Simulacijska analiza učinkovitosti željezničkog prometa na relaciji Zagreb Klara - Sisak

Lektorić, Matija

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:119:783061

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Matija Lektorić

SIMULACIJSKA ANALIZA UČINKOVITOSTI ŽELJEZNIČKOG PROMETA NA RELACIJI ZAGREB KLARA – SISAK

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

SIMULACIJSKA ANALIZA UČINKOVITOSTI ŽELJEZNIČKOG PROMETA NA RELACIJI ZAGREB KLARA – SISAK

SIMULATION ANALYSIS OF RAILWAY OPERATIONS ON THE LINE FROM ZAGREB KLARA TO SISAK

Mentor:
Doc. dr. sc. Hrvoje Haramina

Student:
Matija Lektorić, 0135214697

Zagreb, rujan 2016.

SAŽETAK

U ovom radu prikazuje se primjena simulacijskog modeliranja i analize željezničkog prometa na relaciji Zagreb Klara – Sisak u simulacijskom programu OpenTrack. OpenTrack je program za modeliranje i simulaciju željezničkih operacija. On koristi podatke o infrastrukturi, tehnološkim procesima i voznom redu kako bi se mogao simulirati realni način odvijanja željezničkog prometa. Primjenom tog modeliranja i simulacijske analize omogućuje se ispitivanje raznih prometnih situacija u željezničkom prometu, kao i mogućnost definiranja mjera za unaprjeđenja željezničkog sustava te izračun postotka iskorištenja kapaciteta željezničke pruge.

KLJUČNE RIJEČI: simulacije u željezničkom prometu; kapacitet pruge; vozni red;

SUMMARY

This paper shows the application of simulation modeling and analysis of railway traffic on the line from Zagreb Klara to Sisak in the simulation program OpenTrack. OpenTrack is a program for modeling and simulation of rail operations. It uses data about the railway infrastructure, technological processes and timetable in order to simulate a rail transport in real environment. By using this modeling and simulation analysis it allows testing of various traffic situations in rail transport, as well as the ability to define measures for improving the railway system and calculate the railway capacity utilization.

KEY WORDS: railway simulation; railway line capacity; timetable

SADRŽAJ:

1. UVOD 1

2. IZRADA RAČUNALNOG MODELA RELACIJE ZAGREB KLARA – SISAK NA PRUZI ZAGREB GLAVNI KOLODVOR – SISAK – NOVSKA 3

2.1. Postupak izrade računalnog modela kolodvorskog područja 4

2.1.1. Kolodvor Zagreb Klara 4

2.1.2. Kolodvor Velika Gorica 7

2.1.3. Kolodvor Turopolje i podređena službena mjesta 9

2.1.4. Kolodvor Lekenik i podređena službena mjesta 11

2.1.5. Kolodvor Greda 13

2.1.6. Kolodvor Sisak i podređena službena mjesta 15

2.2. Postupak izrade računalnog modela otvorene pruge 19

2.3. Definiranje putova vožnje, grupe putova vožnji i itinerara 20

2.4. Definiranje trasa i karakteristika vlakova 20

3. SIMULACIJSKA ANALIZA STABILNOSTI VOZNOG REDA NA RELACIJI ZAGREB KLARA – SISAK 21

3.1. Prvi scenarij za analizu stabilnosti voznog reda 21

3.2. Drugi scenarij za analizu stabilnosti voznog reda 23

3.3. Treći scenarij za analizu stabilnosti voznog reda 25

4. MJERE ZA UNAPRJEĐENJE ŽELJEZNIČKOG PROMETA NA RELACIJI ZAGREB KLARA – SISAK 26

4.1. Izgradnja drugog kolosijeka na relaciji Zagreb Klara – Sisak 26

4.2. Dodavanje novih trasa vlakova u postojeći vozni red 27

4.3. Postotak iskorištenja propusne sposobnosti pruge metodom UIC 406 28

4.3.1. Izračun postotka iskorištenja propusne sposobnosti dvokolosiječne pruge na relaciji Sisak – Zagreb Klara metodom UIC 406 29

4.3.2. Izračun postotka iskorištenja kapaciteta dvokolosiječne pruge na relaciji Zagreb Klara – Sisak metodom UIC 406 30

5. ZAKLJUČAK 31

LITERATURA 32

POPIS SLIKA 33

POPIS TABLICA 34

PRILOZI 35

1. UVOD

Pruga na relaciji Zagreb Klara – Sisak dionica je pruge Zagreb Glavni kolodvor – Sisak – Novska koja spada u kategoriju pruga za međunarodni promet. Kolodvor Zagreb Klara također je i odvojni kolodvor za prugu Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka te iz tog smjera na promatranu dionicu pruge pristiže određeni broj teretnih vlakova.

Potražnja za uslugom prijevoza putnika na relaciji te pruge od Zagreb Glavnog kolodvora do Siska posljednjih je godina u stalnom porastu što dovodi do zaključka da na toj relaciji postoji potreba za uvođenjem dodatnih trasa putničkih vlakova kao i uvođenja gradsko-prigradskih vlakova na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Turopolje. Naime, uvođenjem u promet novih regionalnih vlakova na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Sisak rasteretile bi se gužve u postojećim vlakovima jer bi putnici imali veći izbor vlakova za putovanje. Osim toga u planu je i izgradnja nove pruge kojom bi vozili vlakovi na relaciji između Zagreb Glavnog kolodvora i zračne luke dr. Franjo Tuđman.

S obzirom na to u okviru ovog istraživanja potrebno je istražiti utjecaj uvođenja novih trasa putničkih i gradsko-prigradskih vlakova na toj relaciji pruge u slučaju izgradnje novog kolosijeka na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Velika Gorica s odvojnom prugom prema zračnoj luci.

U ovom radu napravljena je simulacijska analiza voznog reda na relaciji Zagreb Klara – Sisak u programu OpenTrack, te su uvedene mjere za unaprjeđenje željezničkog prometa na relaciji Zagreb Klara – Sisak. U tu svrhu izrađena su dva računalna modela željezničke infrastrukture. Prvi model se odnosi na jednokolosiječnu prugu između kolodvora Zagreb Klara i kolodvora Sisak, a drugi model se odnosi na dvokolosiječnu prugu na istoj relaciji.

Rad je podijeljen u pet cjelina:

1. Uvod
2. Izrada računalnog modela na relaciji Zagreb Klara – Sisak
3. Simulacijska analiza stabilnosti voznog reda na relaciji Zagreb Klara – Sisak
4. Mjere za unaprjeđenje željezničkog prometa na relaciji Zagreb Klara – Sisak
5. Zaključak

U drugom poglavlju je opisan proces izrade računalnog modela otvorene pruge i kolodvorskih područja na relaciji Zagreb Klara – Sisak, izrada računalnog modela vučnih vozila i vlakova te definiranje puteva vožnji, skupina voznih putova, itinerera, trasa, karakteristika vozila te voznog reda. Opisan je i proces izrade drugog kolosijeka kojim će se promijeniti postojeći vozni red vlakova te će tijekom vršnih opterećenja omogućiti lakše obavljanje dnevnih migracija putnika.

U trećem poglavlju opisana je analiza aktualnog voznog reda sa raznim poremećajima koji utječu na redovito prometovanje vlakova. Opisano je kašnjenje vlaka u kolodvor, radovi na dionici pruge te lagana vožnja sa ograničenom brzinom.

U četvrtom poglavlju opisane su mjere za unaprjeđenje željezničkog prometa na relaciji Zagreb Klara – Sisak u kojima je analizirana izgradnja novog kolosijeka na toj relaciji, uvedeni su novi vlakovi, izračunat je postotak iskorištenja kapaciteta pruge na toj relaciji te je izračunata propusna sposobnost pruge. Na temelju izrađenog modela dvokolosiječne pruge na relaciji Zagreb Klara – Sisak izrađen je grafikon voznog reda vlakova sa dodanim vlakovima u vršnim opterećenjima kako bi se omogućila kvalitetnija usluga putnicima koji putuju u to vrijeme vršnog opterećenja.

2. IZRADA RAČUNALNOG MODELA RELACIJE ZAGREB KLARA – SISAK NA PRUZI ZAGREB GLAVNI KOLODVOR – SISAK – NOVSKA

Kod izrade diplomskog rada korišten je računalni program OpenTrack. OpenTrack je program u kojem je moguće detaljno simulirati način odvijanja željezničkog prometa na određenom modelu pruge. OpenTrack nudi podršku za razne operacije kao što su utvrđivanje kapaciteta kolodvora, određivanje kapaciteta dionice pruge, lokaliziranje kapaciteta uskog grla, optimizaciju voznog parka, ocjenjivanje kako poremećaji u prometu utječu na cijelu mrežu, planiranje projekata održavanja i izgradnje infrastrukture itd.

Na relaciji Zagreb Klara – Sisak nalaze se kolodvori Zagreb Klara, Velika Gorica, Turopolje, Lekenik, Greda i Sisak. Stajališta koja se nalaze na toj relaciji su Odra, Buzin, Mraclin, Peščenica i Stupno.

Za izradu modela korišteni su podaci o uzdužnim profilima pruga, podaci iz poslovnih redova kolodvora, podaci iz grafikona voznog reda te tehnoloških procesa. Podaci iz uzdužnog profila pruge su položaji signala, duljine dionica, položaji kolodvora i kolodvorskih zgrada, nagibi, zavoji te drugi potrebni podaci za izradu željezničkog modela. U poslovnim redovima kolodvora su detaljno opisani svi načini i uvjeti za obavljanje sigurnog tijeka željezničkog problema u kolodvoru te su opisani svi elementi infrastrukture. U poslovnim redovima kolodvora opisuju se i sljedeće odredbe:

- osiguranje voznih putova
- signalno-sigurnosni uređaji i stabilni kapaciteti kolodvora
- način primitka i otpreme vlaka iz kolodvora
- kolosijeke u kolodvoru i njihovu namjenu
- obavljanje probe kočenja
- manevriranje u kolodvoru i na otvorenoj pruzi
- tehnološko vrijeme za izvršenje pojedinih operacija s vlakovima
- način posluživanja industrijskih kolosijeka
- promet vlakova do određenog mjesta na otvorenoj pruzi
- organizacija rada u uvjetima prekida u službenim mjestima

2.1. Postupak izrade računalnog modela kolodvorskog područja

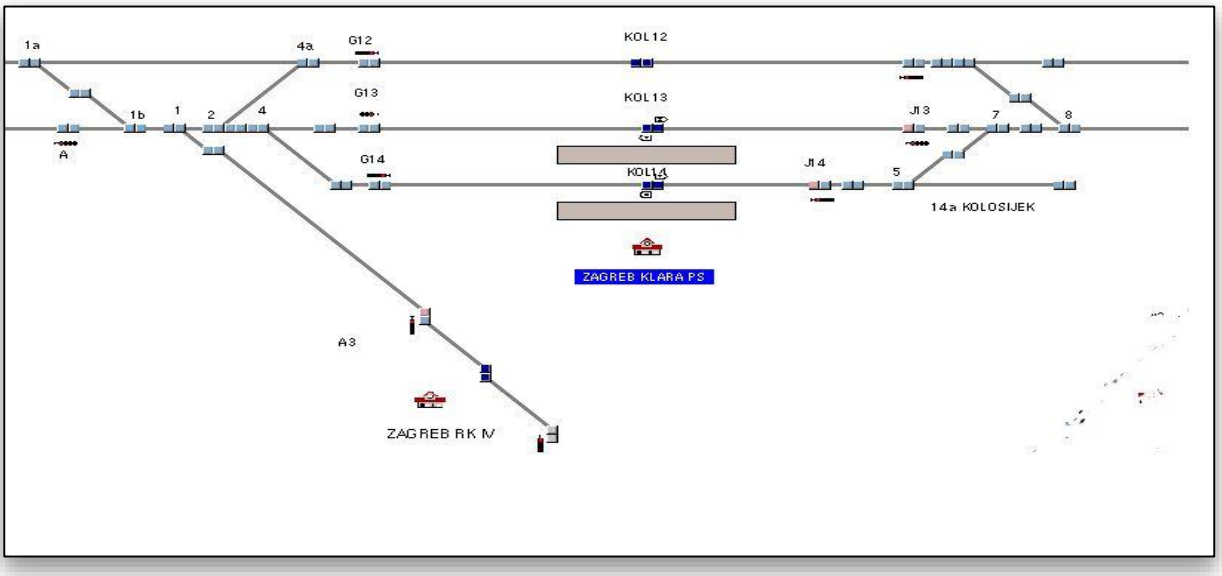
Kod izrade računalnog modela kolodvorskog područja korišteni su podaci iz poslovnog reda kolodvora I i II dio, uzdužnog profila pruge, grafikona voznog reda vlakova te sheme kolodvora.

2.1.1. Kolodvor Zagreb Klara

Kolodvor Zagreb Klara je smješten u KM 417+838, na rasporednom odsjeku pruge Novska – Zagreb Glavni Kolodvor, na nadmorskoj visini od 110 metara, dijeli se na putnički i teretni dio. Računalni modeli putničkog i teretnog dijela se mogu vidjeti na slikama: 1 i 2. Prema zadaći u reguliranju prometa je:

- **Međukolodvor** na rasporednom odsjeku Novska – Zagreb Glavni kolodvor (M104)
- **Odvojni kolodvor** za Karlovac i Rijeku sa pruge Novska – Zagreb Glavni kolodvor (M404)
- **Krajnji kolodvor** na pruzi Zagreb Ranžirni kolodvor – Zagreb Klara (M403)
- **Kolodvor prijelaza s dvokolosiječne na jednokolosiječnu prugu** (Zagreb Žitnjak – Zagreb Klara TS i Zagreb Klara TS – Zagreb Glavni kolodvor) Sjeverni (M402-A) i Južni (M402-B)

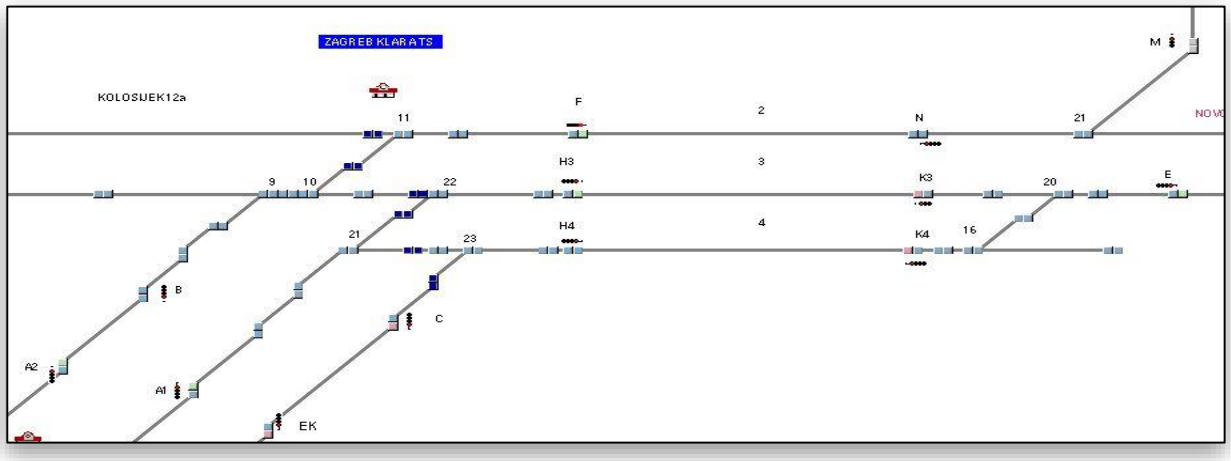
U pogledu prema obavljanju zadaća prijevoza putnika i robe kolodvor Zagreb Klara je otvoren za prijem i otpremu putnika, prijem i otpremu vagonskih pošiljaka svih vrsta, izuzev pošiljaka eksplozivnih materijala, lb, RID-a i živih životinja koje se tovare u gornji kat vagona sa dva poda. Kolodvor Zagreb Klara nije otvoren za prijem i otpremu komadne robe redovnog prijevoza.



