Simulacijska analiza željezničkog prometa na dvokolosiječnoj pruzi Dugo Selo - Križevci

Kušec, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:119:223898

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivan Kušec

SIMULACIJSKA ANALIZA ŽELJEZNIČKOG PROMETA NA DVOKOLOSIJEČNOJ PRUZI DUGO SELO – KRIŽEVCI

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

SIMULACIJSKA ANALIZA ŽELJEZNIČKOG PROMETA NA DVOKOLOSIJEČNOJ PRUZI DUGO SELO – KRIŽEVCI

SIMULATION ANALYSIS OF RAILWAY OPERATIONS ON THE DOUBLE TRACK LINE DUGO SELO – KRIŽEVCI

Mentor: doc.dr.sc. Hrvoje Haramina

Student: Ivan Kušec, 0135220126

Zagreb, 2016.

SAŽETAK

S obzirom na trenutni opseg prometa i rast potražnje u putničkom i teretnom prometu na dionici pruge Dugo Selo – Križevci u ovom radu ispitana je mogućnost unapređenja željezničkog prometa izgradnjom drugog kolosijeka na toj dionici pruge. U radu je prikazan simulacijski model postojećeg stanja, kao i model dvokolosiječne pruge na toj relaciji. Primjenom tih modela provedena je simulacijska analiza prometa u svrhu utvrđivanja efekata izgradnje drugog kolosijeka na pruzi Dugo Selo – Križevci na učinkovitost željezničkog prometa.

KLJUČNE RIJEČI: željeznički promet; simulacijsko modeliranje; željeznička dvokolosiječna pruga Dugo Selo-Križevci

SUMMARY

Concerning the existing traffic volume and increasing demands in passenger and freight transport on the line section between Dugo Selo and Križevci, In this thesis possibility of railway traffic improvement by construction of the second track is tested. In this work a simulation model of existing railway line as well as version with double track line is presented. Based on these models simulation analysis of railway traffic was conducted and as a result various effects of double track line construction were identified.

KEYWORDS: railway transport; simulation modelling; double track railway line Dugo Selo-Križevci

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. PREGLED POSTOJEĆEG STANJA NA PRUZI DUGO SELO - KRIŽEVCI 2
2.1. Kolodvor Dugo Selo 2
2.2. Kolodvor Vrbovec 7
2.3. Kolodvor Križevci 13
3. IZRADA SIMULACIJSKOG MODELA DVOKOLOSIJEČNE PRUGE DUGO SELO – KRIŽEVCI 21
3.1. Izrada računalnog modela pruge 21
3.2. Definiranje putova vožnje, pathova i itinerara 30
3.3. Izrada računalnog modela vučnih vozila i vlakova 33
3.4. Izrada trase vlaka 36
3.5. Vozni red 38
4. ANALIZA UTJECAJA IZGRADNJE DRUGOG KOLOSIJEKA NA UČINKOVITOST ŽELJEZNIČKOG PROMETA NA PRUZI DUGO SELO - KRIŽEVCI 39
5. ZAKLJUČAK 45
LITERATURA 46
POPIS SLIKA 47

1. UVOD

Željeznička pruga Dugo Selo – Križevci nalazi se na mediteranskom koridoru TEN-T (*Trans-European transport network – Trans europska prometna mreža*) mreže. Na navedenoj pruzi se nalaze kolodvori Dugo Selo, Vrbovec i Križevci te stajališta Božjakovina, Gradec i Repinec. Prugom prometuju regionalni vlakovi, daljinski vlakovi u unutarnjem prometu, međunarodni putnički vlakovi, te teretni vlakovi u unutarnjem i međunarodnom prometu. S obzirom na trenutni opseg prometa i rast potražnje u putničkom i teretnom prometu na promatranoj dionici pruge potrebno je izraditi simulacijski model dvokolosiječne pruge Dugo Selo - Križevci koji omogućava izradu simulacijske analize željezničkog prometa u svrhu utvrđivanja mogućih efekata izgradnje drugog kolosijeka na mogućnost uvođenja novih trasa vlakova, kao i na stabilnost voznog reda u tom dijelu mreže.

Rad je podijeljen u pet cjelina:

1. Uvod
2. Pregled postojećeg stanja na pruzi Dugo Selo - Križevci
3. Izrada simulacijskog modela dvokolosiječne pruge Dugo Selo – Križevci
4. Analiza utjecaja izgradnje drugog kolosijeka na učinkovitost željezničkog prometa na pruzi Dugo Selo – Križevci
5. Zaključak

U drugom poglavlju opisano je trenutno stanje na pruzi Dugo Selo – Križevci.

Treće poglavlje obuhvaća izradu simulacijskog modela pruge Dugo Selo – Križevci u simulacijskom programu OpenTrack, te izradu drugog kolosijeka na navedenoj pruzi.

U četvrtom poglavlju analiziran je utjecaj izgradnje drugog kolosijeka na mogućnost uvođenja novih trasa vlakova, kao i na stabilnost voznog reda te na učinkovitost željezničkog prometa na pruzi Dugo Selo – Križevci.

2. PREGLED POSTOJEĆEG STANJA NA PRUZI DUGO SELO - KRIŽEVCI

Pruga na relaciji Dugo Selo – Križevci dugačka je 38 km i sastavni je dio željezničke pruge (Gyekenyes) – Državna granica – Botovo – Koprivnica – Dugo Selo (*M201*) koja se nalazi na mediteranskom koridoru TEN-T mreže. Elektrificirana je sustavom 25 kW, 50 Hz Na navedenoj relaciji pruge nalaze se kolodvori Dugo Selo, Vrbovec, Križevci te stajališta Božjakovina, Gradec i Repinec. Prugom prometuju regionalni vlakovi, daljinski vlakovi u unutarnjem prometu, međunarodni putnički vlakovi, te teretni vlakovi u unutarnjem i međunarodnom prometu.

2.1. Kolodvor Dugo Selo

Kolodvorska zgrada nalazi se KM 445+200 pruge M102 Zagreb Glavni kolodvor – Dugo Selo na nadmorskoj visini od 102 metra.

S obzirom na mjesto na mreži HŽ-a, kolodvor Dugo Selo je:

- međukolodvor na magistralnoj pruzi M201/M102/M202 Botovo državna granica Koprivnica - Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka
- odvojni kolodvor za prugu M103 Dugo Selo – Novska, a nastavno za prugu M104 Novska – Tovarnik,

U pogledu reguliranja prometa kolodvor Dugo Selo je međukolodvor između rasporednih kolodvora Koprivnica i Zagreb Glavni za putničke vlakove, Koprivnica i Zagreb Ranžirni za teretne vlakove te između rasporednih kolodvora Zagreb Glavni i /Zagreb Ranžirni prema kolodvoru Novska.

Kolodvor Dugo Selo ima nadzor nad stajalištem Ostrna, koje je nezaposjednuto, ali nema niti jedno podređeno mjesto na pruzi M201. Otvoren je za prijem i otpremu putnika u unutarnjem i međunarodnom pograničnom prometu, te prijem i otpremu vagonskih pošiljaka u unutarnjem i međunarodnom prometu.

Kolodvor je osiguran relejnim signalno-sigurnosnim uređajem tipa INTEGRA-DOMINO, sa prilagodbom na sustav LORENTZ (pruga Dugo Selo-Vrbovec), sa svjetlosnim dvoznačnom signalizacijom, dok je međukolodvorski odsjek Dugo selo-Vrbovec opremljen uređajem APB-a tipa ISKRA-LORENTZ.

Kolodvor ima 16 kolosijeka, koji se dijele na glavne (2,3,4,5,6,7,10 i 13), te sporedne i manipulativne kolosijeke (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 kolosijeci 10 (produžetak trećeg kolosijeka od strane Koprivnice) i 13 (produžetak četvrtog kolosijeka u smjeru Zagreba), služe za prolaz vlakova kod ulaza i izlaza.

Namjena glavnih kolosijeka:

- **drugi kolosijek** – glavni prijemno-otpremni kolosijek za smjerove Zagreb GK – Koprivnica/Novska i Koprivnica/Novska – Zagreb GK korisne duljine 567 metra
- **treći kolosijek** - glavni prijemno-otpremni kolosijek i nepravilni glavni prolazni kolosijek za smjer Koprivnica/Novska – Dugo Selo korisne duljine 639 metara
- **četvrti kolosijek** - glavni prolazni kolosijek za smjerove Zagreb GK – Koprivnica/Novska i Koprivnica/Novska – Zagreb GK korisne duljine 778 metara
- **peti kolosijek** – nepravilni glavni prolazni kolosijek za smjer Zagreb GK – Koprivnica/Novska korisne duljine 783 metra
- **šesti kolosijek** – glavni prijemno-otpremni kolosijek korisne duljine 692 metra
- **sedmi kolosijek** - glavni prijemno-otpremni kolosijek korisne duljine 668 metara
- **deseti kolosijek** – produžetak trećeg kolosijeka prema smjeru Koprivnica, služi za prolaz vlakova kod ulaza i izlaza, a kod manevriranja služi za obilazak lokomotive oko vagona korisne duljine 76 metara

- **trinaesti kolosijek** – produžetak četvrtog kolosijeka u smjeru Zagreb GK, služi za prolaz vlakova kod ulaza i izlaza, te kod manevriranja služi za obilazak lokomotive oko vagona korisne duljine 42 metra

Granice kolodvorskog područja u odnosu na otvorenu prugu jesu ulazni signali, i to:

- ulazni signal «**A**» (prema kolodvoru Prečec) u KM 82+330, štiti skretnicu br. 2a

- ulazni signal «**B**» (prema kolodvoru Vrbovec) u KM 445+997, štiti skretnicu br. 1

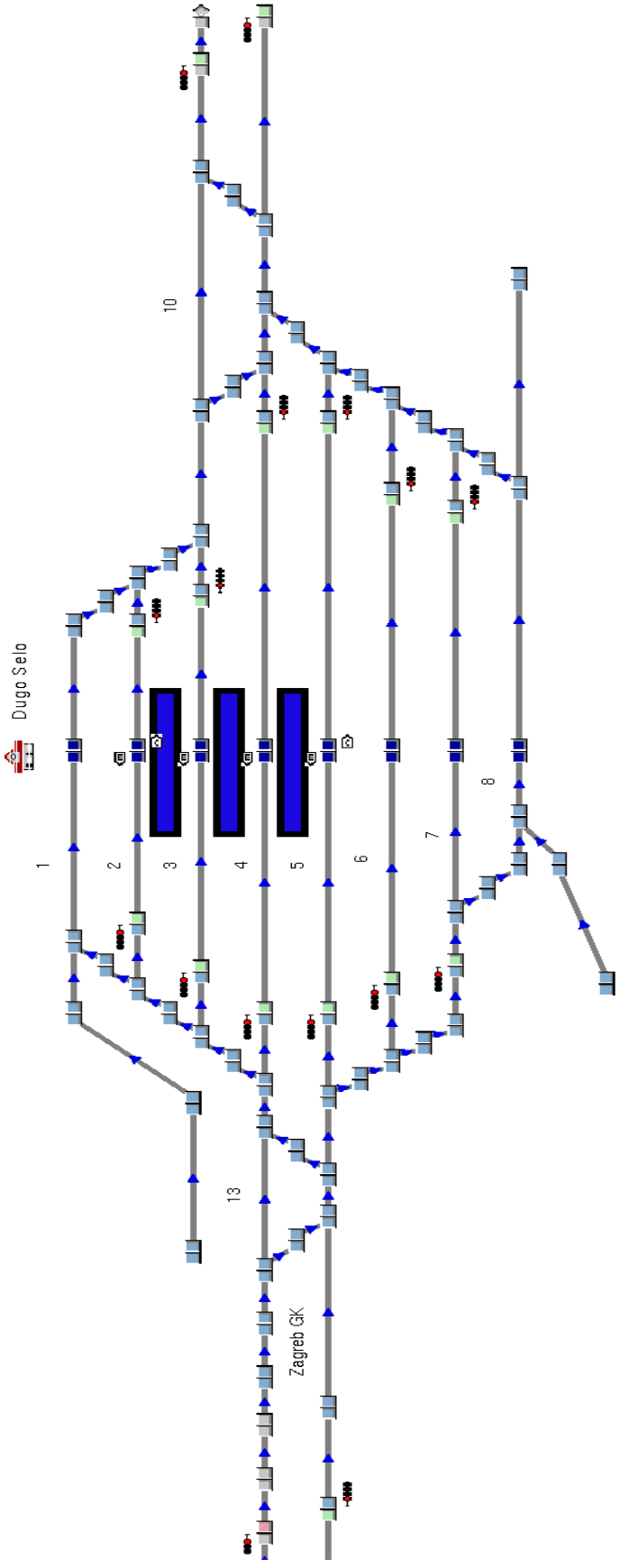
- ulazni signal «**C**» (prema kolodvoru Sesvete) u KM 444+183, štiti skretnicu br. 21

Izlazni signali u smjeru Zagreba:

- **E-2** sa drugog kolosijeka, u KM 444+867 udaljen od međika skretnice br.14, 33 m.,
- **E-3** sa trećeg kolosijeka, u KM 444+817 udaljen od međika skretnice br.13, 34 m.,
- **E-4** sa četvrtog kolosijeka, u KM 444+753 udaljen od međika skretnice br.18, 13 m.,
- **E-5** sa petog kolosijeka, u KM 444+753 udaljen od međika skretnice br.17, 7 m.,
- **E-6** sa šestog kolosijeka, u KM 444+813 udaljen od međika skretnice br.15, 23 m.,
- **E-7** sa sedmog kolosijeka, u KM 444+813 udaljen od međika skretnice br.15, 23m.

Izlazni signali u smjeru Koprivnice:

- **D-2** sa drugog kolosijeka, u KM 445+409 udaljen od međika skretnice br.10, 11 m.,
- **D-3** sa trećeg kolosijeka, u KM 445+455 udaljen od međika skretnice br.8, 9 m.,
- **D-4** sa četvrtog kolosijeka, u KM 445+531 udaljen od međika skretnice br.3, 38 m.,
- **D-5** sa petog kolosijeka, u KM 445+517 udaljen od međika skretnice br.4, 25 m.,
- **D-6** sa šestog kolosijeka, u KM 445+482 udaljen od međika skretnice br.5, 31 m.,
- **D-7** sa sedmog kolosijeka, u KM 445+471 udaljen od međika skretnice br.7, 19 m.



Slika 2.1. Kolodvor Dugo Selo

Prostorni signali uz prugu u smjeru Dugo Selo – Vrbovec:

- prostorni signal PS 012 u KM 447+321
- prostorni signal PS 022 u KM 449+812
- prostorni signal PS 032 u KM 452+151
- prostorni signal PS 042 u KM 454+484
- prostorni signal PS 052 u KM 456+800
- prostorni signal PS 062 u KM 459+057 (ujedno i predsignal ulaznog signala)

Prostorni signali uz prugu u smjeru Vrbovec – Dugo Selo:

- prostorni signal PS 061 u KM 459+157
- prostorni signal PS 051 u KM 456+919
- prostorni signal PS 041 u KM 454+584
- prostorni signal PS 031 u KM 452+252
- prostorni signal PS 021 u KM 449+919
- prostorni signal PS 011 u KM 447+421 (predsignal ulaznog signala)

2.2. Kolodvor Vrbovec

Kolodvorska zgrada kolodvora Vrbovec nalazi se u km 461+401, pruge M201. Prema zadaći u reguliranju prometa kolodvor Vrbovec je međukolodvor i otvoren je za cjelokupan rad u prometnom i transportnom smislu.

Prema obavljanju zadaće u prijevozu putnika i stvari kolodvor je otvoren za prijem i otpremu putnika u unutarnjem prometu, dok je u teretnom prijevozu otvoren za prijem i otpremu vagonskih pošiljaka u unutarnjem i međunarodnom prometu.

Granicu kolodvorskog područja u odnosu na otvorenu prugu čini ulazni signal "A" od strane kolodvora Dugo Selo u KM 460+557 i ulazni signal "B" od strane kolodvora Križevci u KM 462+668. Kolodvor je osiguran elektro-relejnim signalno-sigurnosnim uređajem tipa Lorenz SpDrL.

Kolodvor Vrbovec raspolaže s devet kolosijeka:

- **1. kolosijek** je manipulativni i služi za utovar i istovar vagonskih pošiljaka

- **2, 3, 4. i 5. kolosijeci** su glavni kolosijeci, namijenjeni za prihvat i otpremu vlakova, te je **treći kolosijek** glavni prolazni koji čini izravno produljenje pružnog kolosijeka.

- **6. Kolosijek** (prvi krnji zagrebački) je produžetak prvog kolosijeka koji završava prsobranom. Služi za obavljanje manevarskog rada i za smještaj vozila, a po potrebi i za utovar i istovar vagona.

- **7. kolosijek** (drugi krnji zagrebački) je produžetak drugog kolosijeka i završava prsobranom. U funkciji je puta proklizavanja za vožnje vlakova na drugi kolosijek, a služi za smještaj vozila i obavljanje manevarskog rada.

