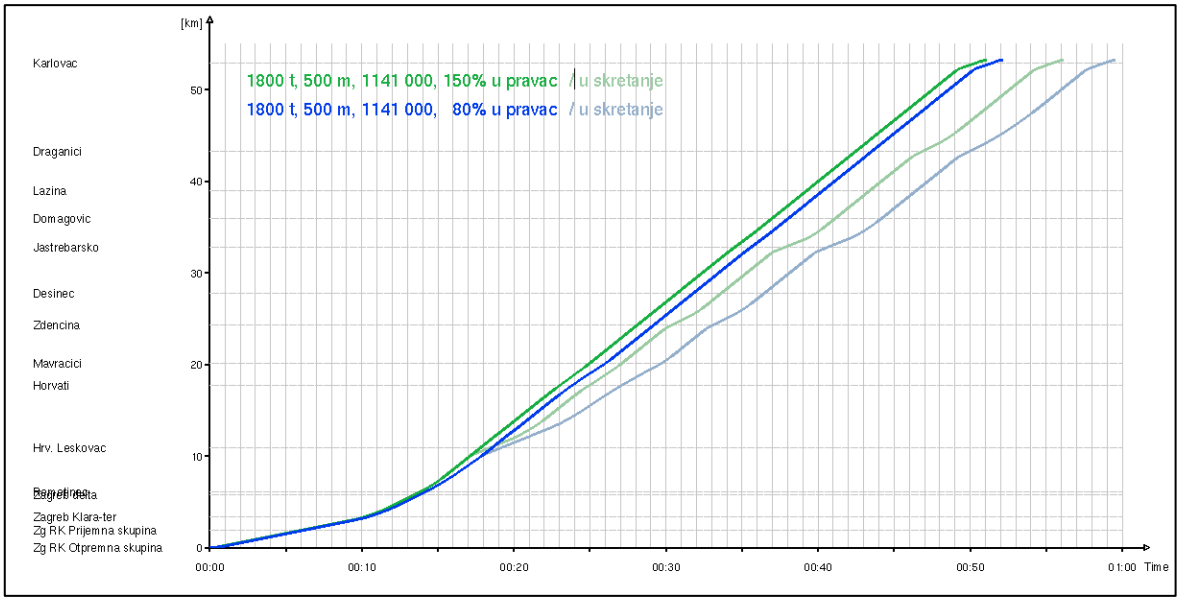


Slika 3.6. ŽCPR u kolodvoru Zdenčina

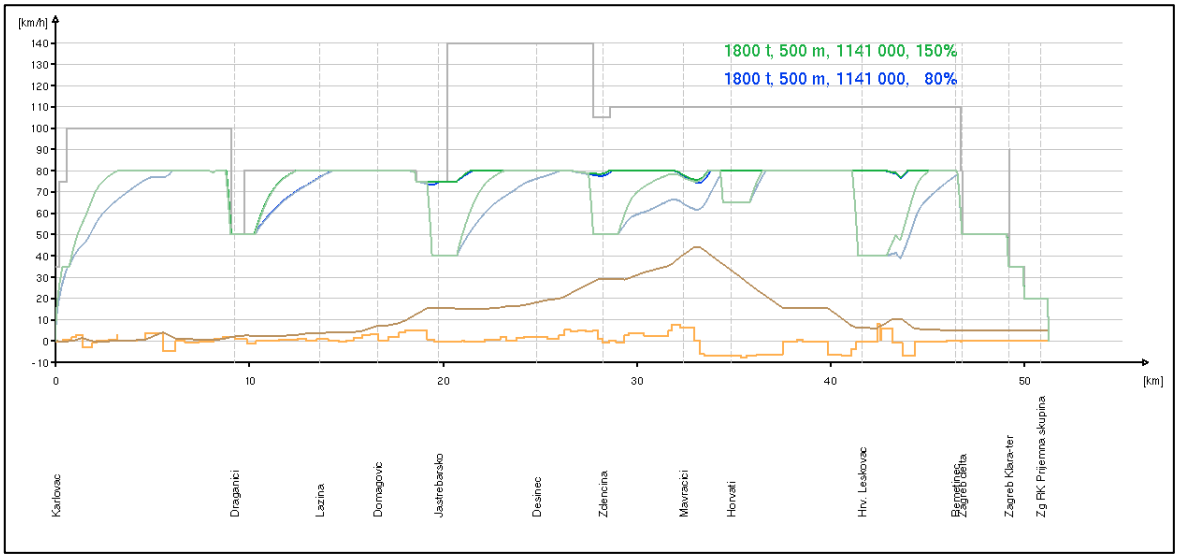
U dijagramima na slikama 3.3. – 3.6. prikazano je kretanje teretnog vlaka mase 1800 t i duljine 500 m pokretanog lokomotivom serije HŽ 1141 000 na dionici Zagreb RK – Karlovac u obadva smjera pri čemu je simulirano kretanje vlaka kroz kolodvore vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje u različitim uvjetima adhezije.



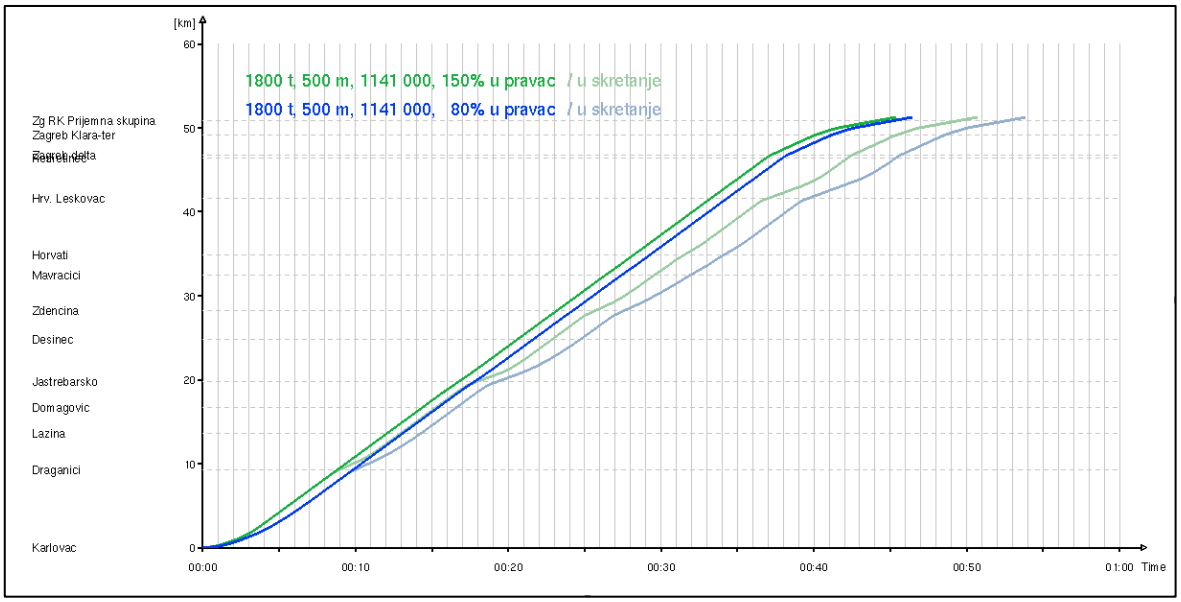
Grafikon 3.3. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za teretni vlak na dionici Zagreb RK – Karlovac pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje



Grafikon 3.4. s-t dijagram teretnog vlaka na dionici Zagreb RK – Karlovac pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje



Grafikon 3.5. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za teretni vlak na dionici Karlovac –Zagreb RK pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje



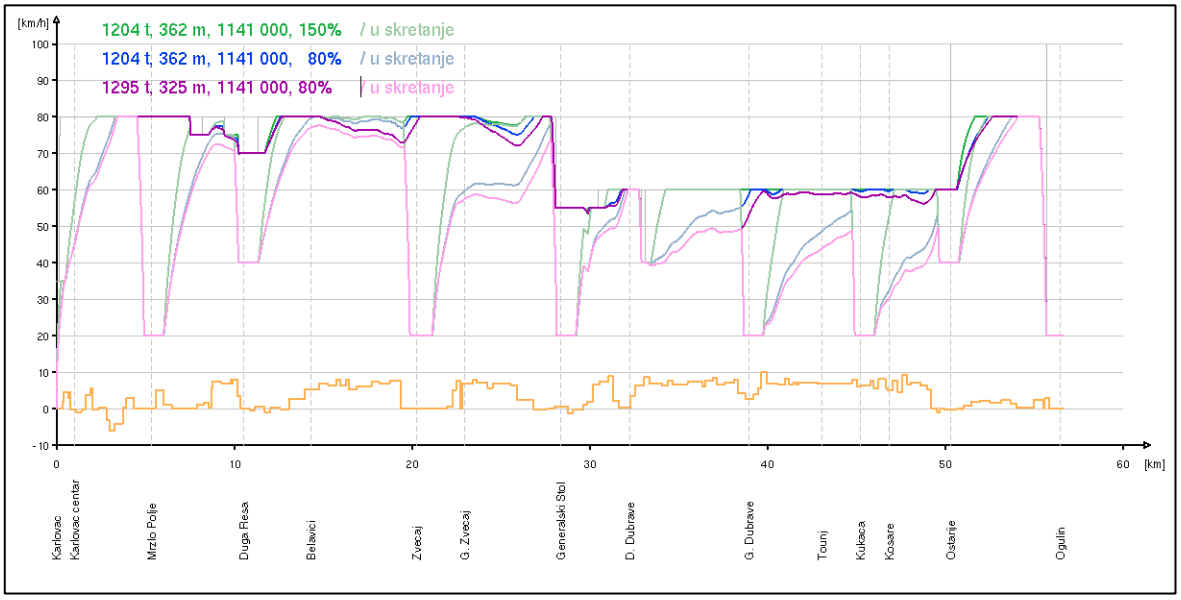
Grafikon 3.6. s-t dijagram teretnog vlaka na dionici Karlovac - Zagreb RK pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje

Iz grafikona je vidljivo kako se razlika u voznim vremenima teretnog vlaka maksimalne mase i dužine predviđene PTU-om pojavljuje vožnjom u skretanje kroz kolodvore Hrvatski Leskovac i Jastrebarsko u kojima propisana brzina u skretanje iznosi 40 km/h. Iz grafikona je također vidljivo kako na produljenje voznog vremena u uvjetima loše adhezije u kolodvoru Horvati ne utječe ograničenje brzine u kolodvoru Horvati budući da vlak pri ulasku u kolodvor dostiže brzinu manju od ograničene brzine u kolodvoru a što je uzrokovano ograničenom brzinom u kolodvoru Hrvatski Leskovac te usponom od KM 439+240.

U smjeru Karlovac – Zagreb do izraženijeg produljenja voznih vremena dolazi vožnjom u skretanje u kolodvorima Jastrebarsko, Zdenčina i Hrvatski Leskovac. U kolodvoru Zdenčina produljenje voznog vremena uvjetovano je usponom koji se nalazi između kolodvora Zdenčina i Horvati dok do produljenja voznog vremena u kolodvorima Jastrebarsko i Hrvatski Leskovac dolazi zbog ograničenja brzine u skretanje u navedenim kolodvorima.

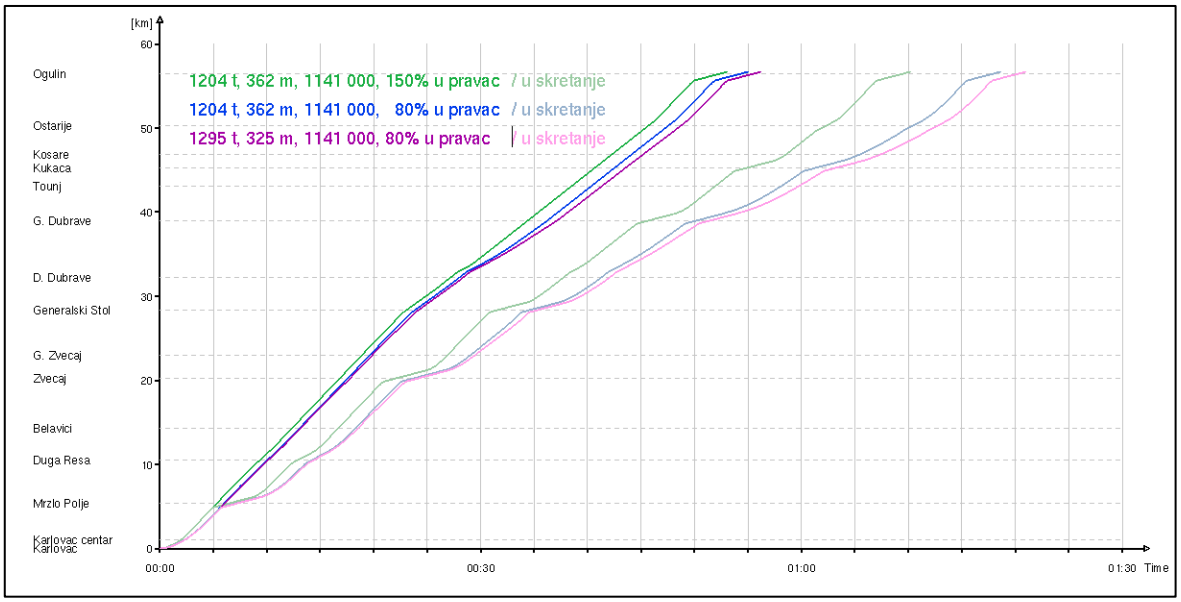
3.2.2. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na dionici Karlovac - Ogulin

Na dionici pruge između Karlovca i Ogulina PTU-om za teretni promet predviđeno je prometovanje teretnih vlakova maksimalne mase 1200 t, duljine 362 m u smjeru Rijeke, vlakova mase 1300 t, duljine 325 m u smjeru Knina, te vlakova mase 1800 t, duljine 500 m između Ogulina i Karlovca. Za vuču teretnih vlakova na ovoj dionici predviđena je lokomotiva serije HŽ 1141.