Slika 1. Shematski prikaz putničkog dijela kolodvora Zagreb Klara iz programa OpenTrack

Kolosiječna mreža kolodvora Zagreb Klara sastoji se slijedećih kolosijeka:

- tri glavna prijemno-otpremna kolosijeka u starom dijelu kolodvora Zagreb Klara PS (dvanaesti, trinaesti i četrnaesti kolosijek) (slika 1)
- dva prijemno-otpremna kolosijeka u novom dijelu kolodvora Zagreb Klara TS i to trećeg i četvrtog kolosijeka (slika 2)



Slika 2. Shematski prikaz teretnog dijela kolodvora Zagreb Klara iz programa OpenTrack

Treći i četvrti kolosijek su u odnosu na vlakove iz pravca Zagreb Ranžirni kolodvor – Zagreb Glavni kolodvor – Zagreb Zapadni kolodvor i obrnuto dio dvokolosiječne pruge za navedeni smjer, s tim što se po trećem kolosijeku odvija jednokolosiječni promet vlakova za pravac Zagreb Glavni Kolodvor i Zagreb Zapadni kolodvor – Sisak i obrnuto.

- **Dvanaesti kolosijek** je nepravilni glavni prolazni kolosijek za pravac Hrvatski Leskovac i obrnuto. Vožnja po ovom kolosijeku je iz i za kolodvor Hrvatski Leskovac u pravac, a prema kolodvoru Velika Gorica u skretanje.
- **Trinaesti kolosijek** je glavni prolazni za vožnje u pravac smjera Velika Gorica – Zagreb Glavni kolodvor, Zagreb Zapadni kolodvor i obrnuto.
- **Četrnaesti kolosijek** služi za prijem i otpremu vlakova, a vožnja po istom je u skretanje za ulaz i izlaz. Ulaz i izlaz vlakova na ovu grupu kolosijeka iz i za pravac Hrvatski Leskovac je moguć na sva tri kolosijeka.
- **Treći kolosijek** služi za prijem i otpremu vlakova smjera: Sisak – Zagreb Glavni kolodvor – Zagreb Zapadni kolodvor i obrnuto, Zagreb Ranžirni kolodvor – Zagreb Glavni kolodvor – Zagreb Zapadni kolodvor i obrnuto.
- **Četvrti kolosijek** služi samo za otpremu vlakova iz pravca Zagreb Ranžirni kolodvor – Zagreb Glavni Kolodvor – Zagreb Zapadni kolodvor

Tablica 1. Popis kolosijeka i njihove korisne duljine – kolodvor Zagreb Klara

KOLOSIJEK	KORISNA DULJINA U METRIMA
12	668/373
13	578/583
14	554/556
3	719/757
4	719/719
14a	169
12a	272

Izvor [1]

Kolodvor Zagreb Klara osiguran je dvoznačnim svjetlosnim izlaznim signalima sa svakog kolosijeka. Iz svih pravaca kolodvor je zaštićen ulaznim svjetlosnim signalima (tablica 2.) s predsignalima koji pokazuju dvoznačnu signalizaciju.

Tablica 2. Popis ulaznih i izlaznih signala – kolodvor Zagreb Klara

GLAVNI SIGNAL		PREDSIGNAL	
Naziv i vrsta	**Kilom. položaj**	**Naziv**	**Kilom. položaj**
A (ulazni)	416+317	632	415+323
B (ulazni)	1+105	Ek	2+078
C (ulazni)	1+120	Ek	2+078
D (ulazni)	419+025		
E (ulazni)	419+026	641	420+024
F (ulazni)	0+192	M	1+175
G-12 (izlaz)	416+781		
G-13 (izlaz)	416+868		
G-14 (izlaz)	416+868		
H-3 (izlaz)	417+902		
H-4 (izlaz)	417+902		
J-12 (izlaz)	417+447		
J-13 (izlaz)	417+447		
J-14 (izlaz)	417+420		
K-3 (izlaz)	418+609		
K-4 (izlaz)	418+609		
M(stanični zaštitni)	1+175	RC	430+243
N(stanični zaštitni)	1+056		
RA (zaštitni)	429+578	022	428+208
RB (zaštitni)	2+000	N	1+056
RC (zaštitni)	430+243	031	431+645

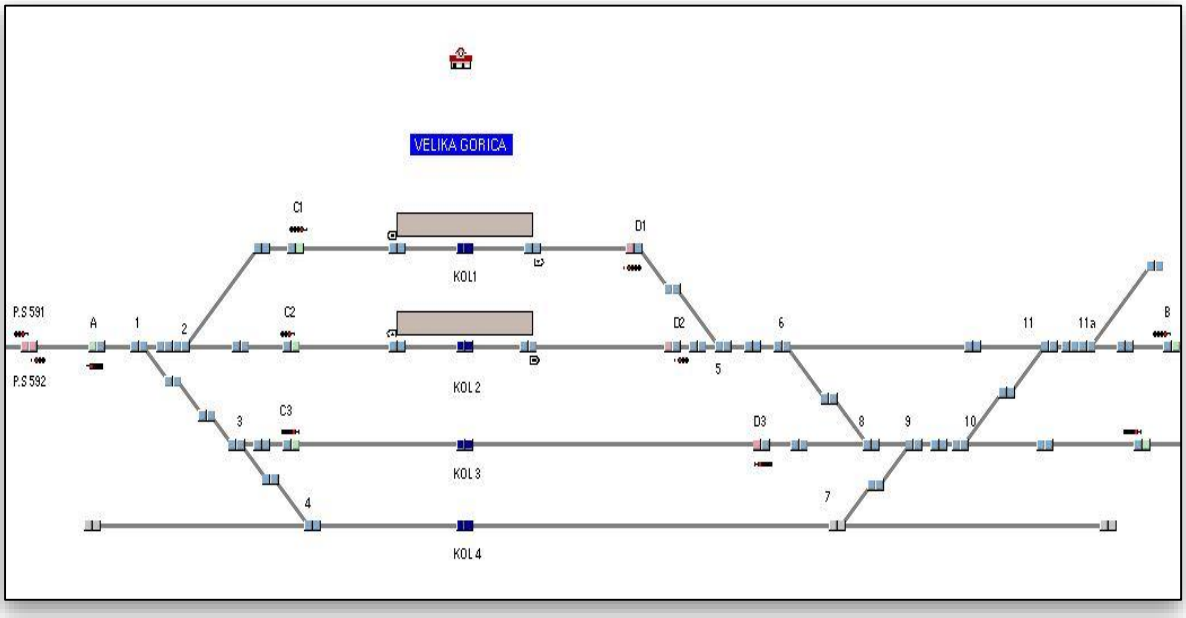
Izvor [1]

2.1.2. Kolodvor Velika Gorica

Kolodvor Velika Gorica je **međukolodvor** na pruzi Zagreb – Sisak – Novska i smješten je u kilometru KM 409+800 navedene pruge na nadmorskoj visini od 109 metara. Pruga Sesvete – Velika Gorica čini kolodvor istovremeno i odvojnim, odnosno krajnjim kolodvorom za tu prugu.

U kolodvoru Velika Gorica ima šest kolosijeka koji se mogu vidjeti na slici 3, a njihove namjene su:

- **Prva tri kolosijeka**, ispred kolodvorske zgrade, čine glavne kolosijeke, a služe za prijem i otpremu vlakova.
- **Četvrti kolosijek** je manipulativni, odnosno na njemu se vrši utovar i istovar vagonskih pošiljaka.
- **Peti kolosijek** je krnji, a čini produžetak četvrtog kolosijeka u smjeru kolodvora Turopolje. Na ovome kolosijeku postavljaju se vagoni za istovar automobila i vagoni tovareni teškim predmetima.
- **Šesti kolosijek** se nalazi u produžetku četvrtog kolosijeka u smjeru kolodvora Zagreb Klara. Ovaj kolosijek je namjenjen za gariranje praznih vagona i eventualno parkiranje pružnih vozila.



Slika 3. Shematski prikaz kolodvora Velika Gorica u programu OpenTrack

Korisne duljine kolosijeka u kolodvoru Velika Gorica prikazane su u tablici 3. Kod prolaska vlaka kroz prvi kolosijek, vožnja vlaka je u skretanje za sva tri smjera. Drugi kolosijek je glavni prolazni kolosijek za prugu Turopolje – Velika Gorica – Zagreb Klara i namijenjen je za vožnju u pravac. Treći kolosijek čini nepravilni glavni prolazni kolosijek za prugu Turopolje – Velika Gorica – Zagreb Žitnjak, a vožnja se kod ulaska vlakova u kolodvor odvija u skretanje, a pri izlasku u pravac, odnosno za vlakove koji prometuju iz smjera kolodvora Zagreb Žitnjak vožnja je pri ulasku u pravac, a pri izlasku u skretanje.

Tablica 3. Popis kolosijeka i njihove korisne duljine – kolodvor Velika Gorica

KOLOSIJEK	KORISNA DULJINA U METRIMA
1	658
2	659
3	741
4	707
5	30
6	140

Izvor [2]

Kolodvor je zaštićen sljedećim ulaznim i izlaznim signalima:

- Ulazni signal A iz smjera kolodvora Turopolje (KM 409+210), a predsignal PsA (KM 408+210)
- Ulazni signal B iz smjera kolodvora Zagreb Klara (KM 410+801), a predsignal PsB (KM 411+804)
- Ulazni signal E iz smjera kolodvora Zagreb Žitnjak (KM 15+399) a njegov predsignal PsE (KM 14+399)

Udaljenost predsignala od glavnih signala iznosi duljinu zaustavnog puta odnosno 1000 metara.

Udaljenost glavnih ulaznih signala od prvih ulaznih skretnica iznosi:

- Ulazni Signal A od skretnice broj 1.....322m
- Ulazni Signal B od skretnice broj 11.....210m
- Ulazni Signal E od skretnice broj 10.....332m

2.1.3. Kolodvor Turopolje i podređena službena mjesta

Kolodvor Turopolje je **međukolodvor** na pruzi Zagreb – Sisak – Novska i smješten je u kilometru KM 400+400 navedene pruge. Podređeno službeno mjesto je stajalište **Mraclin** u kilometru KM 403+700.

U kolodvoru Turopolje ima sedam kolosijeka, njihove korisne duljine se mogu vidjeti u tablici 4, a namjene kolosijeka su:

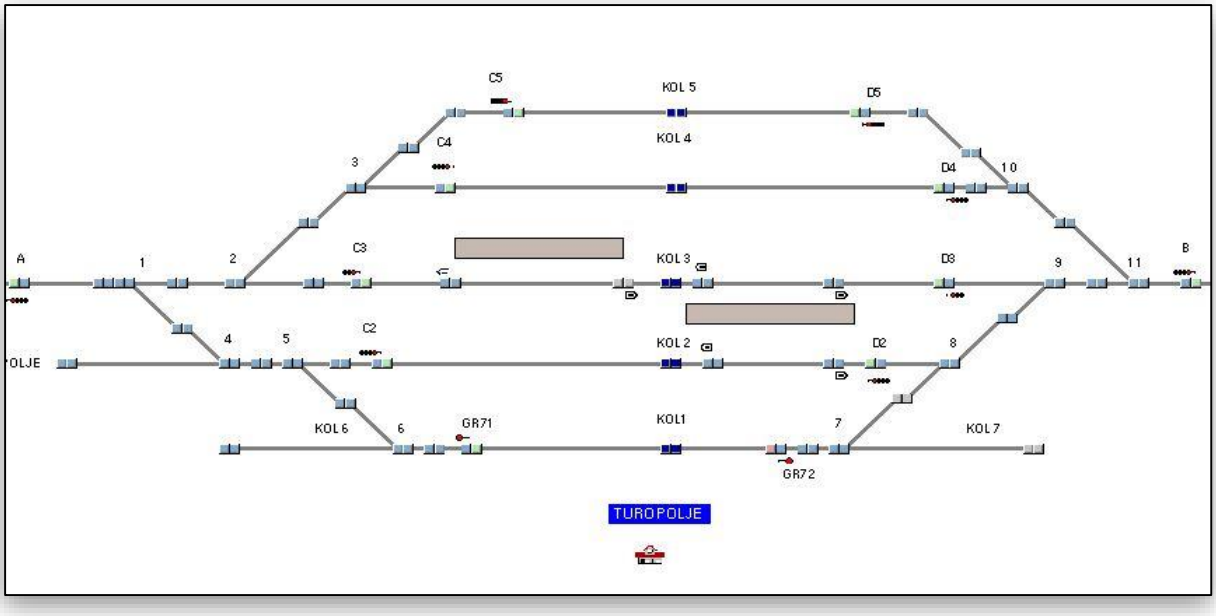
- **Prvi kolosijek** je manipulativni, odnosno na njemu se vrši utovar i istovar vagonskih pošiljaka.
- **Drugi, treći, četvrti i peti kolosijek** čine glavne kolosijeke, a služe za prijem i otpremu vlakova.
- **Šesti kolosijek** je krnji, a čini produžetak prvog kolosijeka u smjeru kolodvora Lekenik. Na ovome kolosijeku postavljaju se vagoni za istovar i utovar drva i starog željeza i vagoni tovareni teškim predmetima.
- **Sedmi kolosijek** se nalazi u produžetku prvog kolosijeka u smjeru kolodvora Velika Gorica. Ovaj kolosijek je namijenjen za gariranje praznih vagona i eventualno parkiranje pružnih vozila.

Tablica 4. Popis kolosijeka i njihove korisne duljine – kolodvor Turopolje

KOLOSIJEK	KORISNA DULJINA U METRIMA
1	495
2	540
3	605
4	639
5	629
6	67
7	68

Izvor [3]

Kod prolaska vlaka kroz drugi kolosijek, vožnja vlaka je u skretanje za oba smjera. Treći kolosijek je glavni prolazni kolosijek za prugu Turopolje – Velika Gorica – Lekenik i vožnja je u pravac. Četvrti i peti kolosijek su prijemno otpremni kolosijeci uz napomenu da je peti kolosijek namijenjen za eventualnu potrebu raspuštanja vlakova koji čekaju otpremu ili prometnu situaciju.



Slika 4. Shematski prikaz kolodvora Turopolje u programu OpenTrack

Kolodvor Turopolje je zaštićen dvoznačnim glavnim ulaznim signalima sa predsignalima i izlaznim signalima:

- Ulazni signal A iz smjera kolodvora Lekenik (KM 399+729) a predsignal PsA (KM 398+742).
- Ulazni signal B iz smjera kolodvora Velika Gorica, je postavljen u (KM 401+205) a predsignal PsB (KM 402+202)
- Izlazni signal C2 u smjeru kolodvora Lekenik (KM 400+179)
- Izlazni signal C3 u smjeru kolodvora Lekenik (KM 400+149)
- Izlazni signal C4 u smjeru kolodvora Lekenik (KM 400+172)
- Izlazni signal C5 u smjeru kolodvora Lekenik (KM 400+165)
- Izlazni signal D2 u smjeru kolodvora Velika Gorica (KM 400+711)
- Izlazni signal D3 u smjeru kolodvora Velika Gorica (KM 400+734)
- Izlazni signal D4 u smjeru kolodvora Velika Gorica (KM 400+804)
- Izlazni signal D5 u smjeru kolodvora Velika Gorica (KM 400+803)

Udaljenost predsignala od glavnih signala iznosi duljinu zaustavnog puta odnosno 1000 metara.