- **8. kolosijek** (prvi krnji koprivnički) je produžetak prvog kolosijeka, završava prsobranom, te služi za obavljanje manevarskog rada, smještaj vozila i za utovar i istovar vagona.

- **9. kolosijek** (drugi krnji koprivnički) je produžetak drugog kolosijeka, završava prsobranom, te je u funkciji puta proklizavanja za vožnje vlakova na drugi kolosijek. Služi za obavljanje manevarskog rada i za smještaj vozila.

Kolodvor je osiguran ulaznim i izlaznim signalima, te predsignalima:

- Ulazni signal **"A"** od strane Dugog Sela, ugrađen je u KM 460+557 te je od skretnice br.1 udaljen 489 metara
- Ulazni signal **"B"** od strane Križevaca, ugrađen je u KM 462+668, a od skretnice br.12 udaljen je 545 metara.
- Predsignal **"PsA"** nalazi se u KM 459+250, te je udaljen od ulaznog signala "A" 1300 m.
- Predsignal **"PsB"** nalazi se u KM 463+968, a udaljen je od ulaznog signala "B" 1300 metra.

Izlazni signali u smjeru Dugog Sela:

- **C-2** nalazi se u KM 461+292 i štiti skretnicu br. 5 (KM 461+230)
- **C-3** nalazi se u KM 461+174 i štiti skretnicu br. 2 (KM 461+095)
- **C-4** nalazi se u KM 461+235 i štiti skretnicu br. 3 (KM 461+161)
- **C-5** nalazi se u KM 461+253 i štiti skretnicu br. 3 (KM 461+161)

Izlazni signali prema Križevcima:

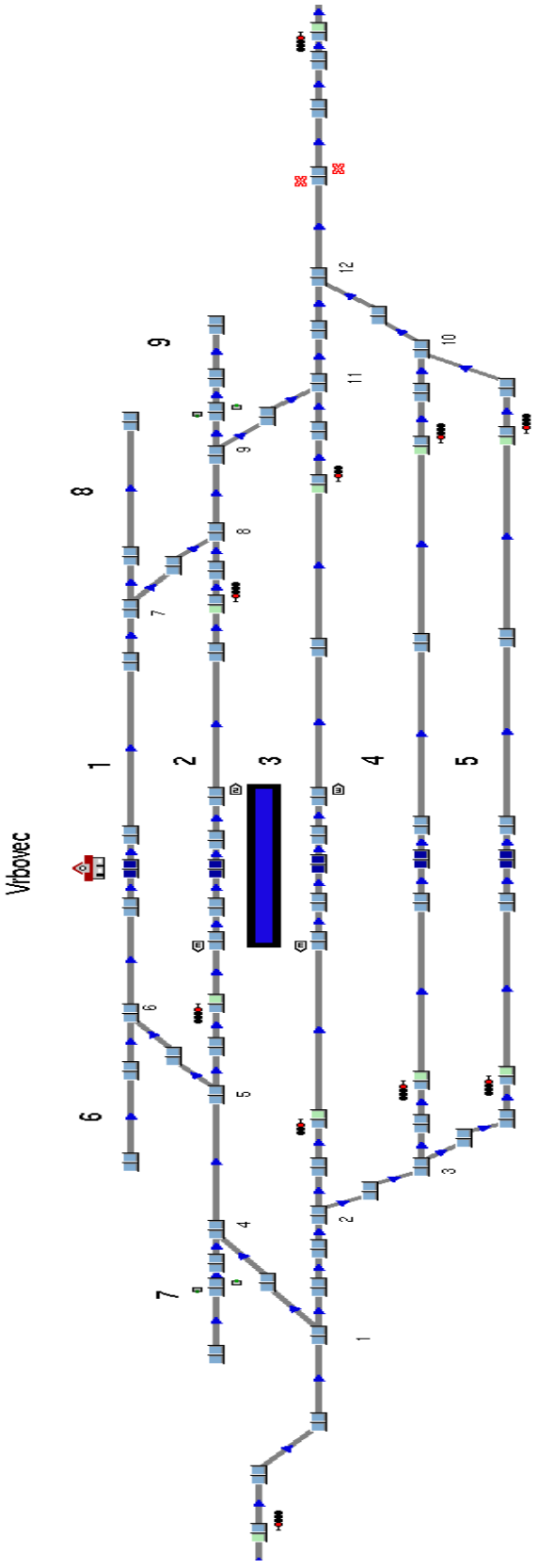
- **D-2** nalazi se u KM 461+860 i štiti skretnicu br. 8 (KM 461+912)
- **D-3** nalazi se u KM 462+005 i štiti skretnicu br. 11 (KM 461+074)
- **D-4** nalazi se u KM 461+972 i štiti skretnicu br. 10 (KM 461+067)
- **D-5** nalazi se u KM 461+993 i štiti skretnicu br. 10 (KM 461+067)

Prostorni signali uz prugu u smjeru Dugo Selo - Vrbovec

- prostorni signal PS 012 u KM 447+321
- prostorni signal PS 022 u KM 449+812
- prostorni signal PS 032 u KM 452+151
- prostorni signal PS 042 u KM 454+484
- prostorni signal PS 052 u KM 456+800
- prostorni signal PS 062 u KM 459+057 (ujedno i predsignal ulaznog signala)

Prostorni signali uz prugu u smjeru Vrbovec – Dugo Selo:

- prostorni signal PS 061 u KM 459+157
- prostorni signal PS 051 u KM 456+919
- prostorni signal PS 041 u KM 454+584
- prostorni signal PS 031 u KM 452+252
- prostorni signal PS 021 u KM 449+919
- prostorni signal PS 011 u KM 447+421 (predsignal ulaznog signala)

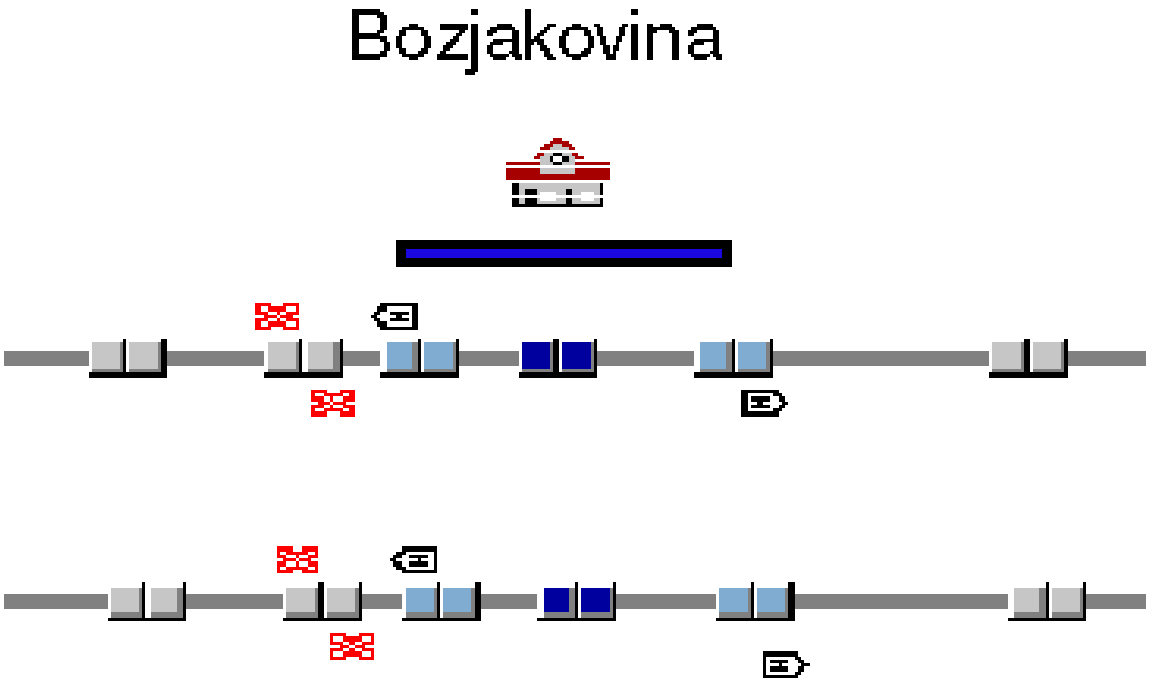


Slika 2.2. Kolodvor Vrbovec

Službena mjesta podređena kolodvoru su:

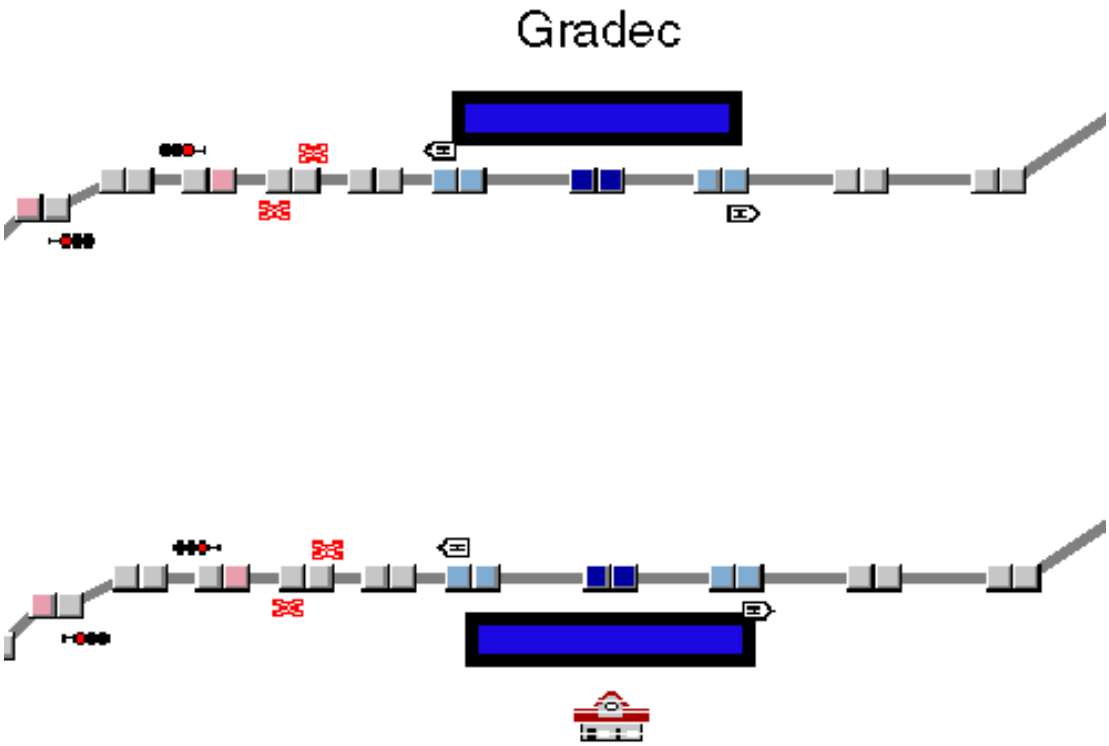
- stajalište Božjakovina,
- stajalište Gradec,
- stajalište Repinec.

Stajalište Božjakovina nalazi se između kolodvora Dugo Selo i kolodvora Vrbovec u KM 451+474 pruge M201 DG – Botovo – Dugo Selo, te posjeduje peron za manipulaciju putnika uz kolosijek duljine 84 metra.



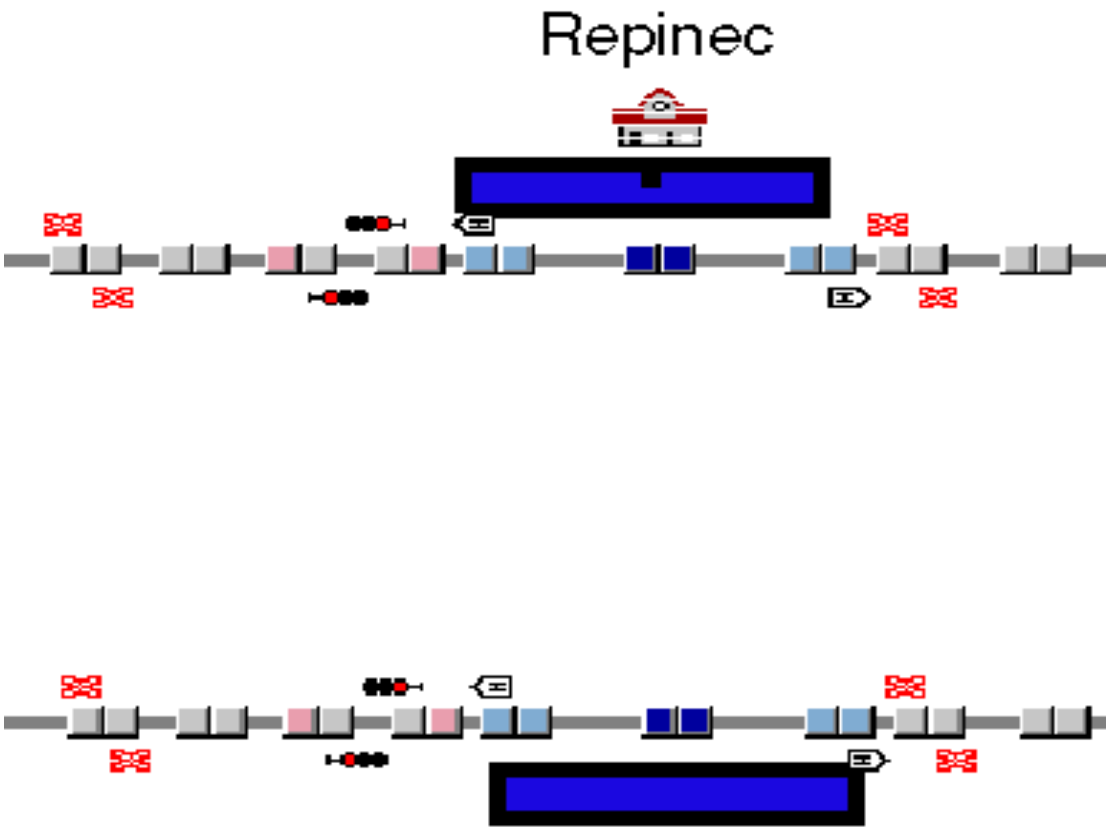
Slika 2.3. Stajalište Božjakovina

Stajalište Gradec se nalazi između kolodvora Vrbovec i kolodvora Križevci u KM 469+859, te posjeduje peron duljine 90 metara.



Slika 2.4. Stajalište Gradec

Stajalište Repinec se nalazi između kolodvora Vrbovec i kolodvora Križevci u KM 474+100 pruge M201 DG – Botovo – Dugo Selo, te posjeduje peron duljine 72 metra.



Slika 2.5. Stajalište Repinec

2.3. Kolodvor Križevci

Željeznički kolodvor Križevci nalazi se u KM 481+082 međunarodne pruge M201 na nadmorskoj visini od 128 m.

Kolodvor Križevci je **međukolodvor** na međunarodnoj pruzi M201, a na lokalnoj pruzi L203 Križevci – Bjelovar - Kloštar je **rasporedni** kolodvor za dionicu Križevci - Bjelovar te je u tom smislu otvoren za cjelokupno obavljanje prometne i transportne službe.

Pruga L203 Križevci - Bjelovar – Kloštar odvaja se u kolodvoru Križevci preko skretnice broj 8 u KM 480+796.

Otvoren je za prijem i otpremu putnika u unutarnjem i međunarodnom prometu, te za prijem i otpremu vagonskih pošiljaka, živih životinja, eksplozivnih i zapaljivih vagonskih pošiljaka u unutarnjem i međunarodnom prometu.

Granice kolodvorskog područja u odnosu na otvorenu prugu:

- prema kolodvoru Vrbovec ulazni signal "**A**" u KM 479+889
- prema kolodvoru Lepavina ulazni signal "**B**" u KM 481+965
- prema kolodvoru Bjelovar ulazni signal "**C**" u KM 0+661

Kolodvor Križevci je osiguran relejnim signalno-sigurnosnim uređajem tipa SpDrl-30 LORENZ s centralnom postavnicom u prometnom uredu, iz koje se centralno postavljaju putovi vožnje odnosno rukuje skretnicama, iskliznicama, ulaznim i izlaznim signalima, graničnim kolosiječnim signalima, manevarskim signalima za zaštitu kolosiječnog puta vožnje i uređajima za osiguranje prometa na cestovnim prijelazima.

Kolosijeci za prijem i otpremu vlakova u kolodvoru su:

- **drugi** korisne duljine za smjer Koprivnice 582m, smjer Zagreba 587m
- **treći** korisne duljine za smjer Koprivnice 804m, smjer Zagreba 821m
- **četvrti** korisne duljine za smjer Koprivnice 826m, smjer Zagreba 837m
- **peti** korisne duljine za smjer Koprivnice 721m, smjer Zagreba 704m
- **šesti** korisne duljine za smjer Koprivnice 651m, smjer Zagreba 664m
- **Sedmi** korisne duljine za smjer Koprivnice 286m, smjer Zagreba 277m

Glavni prolazni kolosijek je četvrti, prihvatno-otpremni kolosijeci za prugu Križevci – Bjelovar - Kloštar su šesti B i sedmi A/B kolosijeci, jer zbog kolosiječnih veza s drugih kolosijeka vožnja za navedenu prugu nije moguća. Prihvatno-otpremni kolosijeci za prugu Dugo Selo – Koprivnica su drugi, treći, četvrti, peti i šesti kolosijek. Sa sedmog kolosijeka, zbog kolosiječnih veza nije moguća otprema i prijem vlakova prema Zagrebu.