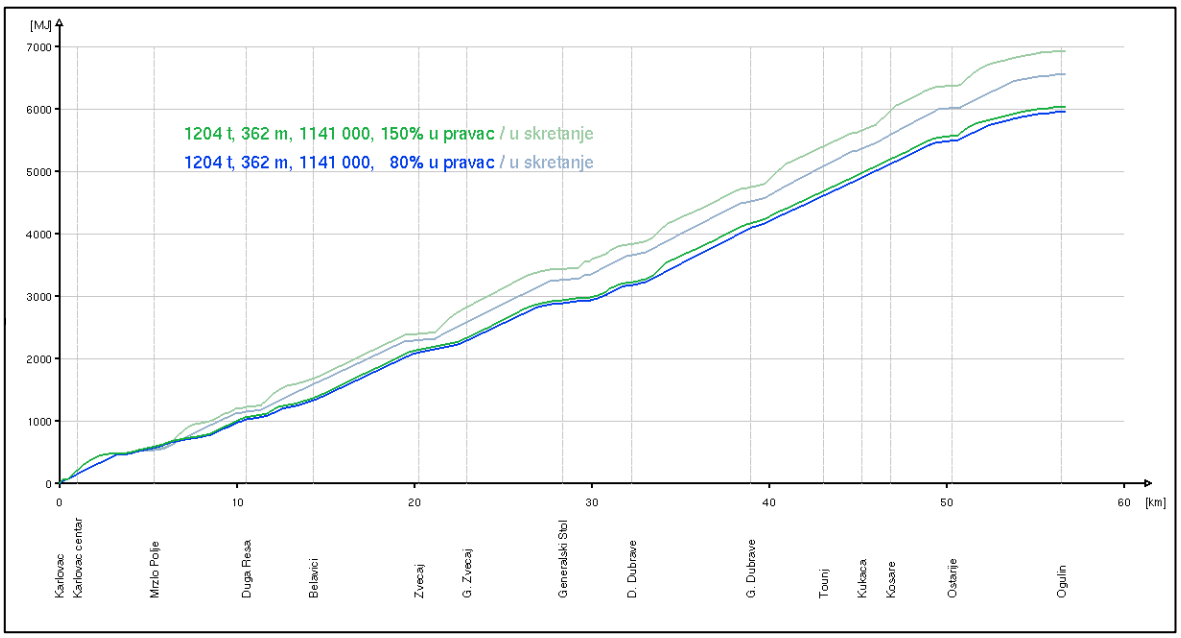


Grafikon 3.7. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za teretni vlak na dionici Karlovac – Ogulin pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje

Iz grafikona 3.7. i 3.8. uočava se kako do povećanja voznog vremena u slučaju prolaska kolodvora vožnjom u pravac dolazi prilikom pokretanja vlaka iz kolodvora Karlovac te između kolodvora Generalski Stol i Gornje Dubrave. U slučaju prolaska kolodvora vožnjom u skretanje vozna vremena se znatno povećavaju s obzirom da je brzina u skretanje u kolodvorima Mrzlo Polje, Zvečaj, Generalski Stol, Gornje Dubrave i Kukača ograničena na 20 km/h. Zbog te činjenice vozno vrijeme između kolodvora Karlovac i Ogulin povećava se za 18 – 23 min. Na grafikonu 3.7. uočljivo je kako je akceleracija vlaka u slučaju loše adhezije znatno manja pri povećavanju brzine nakon prolaska kolodvora Zvečaj, G. Dubrave i Kukača te nakon lagane vožnje iza stajališta D. Dubrave.

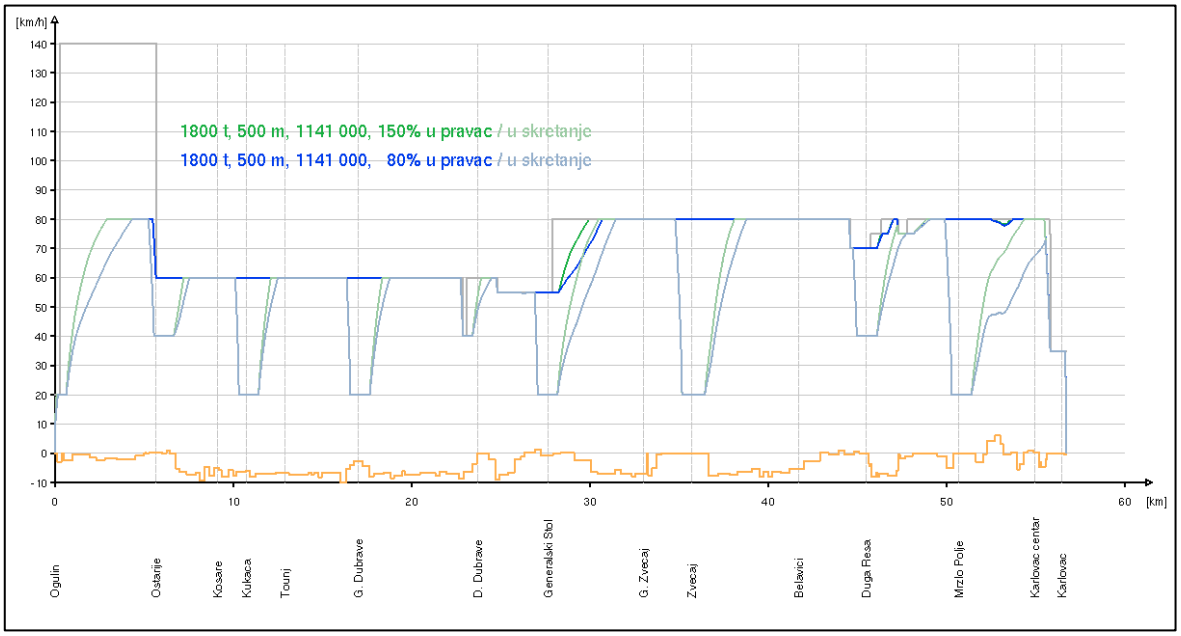


Grafikon 3.8. Ovisnost prijeđenog puta o vremenu za teretni vlak na dionici Karlovac - Ogulin pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje

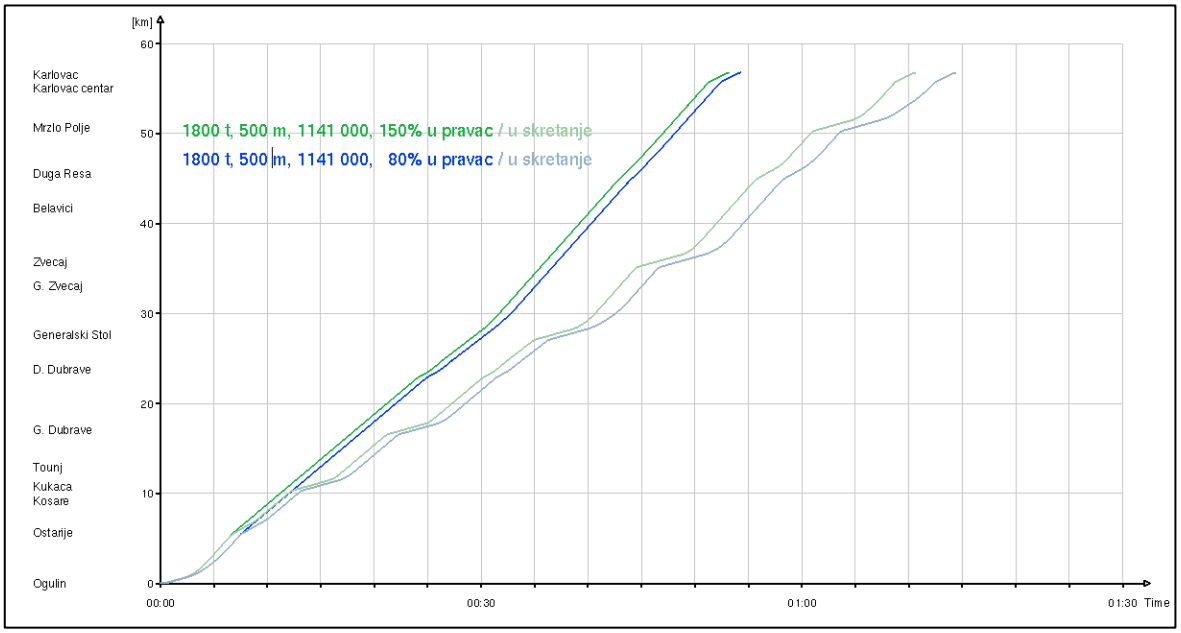


Grafikon 3.9. Ovisnost potrošnje energije teretnog vlaka o prijeđenom putu na dionici Karlovac – Ogulin pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje

Iz grafikona 3.9. može se vidjeti kako razlika u količini potrošene energije pri prolasku kolodvora vožnjom u pravac na promatranoj dionici pruge ovisno o adheziji iznosi do 1000 MJ što predstavlja 1/7 ukupno potrošene energije.



Grafikon 3.10. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za teretni vlak na dionici Ogulin – Karlovac pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje

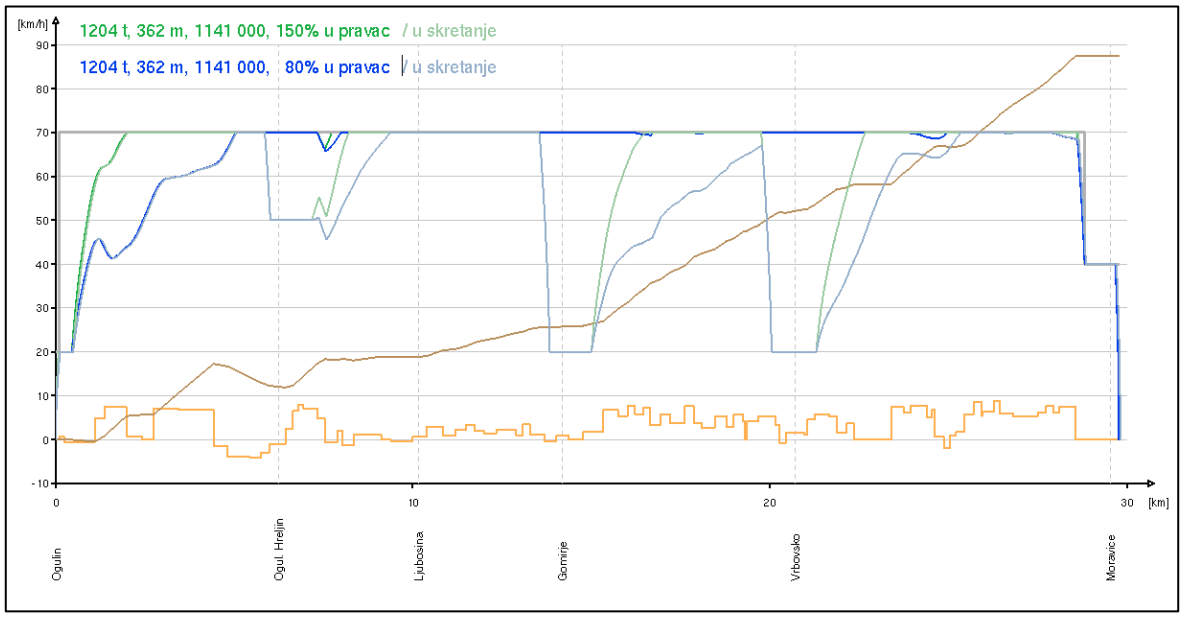


Grafikon 3.11. Ovisnost prijeđenog puta o vremenu na dionici Ogulin – Karlovac pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje

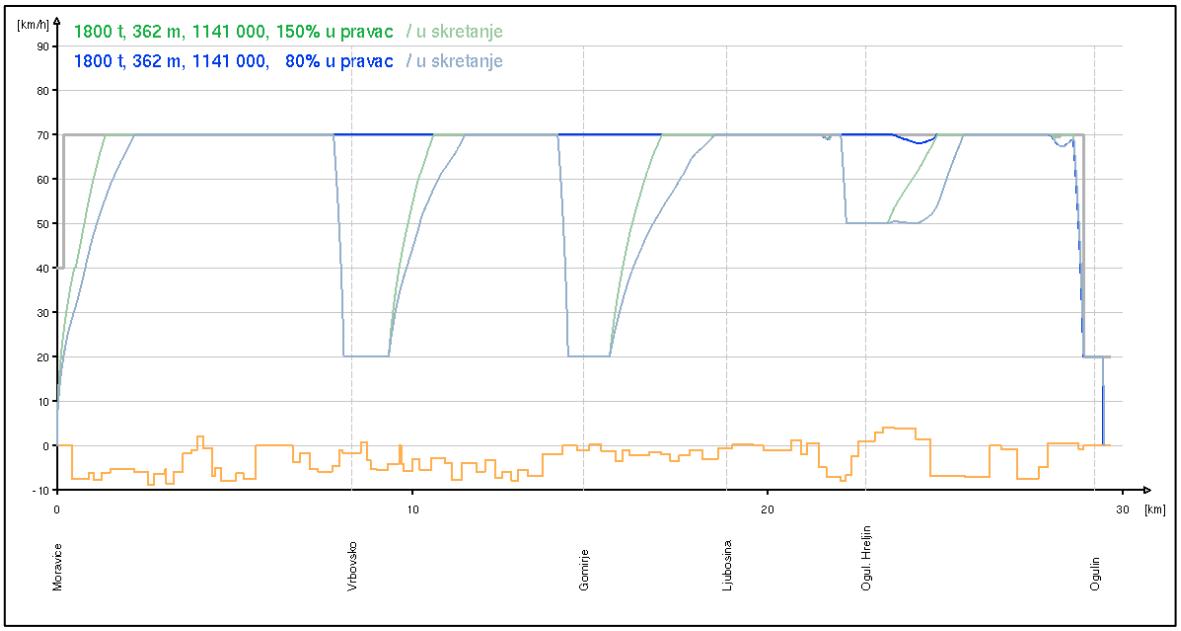
Budući da je u smjeru Ogulin – Karlovac pruga najvećim dijelom u padu predviđena masa vlakova je veća u odnosu na suprotni smjer. Kao što se vidi na grafikonima 3.10. i 3.11., u ovom smjeru na povećanje voznog vremena utječe vožnja u skretanje kroz kolodvore.

3.2.3. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na dionici Ogulin – Moravice

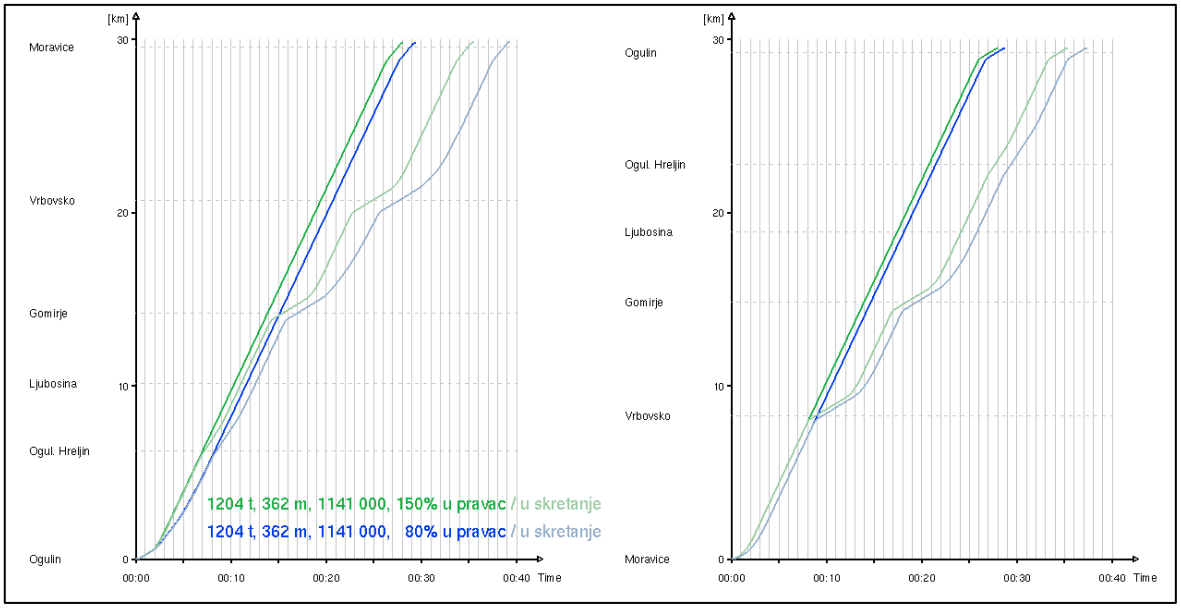
Na dionici pruge između Ogulina i Moravica PTU-om za teretni promet predviđeno je prometovanje teretnih vlakova maksimalne mase 1200 t, duljine 362 m u smjeru Rijeke, te vlakova mase 1800 t, duljine 362 m dok je u smjeru Moravice – Ogulin najveća dopuštena duljina vlaka 588 m (Ogulinski Hreljin). Za vuču teretnih vlakova na ovoj dionici predviđena je lokomotiva serije HŽ 1141.



Grafikon 3.12. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za teretni vlak na dionici Ogulin – Moravice pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje



Grafikon 3.13. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za teretni vlak na dionici Moravice – Ogulin pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje



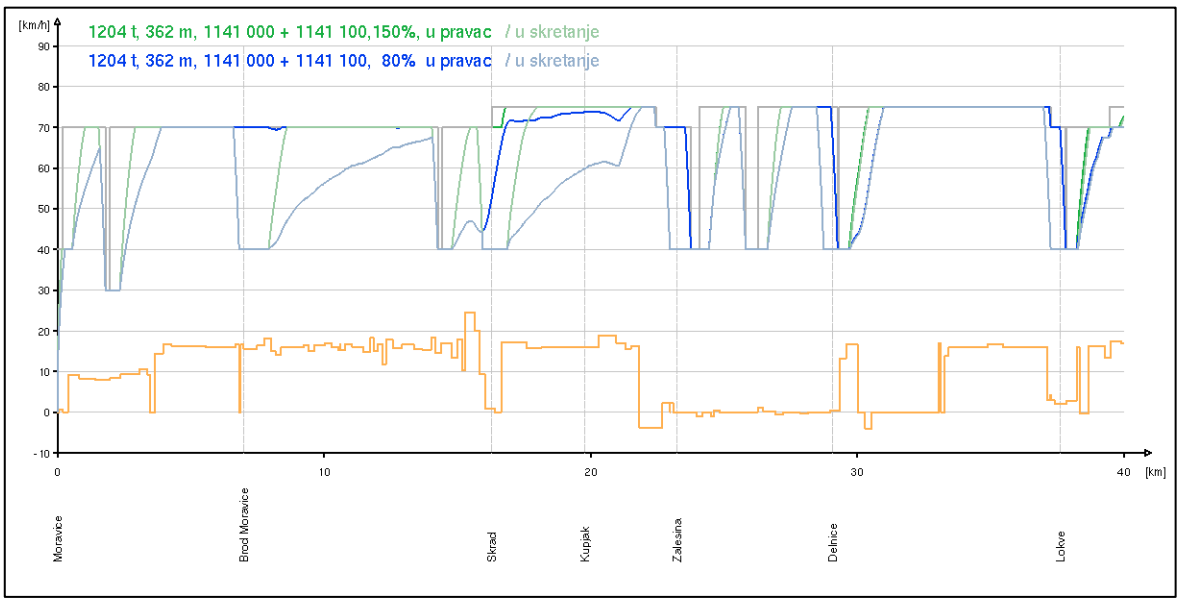
Grafikon 3.14. Ovisnost prijeđenog puta o vremenu na dionici Ogulin – Moravice pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje

Iz grafikona 3.12. – 3.14. može se vidjeti kako na vozna vremena u obadva smjera znatno utječe brzina u skretanje u kolodvorima Gomirje i Vrbovsko. U smjeru Ogulin – Moravice vlak u uvjetima loše adhezije teže ubrzava nakon prolaska kroz kolodvor Gomirje,

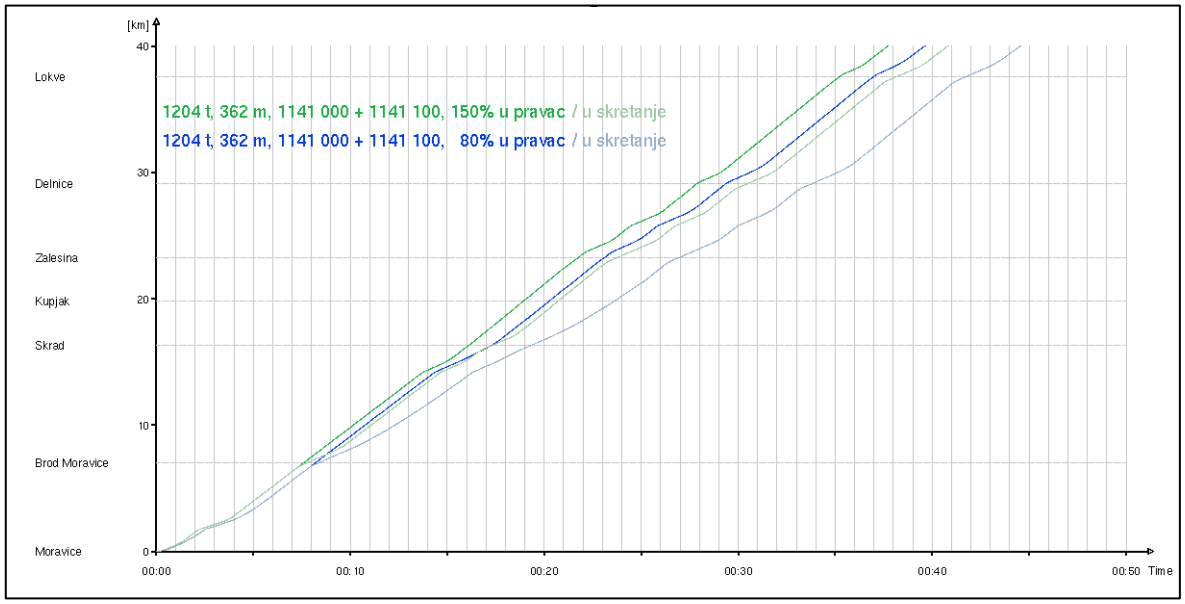
dok u suprotnom smjeru do povećanja voznog vremena zbog loše adhezije dolazi nakon prolaska kroz kolodvor Ogulinski Hreljin.

3.2.4. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na dionici Moravice - Lokve

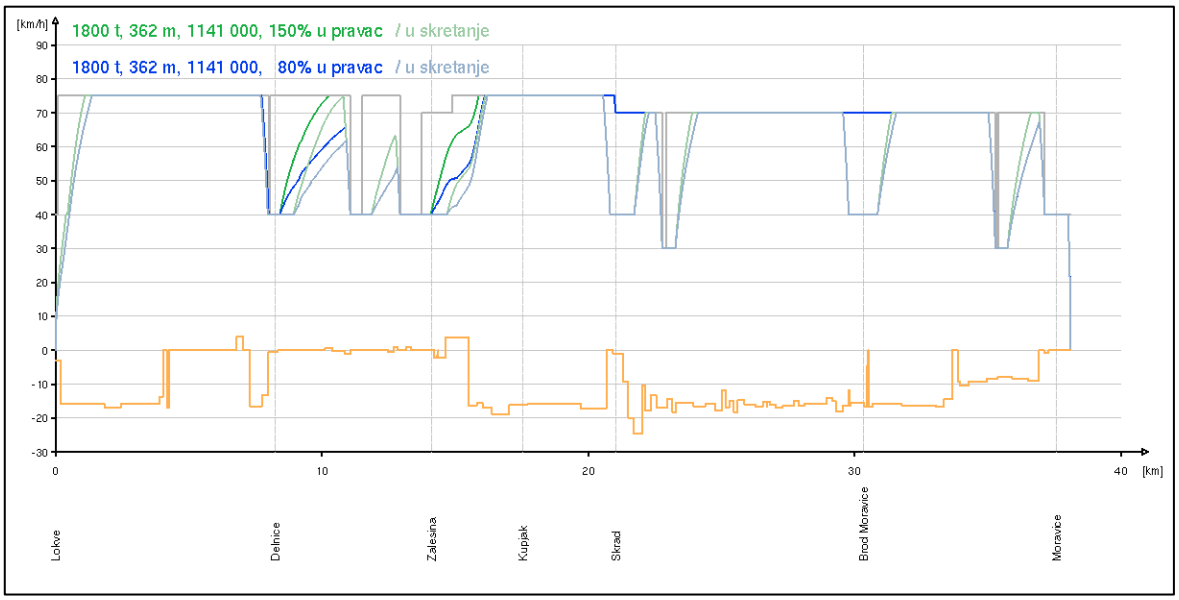
Na dionici pruge između Moravica i Lokvi PTU-om za teretni promet predviđeno je prometovanje teretnih vlakova maksimalne mase 1200 t, duljine 362 m u smjeru Rijeke, te vlakova mase 1800 t, duljine 362 m u smjeru Ogulina. Za vuču teretnih vlakova u smjeru Rijeke predviđene su dvije lokomotive serije HŽ 1141, odnosno lokomotive serije HŽ 1141 i HŽ 2063 za 3 para vlakova. Iako je PTU-om predviđena zaprega u smjeru Lokve – Moravice, zbog prometnih potreba te nedostatka vučnih sredstava vlakovi u sastavu imaju jednu lokomotivu dok se lokomotive za potrebe zaprege u Moravicama dostavljaju strojnim vožnjama. Zbog navedenog razloga u radu je za smjer Lokve – Moravice simulirano kretanje vlaka s jednom lokomotivom serije HŽ 1141 000. U smjeru Moravice – Lokve simulirano je kretanje vlaka s lokomotivama serije HŽ 1141 podserija 000 i 100.