Udaljenost glavnih ulaznih signala od prvih ulaznih skretnica iznosi:

- Ulazni signal A od skretnice broj 1.....304m
- Ulazni signal B od skretnice broj 11.....287m

2.1.4. Kolodvor Lekenik i podređena službena mjesta

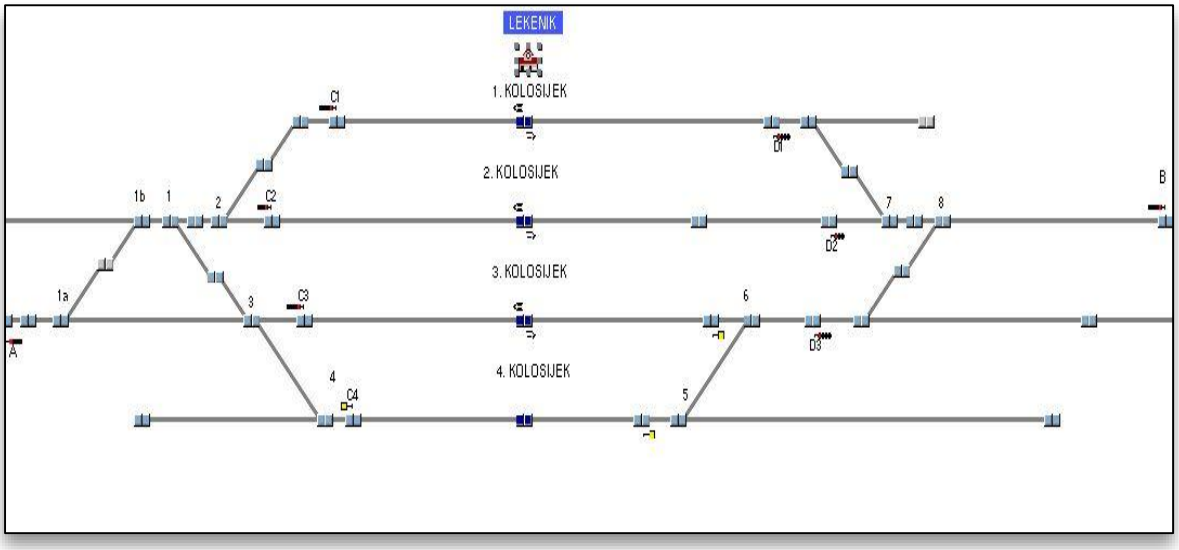
Kolodvor Lekenik je službeno mjesto na pruzi Zagreb Glavni kolodvor – Sisak – Novska čija je osnovna djelatnost prijem i otprema putnika i vagonskih pošiljaka. Sredina kolodvorske prihvatne zgrade nalazi se na nadmorskoj visini od 100 metara u KM 390+672,60.

Prema zadaći u reguliranju prometa kolodvor Lekenik je **međukolodvor** na pruzi M502 Zagreb Glavni kolodvor – Sisak – Novska

Kao podređeno službeno mjesto kolodvoru Lekenik nalazi se stajalište **Pešćenica** u KM 400+033. Stajalište je nezaposjednuto i u prometnom smislu smatra se otvorenom prugom. Ima izgrađen peron u dužini 160 m, širine 3 m, visine 0,55 m sa prilazom od 2,5 m.

Kolodvor Lekenik ima četiri kolosijeka i dva krnja kolosijeka koji su u produžetku četvrtog kolosijeka na jednoj i drugoj strani kolodvora. Korisne duljine kolosijeka navedene su u tablici 5.

- **prvi kolosijek** – prijemno otpremni
- **drugi kolosijek** – glavni prolazni
- **treći kolosijek** – prijemno otpremni
- **četvrti kolosijek** – manipulativni
- **peti krnji kolosijek** (prema kolodvoru Greda) manipulativni – utovar, istovar
- **šesti krnji kolosijek** (prema kolodvoru Turopolje) depo
- **industrijski kolosijek ELGRAD** - odvaja se sa četvrtog kolosijeka.



Slika 5. Shematski prikaz kolodvora Lekenik u programu OpenTrack

Tablica 5. Popis kolosijeka i njihove korisne duljine – kolodvor Lekenik

KOLOSIJEK	KORISNA DULJINA U METRIMA
1	645
2	647/649
3	679/680
4	453/463
5	50/57
6	15
Industrijski kolosijek „Elgrad“	90

Izvor [4]

Kolodvor je zaštićen svjetlosnim ulaznim signalima sa predsignalima (ujedno i prostorni signali prema Gredi i Turopolju) koji su navedeni u tablici 6.

Tablica 6. Popis ulaznih i izlaznih signala – kolodvor Lekenik

GLAVNI SIGNAL		PREDSIGNAL	
Naziv i vrsta	**Kilom. položaj**	**Naziv**	**Kilom. položaj**
A (ulazni)	390+972,92	Ps 472	388+949,85
B (ulazni)	391+900,00	Ps 481	392+652,00
C1 (izlazni)	390+458,50		
C2 (izlazni)	390+458,84		
C3 (izlazni)	390+465,50		
D1 (izlazni)	391+095,00		
D2 (izlazni)	391+101,00		
D3 (izlazni)	391+145,00		
M4 L (manevarski)	390+427,00		
M5 D (manevarski)	390+011,00		

Izvor [4]

2.1.5. Kolodvor Greda

Kolodvor Greda je službeno mjesto Prometne sekcije Zagreb, čija je osnovna djelatnost prijem i otprema putnika. Sredina kolodvorske prihvatne zgrade nalazi se na nadmorskoj visini od 100 metara u KM 382+334,85.

Prema zadaći u reguliranju prometa kolodvor Greda je **međukolodvor** na pruzi M502 Zagreb Glavni kolodvor – Sisak – Novska.

Kolodvor Greda ima tri kolosijeka koji su navedeni u tablici broj 7.

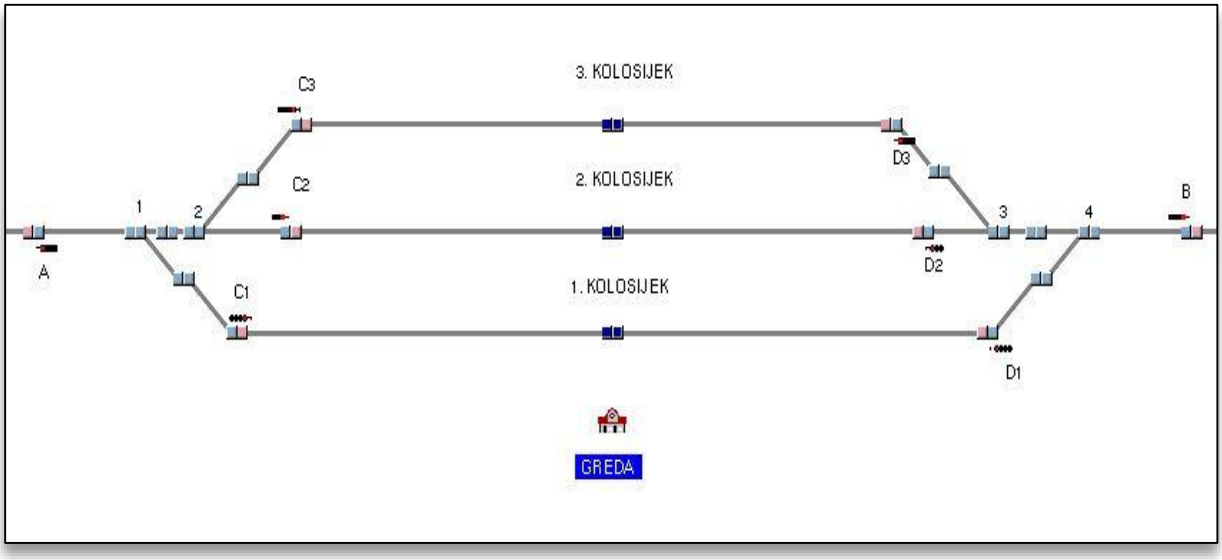
- **prvi kolosijek** – prijemno-otpremni
- **drugi kolosijek** – prijemno-otpremni - glavni prolazni
- **treći kolosijek** – prijemno-otpremni

Tablica 7. Popis kolosijeka i njihove korisne duljine – kolodvor Greda

KOLOSIJEK	KORISNA DULJINA U METRIMA
1	618/625
2	563/546
3	547/554

Izvor [5]

Granicu kolodvorskog područja u odnosu na prugu čine svjetlosni ulazni signali i to ulazni signal A (KM 381+582) do ulaznog signala B (KM 383+058,30) što se može vidjeti na slici 6.



Slika 6. Shematski prikaz kolodvora Greda u programu OpenTrack

Kolodvor je zaštićen svjetlosnim ulaznim signalima sa predsignalima (ujedno i prostorni signali prema Sisku i Lekeniku), mjesto i oznaka signala u kolodvoru navedeni su u tablici br. 8.

Tablica 8. Popis ulaznih i izlaznih signala – kolodvor Greda

GLAVNI SIGNAL		**PREDSIGNAL**	
Naziv i vrsta	**Kilom. položaj**	**Naziv**	**Kilom. položaj**
A (ulazni)	381+582,00	Ps 422	380+610,00
B (ulazni)	383+058,00	Ps 431	384+135,00
C1 (izlazni)	382+040,00		
C2 (izlazni)	382+046,00		
C3 (izlazni)	382+035,00		
D1 (izlazni)	382+639,00		
D2 (izlazni)	382+602,00		
D3 (izlazni)	382+597,50		

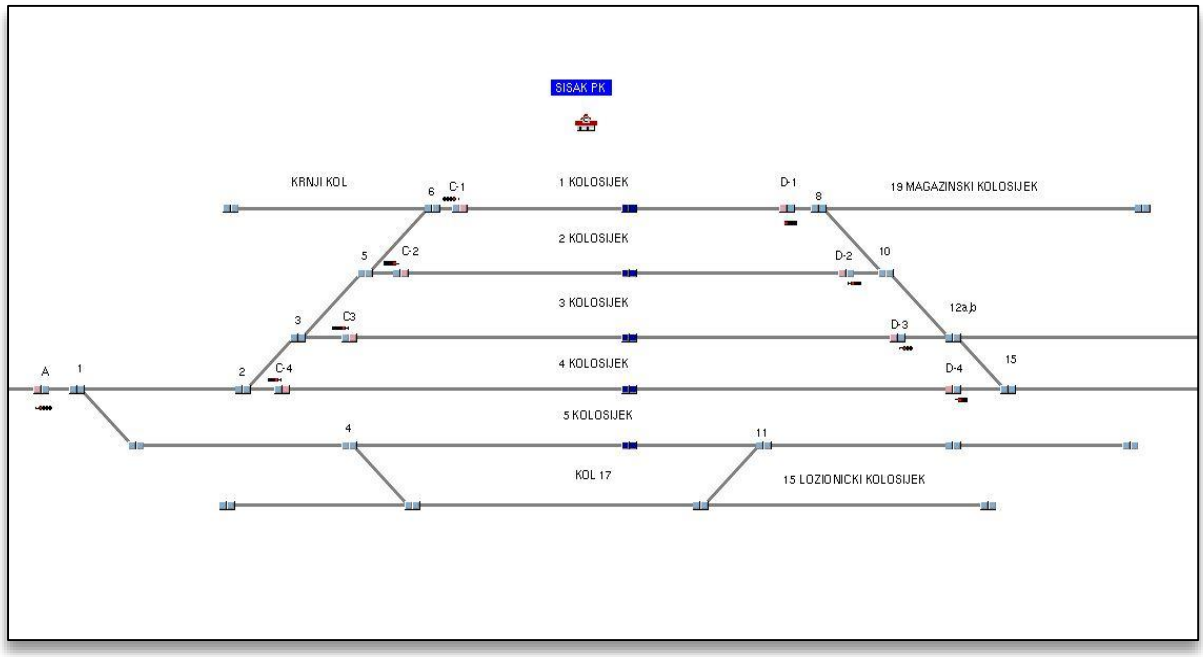
Izvor [5]

2.1.6. Kolodvor Sisak i podređena službena mjesta

Kolodvor Sisak je službeno mjesto na pruzi Zagreb Glavni kolodvor – Sisak – Novska, čija je osnovna djelatnost prijem i otprema putnika i vagonskih pošiljaka. Sredina kolodvorske prihvatne zgrade nalazi se na nadmorskoj visini od 100 metara u KM 374+489,37 glavne magistralne pruge M502 Zagreb Glavni kolodvor – Sisak –Novska.

Prema zadaći u reguliranju prometa kolodvor Sisak je **međukolodvor** na pruzi M502 Zagreb Glavni kolodvor – Sisak – Novska. Stajalište **Stupno** u KM 377+975 je službeno mjesto na pruzi u kojem se vlakovi za prijevoz putnika zaustavljaju sukladno voznom redu radi ulaska i izlaska putnika. Granicu kolodvorskog područja u odnosu na prugu čine svjetlosni ulazni signali i to od strane Sisak Capraga u KM 373+706,30 i završava prema Gredi u KM 376+201,50.

Područje kolodvora Sisak podijeljeno je na dvije grupe kolosijeka te tako postoji **putnički i teretni kolodvor** koji su prikazani na slikama: 7 i 8

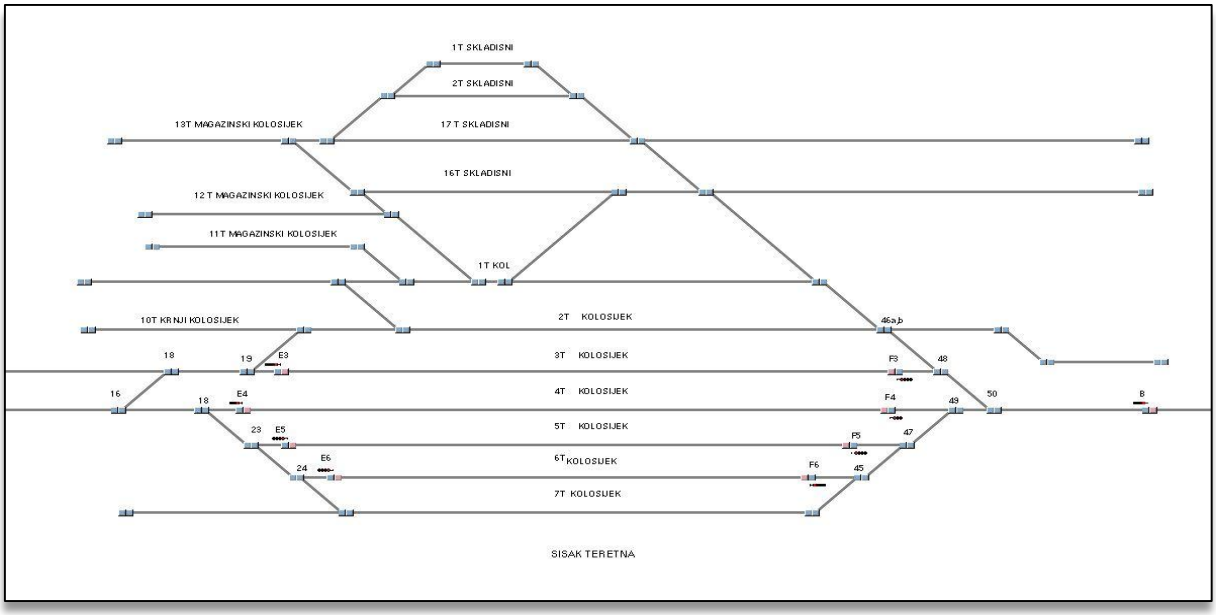


Slika 7. Shematski prikaz putničkog dijela kolodvora Sisak u programu OpenTrack

Putnički kolodvor ima 4 glavna kolosijeka koji služe za prijem i otpremu vlakova s prijevozom putnika od kojih je četvrti kolosijek glavni prolazni kolosijek. U produžetku prvog kolosijeka putničkog kolodvora iza skretnice broj 6 nalazi se šesti krnji kolosijek, za koji se koristi naziv "R-štok". Iza skretnice broj 8 na drugoj strani u produžetku prvog kolosijeka nalazi se kolosijek 19 koji služi za garažiranje elektromotornih garnitura i električnih lokomotiva u dijelu koji je pod naponom. Kolosijek 20 odvaja se kod skretnice broj 1a i služi kao zaštitni kolosijek sa grupe industrijskih kolosijeka "Galdovo". Kolosijeci 1L, 2L, 3L, 4L, 5L, 7L, 9L, 10L, 11L, 12L, 13L, 14L, 15L, 16L i 18L nalaze se na području lokomotivskog depoa i služe za potrebe istog.