Šesti i sedmi kolosijek su podijeljeni na dva dijela s graničnim kolosiječnim signalima. Otprema vlakova u smjeru Bjelovara i prihvat vlakova iz smjera Bjelovara zbog kolosiječnih veza nije moguća sa šestog A kolosijeka.

Signali kojima se regulira vožnja u kolodvoru Križevci:

- Ulazni signal ”**A**” od strane Vrbovca ugrađen je u KM 479+890 i udaljen je od skretnice br.1 500 metara. Prvi prostorni signal ispred ulaznog signala "A“ je ujedno i predsignal ulaznog signala, te je njegova udaljenost od ulaznog signala “A” 1.300 metara.

- Ulazni signal ”**B**” od strane Lepavine ugrađen je u KM 481+965 i udaljen je od skretnice broj 19 491 metar. Prvi prostorni signal ispred ulaznog signala “B” je ujedno i predsignal ulaznog signala “B” i udaljen je od ulaznog signala “B” 1.320m.

- Ulazni signal ”**C**” od strane Bjelovara ugrađen je u KM 0+661 i udaljen je od skretnice broj 8 376 metara. Predsignal “PsC” ulaznog signala “C” ugrađen je u KM 1+361 i udaljen je od ulaznog signala “C” 700 metara.

Kilometarski položaji izlaznih signala za smjer Zagreb:

- **D-2** za izlaz sa drugog kolosijeka je u KM 480+615, te štiti skretnicu broj 7 (KM 480+559)

- **D-3** za izlaz sa trećeg kolosijeka je u KM 480+542, te štiti skretnicu broj 3 (KM 480+454)

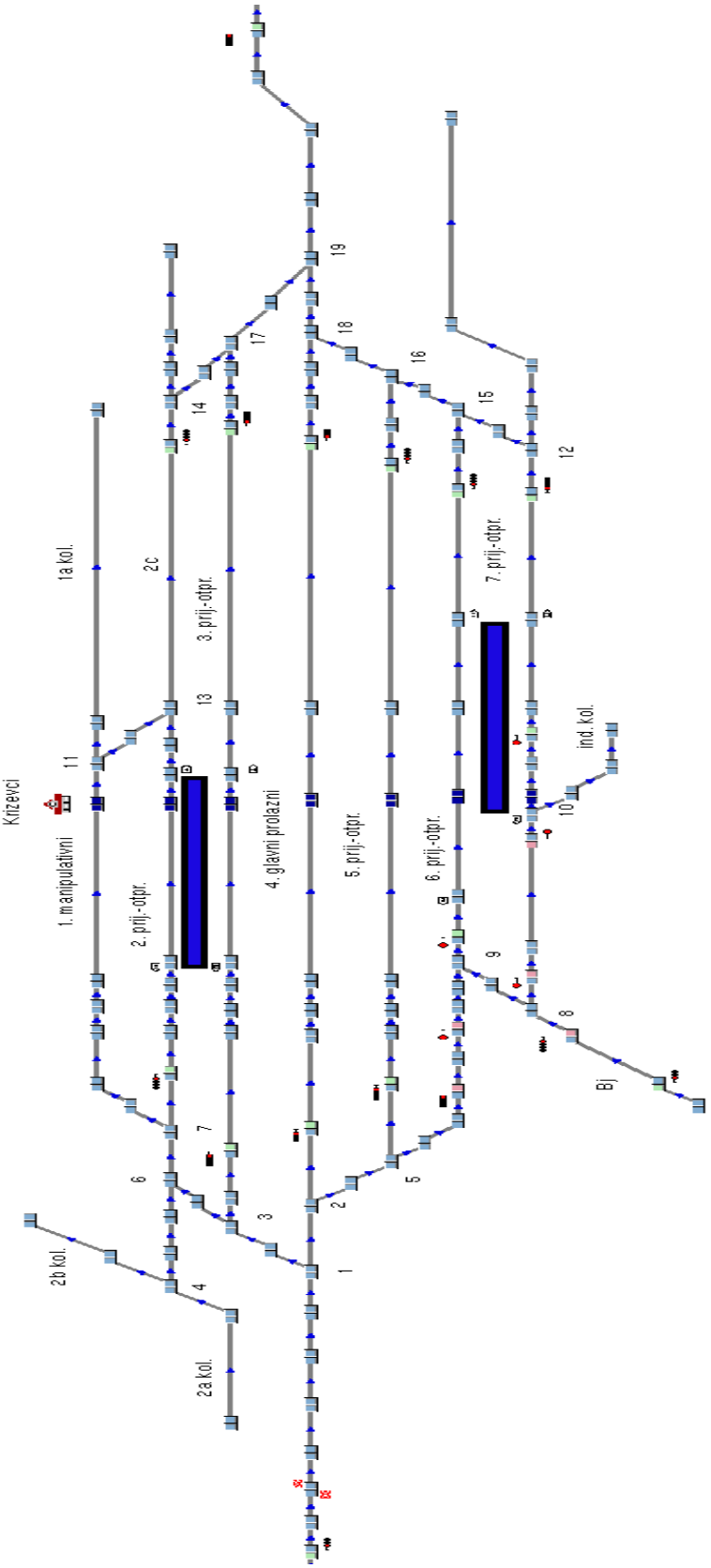
- **D-4** za izlaz sa četvrtog kolosijeka je u KM 480+520, te štiti skretnicu broj 2 (KM 480+447)

- **D-5** za izlaz sa petog kolosijeka je u KM 480+574, te štiti skretnicu broj 5 (KM 480+504)

- **D-6** za izlaz sa šestog kolosijeka je u KM 480+590, te štiti skretnicu broj 5 (KM 480+504)

Kilometarski položaji izlaznih signala za smjer Koprivnica:

- **E-2** za izlaz sa drugog kolosijeka je u KM 481+198, te štiti skretnicu broj 14 (KM 481+258)
- **E-3** za izlaz sa trećeg kolosijeka je u KM 481+345, te štiti skretnicu broj 17 (KM 481+418)
- **E-4** za izlaz sa četvrtog kolosijeka je u KM 481+350, te štiti skretnicu broj 18 (KM 481+426)
- **E-5** za izlaz sa petog kolosijeka je u KM 481+279, te štiti skretnicu broj 16 (KM 481+367)
- **E-6** za izlaz sa šestog kolosijeka je u KM 481+237, te štiti skretnicu broj 15 (KM 481+309)
- **E-7** za izlaz sa sedmog kolosijeka je u KM 481+175, te štiti skretnicu broj 12 (KM 481+179)



Slika 2.6. Kolodvor Križevci

Prostorni signali uz prugu u smjeru Križevci – Vrbovec:

- prostorni signal broj 131 u KM 478+690
- prostorni signal broj 121 u KM 476+165
- prostorni signal broj 111 u KM 473+708
- prostorni signal broj 101 u KM 471+338
- prostorni signal broj 091 u KM 468+908
- prostorni signal broj 081 u KM 466+488
- prostorni signal broj 071 u KM 463+968, ujedno je i PsB Vrbovec

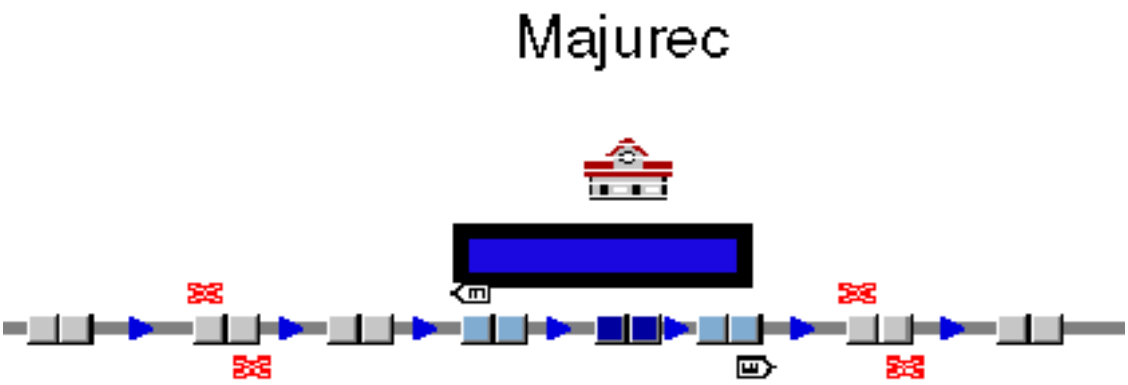
Prostorni signali uz prugu u smjeru Vrbovec – Križevci:

- prostorni signal broj 072 u KM 463+868
- prostorni signal broj 082 u KM 466+388
- prostorni signal broj 092 u KM 468+800
- prostorni signal broj 102 u KM 471+228
- prostorni signal broj 112 u KM 473+590
- prostorni signal broj 122 u km 476+065
- prostorni signal broj 132 u km 478+590, ujedno i PsA Križevci

Službena mjesta podređena kolodvoru su:

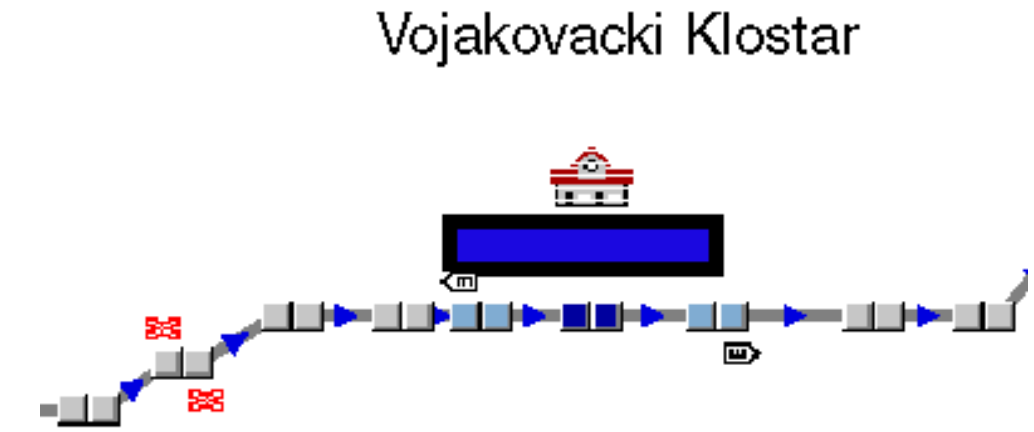
- stajalište Majurec
- stajalište Vojakovački Kloštar
- stajalište Carevdar

Stajalište Majurec nalazi se između kolodvora Križevci i kolodvora Lepavina u KM 485+414 pruge M201 DG – Botovo – Dugo Selo, te posjeduje putnički peron duljine 100 metara.



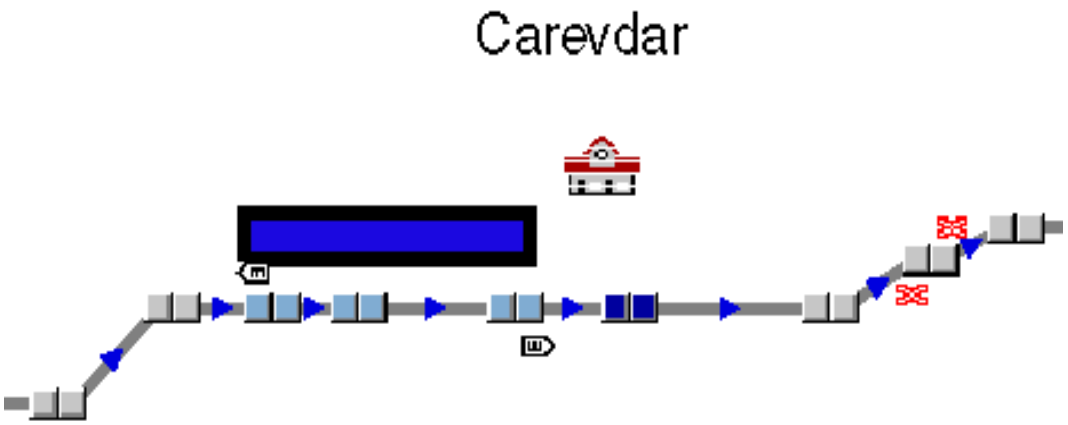
Slika 2.7. Stajalište Majurec

Stajalište Vojakovački Kloštar nalazi se između kolodvora Križevci i kolodvora Lepavina u KM 488+930 pruge M201 te posjeduje peron duljine 100 metara.



Slika 2.8. Vojakovački Kloštar

Stajalište Carevdar nalazi se između kolodvora Križevci i kolodvora Lepavina u KM 491+742 pruge M201 DG – Botovo – Dugo Selo, te posjeduje peron duljine 100 metara.



Slika 2.9. Stajalište Carevdar

3. IZRADA SIMULACIJSKOG MODELA DVOKOLOSIJEČNE PRUGE DUGO SELO – KRIŽEVCI

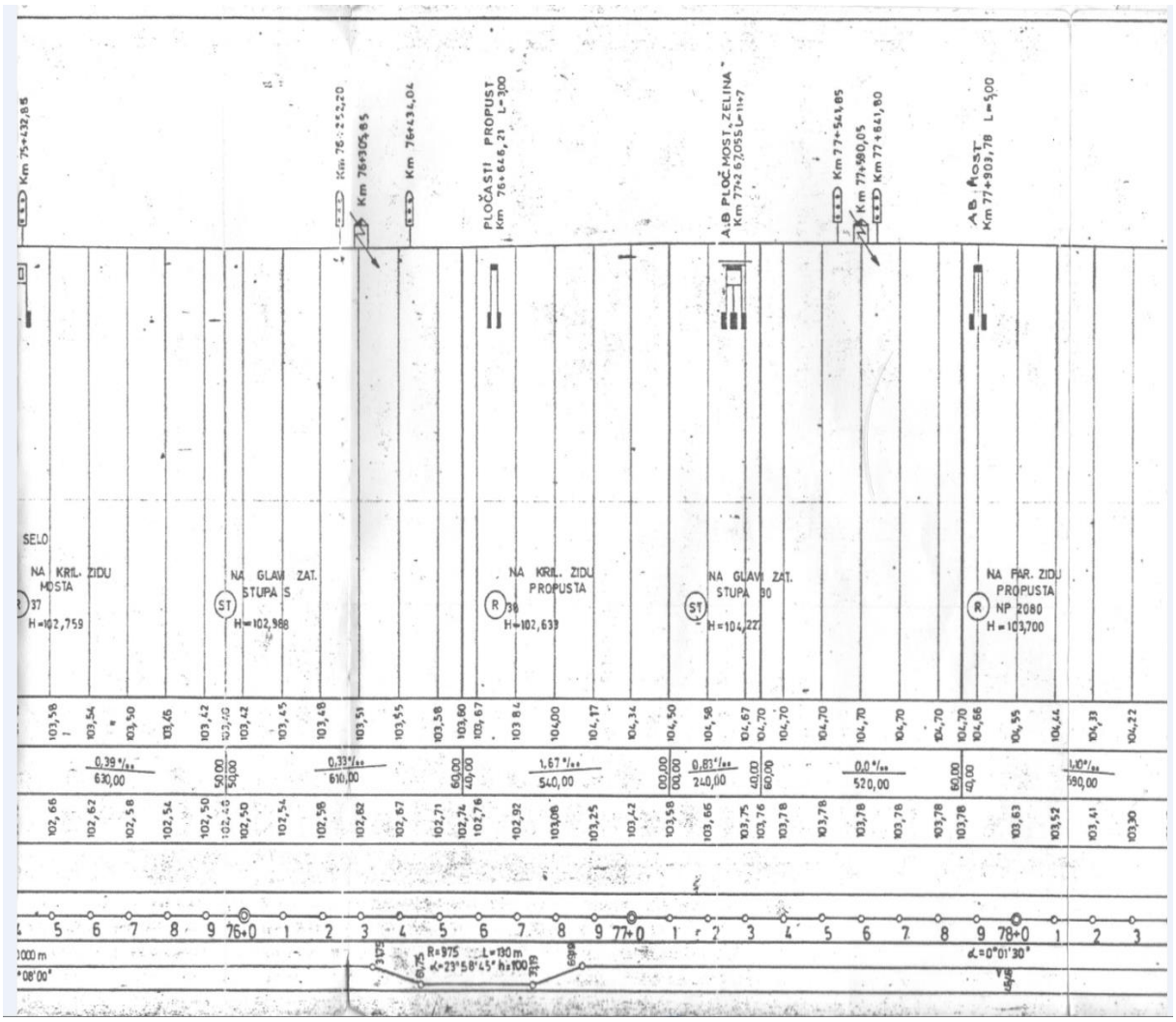
Za izradu računalnog modela pruge Dugo Selo – Križevci korišten je simulacijski program OpenTrack. Za izradu modela pruge u programu OpenTrack, potrebni su podatci o infrastrukturi, voznom redu i tehnološkim procesima. Potom se može simulirati realno odvijanje prometa na toj pruzi, te uvidjeti na koji način se može unaprijediti odvijanje prometa na željenoj pruzi

Kod izrade modela pruge koriste se podaci iz uzdužnog profila pruge, poslovnih redova kolodvora, izvješća o mreži, materijala voznog reda.