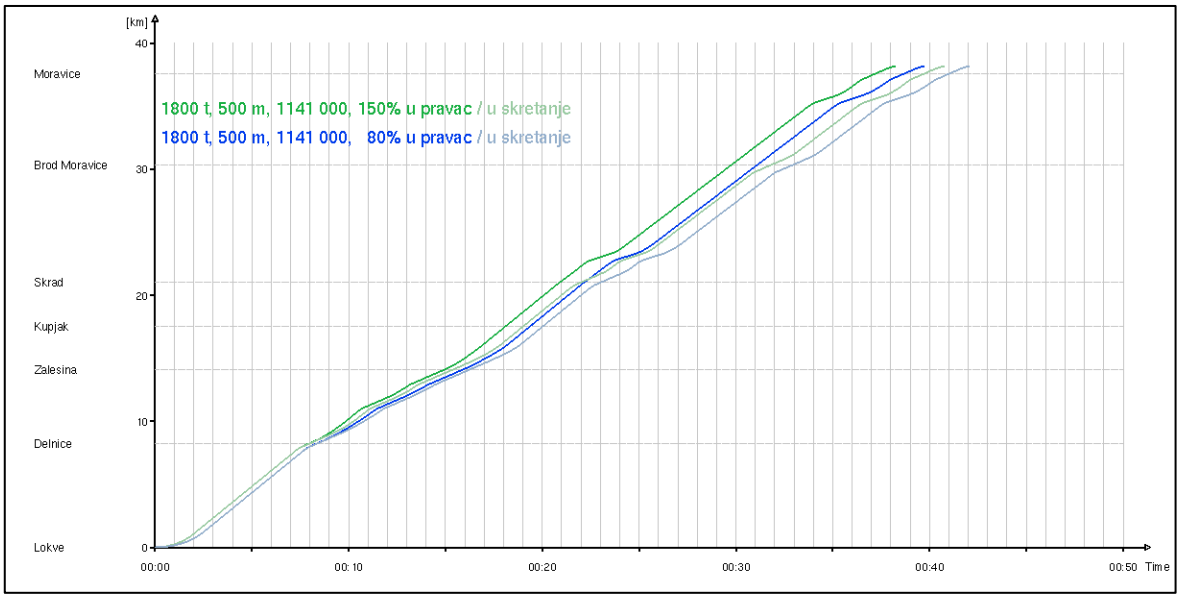
Grafikon 3.15. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za teretni vlak na dionici Moravice – Lokve pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje



Grafikon 3.16. Ovisnost prijeđenog puta o vremenu na dionici Moravice – Lokve pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje



Grafikon 3.17. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za teretni vlak na dionici Lokve – Moravice pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje

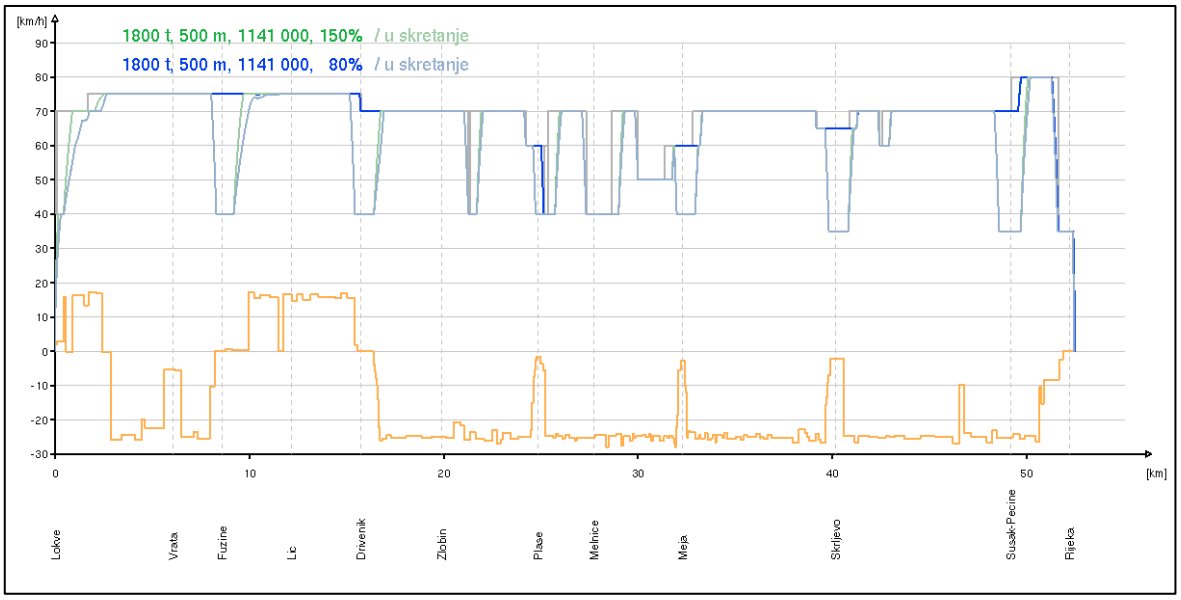


Grafikon 3.18. Ovisnost prijeđenog puta o vremenu na dionici Lokve – Moravice pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje

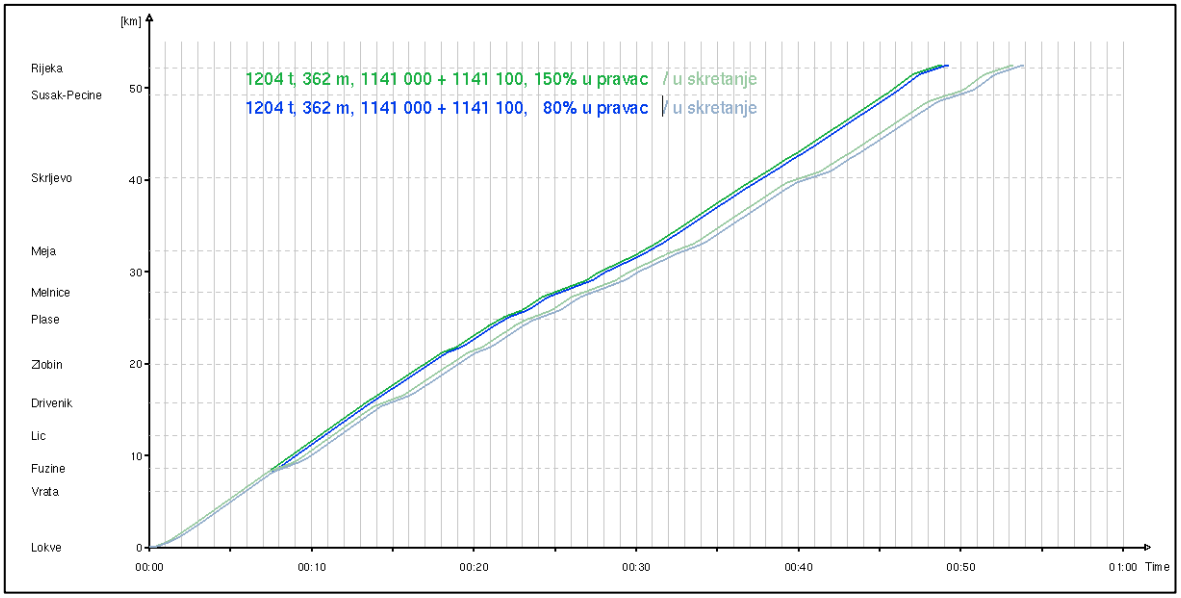
Na grafikonima 3.15. i 3.17. uočljivo je kako se na promatranoj dionici pruge nalazi pet mjesta na kojima je uvedena lagana vožnja. Zbog navedenog razloga vozno vrijeme pri vožnji u skretanje u smjeru Moravice – Lokve u slučaju loše adhezije izraženije odstupa od voznih vremena dobivenih u ostala tri slučaja.

3.2.5. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na dionici Lokve – Rijeka

Dionicom pruge između Lokvi i Rijeke PTU-om je predviđeno prometovanje vlakova mase 1204 t, duljine 362m u smjeru Rijeke odnosno mase do 1800t i duljine 362 m u smjeru Lokvi. S obzirom da se na promatranoj dionici pruga većim dijelom nalazi u usponu od 26 ‰ iz smjera Rijeke prema Lokvama u navedenom smjeru formiraju se podijeljeni vlakovi koji se spajaju u kolodvoru Lokve. Za vuču vlakova na navedenoj dionici PTU-om su predviđene dvije lokomotive serije HŽ 1141 odnosno za tri para vlakova po jedna lokomotiva serija HŽ 1141 i HŽ 2063. U radu je simulirano kretanje vlakova sa dvije lokomotive serije 1141 podserija 000 i 100.



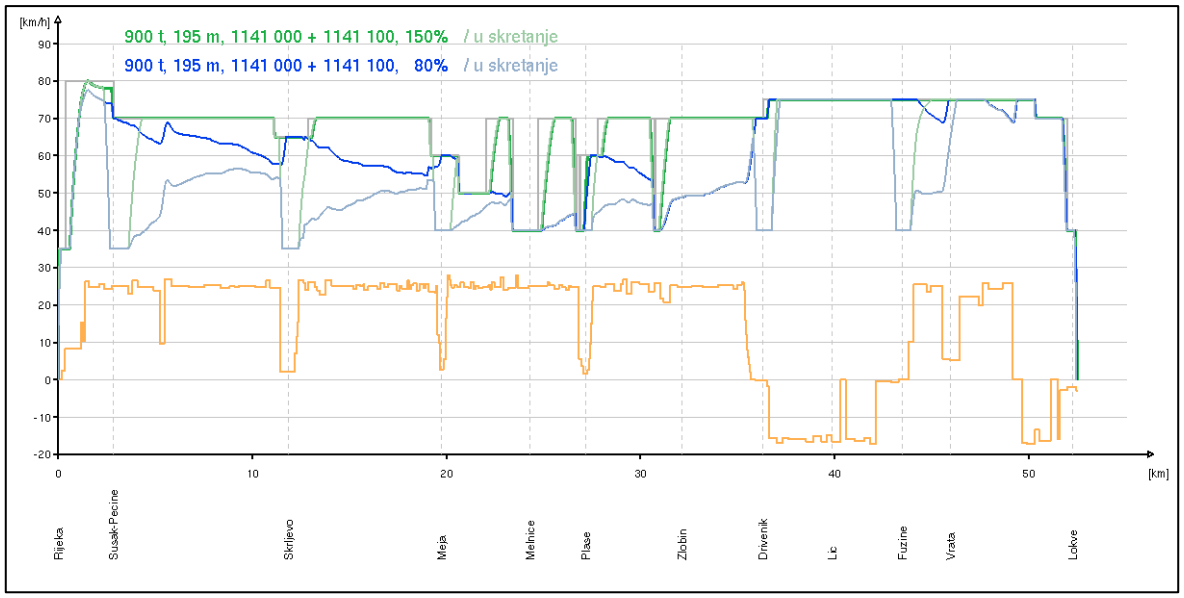
Grafikon 3.19. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za teretni vlak na dionici Lokve – Rijeka pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje



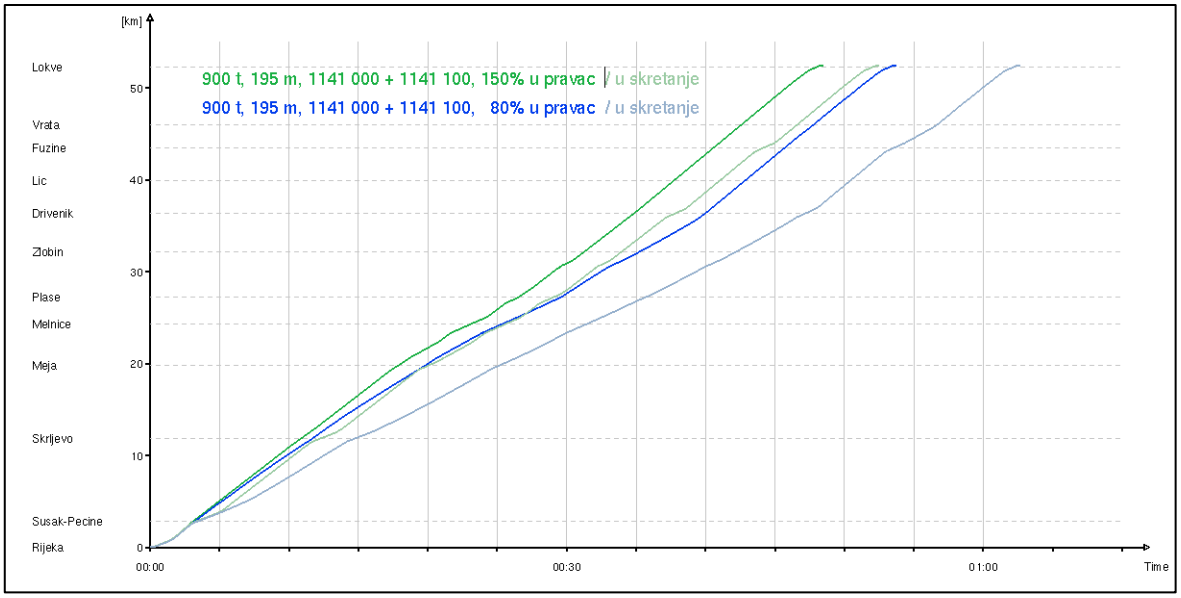
Grafikon 3.20. Ovisnost prijeđenog puta o vremenu na dionici Lokve – Rijeka pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje

Iz grafikona 3.19. i 3.20. vidljivo je kako su brzine i vozna vremena približna u uvjetima dobre i loše adhezije što je i logično s obzirom da se pruga na promatranoj dionici odnosno smjeru nalazi u padu. S druge strane promatrajući v-s dijagram na grafikonu 3.21. može se vidjeti kako u slučaju loše adhezije te vožnje u pravac kroz kolodvore brzina između

kolodvora Sušak – Pećine i Drivenik konstantno pada prema iznosu cca. 55 km/h izvan područja kolodvora dok u slučaju kada vlak prolazi kroz kolodvore vožnjom u skretanje nakon prolaska kolodvora brzina raste prema istom iznosu.