Teretni kolodvor koji je prikazan na slici 8, ima sedam glavnih kolosijeka od kojih je četvrti glavni prolazni kolosijek.

- **na prvom kolosijeku** nalazi se vagonska vaga (KM 375+258,65) koja služi za vaganje vagonskih pošiljaka a sam kolosijek pored toga služi i za smještaj i carinjenje carinskih pošiljaka.
- **drugi kolosijek** služi za nakupljanje vagona za vlakove koji u kolodvoru vrše izmjenu bruta kao i za smještaj viška carinskih pošiljaka ako na prvom kolosijeku nema dovoljno mjesta.
- **treći, četvrti, peti i šesti kolosijek** služe za izvršenje voznog reda te za rastavljanje i sastavljanje teretnih vlakova.
- **sedmi kolosijek** služi za utovar i istovar vagonskih pošiljaka, dijelom zatvoren zbog urušavanja rampe.
- **10t kolosijek** služi za ostavljanje-parkiranje manevarske lokomotive.
- **11t kolosijek** služi za postavu vagonskih pošiljaka na čeonu rampu i manipulaciju na čeonoj rampi.
- **13t kolosijek** služi za postavu i manipulaciju vagonskih pošiljaka prema carinskom skladištu.
- **14t i 20t kolosijek** služi za postavu vagona na industrijske kolosijeke poduzeća "Pristanište i skladišta".
- **kolosijeci 16t, 17t, 19t, 20t, 21t, 22t, 1ob i 2ob** nalaze se na području "Pristaništa i skladišta" i služe za njihove potrebe.
- **Kolosijeci 16 i 17** su u vlasništvu HŢ Infrastrukture.
- **24t kolosijek** služi kao izvlačni kolosijek za potrebe ranžiranja i sastavljanja vlakova (KD=369m).



Slika 8. Shematski prikaz teretnog dijela kolodvora Sisak u programu OpenTrack

Tablica 9. Popis kolosijeka i njihove korisne duljine – kolodvor Sisak

KOLOSIJEK	KORISNA DULJINA U METRIMA
Putnički dio kolodvora:	
1	101
2	183
3	242/207
4	276/241
5	-
6	88
19p	301,80
20	17
Industrijski kolosijeci u putničkom dijelu kolodvora:	
Galdovo	-
Galdovo	-
Teretni dio kolodvora:	
1	438/403
2	478
3	706/671
4	780/745
5	674/639
6	572/537
7	560/525
10	111
11	64
13	162/127
14	61
16	-
19	101
20	-
Industrijski kolosijeci u teretnom dijelu kolodvora	
16t, 17t, 19t, 21t i 22t	-
Ind. Kol.	-

Izvor [6]

Industrijski kolosijeci u kolodvoru Sisak su:

- industrijski kolosijek “Galdovo” kod skretnice broj 1 u KM 374+253,96, u kojem se nalaze industrijski kolosijeci Metalotehna i Herbos
- industrijski kolosijek “Segestica” kod skretnice broj 30 u KM 374+975,50.
- industrijski kolosijek “Pristanište i skladišta” kod skretnice broj 21 u KM 374+912,03, kod skretnice broj 26 u KM 374+943,00 te kod skretnice broj 44 u KM 375+605,56.

Kolodvor je zaštićen svjetlosnim ulaznim signalima sa predsignalima (ujedno i prostorni signali prema Gredi i Sisak Capragu), mjesto i oznaka signala u kolodvoru navedeni su u tablici broj 10.

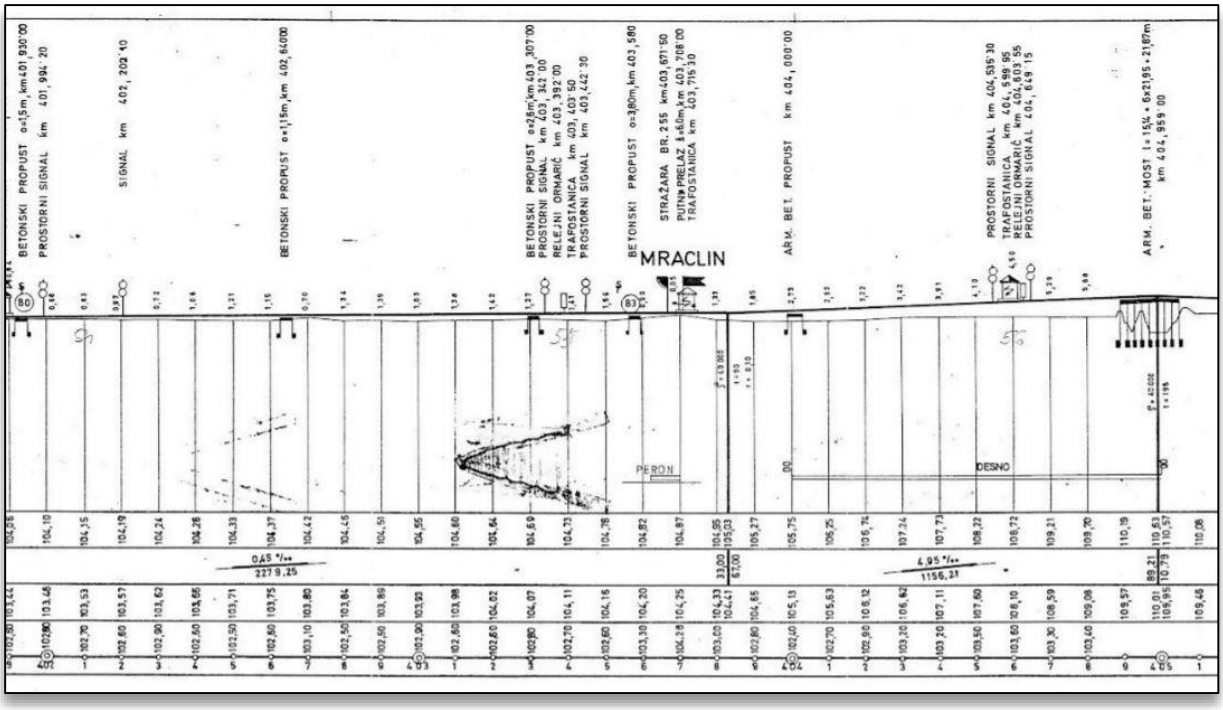
Tablica 10. Popis ulaznih i izlaznih signala – kolodvor Sisak

GLAVNI SIGNAL		**PREDSIGNAL**	
Naziv i vrsta	**Kilom. položaj**	**Naziv**	**Kilom. položaj**
A (ulazni)	373+706,30	Ps 422	380+610,00
B (ulazni)	376+201,50	Ps 431	384+135,00
Izlazni signali iz putničkog kolodvora prema Sisak Caprag:			
C1/2 (izlazni)	374+356,10		
C3 (izlazni)	374+376,75		
C4 (izlazni)	374+373,50		
Izlazni signali iz putničkog u teretni kolodvor:			
D1/2 (izlazni)	374+615,85		
D3 (izlazni)	374+614,75		
D4 (izlazni)	374+644,85		
Izlazni signali iz teretnog u putnički kolodvor:			
E3 (izlazni)	374+922,10		
E4 (izlazni)	374+859,90		
E5 (izlazni)	374+913,60		
E6 (izlazni)	374+960,10		
Izlazni signali iz teretnog kolodvora prema kolodvoru Greda:			
F3 (izlazni)	375+625,22		
F4 (izlazni)	375+636,65		
F5 (izlazni)	375+584,75		
F6 (izlazni)	375+529,40		

Izvor [6]

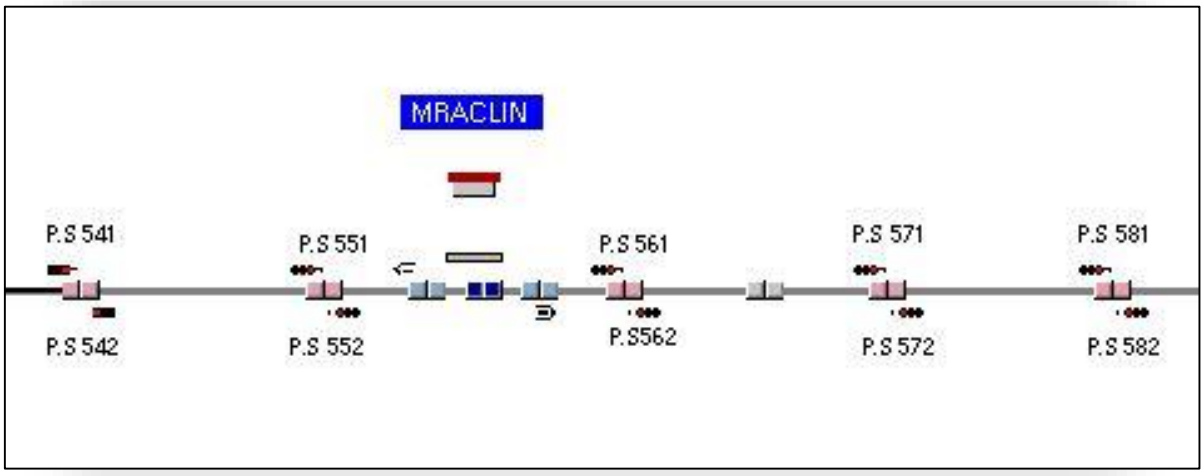
2.2. Postupak izrade računalnog modela otvorene pruge

Tijekom izrade računalnog modela otvorene pruge koriste se podaci o uzdužnom profilu pruge koji se nalazi na slici 9, iz kojeg se mogu izvući podaci kao što su stacionaže signala, zavoji, nagibi i ostali infrastrukturni podaci i objekti koji se nalaze uzduž pruge.



Slika 9. Dio uzdužnog profila pruge Zagreb Glavni kolodvor – Sisak – Novska

Izvor [11]



Slika 10. Dio modela otvorene pruge Zagreb Glavni kolodvor – Sisak – Novska u programu OpenTrack

Svaka promjena na pruzi kreće od čvora označenog znakom dvostrukog kvadrata, koji može označavati promjenu nagiba pruge, početak zavoja, položaj signala ili skretnice, položaj pružnog prijelaza i ostalih elemenata infrastrukture navedenih u uzdužnom profilu pruge. Na slici 10 prikazane su oznake čvora kod kojeg plavi čvor označava stajalište Mraclin, a crveni označavaju položaj signala i predsignala na pruzi.

2.3. Definiranje putova vožnje, grupe putova vožnji i itinerara

Program OpenTrack koristi tri tipa podataka kojima se određuje put vožnje vlaka.

Prvo se određuje vlakovni put vožnje (eng. ***route).*** On se sastoji od dva ili više čvora, te uvijek započinje i završava sa glavnim signalima. Ukoliko tijekom simulacije vlak zauzme određeni vozni put, on će biti rezerviran za samo taj vlak. Kada zadnji dio vlaka izađe iz rezerviranog voznog puta, on ponovno postaje slobodan te je moguć ulazak sljedećeg vlaka.

Drugi stupanj određivanja trase vlaka je skup puteva vožnje (*eng.* ***path***). On se sastoji od jednog ili više puteva vožnje (*eng. route*). Neograničen broj puteva vožnje se može međusobno povezati u jedan skup puteva vožnje.

Treći stupanj određivanja trase vlaka je itinerar (*eng.* ***itinerary).*** On se sastoji od jednog ili više skupova puteva vožnji te se njime opisuje cijeli put vožnje vlaka. Kod simulacije vlaku se dodaju itinerari po kojima se on može kretati.

2.4. Definiranje trasa i karakteristika vlakova

Nakon određivanja itinerara, pristupa se izradi voznog reda za pojedine vlakove.

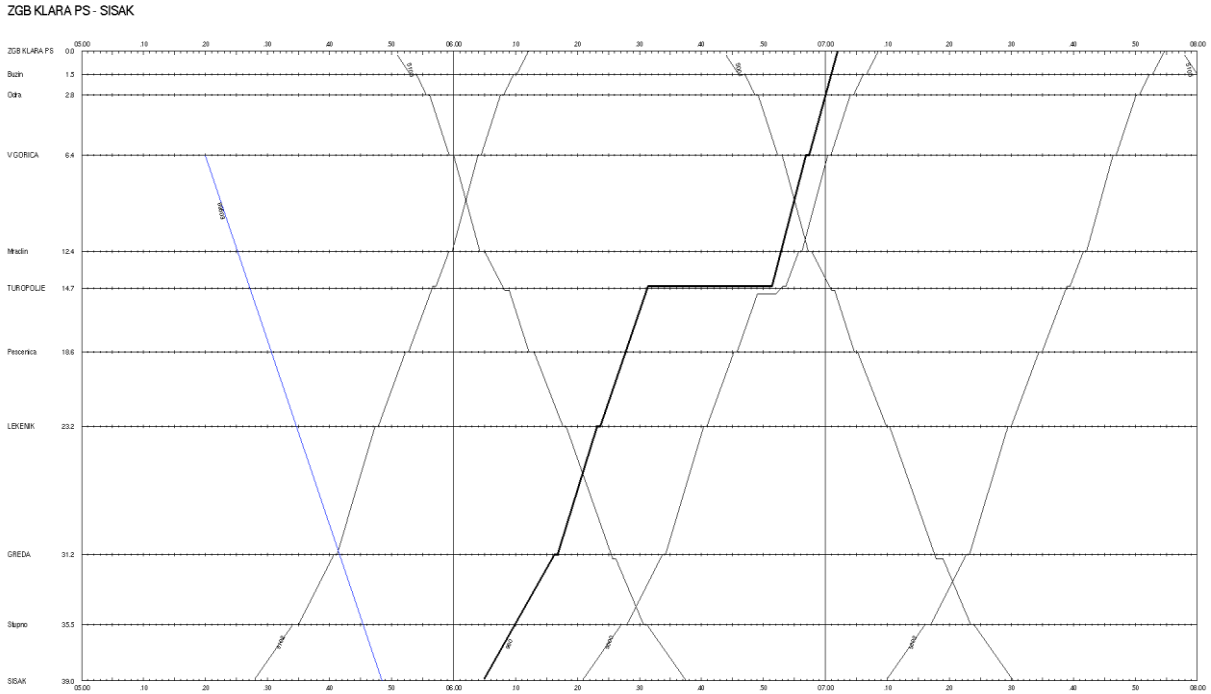
Vozni red se u programu OpenTrack određuje u izborniku *Timetable.* U njemu se upisuju podaci o vremenu dolaska u kolodvor i odlaska iz kolodvora za svaku trasu vlaka posebno, te se može odrediti vrijeme stajanja vlaka u kolodvoru, odnosno stajalištu. Također se određeni vlakovi mogu povezati sa drugim vlakovima, tako da jedan vlak nije u mogućnosti krenuti iz kolodvora, sve dok drugi vlak ne stigne u kolodvor.