3.1. Izrada računalnog modela pruge

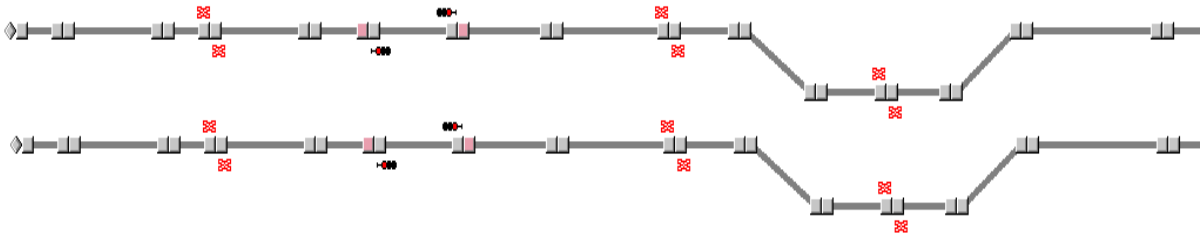
Kod modeliranja otvorene pruge koriste se podaci iz uzdužnog profila pruge te podatci o stacionažama infrastrukturnih objekata iz poslovnih redova kolodvora koji utječu na odvijanje prometa na pruzi kao što su:

- Signali
- Nagibi pruge
- Zavoji
- Željezničko cestovni prijelazi u ravnini
- Tuneli



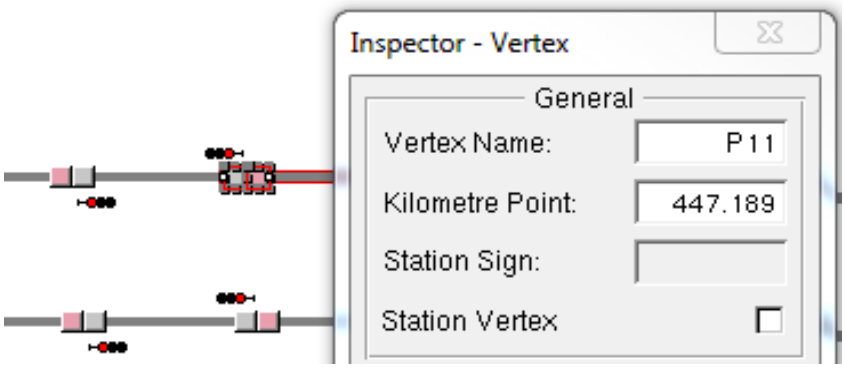
Slika 3.1. Uzdužni profil pruge

Svaka promjena na pruzi u računalnom modelu se prikazuje kao čvor (eng. vertex), a spoj (eng. edge**)** između dva čvora prikazuje dio pruge identičnih karakteristika.



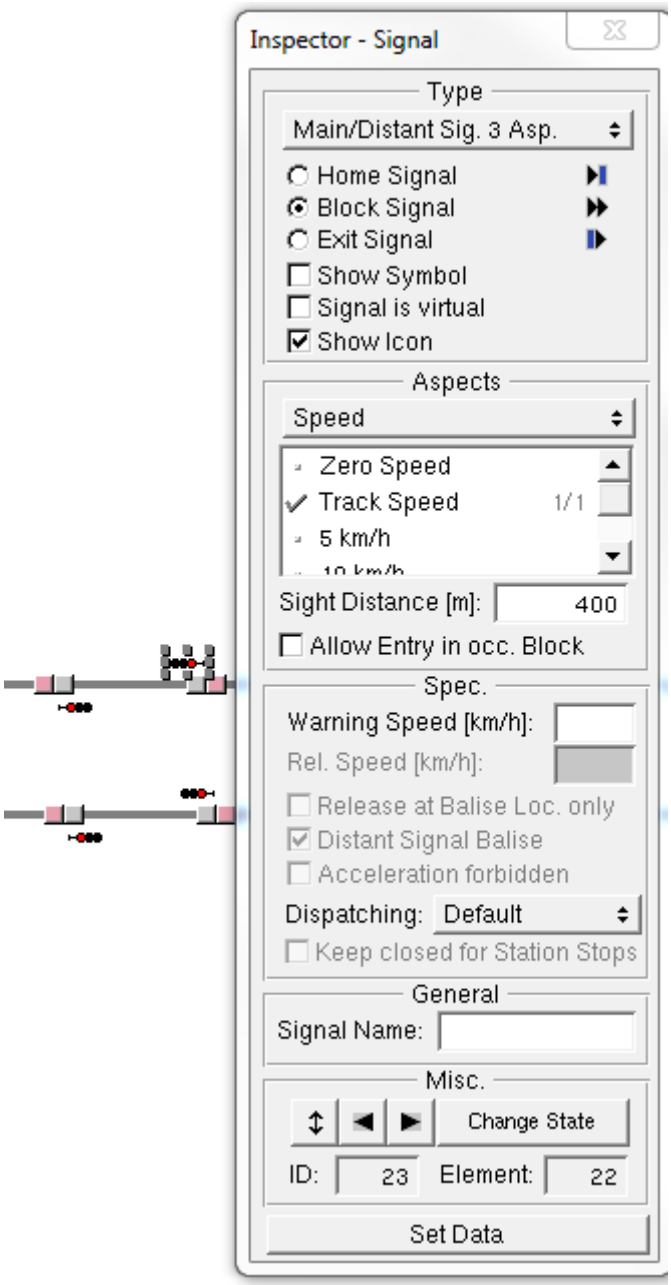
Slika 3.2. Model otvorene pruge

Svaka promjena na pruzi se obilježava posebnim čvorom, pa tako i svaki signal u modelu pruge ima svoj čvor. U izborniku Inspector - vertex za svaki signal upisuje se njegova stacionaža, kao što možemo vidjeti na slici 14. na kojoj je prikazan prostorni signal 11 koji se nalazi u KM 447+189.



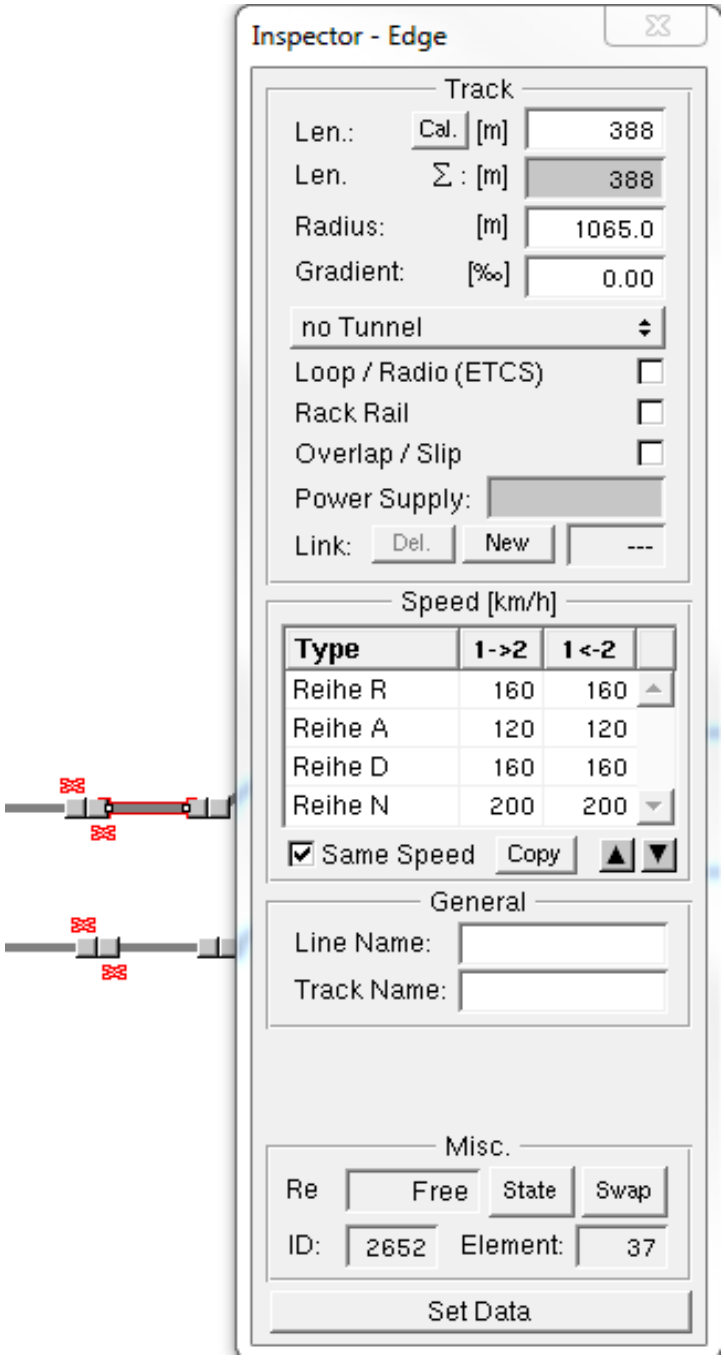
Slika 3.3. Prostorni signal P11 u KM 447+189 prikazan u modelu

Detaljno određivanje signala vrši se u izborniku Inspector - signal koji nam je prikazan na slici 15. Iz koje se vidi da je prostorni signal P11 dvoznačni signal sa tri svjetlosna snopa i daljinom vidljivosti od 400 m.



Slika 3.4. Prikaz prostornog signala P11 u izborniku Inspector - Signal

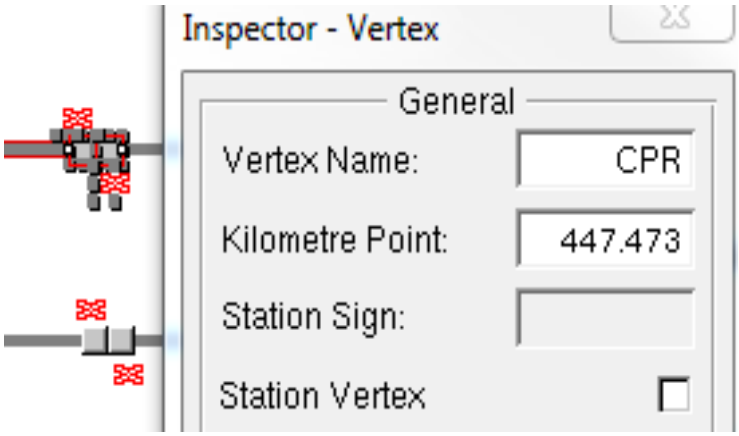
Na slici br. 16 prikazan je edge, tj. dio pruge istih karakteristika, te se iz nje može vidjeti da se pruga na dijelu od KM 447+956 do KM 448+344 u duljini od 388 metara nalazi u ravnini sa polumjerom zakrivljenosti od 1065 metara.



Slika 3.5. Prikaz dijela pruge istih karakteristika u OpenTracku

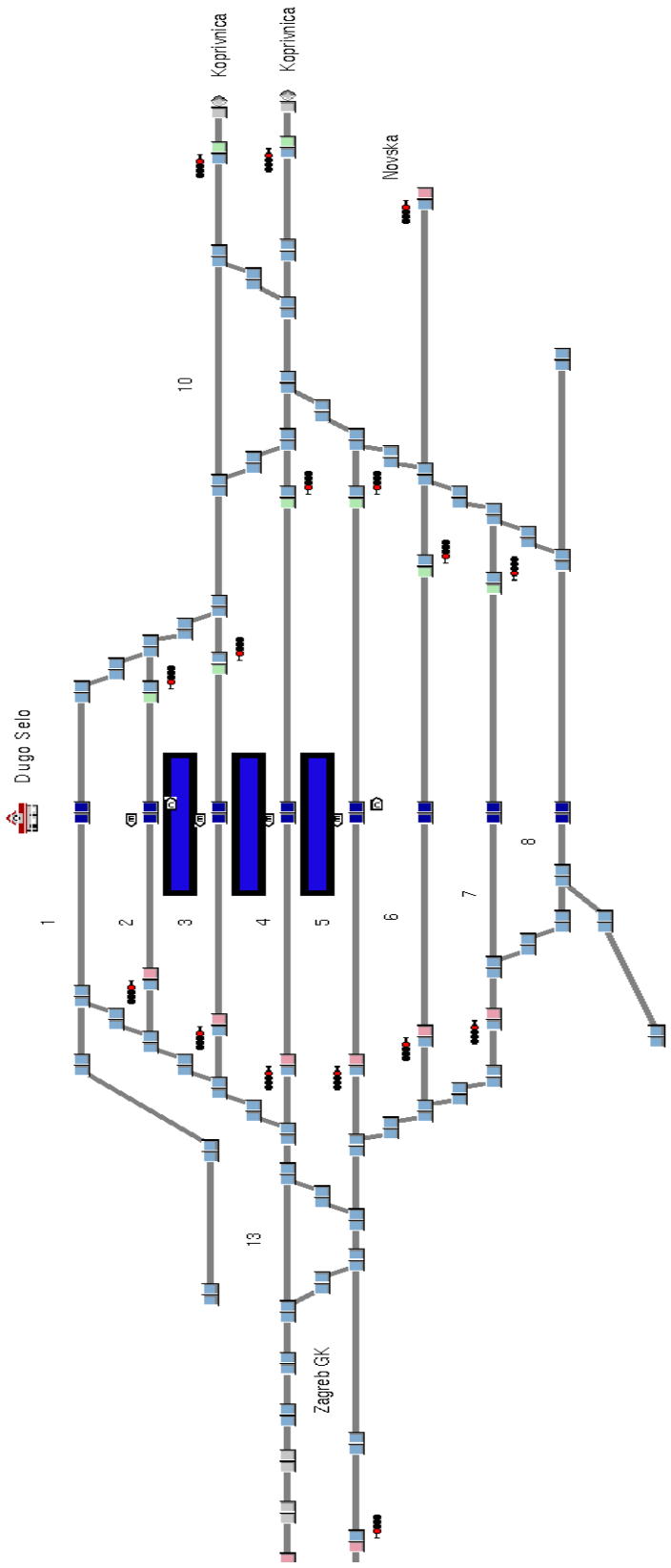
Također u izborniku Inspector - edge mogu se očitati dodatni podaci o pruzi, kao na primjer da li se navedeni dio pruge nalazi u tunelu, koja je dozvoljena brzina kretanja vlakova na tom dijelu pruge, da li je dio puta pretrčavanja, da li ima određeni sustav vuče, da li je opremljen kontinuiranim prijenosom informacija, te da li je njegova slobodnost uvjetovana zauzećem nekog drugog elementa.

Prikaz željezničko cestovnog prijelaza u razini u KM 447+473 željezničke pruge na relaciji Dugo Selo – Križevci u programu OpenTrack vidi se na slici br. 17.



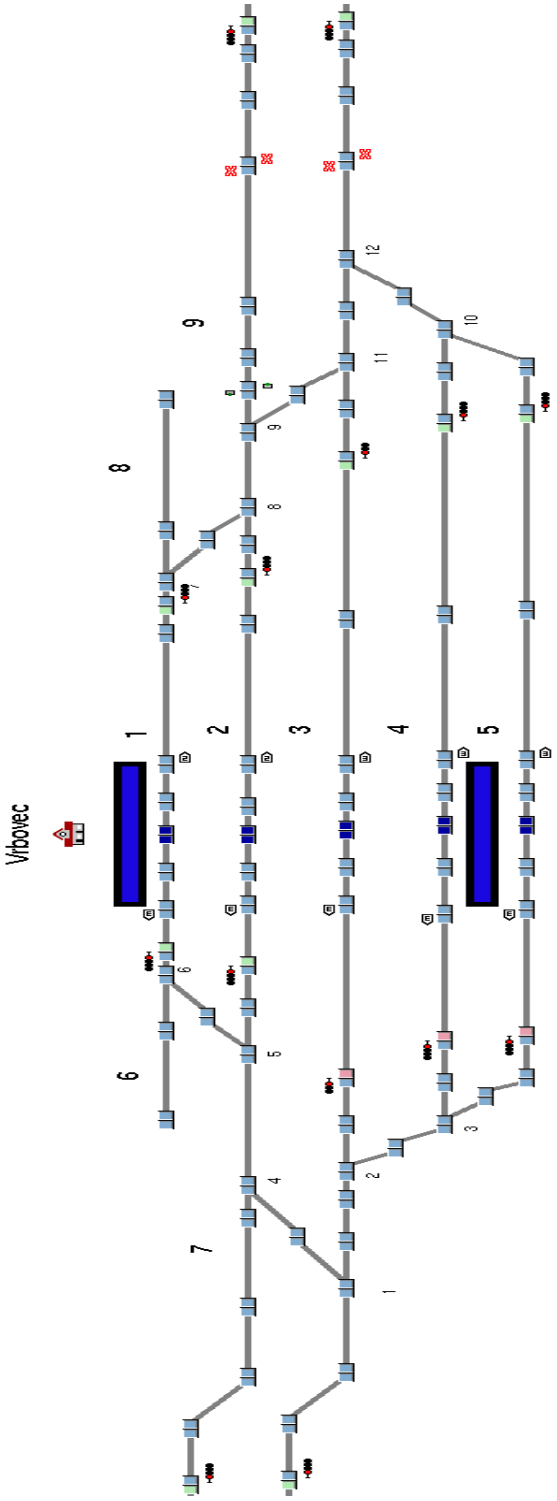
Slika 3.6. Prikaz ŽCPR-a u programu OpenTrack

Kod izrade kolodvorskog područja koriste se podaci iz Poslovnog reda kolodvora prvi i drugi dio, uzdužnog profila pruge, sheme kolodvora, te uputa za obavljanje prometne službe. U modelu su prikazani kolodvori sa svim kolosijecima, kolodvorskom zgradom, skretnicama, peronima, signalima te svom drugom infrastrukturnom opremom koja se nalazi na navedenim kolodvorima u postojećem stanju.