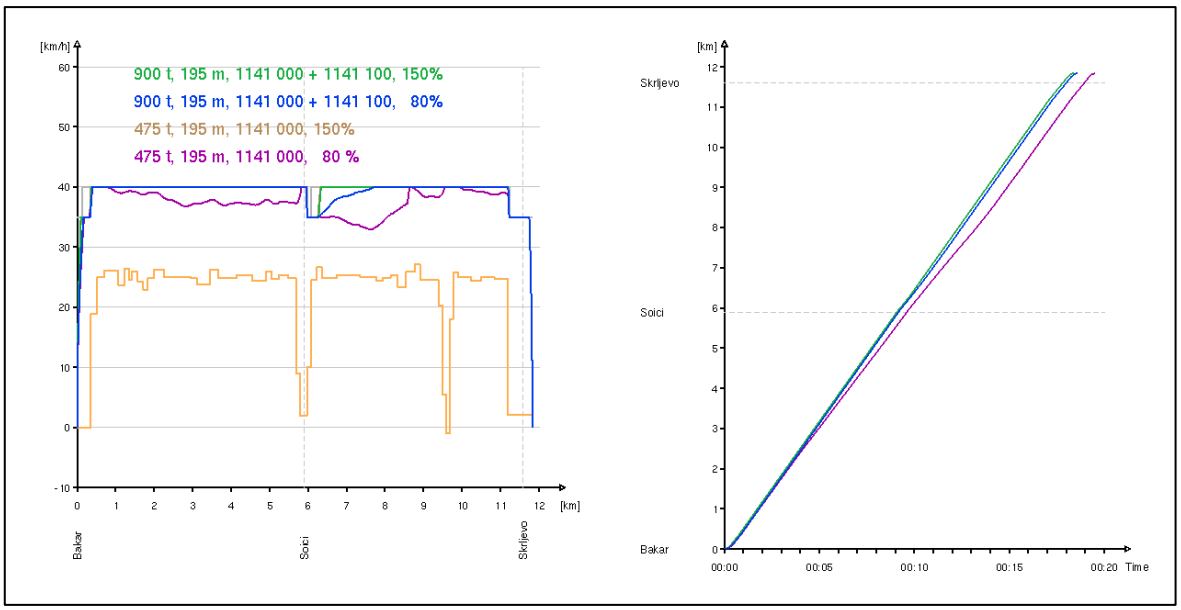
Grafikon 3.21. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za teretni vlak na dionici Rijeka – Lokve pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje



Grafikon 3.22. Ovisnost prijeđenog puta o vremenu na dionici Rijeka – Lokve pri prolazu kolodvora vožnjom u pravac i vožnjom u skretanje

3.2.6. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na pruzi M602

Prugom M602 (Škrljevo – Bakar), u smjeru Bakar – Škrljevo PTU-om je predviđeno prometovanje vlakova maksimalne mase 894 t i duljine 362 m pri čemu su za vuču planirane dvije lokomotive serije HŽ 1141, te vlakovi mase 475 t i duljine 362 m za koje je planirana jedna lokomotiva serije HŽ 1141. U radu je simulirano kretanje vlakova mase 900 t sa dvije lokomotive te vlaka mase 475 t sa jednom lokomotivom. Kretanje vlaka u smjeru Škrljevo – Bakar nije simulirano s obzirom da se pruga nalazi u konstantnom padu prema kolodvoru Bakar.

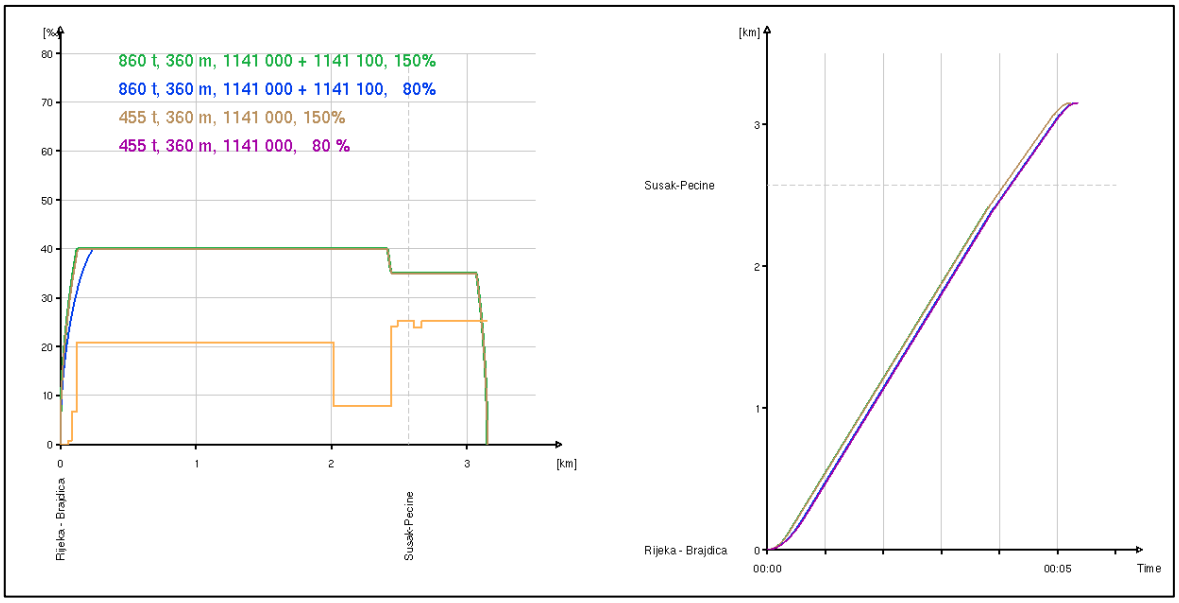


Slika 3.7 Dijagrami ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu i dijagram ovisnost prijeđenog puta o vremenu za teretni vlak na pruzi Škrljevo - Bakar

Na dijagramima kretanja vlakova prikazanima na slici 3.7. vidi se kako je u slučaju dobre adhezije brzina za obadva vlaka jednaka, dok u slučaju slabe adhezije vlak mase 475 t ne može postići brzinu predviđenu KVR-om zbog čega se vozno vrijeme vlaka mase 475 t u slučaju loše adhezije produžuje.

3.2.7. Analiza voznih vremena teretnih vlakova na pruzi M603

Na pruzi M603 (Sušak – Rijeka Brajdica) PTU-om je planirani prometovanje vlakova najveće mase 453 t i duljine 360 m pokretanih lokomotivom serije 1141 te vlakova najveće mase 860 t i duljine 362 m te dvije lokomotive serije 1141. U radu je simulirano kretanje vlakova mase 860 t i duljine 360 m, te kretanje vlakova mase 455t i duljine 360 m. Kretanje vlaka u smjeru Sušak – Rijeka Brajdica nije simulirano s obzirom da se pruga nalazi u konstantnom padu prema kolodvoru Rijeka Brajdica.



Slika 3.8. Dijagram ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu i dijagram ovisnost prijeđenog puta o vremenu za teretni vlak na pruzi Sušak – Rijeka Brajdica

Iz dijagrama prikazanih na slici 3.8. uočljiva je razlika između ubrzanja vlaka ovisno o adheziji dok razlika u masi vlaka ne utječe na ubrzanje odnosno vozno vrijeme.

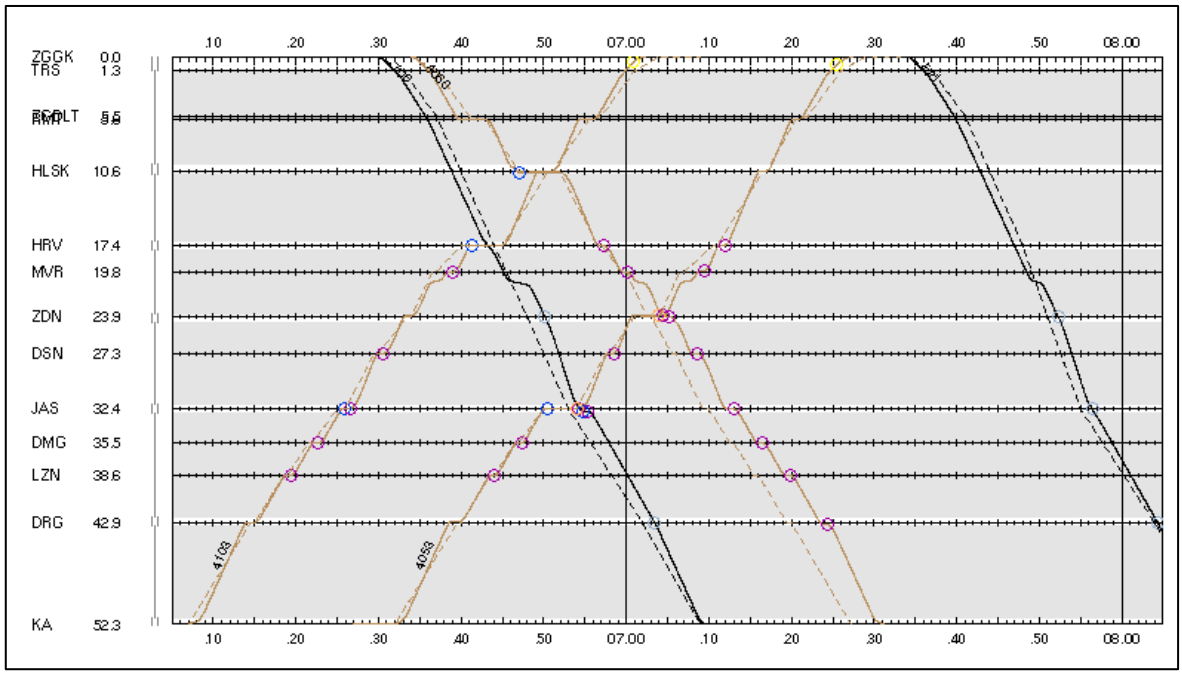
3.3. Simulacijska analiza stabilnosti voznog reda

Stabilnost voznog reda pri prometovanju putničkih vlakova ispitana je kroz dva scenarija na dionici pruge između Zagreba i Karlovca gdje su simulirani kvarovi na vučnim vozilima i na željezničkoj infrastrukturi u vremenu između 6:00 i 8:00 sati. U navedenom razdoblju prometuju vlakovi 521, 700, 4050, 4053 i 4103.