3. SIMULACIJSKA ANALIZA STABILNOSTI VOZNOG REDA NA RELACIJI ZAGREB KLARA – SISAK

Stabilnost voznog reda se očituje prema utjecaju kašnjenja pojedinog vlaka na ostale vlakove ili kontrolom planiranog voznog reda tijekom pojave neke smetnje koja onemogućava normalan tijek vožnje vlaka na pojedinoj pružnoj dionici.

3.1. Prvi scenarij za analizu stabilnosti voznog reda

Prvi scenarij je kvar na vučnom vozilu vlaka broj 960 iz smjera Siska, zbog kojeg je vlak morao stajati u kolodvoru Turopolje 20 min. Iz grafikona se može uočiti da je zbog stajanja vlaka 960, došlo do posljedičnog kašnjenja vlaka 5000 koji je također dolazio iz smjera Siska.



Slika 11. Grafikon voznog reda na relaciji Zagreb Klara – Sisak uslijed kvara na vučnom vozilu vlaka broj 960

Zbog nastalog kvara na vlaku 960 došlo je do kašnjenja u dolasku u kolodvor Zagreb Klara ukupno 19 min, kako je prikazano na slici 12.

Course ID	Station	Arrival		Departure		Dwell	Stop	M
960	SISAK	HH:MM:SS	HH:MM:SS	06:05:00	06:05:00	0	•	0
960	Stupno	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	06:10:50	0		0
960	GREDA	HH:MM:SS	06:16:16	06:16:00	06:16:46	30	✓	0
960	LEKENIK	06:22:00	06:23:10	06:23:00	06:23:40	30	✓	0
960	Pescenic	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	06:27:53	0		0
960	TUROPC	06:29:00	06:31:23	06:30:00	06:51:23	1200	✓	0
960	Mraclin	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	06:53:13	0		0
960	V GORIC	06:36:00	06:56:53	06:37:00	06:57:23	30	✓	0
960	Odra	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	07:00:15	0		0
960	Buzin	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	07:00:54	0		0
960	ZGB KLA	HH:MM:SS	HH:MM:SS	06:43:00	07:02:00	0		0

Slika 12. Vozni red vlaka 960 nakon poremećaja

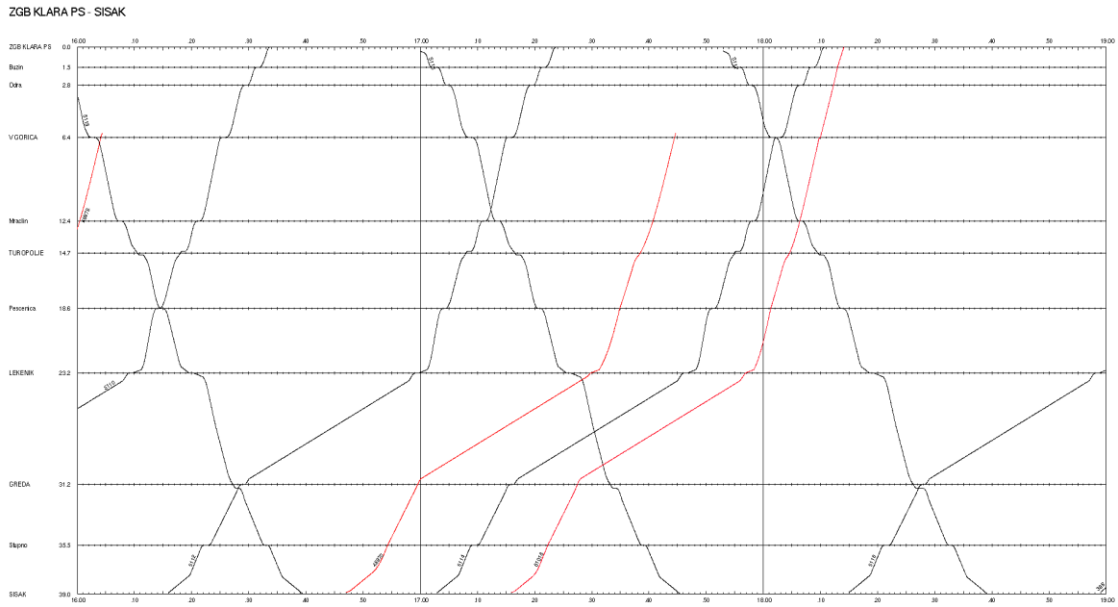
Zbog kašnjenja vlaka 960, došlo je i do posljedičnog kašnjenja vlaka 5000 koji je došao u kolodvor Zagreb – Klara 4:35 min kasnije od predviđenog voznog reda, kao što se može vidjeti na slici 13

Course ID	Station	Arrival		Departure		Dwell	Stop	M
5000	SISAK	HH:MM:SS	HH:MM:SS	06:21:00	06:21:00	0	•	0
5000	Stupno	HH:MM:SS	06:27:06	06:28:00	06:28:00	30	✓	0
5000	GREDA	HH:MM:SS	06:33:41	06:35:00	06:34:11	30	✓	0
5000	LEKENIK	HH:MM:SS	06:40:21	06:41:00	06:40:51	30	✓	0
5000	Pescenic	HH:MM:SS	06:45:14	06:46:00	06:45:44	30	✓	0
5000	TUROPC	HH:MM:SS	06:53:07	06:48:00	06:53:37	30	✓	0
5000	Mraclin	HH:MM:SS	06:55:43	06:51:00	06:56:13	30	✓	0
5000	V GORIC	HH:MM:SS	07:00:24	06:56:00	07:00:54	30	✓	0
5000	Odra	HH:MM:SS	07:04:00	06:59:00	07:04:30	30	✓	0
5000	Buzin	HH:MM:SS	07:06:08	07:01:00	07:06:38	30	✓	0
5000	ZGB KLA	07:04:00	07:08:35	HH:MM:SS	HH:MM:SS	30	✓	0

Slika 13. Vozni red vlaka 5000 nakon poremećaja vlaka 960

3.2. Drugi scenarij za analizu stabilnosti voznog reda

U drugom scenariju će se simulirati lagana vožnja svih vlakova na relaciji između kolodvora Greda i kolodvora Lekenik, u smjeru Lekenika, zbog oštećenja kolosijeka, pri čemu je brzina vožnje vlaka smanjena na 15 km/h. Na slici 14 se može vidjeti smanjenje brzine na toj relaciji.



Slika 14. Grafikon voznog reda na relaciji Zagreb Klara – Sisak nakon lagane vožnje na dionici između kolodvora Greda i kolodvora Lekenika

Nakon simuliranja drugog scenarija dobiveni su sljedeći rezultati:

- Vlak 5112 kasni u kolodvor Lekenik 24,5 minuta te u kolodvor Zagreb Klara kasni ukupno 24 min i 48 sekundi kao što se može vidjeti na slici 16
- Vlak 5114 kasni u kolodvor Lekenik 25 min te u kolodvor Zagreb Klara kasni ukupno 20 min i 48 sekundi kao što se može vidjeti na slici 15

Course ID	Station	Arrival		Departure		Dwell	Stop	M
5114	SISAK	HH:MM:SS	HH:MM:SS	17:03:00	17:03:00	0	•	0
5114	Stupno	HH:MM:SS	17:09:06	17:10:00	17:10:00	30	✓	0
5114	GREDA	HH:MM:SS	17:15:41	17:16:30	17:16:11	30	✓	0
5114	LEKENIK	17:21:00	17:46:00	17:23:00	17:46:30	30	✓	0
5114	Pescenic	17:29:00	17:50:53	17:29:00	17:51:23	30	✓	0
5114	TUROPC	17:34:00	17:55:20	17:34:00	17:55:50	30	✓	0
5114	Mraclin	17:37:00	17:57:56	17:37:00	17:58:26	30	✓	0
5114	V GORIC	17:41:00	18:02:37	17:42:00	18:03:07	30	✓	0
5114	Odra	17:45:00	18:06:13	17:45:00	18:06:43	30	✓	0
5114	Buzin	17:47:00	18:08:21	17:47:00	18:08:51	30	✓	0
5114	ZGB KLA	17:50:00	18:10:48	HH:MM:SS	HH:MM:SS	30	✓	0

Slika 15. Vozni red vlaka 5114 nakon lagane vožnje na dionici između kolodvora Greda i kolodvora Lekenik

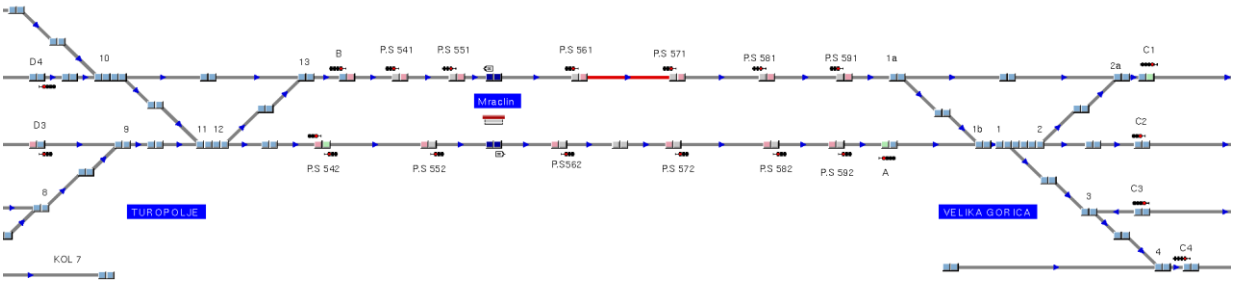
Na slici 16. možemo vidjeti kako je vlak 5112 od kolodvora Greda kasnio na sve kolodvore te je u kolodvor Zagreb – Klara kasnio 24 min i 48 sekundi u odnosu na planirani vozni red

Course ID	Station	Arrival		Departure		Dwell	Stop	M
5112	SISAK	HH:MM:SS	HH:MM:SS	16:16:00	16:16:00	0	•	0
5112	Stupno	HH:MM:SS	16:22:06	16:23:00	16:23:00	30	✓	0
5112	GREDA	16:29:00	16:28:41	16:29:00	16:29:11	30	✓	0
5112	LEKENIK	16:59:00	16:59:00	16:35:00	16:59:30	30	✓	0
5112	Pescenic	16:38:00	17:03:53	16:38:00	17:04:23	30	✓	0
5112	TUROPC	16:43:00	17:08:20	16:43:00	17:08:50	30	✓	0
5112	Mraclin	16:46:00	17:10:56	16:46:00	17:11:26	30	✓	0
5112	V GORIC	16:50:00	17:15:37	16:51:00	17:16:07	30	✓	0
5112	Odra	16:54:00	17:19:13	16:54:00	17:19:43	30	✓	0
5112	Buzin	16:56:00	17:21:21	16:56:00	17:21:51	30	✓	0
5112	ZGB KLA	16:59:00	17:23:48	HH:MM:SS	HH:MM:SS	30	✓	0

Slika 16. Vozni red vlaka 5112 nakon lagane vožnje na dionici između kolodvora Greda i kolodvora Lekenik

3.3. Treći scenarij za analizu stabilnosti voznog reda

U trećem scenariju će se simulirati radovi na pruzi od kilometarskog područja KM 404+642 do kilometarskog područja KM 405+886 između kolodvora Velika Gorica i kolodvora Turopolje u vremenu od 00:00 do 04:00 kada će biti zatvoren desni kolosijek kao što se vidi na slici 17. Radovi se odvijaju u vrijeme kada ima najmanje prometa na toj dionici pruge te se promet u tom vremenskom razdoblju odvija u međukolodvorskom razmaku.



Slika 17. Međukolodvorski razmak sa prekidom na desnom kolosijeku između kolodvora Velika Gorica i kolodvora Turopolje

Nakon simulacije trećeg scenarija dobiveni su slijedeći rezultati:

- Kod međukolodvorskog razmaka u ovom slučaju jedan je prostorni odsjek te se u tom prostornom odsjeku može nalaziti samo jedan vlak u trenutku kretanja vlaka između kolodvora Turopolje i kolodvora Velika Gorica
- Svi vlakovi koji dolaze iz smjera Velike Gorice voze po nepravilnom kolosijeku
- Zbog manje gustoće prometa u ranojutarnjim satima nije došlo do ometanja redovitog prometovanja vlakova u niti jednom trenutku odvijanja radova na pruzi

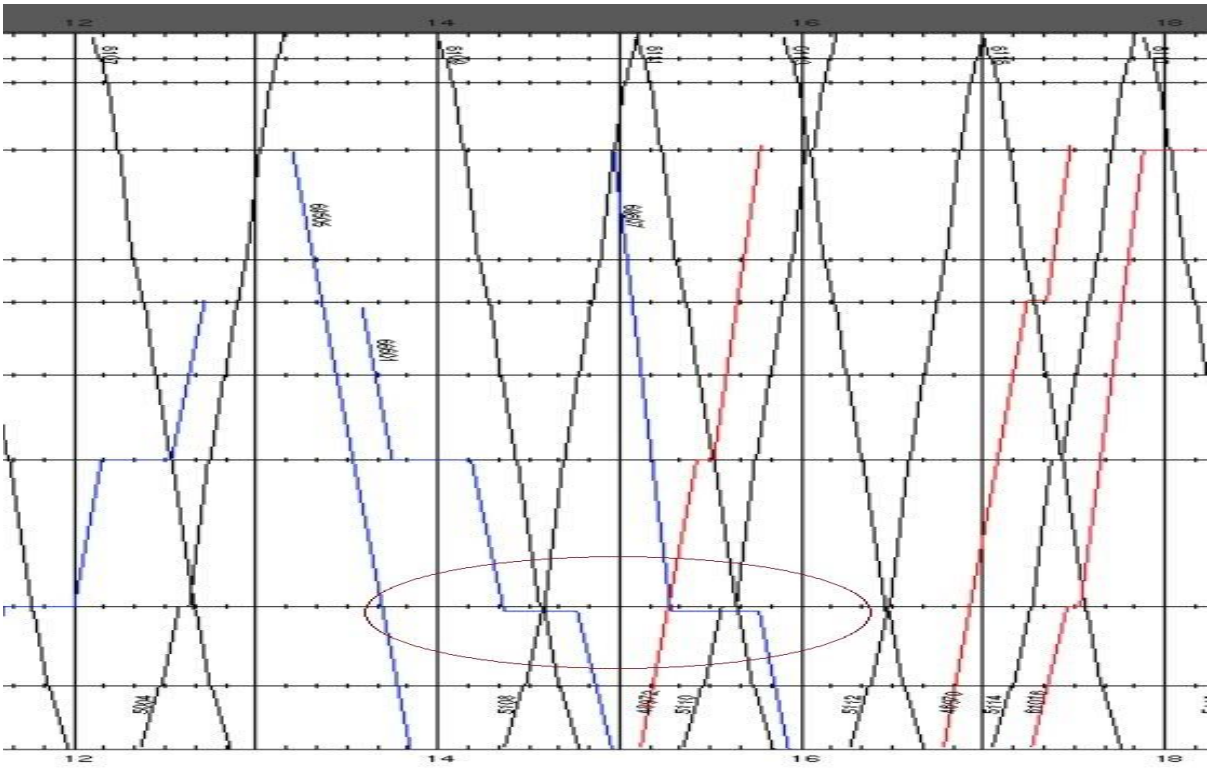
4. MJERE ZA UNAPRJEĐENJE ŽELJEZNIČKOG PROMETA NA RELACIJI ZAGREB KLARA – SISAK

Na relaciji Zagreb Klara – Sisak odvija se prigradski, regionalni i međunarodni promet vlakova. Trenutno je to jednokolosiječna pruga namijenjena za mješoviti, putnički i teretni promet. Vršno prometno opterećenje je ujutro od 06.00 do 08.00 i poslijepodne od 16.00 do 18.00, zbog većeg broja putnika u to vrijeme. U računalnom programu će se napraviti drugi kolosijek na relaciji Zagreb Klara – Sisak, te će se izvoditi simulacije većinom u tim vršnim opterećenjima gdje je potrebno korigirati vozni red te uvesti nove vlakove u to vrijeme vršnog opterećenja. U prilogu 1 možemo vidjeti stvarni grafikon voznog reda nakon simulacije jednokolosiječne pruge, a u prilogu 2 se može vidjeti grafikon s korigiranim voznim redom nakon dodavanja drugog kolosijeka na relaciji Zagreb Klara – Sisak.