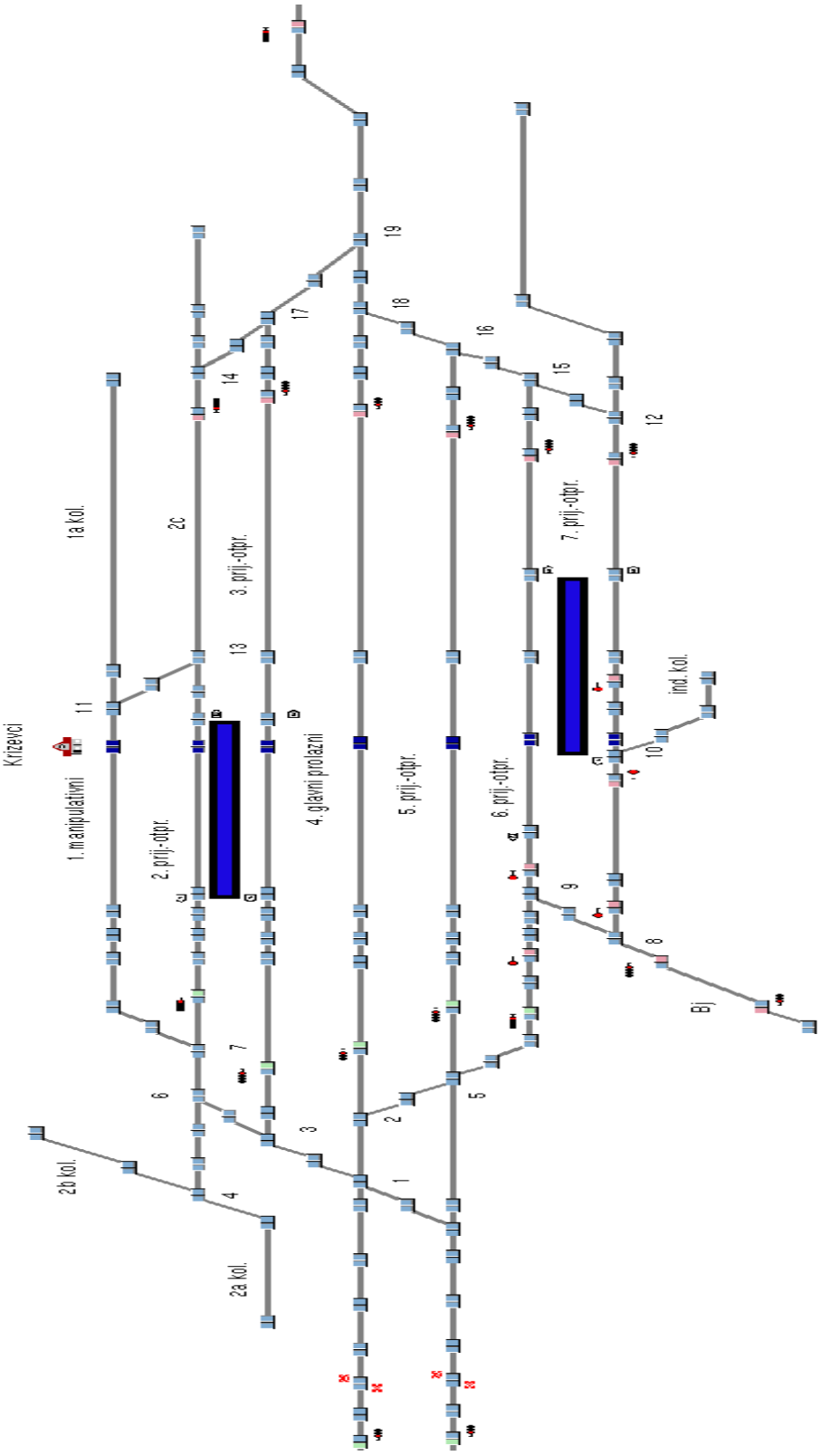
Slika 3.7. Kolodvor Dugo Selo

Prilikom izvođenja simulacije svaki vlak se pokreće od izlaznog signala u polaznom kolodvoru. Kao što se vidi na slici broj 19, peroni su stavljeni s vanjske strane kolosijeka te je na taj način osigurana veća dopuštena brzina na glavnim prolaznim kolosijecima za vlakove koji se ne zaustavljaju u kolodvoru Vrbovec.



Slika 3.8. Kolodvor Vrbovec

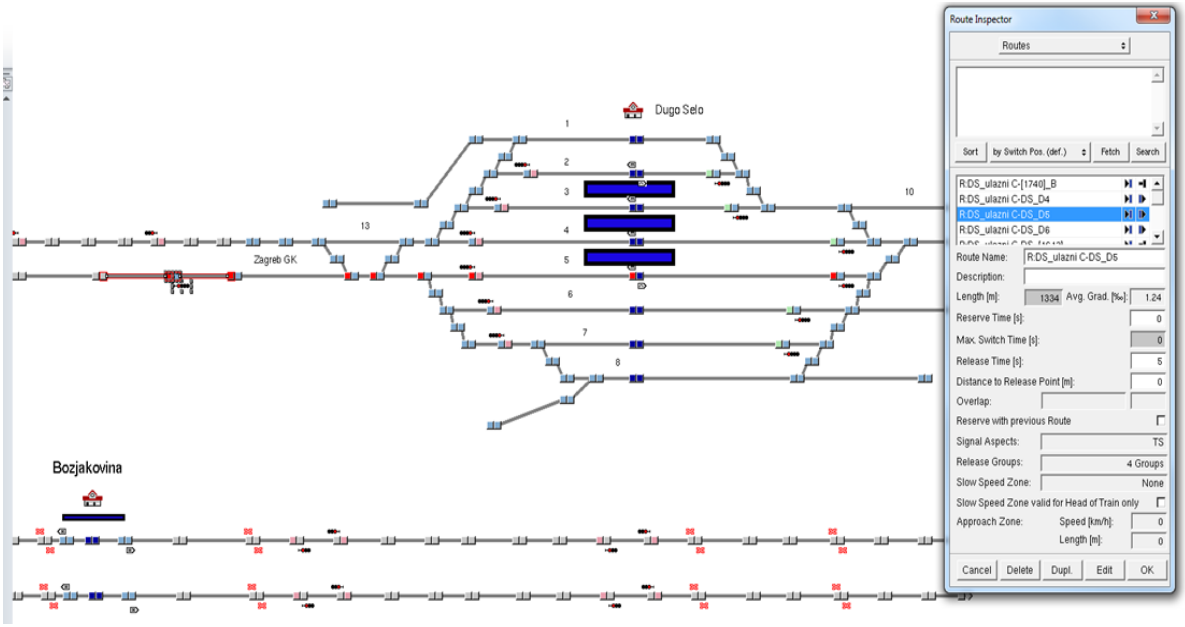
Također u kolodvoru Križevci, peroni su stavljeni s vanjske strane kolosijeka te je na taj način osigurana veća dopuštena brzina na glavnim prolaznim kolosijecima za vlakove koji se ne zaustavljaju u kolodvoru Križevci.



Slika 3.9. Kolodvor Križevci

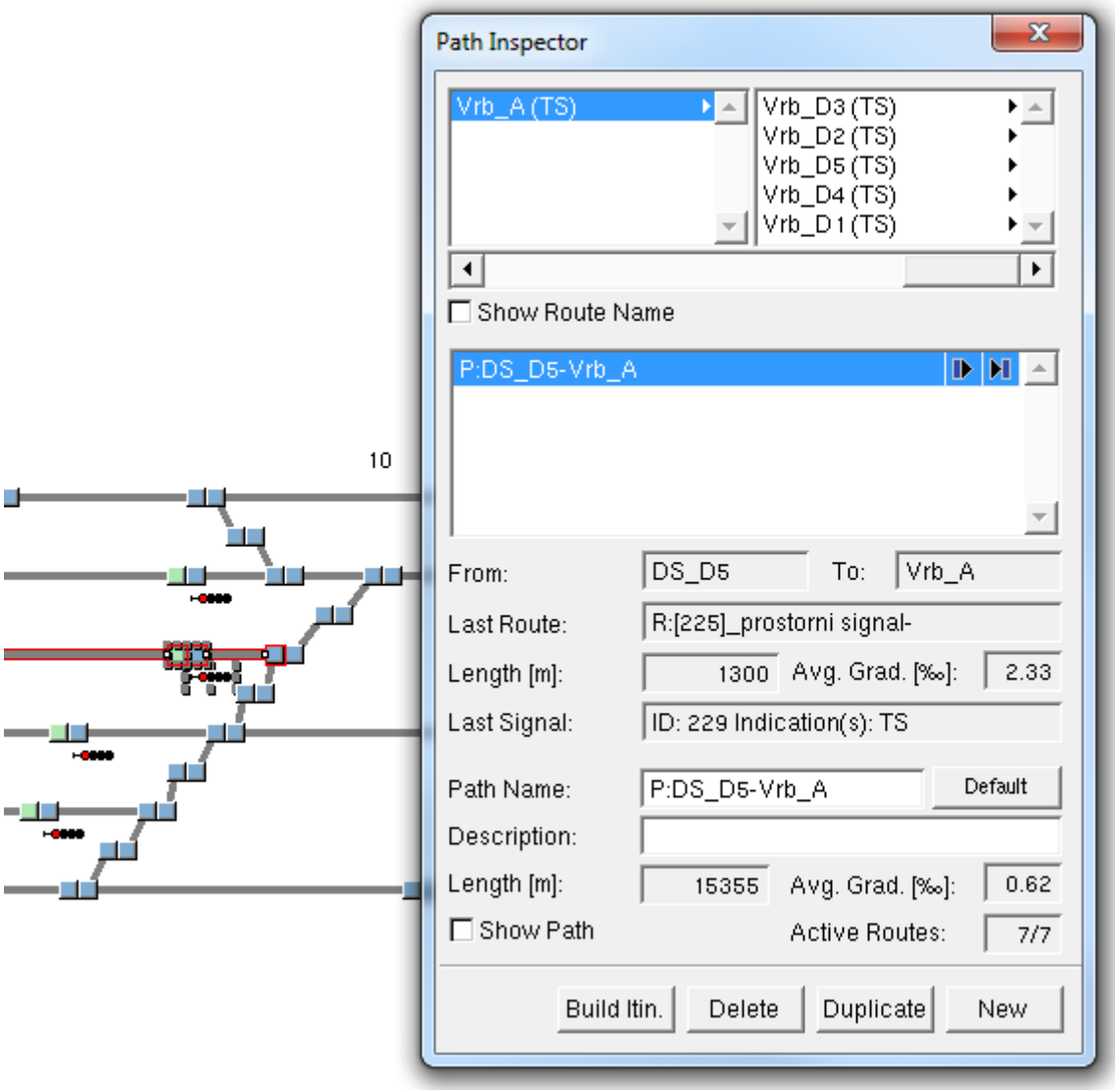
3.2. Definiranje putova vožnje, pathova i itinerara

Prva razina osiguranja predstavlja put vožnje (eng. Route) koji pripada čvoru gdje je ucrtan glavni signal od kojeg započinje put vožnje. Kod izvođenja simulacije svakom vlaku se dodjeljuje put vožnje po kojem se kreće. Nakon što vlak u potpunosti napusti taj put vožnje, te prođe vrijeme razrješenja, on se oslobađa i može ga koristiti drugi vlak.



Slika 3.10. Putovi vožnje u računalnom modelu

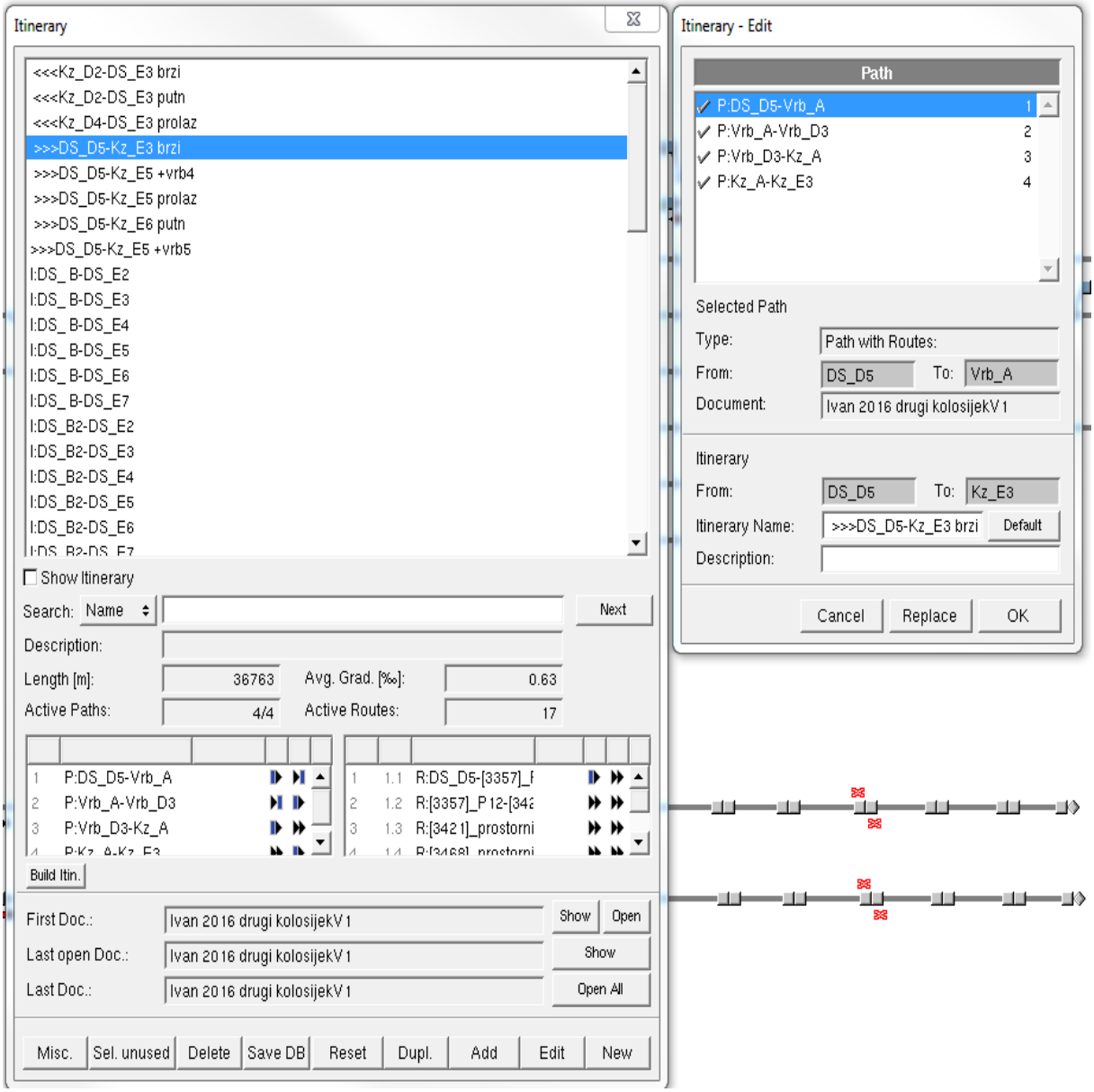
Skup sastavljen od jednog ili više uzastopnih putova vožnje u jednom smjeru predstavlja naziva se path koji može biti postavljen samo u jednom kolodvoru, na dijelu otvorene pruge, te između više kolodvora. U prikazanom modelu pathovi su rađeni od ulaznog signala u kolodvoru do svakog izlaznog signala u istom kolodvoru, te od svakog izlaznog signala u kolodvoru do sljedećeg ulaznog signala.



Slika 3.11. Path od izlaznog do ulaznog signala

Na slici 22 vidi se Path Inspector iz kojeg se može vidjeti da je path definiran od izlaznog signala D5 iz Dugog Sela do ulaznog signala A u kolodvoru Vrbovec, duljina mu je 15355 metara, sastoji se od sedam ruta, te mu je prosječan nagib 0.62 promila.

Itinerar predstavlja najvišu razinu pri definiranju trase vlakova, sastavljen je od jednog ili više pathova.. Njime se opisuje cijeli put kojim prolazi vlak. Potpuni itinerar je primarni itinerar koji definira skup putova vožnji duž cijele trase vlaka, dok lokalni definira put vožnje samo na jednom dijelu trase i koristi se kao alternativa potpunom u slučaju zauzeća nekog dijela kolosijeka.