3.3.1. Prvi scenarij za analizu stabilnosti voznog reda

U prvom scenariju simulirana je uvedena lagana vožnja zbog oštećenja kolosijeka od KM 445+212 do KM 445.268 pri čemu je brzina prolaska ograničena na 10 km/h. Nakon simuliranja prvog scenarija dobiveni su sljedeći rezultati:

- vlak 4103 kasni 2 minute u dolasku u stajalište Mavračići te 1,5 minuta u dolasku u kolodvor Horvate no ne utječe na ostale vlakove
- vlak 700 kasni dvije minute u dolasku u kolodvor Jastrebarsko, kasni 1,5 minuta u prolazu kroz kolodvor Draganići te 1 minutu u dolasku u kolodvor Karlovac
- vlak 4053 zbog kašnjenja vlaka 700 kasni u polasku iz kolodvora Jastrebarsko 30 sekundi, zbog kašnjenja vlaka 4050 kasni u polasku iz kolodvora Zdenčina 30 sekundi, kasni u polasku iz stajališta Mavračići 2,5 min i iz kolodvora Horvati 1 minutu
- vlak 4050 kasni 2 minute u dolasku u kolodvor Zdenčina te do kolodvora Karlovac ne uspijeva smanjiti kašnjenje
- vlak 521 kasni u prolasku kroz kolodvore Zdenčina, Jastrebarsko i Draganići te na vrijeme stiže u kolodvor Karlovac

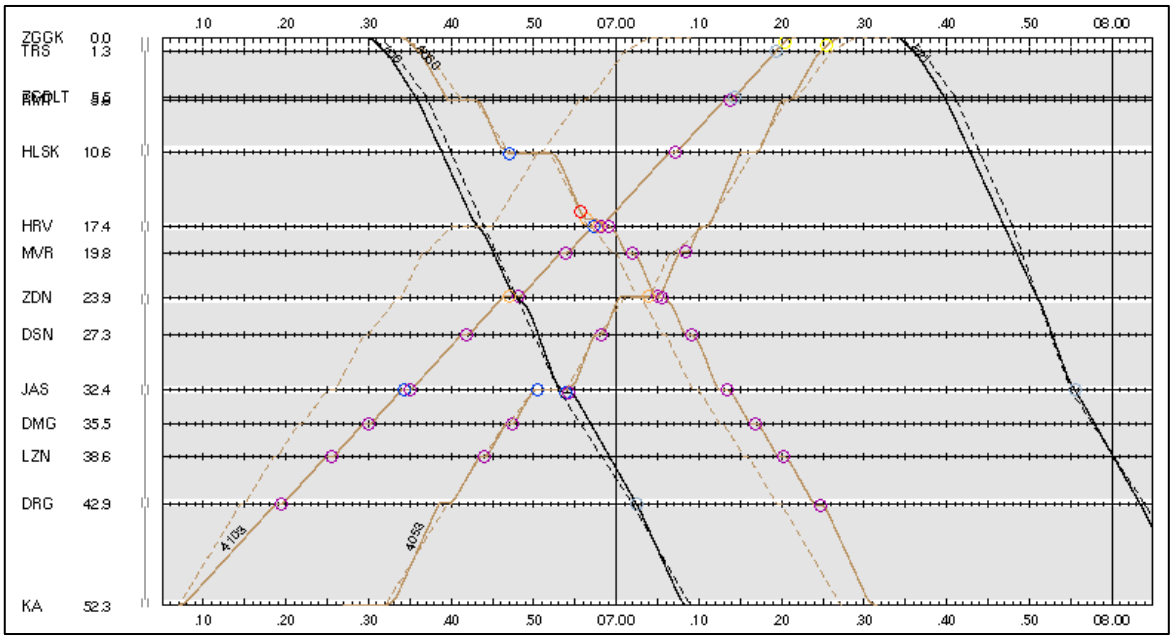


Slika 3.9. Grafikon voznog reda nakon simulacije prvog scenarija

3.3.2. Drugi scenarij za analizu stabilnosti voznog reda

U drugom scenariju simuliran je kvar vučnog vozila na vlaku 4103 zbog kojega je brzina kretanja vlaka ograničena na 50 km/h. Nakon simulacije drugog scenarija dobiveni su slijedeći rezultati:

- vlakovi 4103 i 700 umjesto u kolodvoru Horvati križaju se u kolodvoru Zdenčina
- vlakovi 4103 i 4050 umjesto u kolodvoru Hrvatski Leskovac križaju se u kolodvoru Horvati
- vlak 4103 kasni u dolasku u Zagreb Glavni kolodvor 18 minuta
- vlak 700 usporava ispred ulaznog signala kolodvora Zdenčina
- vlak 4053 čeka na križanje s vlakom 4050 u kolodvoru Zdenčina zbog čega u polasku kasni 1 minutu
- vlak 4050 zbog čekanja na križanje s vlakom 4103 kasni u polasku iz kolodvora Horvati 2 min te do kolodvora Karlovac ne uspijeva nadoknaditi kašnjenje
- kašnjenje vlaka 4103 ne utječe na vlak 521



Slika 3.10. Grafikon voznog reda nakon simulacije drugog scenarija

4. MJERE ZA UNAPRJEĐENJE ŽELJEZNIČKOG PROMETA NA PRUZI ZAGREB – RIJEKA

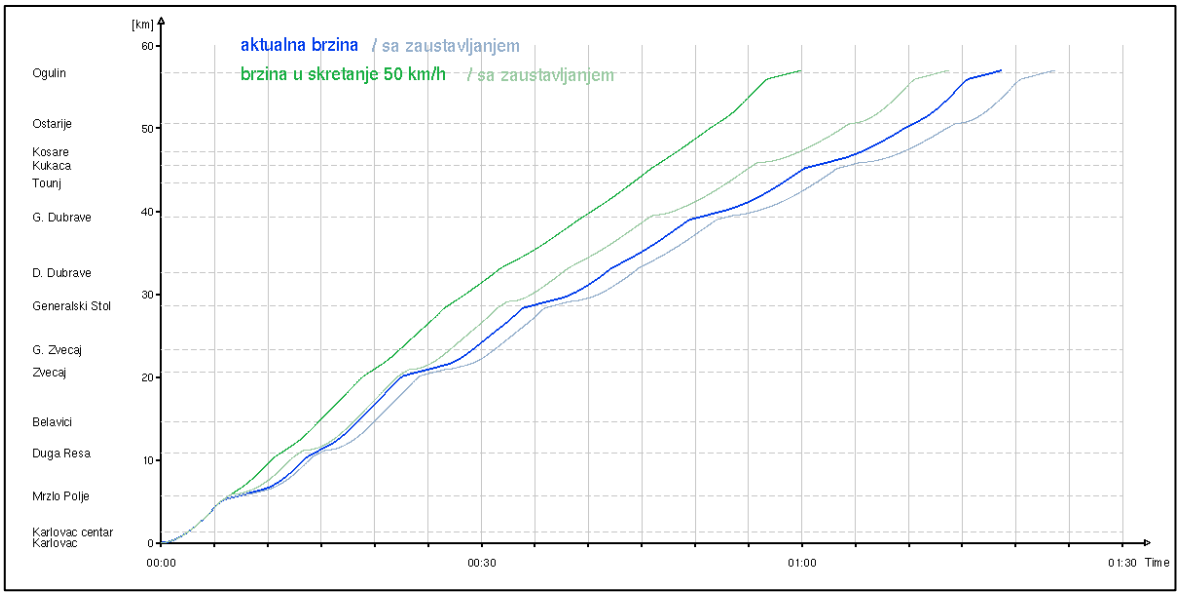
Mjere za unaprjeđenje željezničkog prometa na pruzi Zagreb – Rijeka razmatrane u radu su mogućnost skraćivanja voznih vremena na pojedinim dionicama, povećanje mase vučnih vozila u cilju postizanja bolje adhezije, mogućnost uvođenja vlakova u snopu na dionici pruge Zagreb – Ogulin te mogućnost uspostave taktnog voznog reda na dionici Zagreb – Karlovac.

4.1. Smanjivanje voznih vremena povećanjem brzine u skretanje u kolodvorima te mjestima s propisanom laganom vožnjom

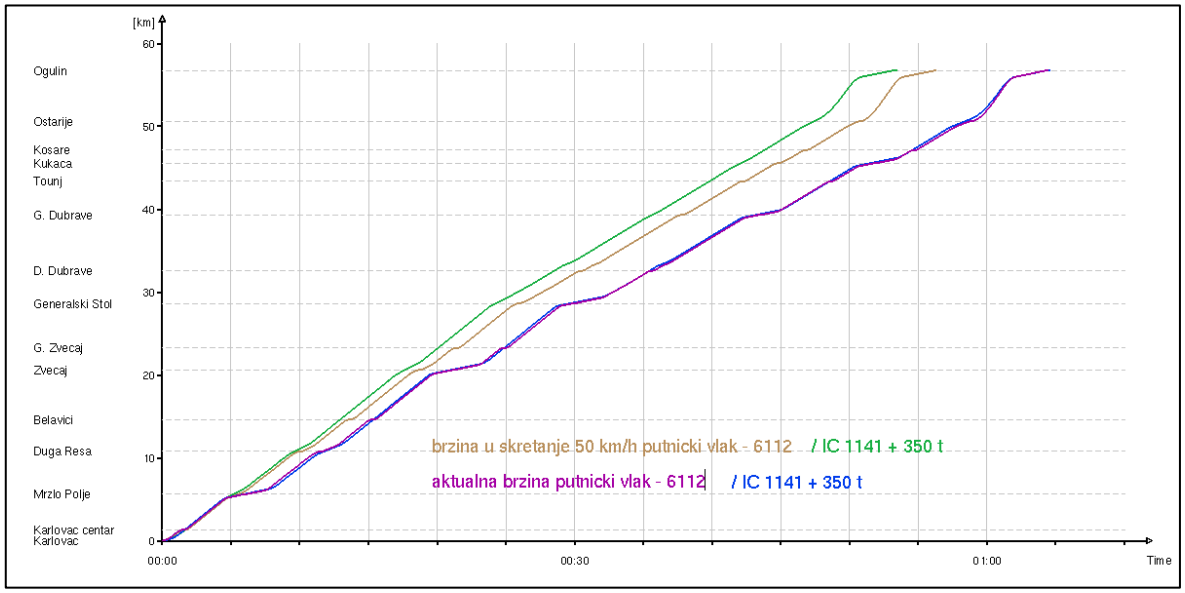
Na pruzi Zagreb – Rijeka je u dijelu kolodvora zbog stanja skretnica i kolosijeka propisana vožnja u skretanje brzinom manjom od projektirane. Zbog navedenog razloga brzina u skretanje je ograničena na 20 km/h u kolodvorima Mrzlo Polje, Zvečaj, Generalski Stol, Gornje Dubrave, Kukača, Ogulin, Gomirje i Vrbovsko.

Osim ograničenja brzine u kolodvorima na produljenje voznih vremena utječu mjesta na pruzi s propisanim ograničenjima brzine kao što su prilazi ŽCPR-ima osiguranima samo Andrijinim križem i znakom ″STOP″.

S obzirom da se na dionici Karlovac – Ogulin nalazi najviše kolodvora s ograničenom brzinom u skretanje u radu je simulirano kretanje putničkog i teretnog vlaka u uvjetima loše adhezije pri prolasku i zaustavljanju vlaka u kolodvorima brzinama propisanim aktualnim voznim redom te brzinom 50 km/h. Simulirano je kretanje teretnog vlaka mase 1204 t pokretanog lokomotivom serije HŽ 1141 000 sa prolazom kroz kolodvore bez zadržavanja te sa zadržavanjem u istima. Kretanje putničkog vlaka simulirano je sa elektromotornom garniturom (EMG) serije HŽ 6112, dok je kretanje IC vlaka simulirano sa vlakom mase 350 t pokretanim lokomotivom serije HŽ 1141 376.



Grafikon 4.1. Ovisnost prijeđenog puta o vremenu za teretni vlak mase 1204 t s različitim brzinama u kolodvorima



Grafikon 4.2. Ovisnost prijeđenog puta o vremenu putničkog i IC vlaka s različitim brzinama u kolodvorima

Nakon simuliranja kretanja vlakova kroz kolodvore aktualnim brzinama te brzinom 50 km/ iz s-v dijagrama može se vidjeti kako je u slučaju povećanja brzina u skretanje kroz kolodvore vozno vrijeme teretnih vlakova koji imaju prolaz kroz kolodvore kraće za 19

minuta. Kod putničkog vlaka vozno vrijeme je kraće za 11 minuta, dok je kod IC vlaka vozno vrijeme kraće za 8 minuta.

4.2. Povećanje mase vučnog vozila

S obzirom da masa vučnog vozila utječe na njegovu adheziju u radu je simulirano kretanje teretnog vlaka na dionici Rijeka – Lokve u lošim uvjetima adhezije sa lokomotivom serije HŽ 1141 000 mase 78 t, te sa lokomotivom iste serije ukoliko joj se masa poveća na 90 t čime bi se osovinsko opterećenje povećalo na 22,5t/os.