Unaprjeđenje željezničkog prometa na relaciji Zagreb Klara – Sisak može se omogućiti gradnjom novog kolosijeka na relaciji pruge Zagreb – Klara, uvođenjem dodatnih vlakova u vremenima vršnih opterećenja na dvokolosiječnoj pruzi, skraćivanjem voznih vremena vlakova na pojedinim dionicama te rekonstrukcijom postojeće infrastrukture kojom bi se postigla veća brzina prometovanja vlakova.

4.1. Izgradnja drugog kolosijeka na relaciji Zagreb Klara – Sisak

Prema grafikonu voznog reda jednokolosiječne pruge u prilogu 1, teretni vlakovi koji dolaze u kolodvor moraju čekati u kolodvoru putnički vlak koji dolazi iz suprotnog smjera, te tek nakon što putnički vlak prođe, teretni vlak može krenuti, kao što se vidi na slici 18.



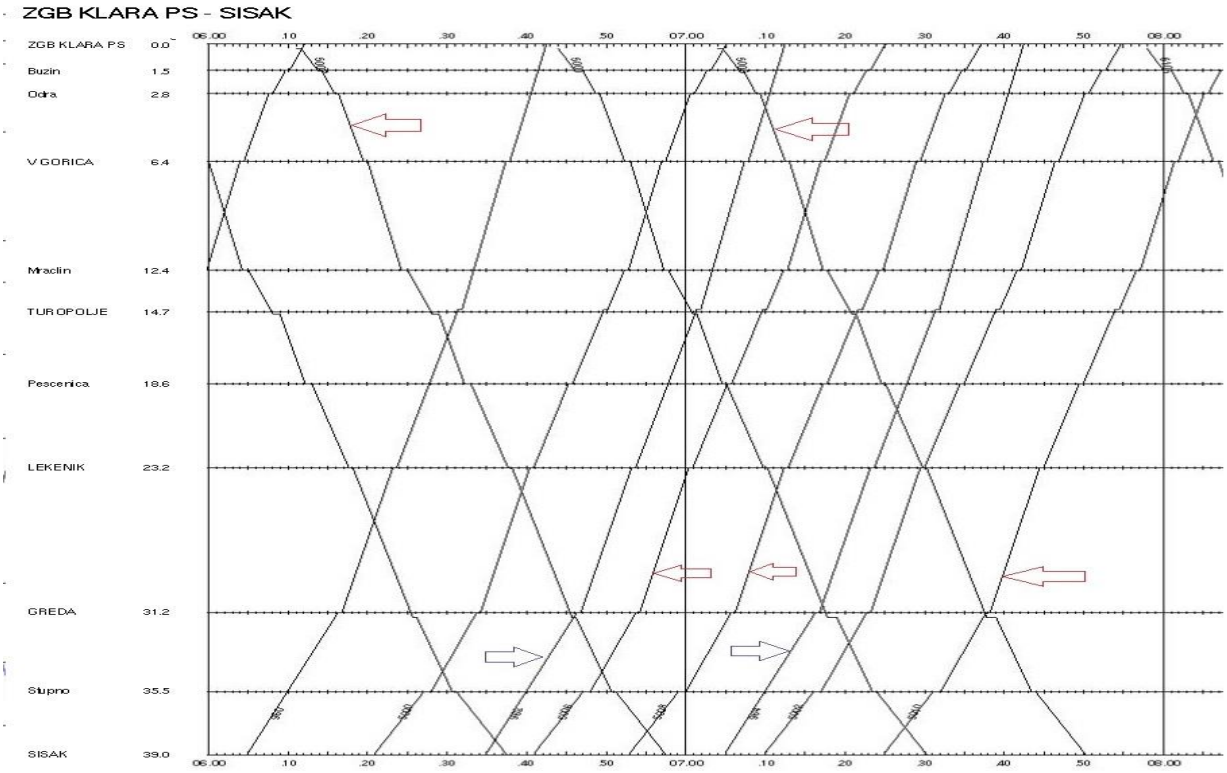
Slika 18. Grafikon voznog reda tijekom vršnog opterećenja

Uvođenjem drugog kolosijeka taj scenarij nije potreban te oba vlaka mogu prolaziti kroz kolodvor bez međusobnog ometanja puta vožnje. Na taj način smanjuje se vrijeme vožnje teretnog vlaka za 25 minuta.

4.2. Dodavanje novih trasa vlakova u postojeći vozni red

Za vrijeme vršnih opterećenja moguće je dodavanje novih vlakova u smjeru prema kolodvoru Zagreb Klara, te u smjeru prema kolodvoru Sisak koji će povećati frekvenciju vlakova što bi moglo smanjiti gužve u vlakovima i povećati broj putnika zbog češćih vlakova koji prometuju tom dionicom tijekom vršnih opterećenja.

Na slici 19 se vidi grafikon vlakova u vršnom opterećenju između kolodvora Zagreb Klara i Sisak, u kojima su uvršteni dodatni vlakovi.



Slika 19. Grafikon voznog reda vlakova u vršnom opterećenju sa uvrštenim vlakovima

Kao što se vidi na slici 19 u smjeru iz kolodvora Zagreb Klara prema Sisku dodana su dva putnička vlaka, a u smjeru iz kolodvora Sisak prema kolodvoru Zagreb Klara dodana su tri putnička i dva brza vlaka.

4.3. Postotak iskorištenja propusne sposobnosti pruge metodom UIC 406

Zadatak ove metode je utvrditi postotak iskorištenja propusne sposobnosti pruge, kako bi se provjerilo da li je moguće dodavanje dodatnih vlakova u vozni red, a da se ne prekorači vrijednost iskorištenja kapaciteta pruge koja jamči zadovoljavajuću razinu stabilnosti voznog reda.

Osnovni i neizostavni uvjet za primjenu ove metode je postojanje unaprijed konstruiranog voznog reda vlakova za promatranu dionicu pruge. Analiza iskorištenja kapaciteta na pruzi temelji se na komprimiranju trasa vlakova, po redoslijedu kako je navedeno u voznom redu i to svih vlakova koji prometuju u vremenskom intervalu za koji se iskorištenje kapaciteta računa. Ako je dobivena vrijednost iskorištenja kapaciteta pruge veća od preporučene vrijednosti, infrastruktura se smatra preopterećenom, te u tom slučaju treba smanjiti broj trasa vlakova.

Postotak iskorištenja kapaciteta pruge metodom UIC 406 se računa prema formuli:

$$I = \frac{(T + 1) * 1{,}67 * 100}{\mathrm{U}} \ \%$$

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- I – postotak iskorištenja kapaciteta pruge [%]
- T – vrijeme zauzetosti pruge na promatranoj relaciji nakon komprimiranja voznog reda [h]
- U – vrijeme za koje se iskorištenje kapaciteta računa [h]

Koeficijent vrijednosti 1,67 se dodaje kao dodatak stvarnom vremenu zauzeća infrastrukture uvećanom za dodatno vrijeme zauzeća pruge u svrhu održavanja kolosijeka i drugih elemenata infrastrukture.

Preporučen postotak iskorištenja kapaciteta pruge u vršnim satima iznosi 75 %, te 60 % za cijeli dan.

4.3.1. Izračun postotka iskorištenja propusne sposobnosti dvokolosiječne pruge na relaciji Sisak – Zagreb Klara metodom UIC 406

Vozni red na relaciji Sisak – Zagreb Klara nakon komprimiranja moguće je vidjeti u prilogu 5. Nakon komprimiranja voznog reda na relaciji Sisak – Zagreb Klara, program je dao sljedeće rezultate:

- U odnosu na promatrani period od 24 sata, vrijeme zauzetosti iznosi 3,3 sata
- Prema voznom redu u smjeru od Siska prema kolodvoru Zagreb Klara ima ukupno 27 vlakova

Izračun postotka iskorištenja kapaciteta pruge na relaciji Sisak – Zagreb Klara:

$$I = \frac{(3{,}3 + 1) * 1{,}67 * 100}{24} \ \% = 29{,}92 \ \%$$

Prema preporučenoj vrijednosti za iskorištenje dnevnog kapaciteta pruge koji iznosi 60% može se zaključiti kako je moguće dodavanje novih dodatnih vlakova u vozni red na toj relaciji.

Prema grafikonu iz priloga 6, može se vidjeti kako se na relaciji Sisak – Zagreb Klara u vremenski interval od 24 sata u vozni red može nadodati 129 novih vlakova, te ukupno u vozni red može stati 156 vlakova, te bi tada postotak iskorištenja kapaciteta pruge iznosio 100 %

4.3.2. Izračun postotka iskorištenja kapaciteta dvokolosiječne pruge na relaciji Zagreb Klara – Sisak metodom UIC 406

Vozni red na relaciji Zagreb Klara – Sisak nakon komprimiranja moguće je vidjeti u prilogu 7. Nakon komprimiranja voznog reda na relaciji Zagreb Klara – Sisak, program je dao sljedeće rezultate:

- U odnosu na promatrani period od 24 sata, vrijeme zauzetosti iznosi 3,26 sati
- Prema voznom redu u smjeru od kolodvora Zagreb Klara prema kolodvoru Sisak prometuje ukupno 27 vlakova

Izračun postotka iskorištenja kapaciteta pruge na relaciji Sisak – Zagreb Klara:

$$I = \frac{(3{,}26 + 1) * 1{,}67 * 100}{24}\ \% = 29{,}65\ \%$$

Vidi se da je postotak iskorištenja kapaciteta pruge na relaciji Zagreb Klara – Sisak gotovo isti kao i na relaciji Sisak – Zagreb Klara. Prema tome se može zaključiti da je i na ovoj relaciji moguće dodavanje novih vlakova bez ometanja redovitog odvijanja prometa na toj relaciji.

Prema grafikonu iz priloga 8, može se vidjeti kako se na relaciji Zagreb Klara – Sisak u vremenski interval od 24 sata u vozni red može nadodati 140 novih vlakova, te ukupno u vozni red može stati 167 vlakova, te bi tada postotak iskorištenja kapaciteta pruge iznosio 100 %

5. ZAKLJUČAK

Svrha ovog istraživanja je bila utvrditi mjere za unapređenje željezničkog prometa na dionici Zagreb Klara – Sisak s posebnim osvrtom na kvalitetu usluge prijevoza putnika. Cilj istraživanja je bio izraditi simulacijski model pruge na relaciji Zagreb Klara – Sisak te provesti analizu stabilnosti voznog reda u slučaju predloženih infrastrukturnih izmjena te uvođenja novih trasa regionalnih i gradsko-prigradskih vlakova, a čiji bi rezultati trebali omogućiti lakše određivanje mjera za unaprjeđenje kvalitete usluge prijevoza putnika na zadanoj relaciji pruge.

Na temelju unapređenja postojeće željezničke infrastrukture i postojećeg voznog reda očekuje se veća učinkovitost željezničkog prometa na relaciji Zagreb Klara – Sisak uz povećanje iskorištenja kapaciteta pruge, kao i kvalitete prijevozne usluge u željezničkom putničkom i teretnom prijevozu.

Na temelju dobivenih rezultata provedene simulacijske analize željezničkog prometa na relaciji Zagreb Klara – Sisak može se zaključiti kako se dosadašnja istraživanja željezničkog prometa na promatranom dijelu mreže, a koja se odnose na izgradnju nove željezničke infrastrukture na relaciji od Zagreb Glavnog kolodvora do kolodvora Zagreb Klara, trebaju provesti u djelo kako bi se se ostvarili uvjeti za unapređenje putničkog prometa u pogledu povećanja broja trasa gradsko-prigradskih i regionalnih vlakova na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Turopolje odnosno Zagreb Glavni kolodvor - Sisak.

Procjena iskorištenja propusne sposobnosti na simuliranoj dvokolosiječnoj pruzi pokazuje kako bi izgradnjom drugog kolosijeka na relaciji Zagreb Klara – Sisak došlo do mogućnosti uvođenja velikog broja vlakova u vozni red, te bi bolja, brža i kvalitetnija usluga mogla pozitivno utjecati na povećanje broja putnika tijekom vršnih opterećenja na toj relaciji. Na dvokolosiječnoj pruzi također ne bi bilo postojećih problema u pogledu čekanja teretnih vlakova zbog potrebe križanja u kolodvorima. Tijekom redovitog održavanja pruge između kolodvora Velika Gorica i Turopolje uvedeni su izvanredni autobusi koji su prevozili putnike na odredište. Izgradnjom drugog kolosijeka izbjeglo bi se korištenje autobusa, pa putnici u tom slučaju tijekom održavanja pruge ne bi trebali mijenjati način prijevoza. Na taj način smanjilo bi im se vrijeme putovanja, a povećala sigurnost i udobnost putovanja.