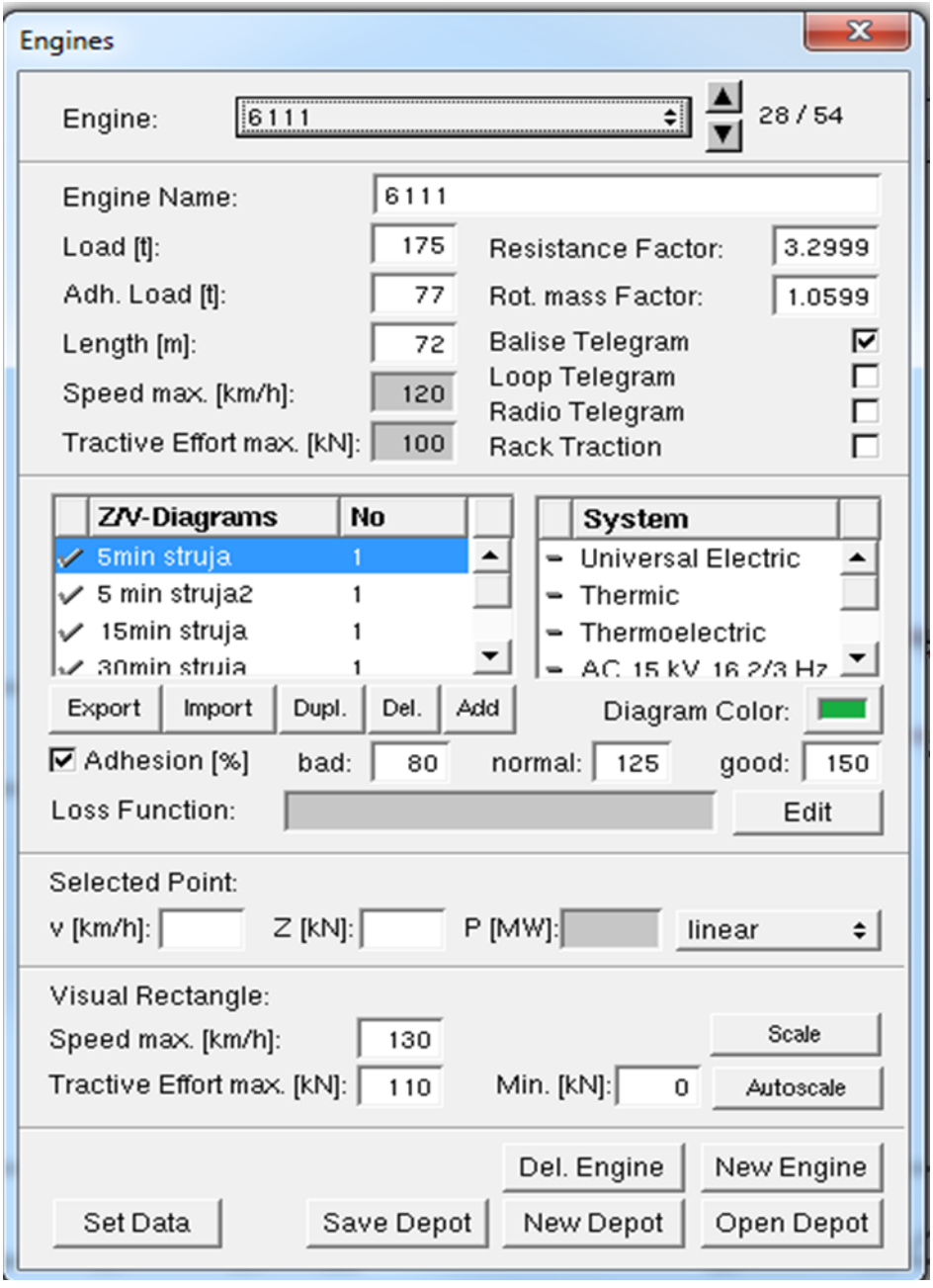


Slika 3.12. Uređivanje itinerara u OpenTracku

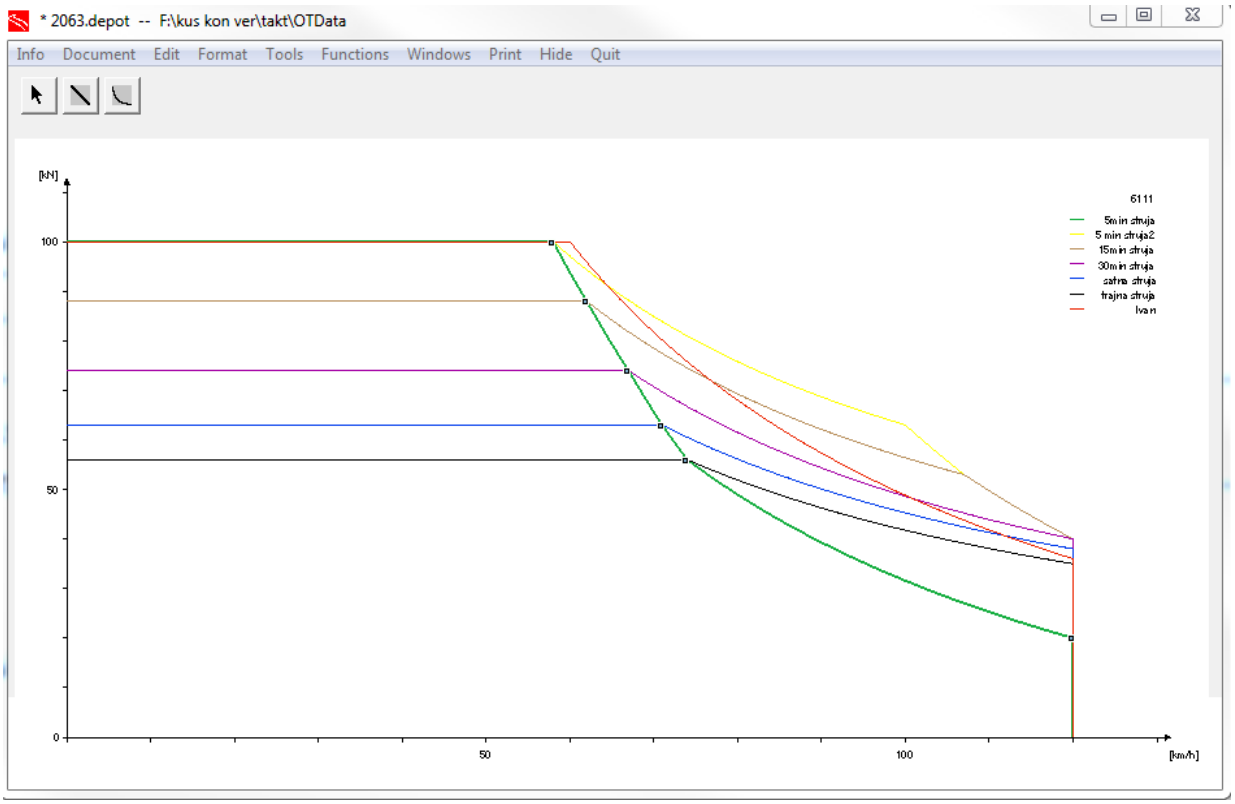
U prikazanom izborniku Itinerar može se vidjeti za svaki itinerar koja je njegova duljina, prosječan nagib, te od koliko se putova vožnji i pathova sastoji, dok se u izborniku Itinerar - Edit mogu vidjeti koji su to pathovi.

3.3. Izrada računalnog modela vučnih vozila i vlakova

Vučna vozila i motorne garniture u simulacijskom modelu se kreiraju u izborniku Engines. U modelu se prikazuju vučne karakteristike vozila te njegova opremljenost opremom za vođenje vlakova.

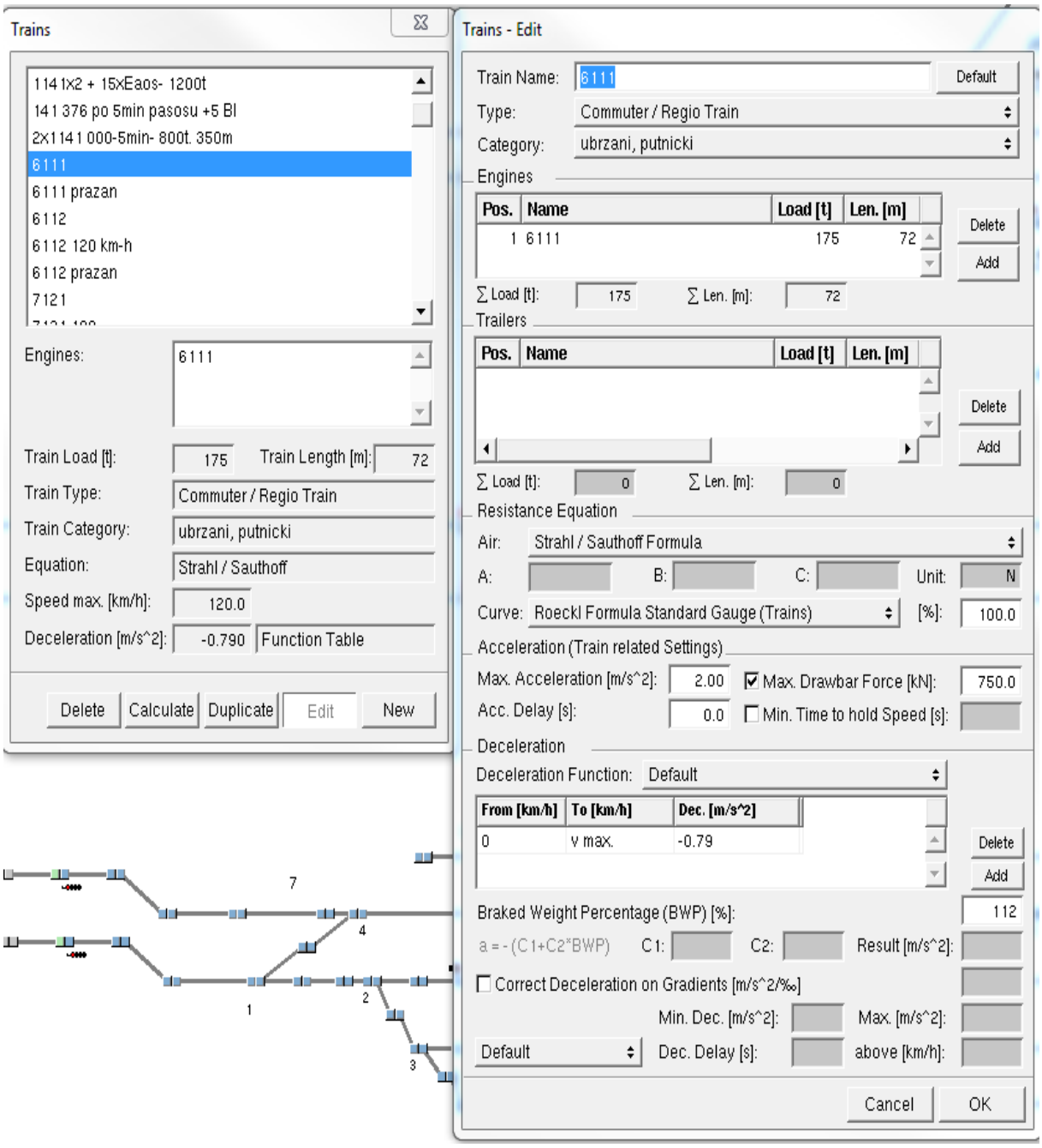


Slika 3.13. Prozor izbornika Engines za elektromotorni vlak serije 6111



Slika 3.14. Vučni pasoš elektromotornog vlaka serije 6111

Sastav vlaka u simulacijskom modelu uređuje se u izborniku Trains. Kod izrade sastava vlakova koriste se vučna vozila kreirana u izborniku Engines te se pojedinačno dodaju vagoni za svaki sastav vlaka. Kreirani sastavi vlaka mogu se pronaći u izborniku Trains, te se tamo za svaki sastav vlaka može vidjeti njegova dužina, masa, maksimalna brzina, kategorija vlaka, kao i drugi potrebni parametri.

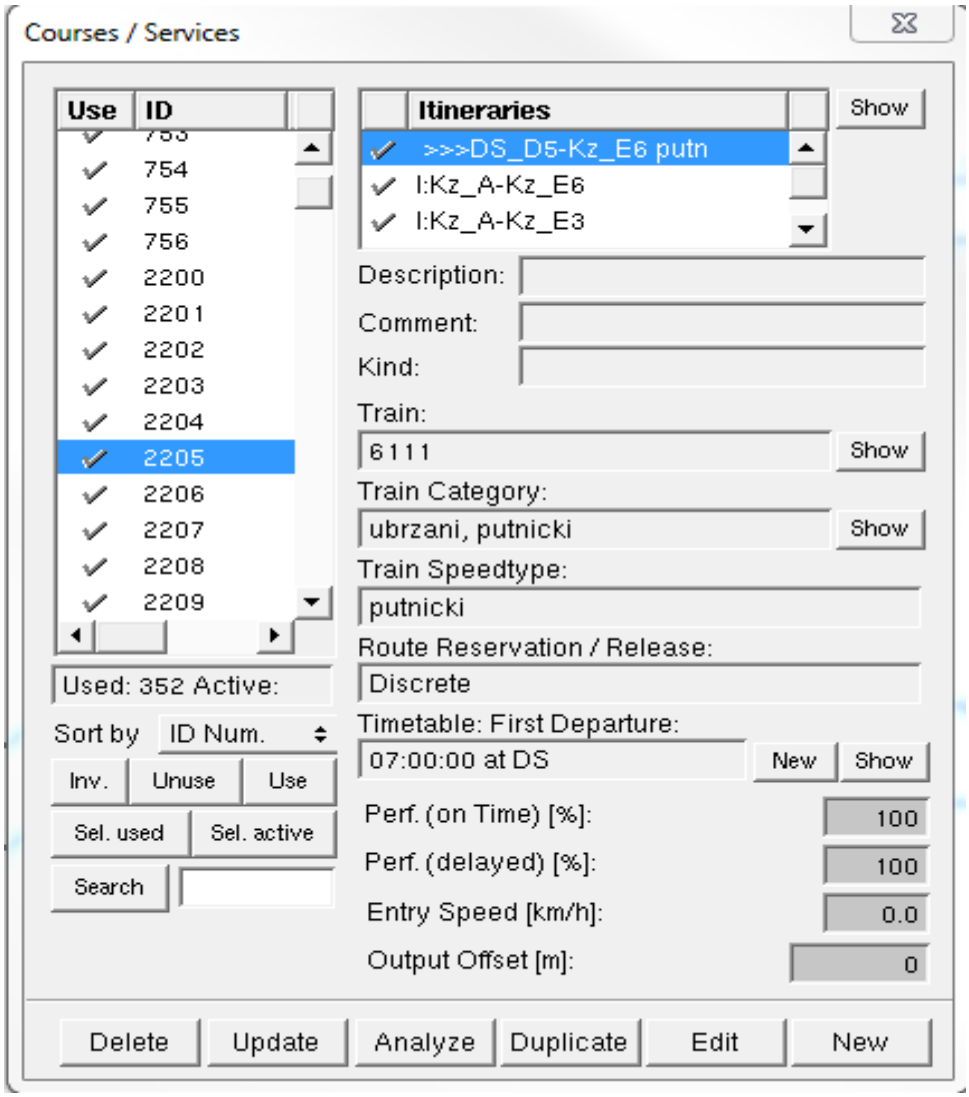


Slika 3.15. Prikaz sastava vlaka

U izborniku Trains - Edit unose se sljedeći podaci: naziv, tip i kategorija vlaka, broj i vrsta vučnih vozila, broj vagona s podacima o masi, dužini, 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.