Course ID	Station	Arrival		Departure		Wait	Stop	M. Del.
ri-lkv2	Ri	HH:MM:SS	HH:MM:SS	00:00:00	00:00:00	0	✓	0
ri-lkv2	S-P	00:03:57	00:03:55	00:03:57	00:03:57	0	✓	0
ri-lkv2	SKV	00:15:50	00:13:39	00:15:50	00:15:50	0	✓	0
ri-lkv2	MEJA	00:25:09	00:23:43	00:25:09	00:25:09	0	✓	0
ri-lkv2	MLN	HH:MM:SS	HH:MM:SS	00:31:44	00:31:13	0		0
ri-lkv2	PLS	00:36:11	00:35:23	00:36:11	00:36:11	0	✓	0
ri-lkv2	ZLB	HH:MM:SS	HH:MM:SS	00:42:57	00:42:09	0		0
ri-lkv2	DVK	00:47:57	00:46:19	00:47:57	00:47:57	0	✓	0
ri-lkv2	LIC	HH:MM:SS	HH:MM:SS	00:51:22	00:51:19	0		0
ri-lkv2	FZN	00:54:33	00:54:30	00:54:33	00:54:33	0	✓	0
ri-lkv2	VRA	HH:MM:SS	HH:MM:SS	00:57:28	00:57:14	0		0
ri-lkv2	LKV	01:03:26	01:03:08	HH:MM:SS	HH:MM:SS	0	✓	0

Slika 4.1. Usporedba voznih vremena vlaka mase 900 t s različitim vučnim vozilima

Course ID	Station	Arrival		Departure		Wait	Stop	M. Del.
ri-lkv	Ri	HH:MM:SS	HH:MM:SS	00:00:00	00:00:00	0	✓	0
ri-lkv	S-P	00:03:57	00:04:00	00:03:57	00:04:00	0	✓	0
ri-lkv	SKV	00:15:50	00:15:46	00:15:50	00:15:50	0	✓	0
ri-lkv	MEJA	00:25:09	00:25:07	00:25:09	00:25:09	0	✓	0
ri-lkv	MLN	HH:MM:SS	HH:MM:SS	00:31:44	00:31:42	0		0
ri-lkv	PLS	00:36:11	00:36:08	00:36:11	00:36:11	0	✓	0
ri-lkv	ZLB	HH:MM:SS	HH:MM:SS	00:42:57	00:42:55	0		0
ri-lkv	DVK	00:47:57	00:47:52	00:47:57	00:47:57	0	✓	0
ri-lkv	LIC	HH:MM:SS	HH:MM:SS	00:51:22	00:51:22	0		0
ri-lkv	FZN	00:54:33	00:54:33	00:54:33	00:54:33	0	✓	0
ri-lkv	VRA	HH:MM:SS	HH:MM:SS	00:57:28	00:57:28	0		0
ri-lkv	LKV	01:03:26	01:03:25	HH:MM:SS	HH:MM:SS	0	✓	0

Slika 4.2. Usporedba voznih vremena vlaka mase 900 t i vlaka mase 1015 t

Simulacijom su dobiveni rezultati iz kojih se vidi kako je povećanjem mase lokomotive vozno vrijeme između pojedinih kolodvora kraće između 2 i 131 sekunde, te je najveće skraćenje voznog vremena između kolodvora Sušak i Škrljevo.

U slučaju povećanja stvarne mase vlaka na 1015 t vozna vremena ostaju približno ista kao kod vlaka stvarne mase 900 t pokretanog lokomotivama serije 1141 podserija 000 i 100. Iz navedenoga se može zaključiti kako bi se povećanjem mase lokomotive na 90 t stvarna masa vlaka mogla povećati za 115 t.

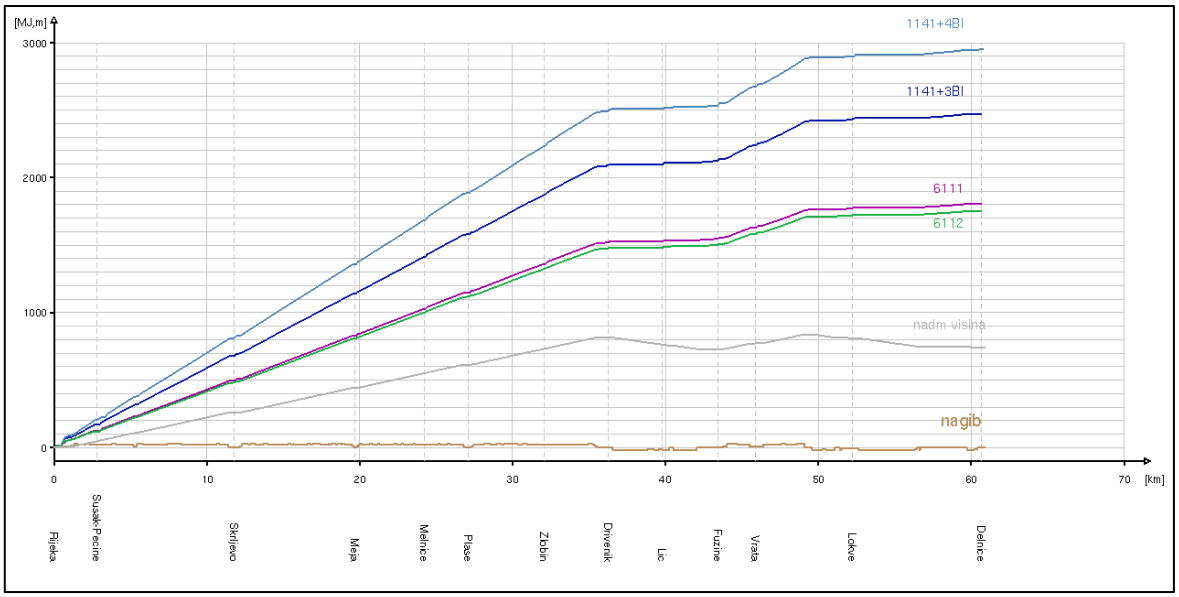
4.3. Uvođenje elektromotornih garnitura u sastav putničkih vlakova

Prema aktualnom voznom redu na pruzi Zagreb – Rijeka putnički vlakovi koji prometuju između Zagreba i Karlovca / Duge Rese sastavljeni su od elektromotornih garnitura dok su putnički vlakovi koji prometuju između Zagreba i Ogulina te Ogulina i Rijeke sastavljeni od klasičnih garnitura s izuzetkom vlakova 4050/4059, 4062/29001 (Zagreb – Ogulin – Zagreb), i 4058/4063 (Zagreb – Moravice – Zagreb) na kojima su predviđene elektromotorne garniture serija HŽ 6111 i HŽ 6112.

S obzirom da se u sastavu vlakova nalaze vagoni građeni za vlakove višeg ranga zbog njihovih karakteristika smanjena je protočnost putnika prilikom ulaska i izlaska iz vlaka. Druga nepovoljna činjenica je potreba za premještanje lokomotive s jedne na drugu stranu u krajnjim kolodvorima sa svim pratećim radnjama. Kao treća nepovoljna činjenica nameće se veća masa vlakova sastavljenih od klasičnih vagona u odnosu na elektromotorne garniture za isti kapacitet putnika čime se povećava potrošnja energije. Razlika u potrošnji energije za prazan putnički vlak sastavljen od lokomotive serije HŽ 1141 376 sa 3 odnosno 4 Bl vagona, vlak sastavljen od EMG serije HŽ 6111 i vlak sastavljen od EMG serije 6112 na dionici Rijeka – Delnice prikazana je na grafikonu 4.3. važno je napomenuti da u dijagramu nije prikazana energija utrošena na pomoćne pogone.

Iz dijagrama potrošnje energije vidi se kako je količina potrošene energije u slučaju korištenja EMG serije 6112 umjesto klasične garniture sa 4 Bl vagona za 1196 MJ, odnosno

40% manja dok razlika potrošene energije između klasične garniture s 3 Bl vagona i EMG serije 6112 iznosi 719 MJ, odnosno 29%.



Grafikon 4.3. Potrošnja energije praznog putničkog vlaka na dionici Rijeka – Delnice

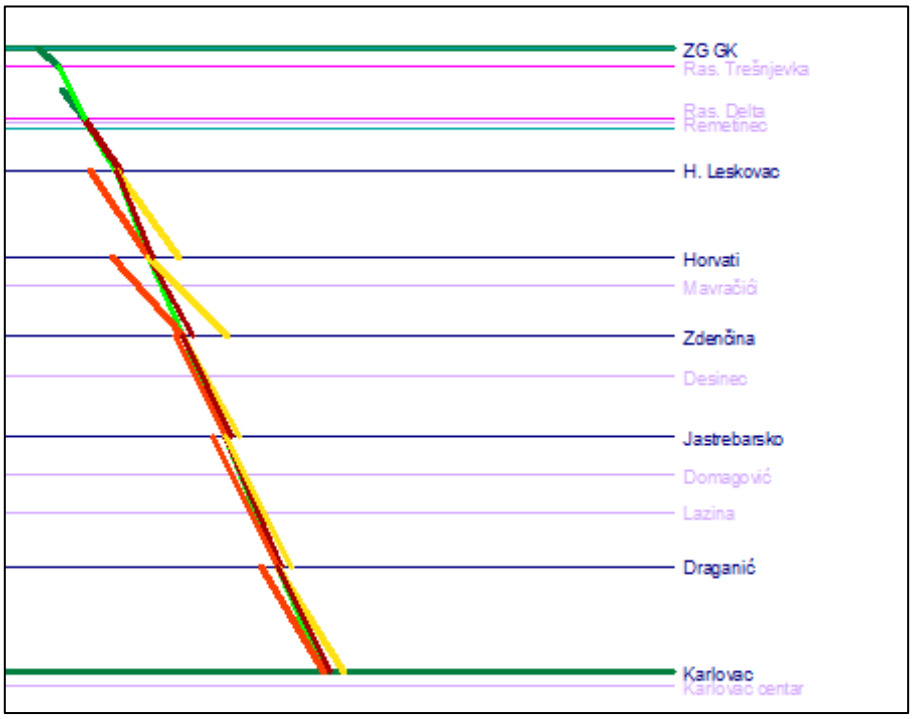
4.4. Uvođenje vlakova u snopu na dionici Zagreb - Ogulin

Kako je dionica pruge između Zagreba i Ogulina osim vlakovima koji prometuju u smjeru Rijeke opterećena i vlakovima koji prometuju u smjeru Knina, u radu je razmatrana mogućnost uvođenja vlakova u snopu. Uvođenjem vlakova u snopu namjera je povećati propusnu sposobnost pruge. U prilozima 2. i 3. prikazan je grafikon voznog reda dobiven na temelju simulacije vožnje vlakova različitog sastava.

Grafikon je izrađen na temelju simulacija kretanja pojedinog ranga odnosno sastava na određenoj dionici pri čemu je za svaki kolodvor simulirano kretanje vlaka (bez zadržavanja i sa zadržavanjem) kroz prolazni kolosijek odnosno najduži prijemno otpremni kolosijek. U radu je simulirano kretanje vlakova sa 90 % brzine kako bi se dobila vremenska rezerva u slučaju poremećaja u prometu.

Dijagrami kretanja vlaka dobiveni simulacijom grafički su zapisivani u programu AutoCAD nakon čega je od dobivenih dijagrama izrađen grafikon voznog reda. Na slici 4.3. prikazan je primjer u kojem se vide vozna vremena teretnog vlaka mase 1800 t i duljine 500

m na dionici između Zagreba i Karlovca. Na slici je kretanje vlaka prolaznim kolosijecima bez zadržavanja u kolodvorima prikazano zelenom bojom, kretanje vlaka uz zadržavanje na prethodnom kolodvoru narančastom bojom, kretanje vlaka uz zadržavanje u sljedećem kolodvoru crvenom bojom te kretanje uz zadržavanje u prethodnom i sljedećem kolodvoru žutom bojom.



Slika 4.3. Vozna vremena teretnog vlaka na dionici Zagreb - Karlovac

Pri izradi grafikona voznog reda prikazanog u prilozima 2. i 3. prvo su uvrštene trase putničkih vlakova jer je namjera pri izradi istog bila prilagodba voznog reda putničkih vlakova potrebama putnika, te nakon toga trase teretnih vlakova zbog čega se u grafikonu nalazi manje teretnih trasa nego što bi teoretski bilo moguće.

Kod planiranja trasa putničkih vlakova korištena su vozna vremena dobivena simulacijom kretanja vlakova sa lokomotivom serije HŽ 1141 i 6 B vagona ukupne mase 300 t.

Pri planiranju trasa teretnih vlakova korištena su vozna vremena dobivena simulacijom kretanja vlakova najveće dopuštene mase i duljine na pojedinoj dionici izuzev u slučaju trasa sabirnih i industrijskih vlakova gdje su korištena vozna vremena dobivena simulacijom

kretanja tih vlakova. Na dionici Zagreb – Karlovac u grafikonu voznog reda je predviđen jednak broj vlakova u obadva smjera. Na dionici Karlovac – Ogulin planirano je više trasa u smjeru Ogulina budući da je pri planiranju voznog reda uzeta u obzir masa vlakova u smjeru Karlovac – Ogulin od 1204t, dok je u smjeru Ogulin – Karlovac predviđena masa vlakova 1800t. S obzirom na navedene mase vlakova te pretpostavku kretanja jednake količine tereta u obadva smjera kao logičan se nameće zaključak da je za prijevoz iste količine tereta potrebno 3 vlaka u smjeru Ogulina, odnosno 2 vlaka u smjeru Karlovca.

Kako u kolodvoru Lokve u slučaju uvođenja vlakova u snopu ne bi bilo moguće preraditi sve prispjele vlakove u prikazanom grafikonu je predviđena prerada dijela vlakova koji prometuju u smjeru Rijeka – Ogulin u kolodvoru Moravice.

U prilogu 4. prikazan je grafikon voznog reda u vremenu od 0 do 12 sati sa vlakovima u snopu pri čemu su u grafikon uvrštene samo trase teretnih vlakova. U navedenom slučaju kapacitet pruge na dionici Karlovac – Ogulin iznosi 154 vlaka/dan.