LITERATURA

1. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Zagreb Klara, 1. dio, Zagreb, 2010.
2. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Velika Gorica 1. dio, Velika Gorica, 2010.
3. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Turopolje, 1. dio, HŽ infrastruktura, Velika Gorica, 2010.
4. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Lekenik, 1. dio, Lekenik, 2010.
5. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Greda, 1. dio, Greda, 2010.
6. HŽ infrastruktura d.o.o.: Poslovni red kolodvora Sisak, 1. dio, Sisak, 2010.
7. Švaljek, I., Kožulj, T., Bošnjak, M.: Tehničko-eksploatacijski pokazatelji i značajke vučnih vozila Hrvatskih željeznica. Zagreb, 2003.
8. HŽ infrastruktura d.o.o – http://hznet.hr (01.09.2016.)
9. Željeznice net – http://zeljeznice.net (27.08.2016.)
10. International Union of Railways (UIC): UIC Code 406, 1st edition, Paris, 2004.
11. HŽ infrastruktura d.o.o.: Grafikon voznog reda za prugu Zagreb Glavni kolodvor – Sisak – Novska, 2015/2016.
12. HŽ infrastruktura d.o.o.: Uzdužni profil željezničke pruge Zagreb Glavni kolodvor – Sisak – Novska, 2015/2016.
13. HŽ infrastruktura d.o.o.: Knjižica voznog reda za putnički promet, Vozni red 2015/2016.
14. HŽ infrastruktura d.o.o.: Knjižica voznog reda za teretni promet, Vozni red 2015/2016.
15. Huerlimann, D., Nash, A. B.: OpenTrack Simulation of Railway Networks manual, Version 1.6

POPIS SLIKA

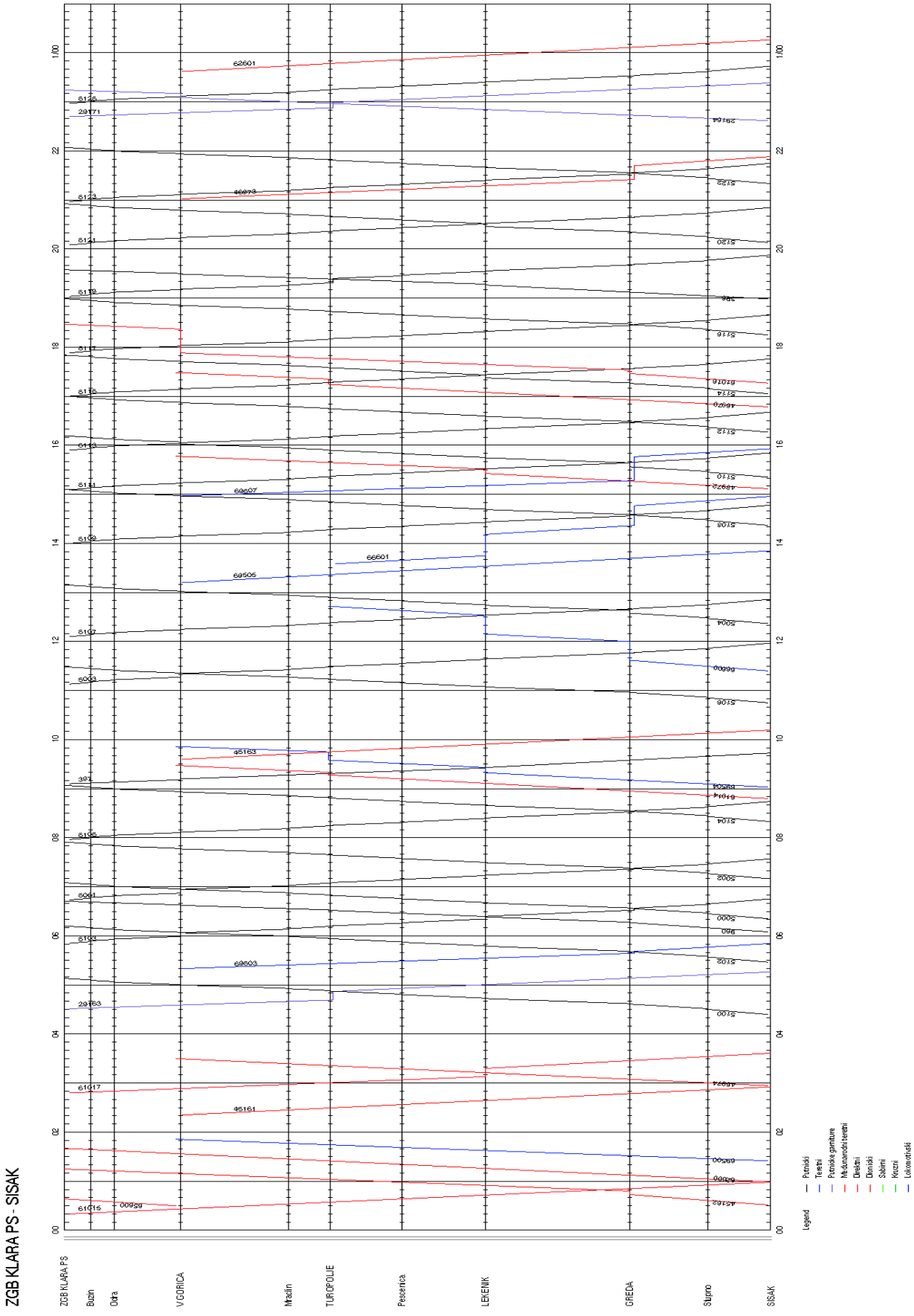
Slika 1. Shematski prikaz putničkog dijela kolodvora Zagreb Klara iz programa OpenTrack . 4
Slika 2. Shematski prikaz teretnog dijela kolodvora Zagreb Klara iz programa OpenTrack 5
Slika 3. Shematski prikaz kolodvora Velika Gorica u programu OpenTrack 7
Slika 4. Shematski prikaz kolodvora Turopolje u programu OpenTrack 10
Slika 5. Shematski prikaz kolodvora Lekenik u programu OpenTrack..... 11
Slika 6. Shematski prikaz kolodvora Greda u programu OpenTrack 13
Slika 7. Shematski prikaz putničkog dijela kolodvora Sisak u programu OpenTrack 15
Slika 8. Shematski prikaz teretnog dijela kolodvora Sisak u programu OpenTrack 16
Slika 9. Dio uzdužnog profila pruge Zagreb Glavni kolodvor – Sisak – Novska 19
Slika 10. Dio modela otvorene pruge Zagreb Glavni kolodvor – Sisak – Novska u programu OpenTrack..... 19
Slika 11. Grafikon voznog reda na relaciji Zagreb Klara – Sisak uslijed kvara na vučnom vozilu vlaka broj 960..... 21
Slika 12. Vozni red vlaka 960 nakon poremećaja 22
Slika 13. Vozni red vlaka 5000 nakon poremećaja vlaka 960..... 22
Slika 14. Grafikon voznog reda na relaciji Zagreb Klara – Sisak nakon lagane vožnje na dionici između kolodvora Greda i kolodvora Lekenika..... 23
Slika 15. Vozni red vlaka 5114 nakon lagane vožnje na dionici između kolodvora Greda i kolodvora Lekenik 24
Slika 16. Vozni red vlaka 5112 nakon lagane vožnje na dionici između kolodvora Greda i kolodvora Lekenik 24
Slika 17. Međukolodvorski razmak sa prekidom na desnom kolosijeku između kolodvora Velika Gorica i kolodvora Turopolje 25
Slika 18. Grafikon voznog reda tijekom vršnog opterećenja..... 27
Slika 19. Grafikon voznog reda vlakova u vršnom opterećenju sa uvrštenim vlakovima..... 28

POPIS TABLICA

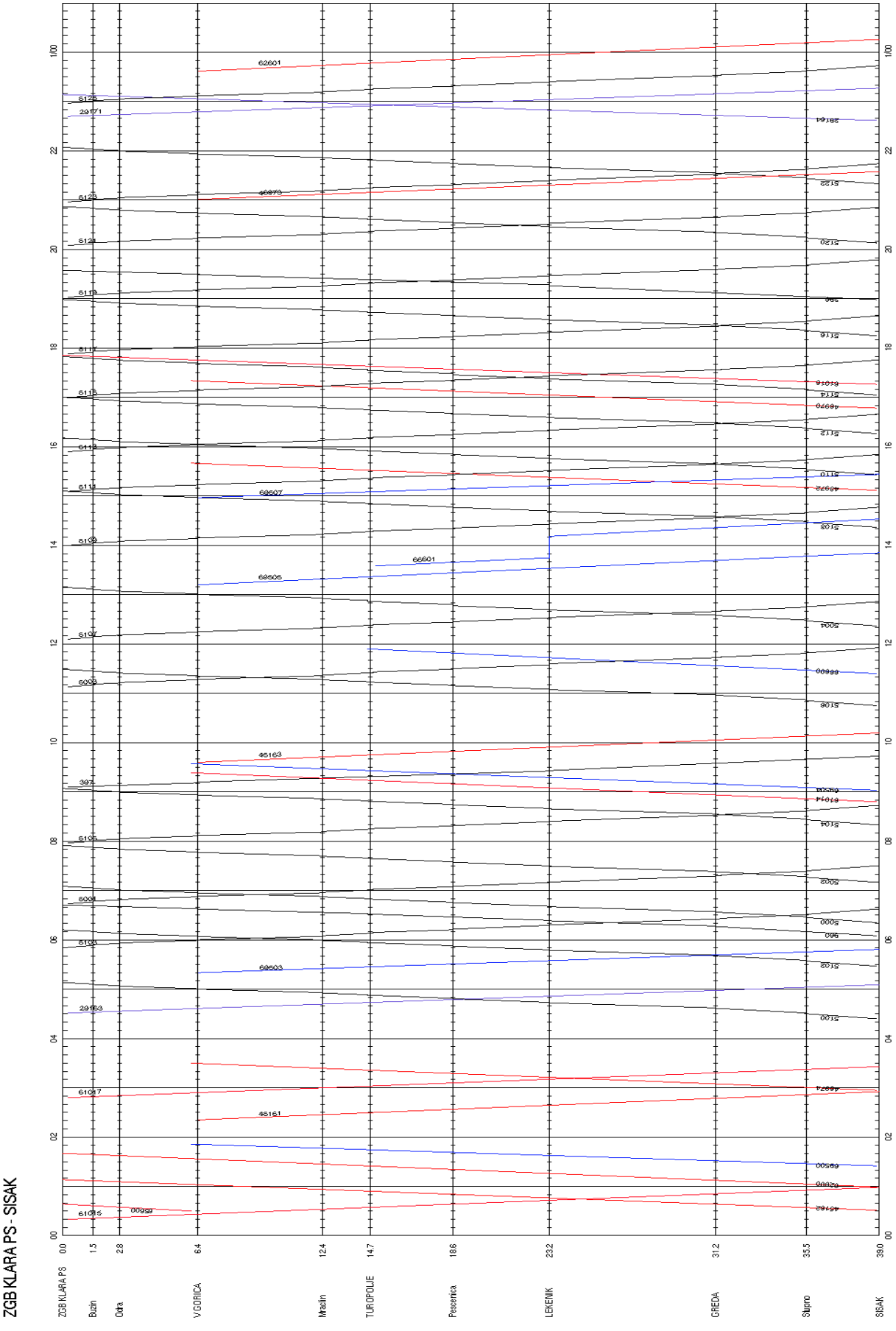
Tablica 1. Popis kolosijeka i njihove korisne duljine – kolodvor Zagreb Klara 6
Tablica 2. Popis ulaznih i izlaznih signala – kolodvor Zagreb Klara..... 6
Tablica 3. Popis kolosijeka i njihove korisne duljine – kolodvor Velika Gorica..... 8
Tablica 4. Popis kolosijeka i njihove korisne duljine – kolodvor Turopolje 9
Tablica 5. Popis kolosijeka i njihove korisne duljine – kolodvor Lekenik 12
Tablica 6. Popis ulaznih i izlaznih signala – kolodvor Lekenik..... 12
Tablica 7. Popis kolosijeka i njihove korisne duljine – kolodvor Greda 13
Tablica 8. Popis ulaznih i izlaznih signala – kolodvor Greda 14
Tablica 9. Popis kolosijeka i njihove korisne duljine – kolodvor Sisak..... 17
Tablica 10. Popis ulaznih i izlaznih signala – kolodvor Sisak 18

PRILOZI

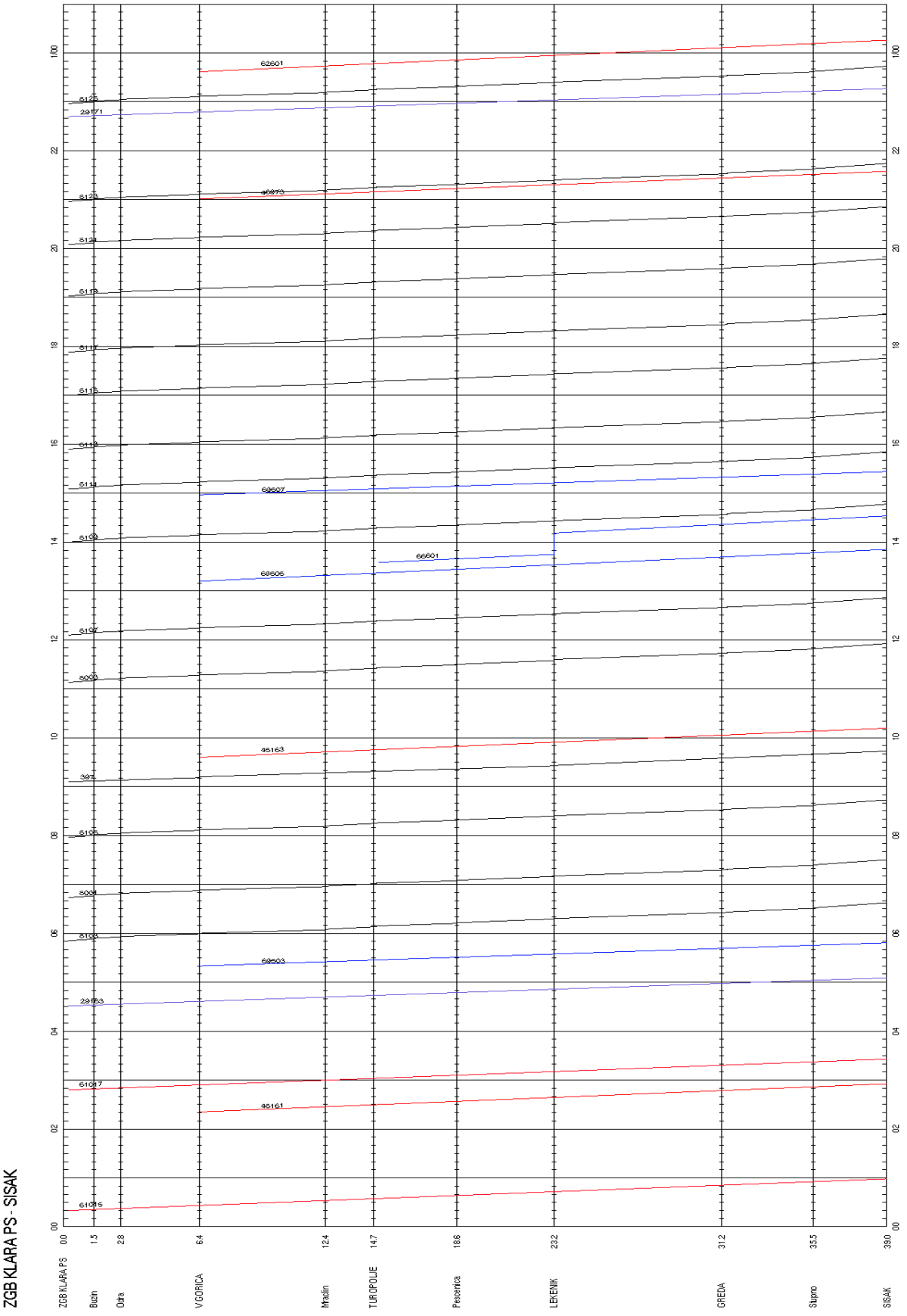
Prilog 1. Grafikon voznog reda jednokolosiječne pruge na dionici Zagreb Klara – Sisak