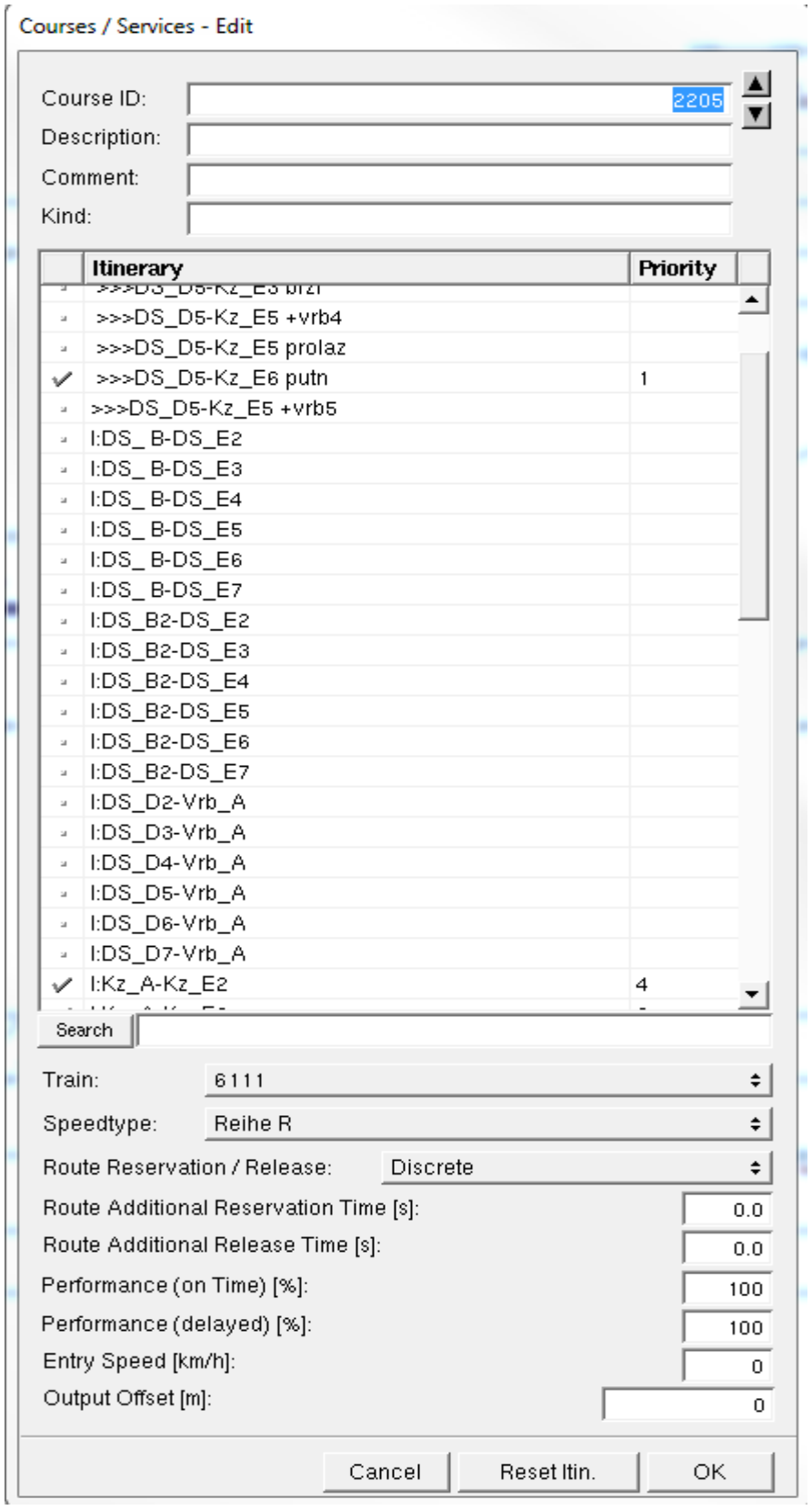
3.4. Izrada trase vlaka

Nakon izrade vlakova, slijedi formiranje trase za svaki pojedini vlak. Trase se formiraju u izborniku Courses/ Services. Klikom na opciju new stvara se nova trasa vlaka, te se otvara izbornik Courses/Services - Edit u kojem se toj trasi određuje njezin ID, itinerari te broj vlaka koji će njome prometovati.



Slika 3.16. Izbornik Courses/Services u programu OpenTrack

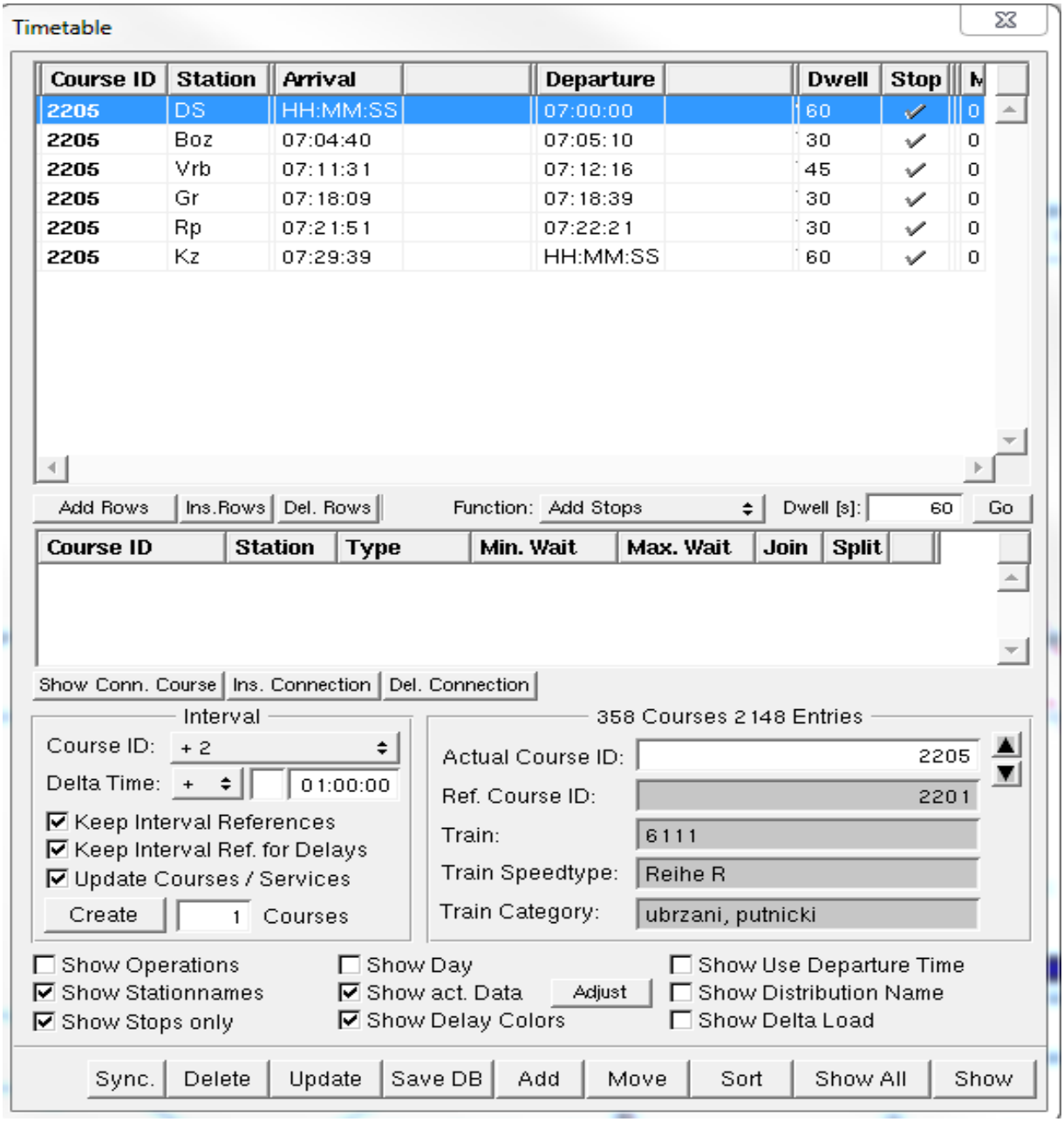
Svakoj trasi u računalnom modelu pridružuje se jedan ili više itinerara. U slučaju da trasa ima više itinerara, svakom od njih se daje prioritet. Vlak se uvijek kreće prema itineraru s najvećim prioritetom, osim u slučajevima kada su neki kolosijeci zauzeti, tada se trasa vlaka mijenja prema itineraru sljedećeg prioriteta.



Slika 3.17. Prikaz izbornika za izradu i uređivanje trase vlaka

3.5. Vozni red

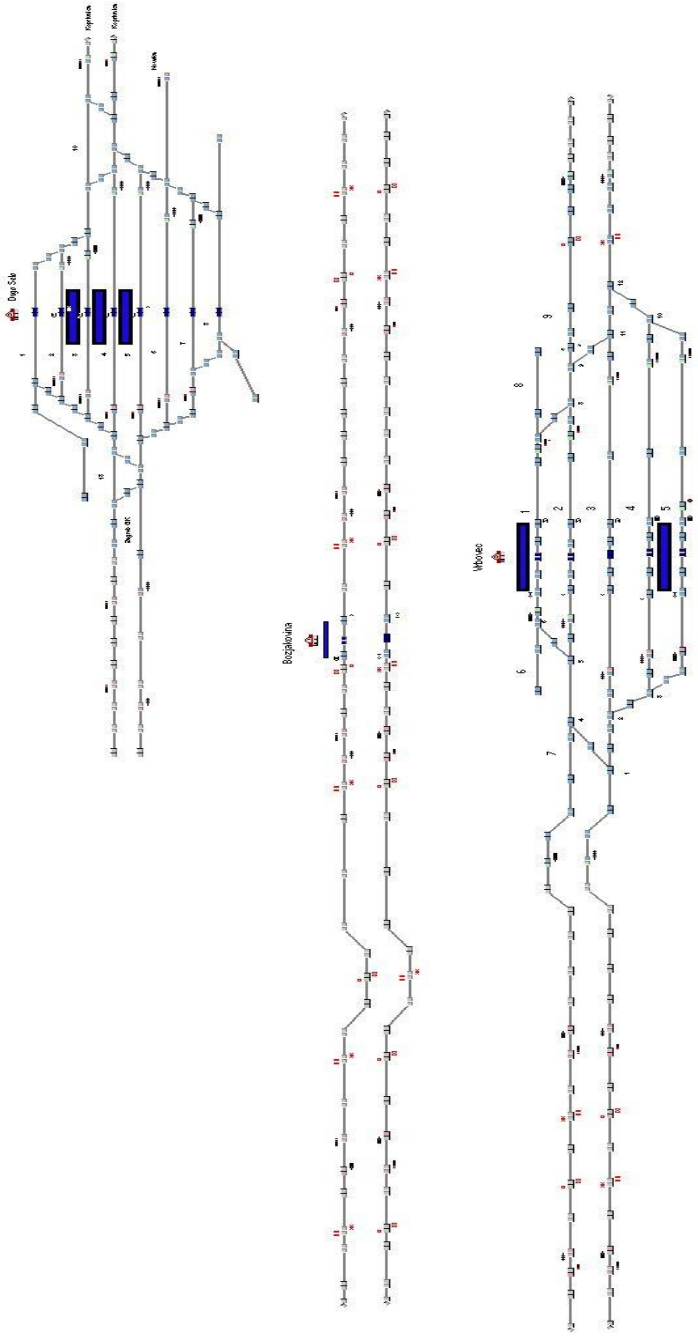
Vozni red se uređuje u izborniku Timetable te se upisuje za svaku trasu vlaka posebno. Za svaku trasu se upisuje polazak i dolazak vlaka u kolodvor ili stajalište, minimalno vrijeme zadržavanja u službenom mjestu, vrijeme čekanja na vezu s drugim vlakovima, te spajanje i rastavljanje vlaka. Također u izborniku je prikazan sastav vlaka, brzina kretanja pridružena vlaku te njegova kategorija.



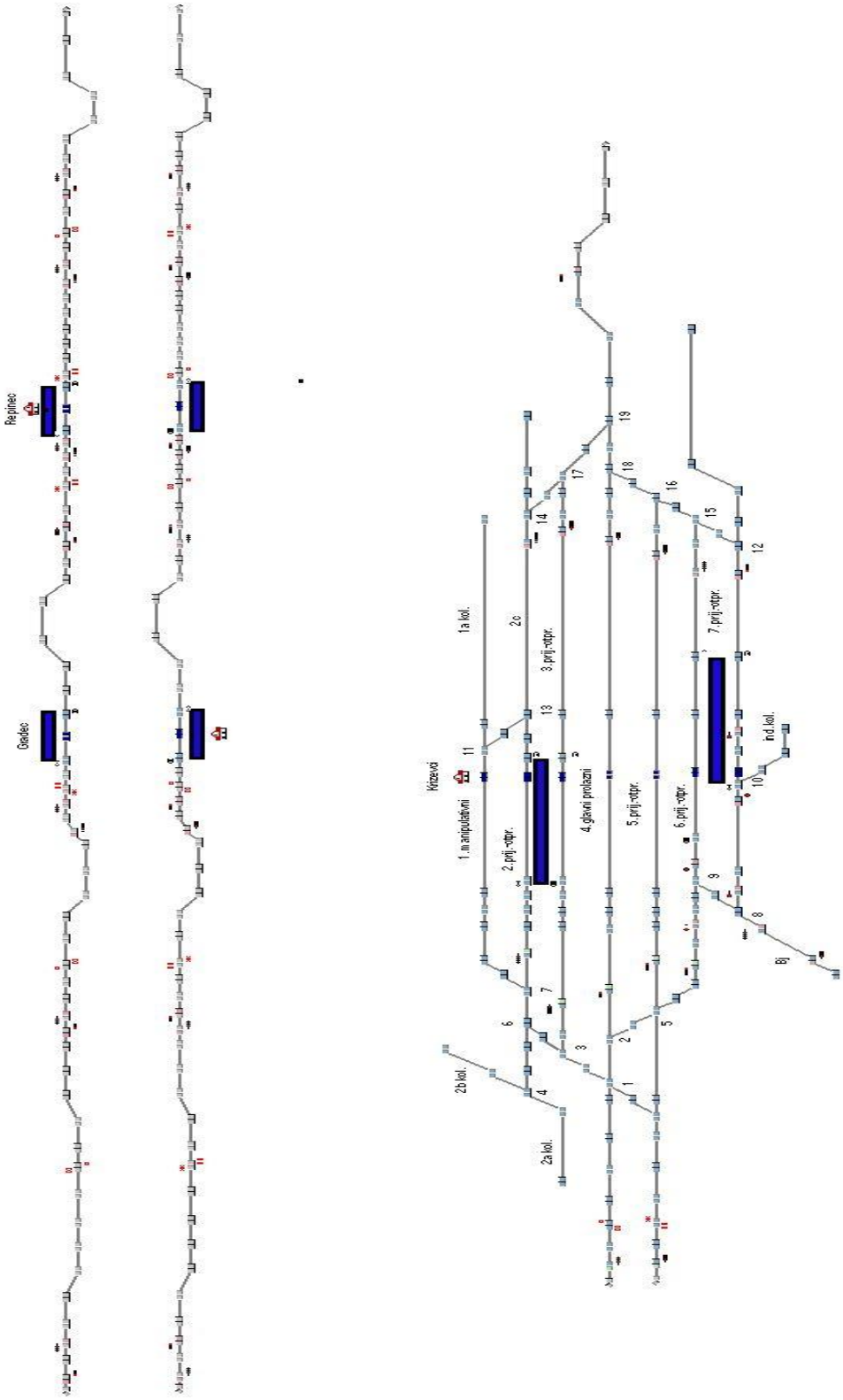
Slika 3.18. Vozni red vlaka 2205

4. ANALIZA UTJECAJA IZGRADNJE DRUGOG KOLOSIJEKA NA UČINKOVITOST ŽELJEZNIČKOG PROMETA NA PRUZI DUGO SELO - KRIŽEVCI

Zbog sve veće potrebe putnika za učestalijom i bržom vezom od Križevaca do Zagreba potrebno je pristupiti izradi drugog kolosijeka na pruzi M201 Dugo Selo – Križevci.



Slika 4.1. Pruga Dugo Selo – Križevci prvi dio



Slika 4.2. Pruga Dugo Selo – Križevci drugi dio

U cilju skraćivanja vremena vožnje na navedenoj dionici pristupa se izradi novih perona u kolodvorima, te su navedeni peroni udaljeni od glavnih prolaznih kolosijeka kako bi se povećala brzina kretanja po tim kolosijecima za vlakove koji se ne zadržavaju u kolosijeku.