4.5. Uvođenje taktnog voznog reda na dionici Zagreb - Karlovac

Uvođenjem taktnog voznog reda namjera je povećati razinu usluge u putničkom prometu. Taktni vozni red očituje se jednakim vremenskim razmakom između dva uzastopna polaska vlaka. U radu je simulirano kretanje putničkih vlakova sastavljenih od EMG serije 6112, brzih vlakova sastavljenih od lokomotive serije 1141 i 8 vagona ukupne mase 400t te ICN vlakova sastavljenih od garnitura serije HŽ 7123. S obzirom da je u radu simuliran taktni vozni red na jednokolosiječnoj pruzi gdje je križanje vlakova moguće samo u kolodvorima, a križanje s brzim i ICN vlakovima nije moguće ostvariti bez zadržavanja u kolodvorima polasci manjeg broja vlakova pomaknuti su do 4 min od vremena polaska ostalih vlakova. Broj trasa teretnih vlakova u predloženom voznom redu jednak je broju trasa u voznom redu 2014/15.

Kako je potražnja za prijevozom u putničkom prometu izraženija u određenim dijelovima dana u predloženom taktnom voznom redu predviđene su dodatne trase u jutarnjim (4105 u 5.24h, 4109 u 6.25h, i popodnevnim satima (4122 u 15.25h, 4126 u 16.25h 4130 u 17.30h). Grafikon voznog reda s polascima u taktu prikazan je u prilogu 5.

4.6. Prijedlog voznog reda u putničkom prometu za VR 2015/16

Pri planiranju voznog reda za 2015/16 god. u simulacijskom modelu su unesene sve promjene planirane prema Izvješću o mreži 2016 izdanom od strane HŽ Infrastrukture. Nakon simulacije kretanja svih vrsta vlakova dobiveni rezultati grafički su obrađeni u programu AutoCAD na način opisan u poglavlju 4.4.

Prijedlog voznog reda u putničkom prometu prikazan je u prilogu 6. U iznesenom prijedlogu voznog red uvedene su sljedeće značajnije izmjene:

- uveden redovan par noćnih vlakova Zagreb - Split
- uveden putnički vlak iz Rijeke u 4:37 sati
- smanjen broj trasa strojnih vlakova
- polazak jutarnjeg IC vlaka iz Zagreba za Rijeku pomaknut na 7:44 sati. Ova promjena uvedena je kako bi se putnicima koji u jutarnjim satima dolaze u Zagreb GK omogućila veza sa Rijekom.
- polazak jutarnjeg IC vlaka iz Rijeke pomaknut na 7:15 sati kako bi se u Ogulinu omogućila veza s vlakom za Split
- putnički vlakovi između Zagreba i Ogulina prometuju ispred odnosno iza IC vlakova čime se putnicima iz manjih mjesta omogućava veza sa Rijekom i Splitom
- uveden putnički vlak Ogulin - Rijeka u 20:33 sati
- prije polaska putničkog vlaka Ogulin – Rijeka u 20:33 sati, osigurana trasa Ogulin - Oštarije - Ogulin za izvanredni putnički vlak u slučaju većeg kašnjenja popodnevnog vlaka iz Splita, odnosno nemogućnosti ostvarivanja veze IC vlakova Split - Zagreb i Zagreb - Rijeka u kolodvoru Oštarije

5. ZAKLJUČAK

Temeljem provedene simulacijske analize prometa na pruzi Zagreb – Rijeka može se zaključiti kako postoji nekoliko mogućnosti kojima je moguće unaprijediti željeznički promet na toj relaciji. Simulacijom kretanja vlakova u svrhu analize aktualnog voznog reda ustanovljene su manje nepravilnosti, odnosno kašnjenja pojedinih vlakova na određenim dionicama koja se podudaraju s vremenima upisanima u Informacijskom sustavu transporta Hž Infrastrukture. Rezultati simulacijske analize ukazuju kako se navedena kašnjenja nadoknađuju s vremenskom rezervom predviđenom voznim redom, te ne utječu na stabilnost voznog reda odnosno kašnjenje drugih vlakova.

Simulacijom kretanja vlakova kroz kolodvore utvrđeno je kako trenutna ograničenja brzine u kolodvorima pri vožnji u skretanje znatno utječu na vozna vremena te potrošnju energije u slučaju kada vlak nema zadržavanje u kolodvoru. Dovođenjem kolosiječne infrastrukture u kolodvorima na razinu kojom bi se ostvarile projektirane brzine vlakova, skratila bi se vozna vremena, smanjila potrošnja energije, te povećala propusna sposobnost pruge.

Analizom mogućnosti uvođenja vlakova u snopu na dionici pruge između Zagreba i Ogulina, u radu je utvrđeno kako se navedenom organizacijom prometovanja vlakova može povećati propusna sposobnost pruge. Simulacijom kretanja vlaka s vučnim vozilom kojemu je povećana masa utvrđeno je kako bi uz povećanje mase odnosno adhezijske težine lokomotive bilo moguće povećati prijevoznu sposobnost pruge kroz povećanje mase teretnih vlakova.

U radu je analizirana mogućnost uvođenja taktnog voznog reda u prometu putničkih vlakova na dionici pruge između Zagreba i Duge Rese. Dobivenim rezultatima utvrđeno je kako uz određene korekcije postojećih trasa teretnih vlakova postoji mogućnost uvođenja taktnog voznog reda. Uvođenjem taktnog voznog reda na promatranoj dionici bilo bi moguće zadržati postojeći broj trasa teretnih vlakova, no ne bi bilo moguće povećavati njihov broj bez povećanja takta prometovanja putničkih vlakova.

LITERATURA

[1] HŽ Sekcija za održavnje pruga Zagreb. Uzdužni profil željezničke pruge MG1C Zagreb – Rijeka Dionica Zagreb GK – Jasterbarsko. Zagreb; 2005

[2] HŽ Sekcija za održavanje pruga Ogulin. Uzdužni profil željezničke pruge MG1C Zagreb – Rijeka Dionica Jastrebarsko – Moravice. Zagreb; 2004

[3] HŽ Sekcija za održavanje pruga Rijeka. Uzdužni profil željezničke pruge MG1C Zagreb – Rijeka Dionica Moravice – Rijeka. Zagreb; 1999.

[4] HŽ Sekcija za održavanje pruga Rijeka. Uzdužni profil pruge M 602 Škrljevo – Bakar. Zagreb; 2003.

[5] HŽ Sekcija za održavanje pruga Rijeka. Uzdužni profil pruge M 603 Sušak Pećine - Rijeka Brajdica. Zagreb; 2010.

[6] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Zagreb Glavni kolodvor I dio. Zagreb; 2013.

[7] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Hrvatski Leskovac I dio. Zagreb; 2014.

[8] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Hrvatski Leskovac II dio. Zagreb; 2014.

[9] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Horvati I dio. Zagreb; 2014.

[10] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Horvati II dio. Zagreb; 2014.

[11] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Zdenčina I dio. Zagreb; 2014.

[12] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Zdenčina II dio. Zagreb; 2014.

[13] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Jasterbarsko I dio. Zagreb; 2014.

[14] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Jasterbarsko II dio. Zagreb; 2014.

[15] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Draganići I dio. Zagreb; 2014.

[16] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Draganići II dio. Zagreb; 2014.

[17] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Karlovac I dio. Zagreb; 2014.

[18] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Karlovac II dio. Zagreb; 2014.

[19] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Mrzlo Polje I dio. Zagreb; 2013.

[20] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Mrzlo Polje II dio. Zagreb; 2014.

[21] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Duga Resa I dio. Zagreb; 2014.

[22] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Duga Resa II dio. Zagreb; 2014.

[23] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Zvečaj I dio. Zagreb; 2014.

[24] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Zvečaj II dio. Zagreb; 2014.

[25] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Generalski Stol I dio. Zagreb; 2014.

[26] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Generalski Stol II dio. Zagreb; 2014.

[27] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Gornje Dubrave I dio. Zagreb; 2014.

[28] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Gornje Dubrave II dio. Zagreb; 2014.

[29] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Kukača I dio. Zagreb; 2014.

[30] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Kukača II dio. Zagreb; 2014.

[31] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Oštarije I dio. Zagreb; 2014.

[32] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Oštarije II dio. Zagreb; 2014.

[33] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Ogulin I dio. Zagreb; 2014.

[34] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Ogulin II dio. Zagreb; 2014.

[35] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Ogulinski Hreljin I dio. Zagreb; 2014.

[36] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Ogulinski Hreljin II dio. Zagreb; 2014.

[37] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Gomirje I dio. Zagreb; 2014.

[38] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Gomirje II dio. Zagreb; 2014.

[39] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Vrbovsko I dio. Zagreb; 2014.

[40] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Vrbovsko II dio. Zagreb; 2014.

[41] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Moravice I dio. Zagreb; 2014.

[42] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Moravice II dio. Zagreb; 2014.

[43] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Brod Moravice I dio. Zagreb; 2014.

[44] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Brod Moravice I dio. Zagreb; 2014.

[45] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Skrad I dio. Zagreb; 2014.

[46] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Skrad II dio. Zagreb; 2014.

[47] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Zalesina I dio. Zagreb; 2014.

[48] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Zalesina II dio. Zagreb; 2014.

[49] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Delnice I dio. Zagreb; 2014.

[50] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Delnice II dio. Zagreb; 2014.

[51] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Lokve I dio. Zagreb; 2014.

[52] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Lokve II dio. Zagreb; 2014.

[53] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Fužine I dio. Zagreb; 2014.

[54] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Fužine II dio. Zagreb; 2014.

[55] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Drivenik I dio. Zagreb; 2014.

[56] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Drivenik II dio. Zagreb; 2014.

[57] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Plase I dio. Zagreb; 2014.

[58] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Plase II dio. Zagreb; 2014.

[59] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Meja I dio. Zagreb; 2014.

[60] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Meja II dio. Zagreb; 2014.

[61] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Škrljevo I dio. Zagreb; 2014.

[62] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Škrljevo II dio. Zagreb; 2014.

[63] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Sušak Pećine I dio. Zagreb; 2014.

[64] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Sušak Pećine II dio. Zagreb; 2014.

[65] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Rijeka I dio. Zagreb; 2014.

[66] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Rijeka II dio. Zagreb; 2014.

[67] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Rijeka Brajdica I dio. Zagreb; 2014.

[68] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Rijeka Brajdica II dio. Zagreb; 2014.

[69] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Bakar I dio. Zagreb; 2014.

[70] HŽ Infrastruktura. Poslovni red kolodvora Bakar II dio. Zagreb; 2014.

[71] HŽ Infrastruktura. Tehnološki proces rada kolodvora Zagreb Glavni kolodvor. Zagreb; 2014.

[72] HŽ Infrastruktura. Izvješće o mreži 2014. Zagreb, 2013.

[73] HŽ Infrastruktura. Izvješće o mreži 2015. Zagreb, 2014.

[74] HŽ Infrastruktura. Grafikon 2. Zagreb 2014.

[75] HŽ Infrastruktura. Grafikon 3. Zagreb 2014.

[76] HŽ Infrastruktura. Grafikon 3a. Zagreb 2014.

[77] HŽ Infrastruktura. Grafikon 3c. Zagreb 2014.

[78] HŽ Infrastruktura. Grafikon 4. Zagreb 2014.

[79] Švaljek I., Kožulj T., Bošnjak M. Tehničko-eksploatacijski pokazatelji i značajke vučnih vozila Hrvatskih željeznica. Zagreb; 2003.

[80] HŽ Cargo. Prometno transportna uputa za teretni promet uz vozni red 2014/15. Zagreb; 2014.

[81] HŽ Infrastruktura. Elektronska knjižica voznog reda uz VR 2014/15 za putnički promet. Zagreb; 2014.

[82] HŽ Infrastruktura. Elektronska knjižica voznog reda uz VR 2014/15 za teretni promet. Zagreb; 2014.

[83] HŽ Infrastruktura. Uputa o normativima i podatcima za izradu i provedbu voznog reda Uputa (HŽI-52)). Zagreb, 2014.

[84] HŽ Infrastruktura. Prometna uputa (Uputa HŽI-40). Zagreb, 2014.

[85] HŽ Infrastruktura. Uputa za obavljanje prometne službe u čvorištu Zagreb. Zagreb; 2014.

PRILOZI

1. Grafikon kretanja vlakova prema aktualnom voznom redu nakon simulacije u programu OpenTrack
2. Grafikon voznog reda sa prometom vlakova u snopu na dionici Zagreb – Lokve u vremenu od 0 do 12 sati
3. Grafikon voznog reda sa prometom vlakova u snopu na dionici Zagreb – Lokve u vremenu od 12 do 24 sata
4. Grafikon voznog reda sa prometom teretnih vlakova u snopu na dionici Zagreb – Moravice u vremenu od 0 do 12 sati
5. Grafikon voznog reda na dionici Zagreb – Duga Resa s taktnim prometom
6. Grafikon voznog reda putničkih vlakova prema prijedlogu za Vozni red 2015/16