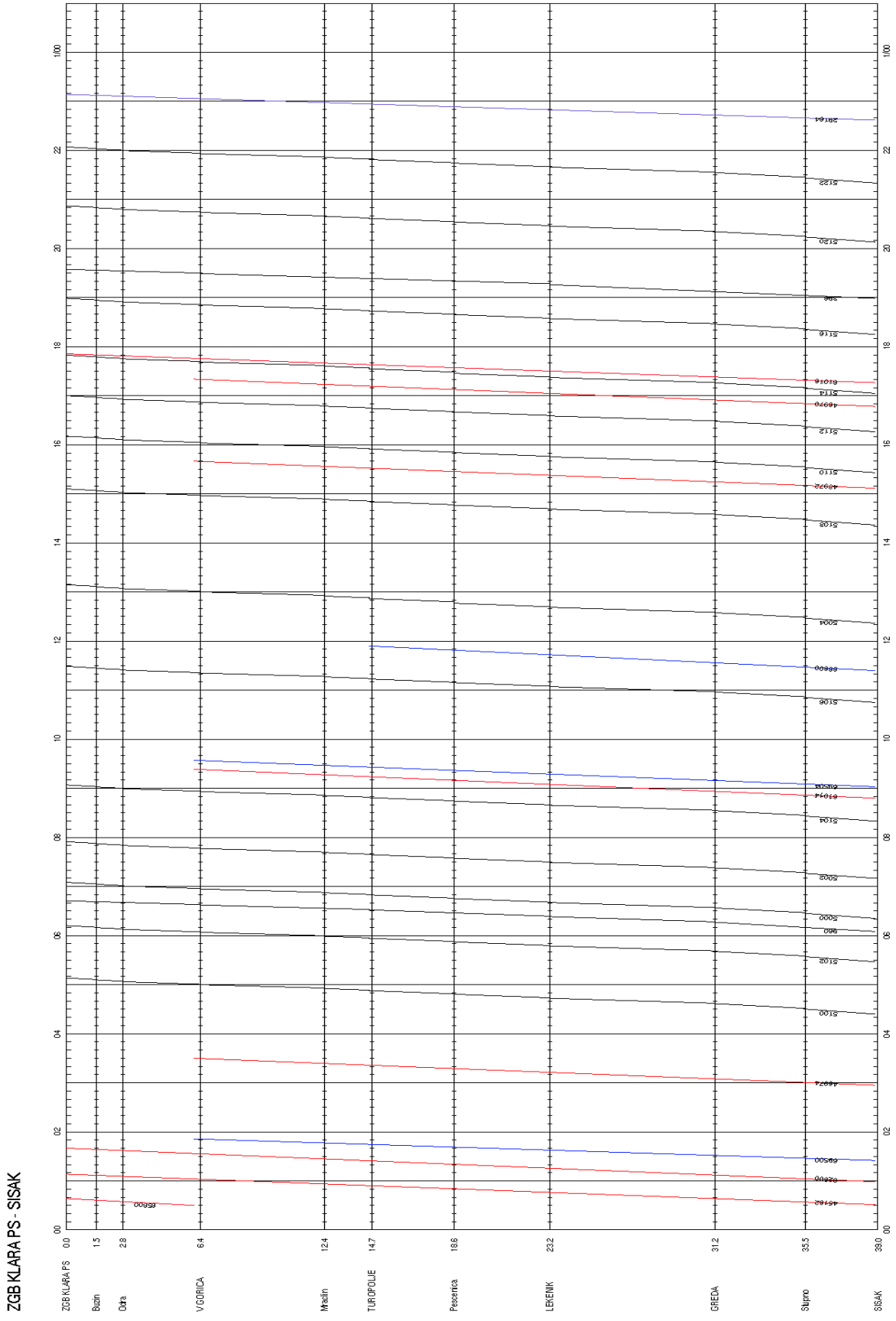
Prilog 2. Grafikon voznog reda dvokolosiječne pruge na relaciji Zagreb Klara – Sisak



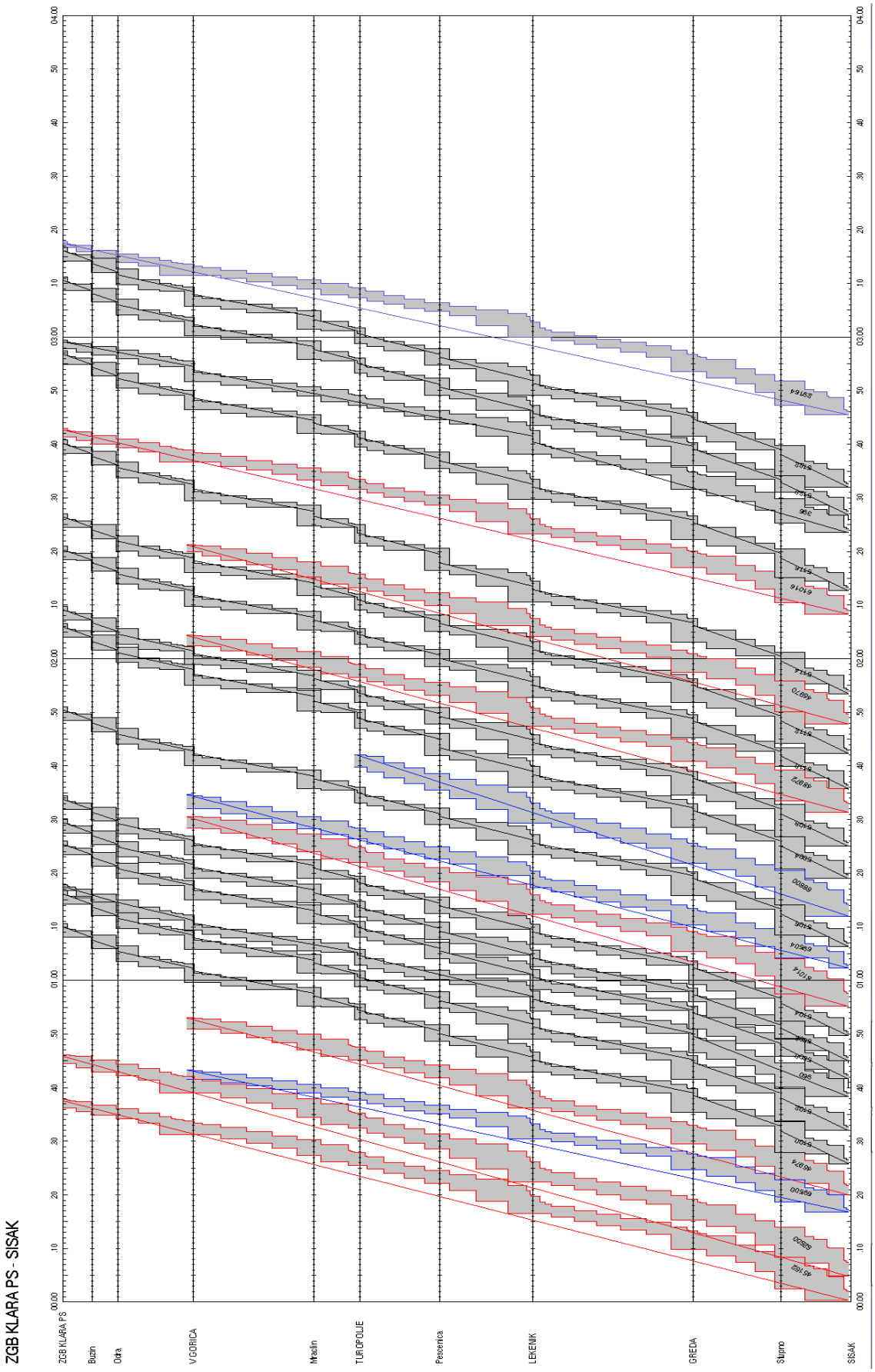
Prilog 3. Grafikon voznog reda dvokolosiječne pruge u smjeru prema Sisku na relaciji Zagreb Klara – Sisak



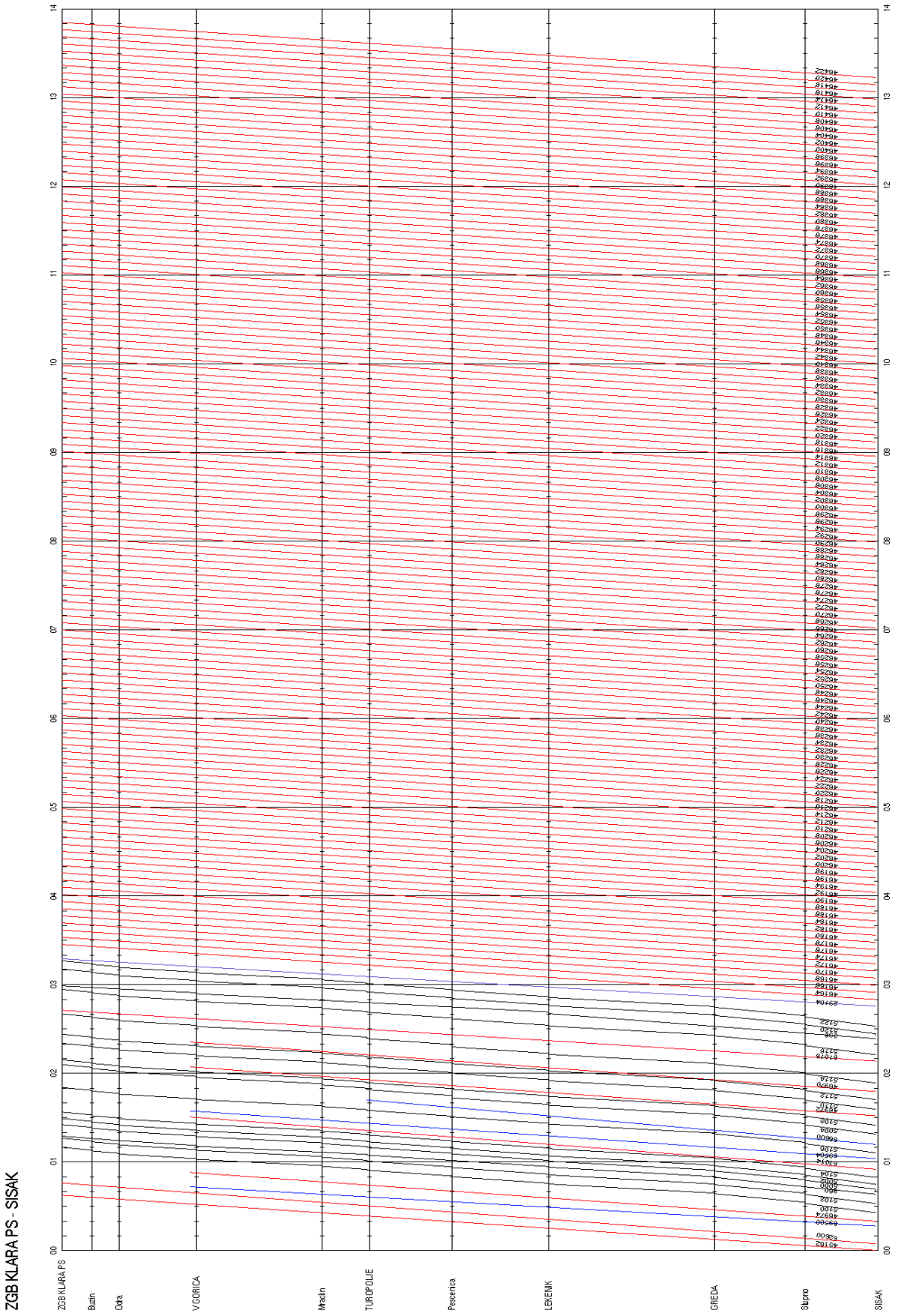
Prilog 4. Grafikon voznog reda dvokolosiječne pruge u smjeru prema kolodvoru Zagreb Klara na relaciji Zagreb Klara – Sisak



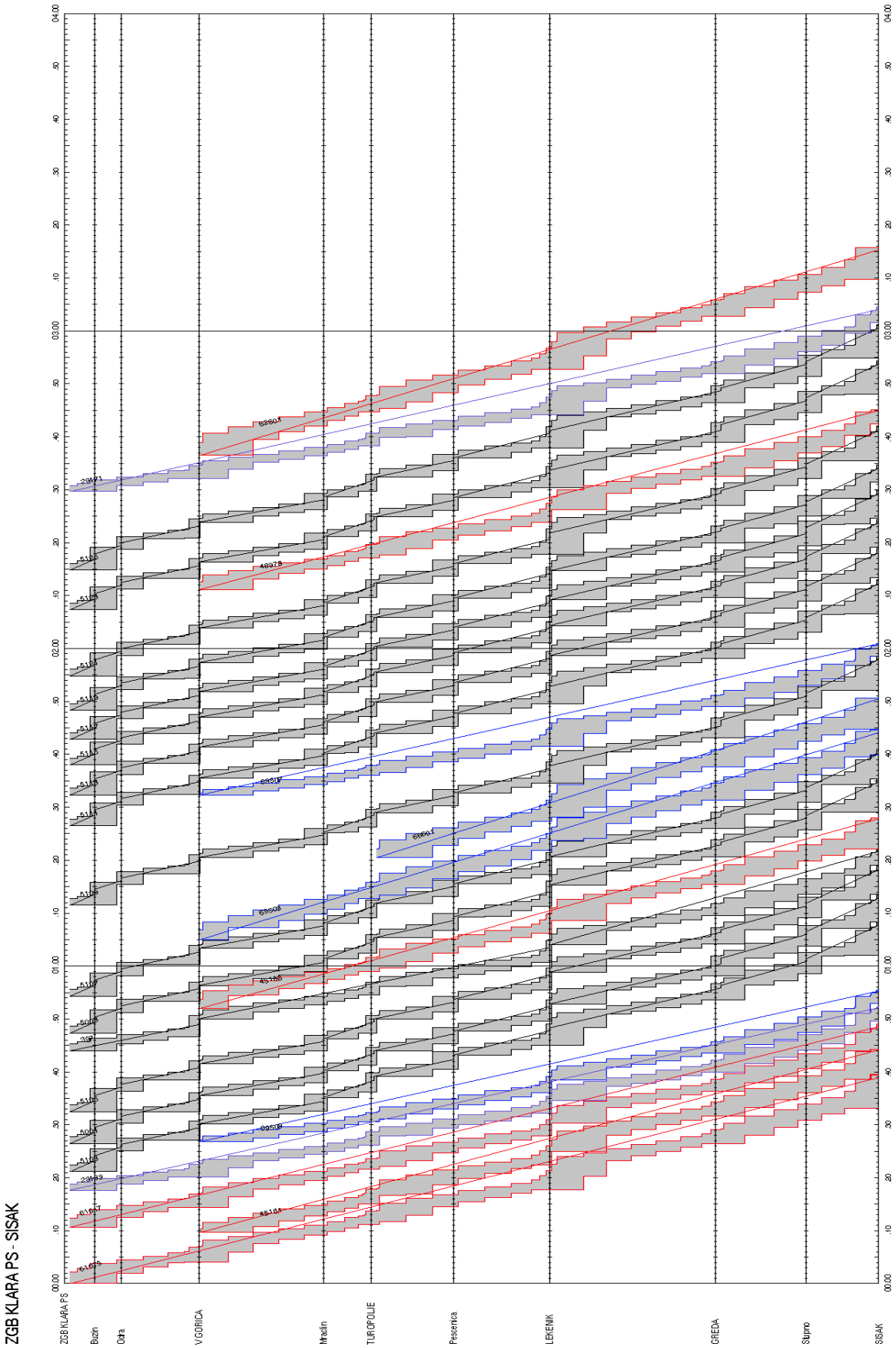
Prilog 5. Prikaz komprimiranog grafikona vlakova na relaciji Sisak – Zagreb Klara



Prilog 6. Prikaz dionice pruge na relaciji Sisak – Zagreb Klara sa postotkom iskorištenja od 100%



Prilog 7. Prikaz komprimiranog grafikona vlakova na relaciji Zagreb Klara – Sisak



Prilog 8. Prikaz dionice pruge na relaciji Zagreb Klara – Sisak sa postotkom iskorištenja od 100%