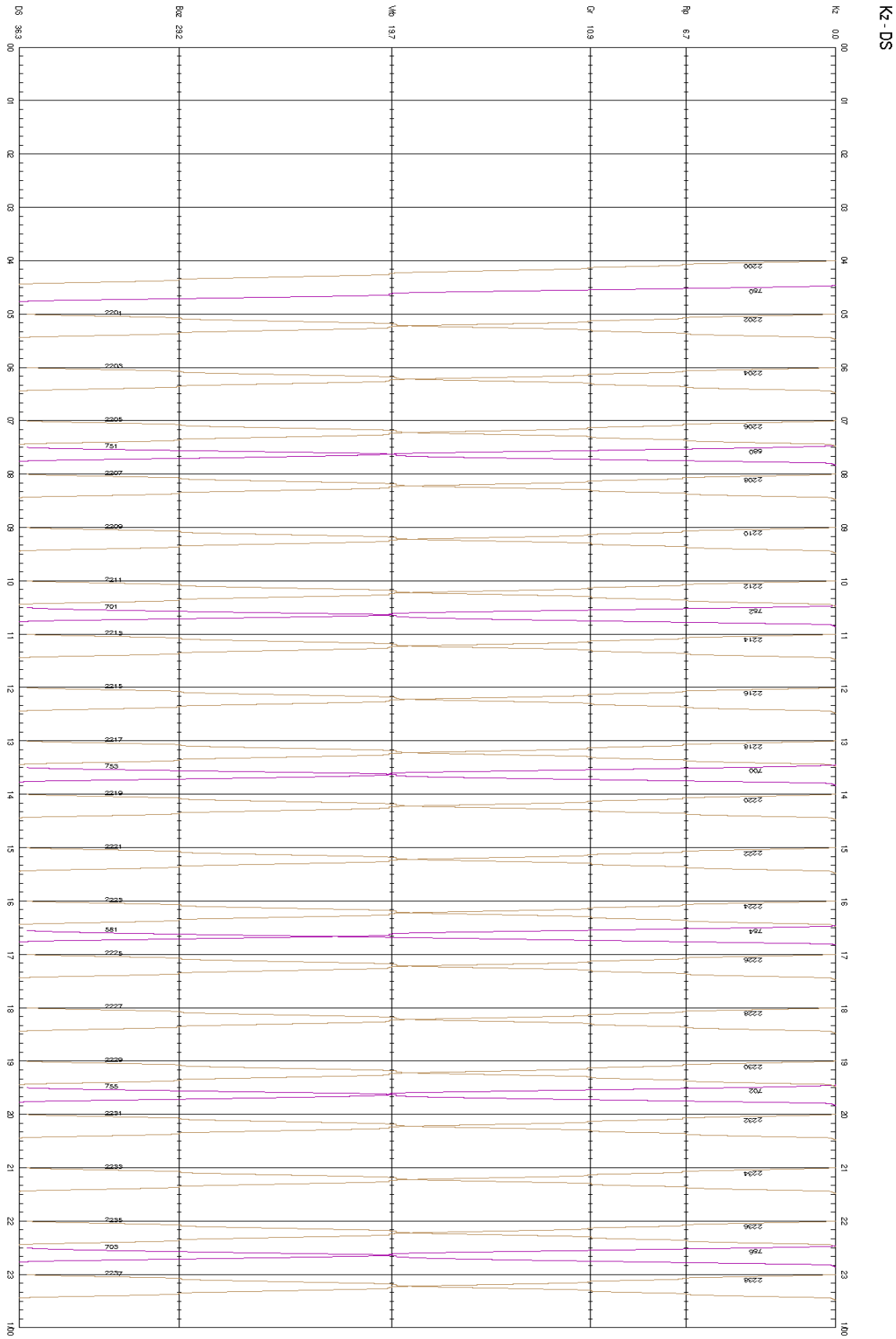
U modelu su korištene sljedeće kategorije vlakova:

- putnički, regionalni vlakovi
- brzi, IC vlakovi
- teretni vlakovi

Putnički i regionalni vlakovi označeni su zlatnom bojom, brzi i Intercity vlakovi ljubičastom bojom, dok su teretni označeni plavom bojom.

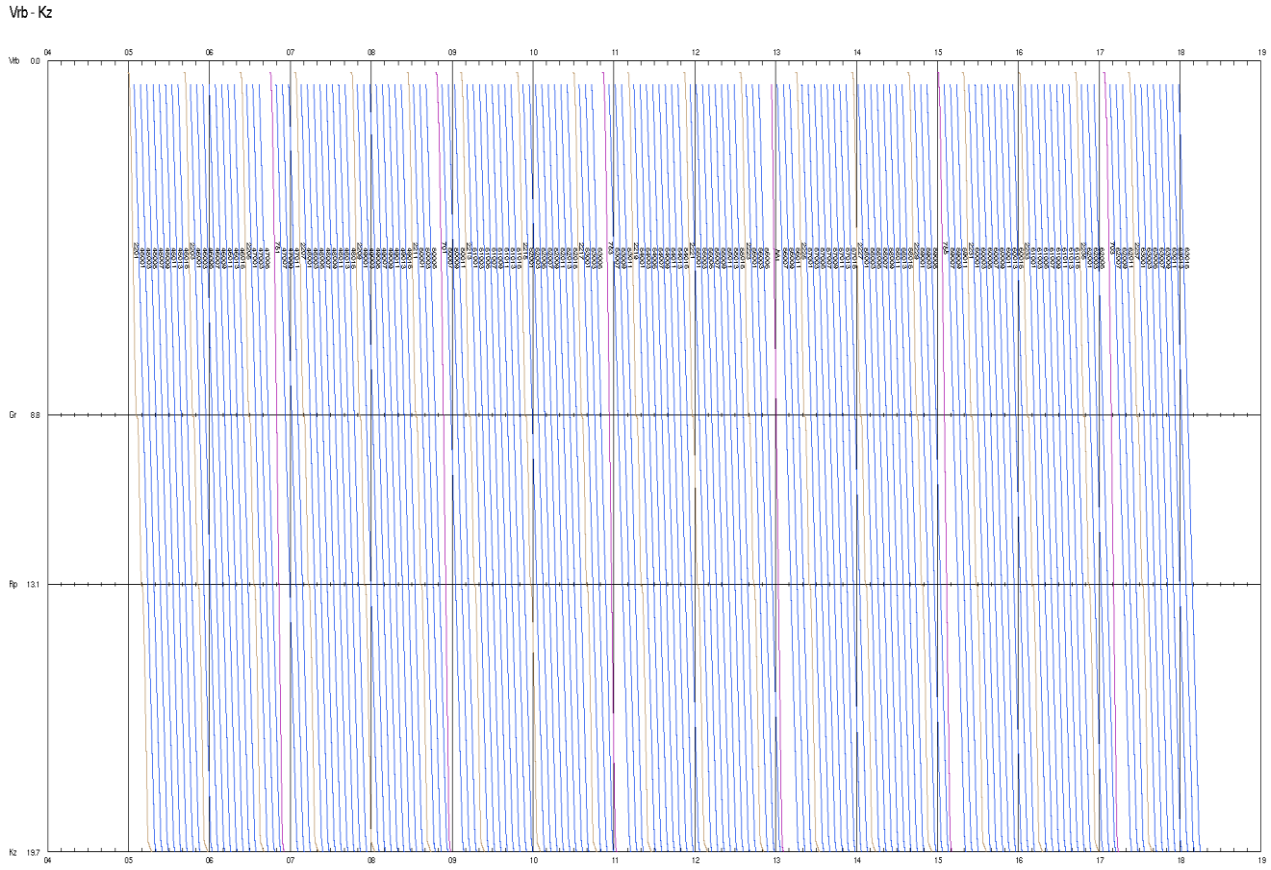
Izvedba tatktnog voznog reda uz zadržavanje postojećeg broja vlakova na postojećoj jednokolosiječnoj pruzi gotovo je nemoguća. Nakon izrade drugog kolosijeka na pruzi Dugo Selo – Križevci, otvorila bi se mogućnost za uvođenje taktnog voznog reda. Taktni vozni red podrazumijeva polazak vlakova iz kolodvora u točno određenom vremenskom intervalu, npr. 20 minuta. U slučaju polaska vlaka iz kolodvora u 6 sati, te kašnjenja putnika na navedeni vlak, putnici raspolažu sa informacijom da svakih sljedećih 20 minuta polazi novi vlak iz njihovog kolodvora. Prednosti taktnog voznog reda su ravnomjerniji polasci vlakova iz kolodvora, lakša integracija između vlakova, te između željezničkog prometa i drugih vrsta prometa.

U modelu će se koristiti taktni vozni red za putničke i regionalne vlakove s periodom od 1 sat, te za brze i Intercity vlakove od 3 sata. Na slici 4.3. prikazani su putnički i regionalni vlakovi označeni zlatnom bojom te brzi i Intercity vlakovi ljubičastom bojom.



Slika 4.3. Taktni vozni red Dugo Selo – Križevci

Simulacijskom analizom je utvrđeno da se izradom drugog kolosijeka povećao kapacitet pruge, te u tom slučaju mogući broj trasa vlakova na toj dvokolosiječnoj pruzi iznosi 353, dok je na jednokolosiječnoj pruzi bio 72. Pomoću metode UIC E406 izračunava se maksimalni broj vlakova koji može prometovati u nekom vremenskom periodu, na primjer u jednome danu. Tijekom postupka procjene kapaciteta novog modela dvokolosiječne pruge nakon postupka komprimacije postojećeg broja vlakova po voznom redu 2014./2015., dodavane su nove trase do maksimalno dozvoljenog iskorištenja vremena zauzetosti infrastrukture s obzirom na preporuke UIC 406 metode o vremenu zauzeća infrastrukture s obzirom na očuvanje stabilnosti voznog reda i zadovoljavajuće razine kvalitete prijevozne usluge. Kapacitet pruge računa se na dionici pruge Vrbovec – Križevci, jer je to bio najopterećeniji dio pruge. Nakon dodanih trasa vlakova na dionici Vrbovec – Križevci dobiveni rezultat je 169 vlakova u jednom smjeru te 184 vlakova u drugom smjeru na relaciji Križevci - Vrbovec.

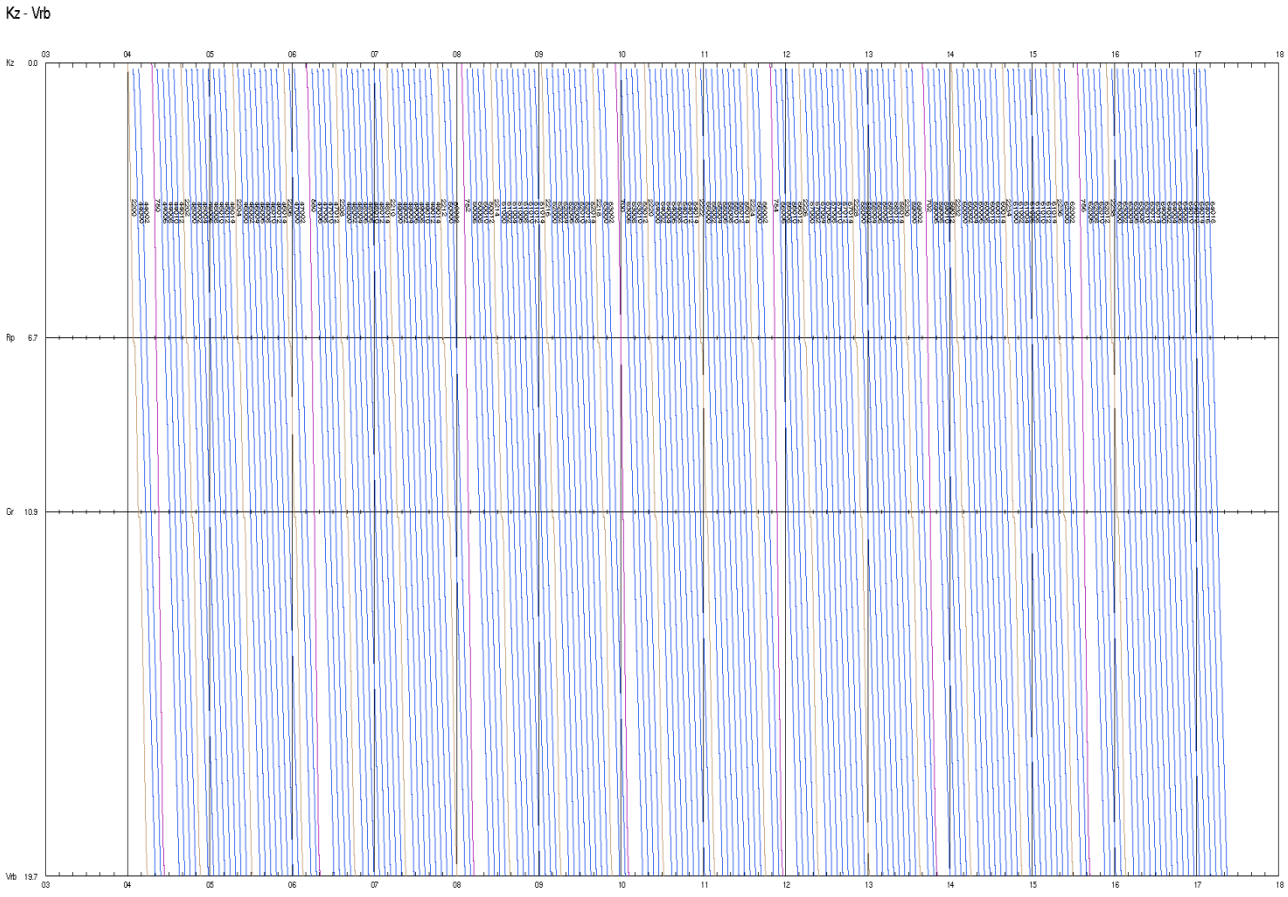


Slika 4.4. Grafikon komprimiranog voznog reda Vrbovec - Križevci

Putnički i regionalni vlakovi označeni su zlatnom bojom, brzi i Intercity vlakovi ljubičastom bojom, dok su teretni označeni plavom bojom.

Prema UIC E406 pod kapacitetom željezničke pruge podrazumijeva se:

- ukupan broj mogućih trasa vlaka s tržišno orijentiranom kvalitetom
- ukupan broj mogućih trasa vlaka u definiranome vremenskom okviru, uzevši u obzir tadašnje miješanje trasa
- ukupan broj mogućih trasa vlaka u čvorištima, na pojedinim prugama ili na jednome dijelu mreže



Slika 4.5. Grafikon komprimiranog voznog reda za smjer Križevci – Vrbovec

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu izrađen je novi model dvokolosiječne pruge Dugo Selo – Križevci na način da je modificiran i unaprijeđen model postojeće jednokolosiječne pruge.

Nakon provedbe simulacijske analize prometa na dvokolosiječnoj pruzi Dugo Selo - Križevci može se zaključiti da uvođenje drugog kolosijeka u prvom redu značajno povećava kapacitet te pruge. Prednosti dvokolosiječne pruge također se očituju u smanjenju voznih vremena, te prilikom kašnjenja pojedinih vlakova dolazi do manjih odstupanja nego na jednokolosiječnoj pruzi, gdje drugi vlak mora čekati u kolodvoru zbog njihovog križanja.

Osim toga, trenutna ograničenja brzine u kolodvorima pri vožnji u skretanje znatno povećavaju vozna vremena te potrošnju energije u slučajevima kada se vlak ne zadržava u kolodvorima.

Izgradnja drugog kolosijeka također stvara dobre uvjete za uvođenje taktnog voznog reda na pruzi, čime bi se skratila vozna vremena, smanjila potrošnja energije, te povećala propusna sposobnost pruge. Analizom voznog reda te sa stajališta potrebe putnika, izrađen je prijedlog taktnog voznog reda s taktom od 60 minuta za putničke i regionalne vlakove, te 3 sata za brze i Intercity vlakove.

LITERATURA

[1] Hž Infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Dugo Selo 1. dio, Zagreb, 2010.

[2] Hž Infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Vrbovec 1. dio, Zagreb, 2010.

[3] Hž Infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Križevci 1. dio, Zagreb, 2010.

[4] Hž Infrastruktura d.o.o.: Knjižica voznog reda za putnički promet, Zagreb, 2014.

[5] Hž Infrastruktura d.o.o.: Knjižica voznog reda za teretni promet, Zagreb, 2014.

[6] http://zeljeznice.net (28.08.2016)

[7] http://hznet.hr (24.08.2016.)

[8] Hž Infrastruktura d.o.o.: Grafikon voznog reda za prugu Dugo Selo – Koprivnica – DG, 2014/2015, Zagreb, 2014.

[9] Hž Infrastruktura d.o.o.: Izvješće o mreži 2015, Zagreb, 2014.

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Kolodvor Dugo Selo

Slika 2.2. Kolodvor Vrbovec

Slika 2.3. Stajalište Božjakovina

Slika 2.4. Stajalište Gradec

Slika 2.5. Stajalište Repinec

Slika 2.6. Kolodvor Križevci

Slika 2.7. Stajalište Majurec

Slika 2.8. Stajalište Vojakovački Kloštar

Slika 2.9. Stajalište Carevdar

Slika 3.1. Uzdužni profil pruge

Slika 3.2. Model otvorene pruge

Slika 3.3. Prostorni signal P11 u KM 447+189 prikazan u modelu

Slika 3.4. Prikaz prostornog signala P11 u izborniku Inspector - Signal

Slika 3.5. Prikaz dijela pruge istih karakteristika u OpenTracku

Slika 3.6. Prikaz ŽCPR-a u programu OpenTrack

Slika 3.7. Kolodvor Dugo Selo

Slika 3.8. Kolodvor Vrbovec

Slika 3.9. Kolodvor Križevci

Slika 3.10. Putovi vožnje u računalnom modelu

Slika 3.11. Path od izlaznog do ulaznog signala

Slika 3.12. Uređivanje itinerara u OpenTracku

Slika 3.13. Prozor izbornika Engines za elektromotorni vlak serije 6111

Slika 3.14. Vučni pasoš elektromotornog vlaka serije 6111

Slika 3.15. Prikaz sastava vlaka

Slika 3.16. Izbornik Courses/Services u programu OpenTrack

Slika 3.17. Prikaz izbornika za izradu i uređivanje trase vlaka

Slika 3.18. Vozni red vlaka 2205

Slika 4.1. Pruga Dugo Selo – Križevci prvi dio

Slika 4.2. Pruga Dugo Selo – Križevci drugi dio

Slika 4.3. Taktni vozni red Dugo Selo – Križevci

Slika 4.4. Grafikon komprimiranog voznog reda Vrbovec - Križevci

Slika 4.5. Grafikon komprimiranog voznog reda za smjer Križevci – Vrbovec