Organizacija željezničkog putničkog prijevoza nakon modernizacije dionice pruge Zaprešić - Zabok

Mikulčić, Matea

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:823011

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Matea Mikulčić

ORGANIZACIJA ŽELJEZNIČKOG PUTNIČKOG PRIJEVOZA NAKON MODERNIZACIJE DIONICE PRUGE ZAPREŠIĆ – ZABOK

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

ORGANIZACIJA ŽELJEZNIČKOG PUTNIČKOG PRIJEVOZA NAKON MODERNIZACIJE DIONICE PRUGE ZAPREŠIĆ – ZABOK

RAILWAY PASSENGER TRANSPORT ORGANIZATION FOLLOWING THE MODERNIZATION OF ZAPREŠIĆ – ZABOK RAILWAY LINE

Mentor: doc. dr. sc. Marjana Petrović **Student: Matea Mikulčić**

JMBAG: 0135229441

Zagreb, 2017.

ORGANIZACIJA ŽELJEZNIČKOG PUTNIČKOG PRIJEVOZA NAKON MODERNIZACIJE DIONICE PRUGE ZAPREŠIĆ–ZABOK

SAŽETAK

Stanovništvo sjeverozapadne Hrvatske tradicionalno je usmjereno na željeznicu i svakodnevno gravitira širem zagrebačkom području. Najintenzivniji putnički promet na pruzi Zaprešić – Varaždin ostvaruje se na pružnoj dionici Zaprešić – Zabok, a Zaboku još gravitiraju putnici iz Đurmanca i Gornje Stubice. Iz tog razloga planira se uključivanje spomenute dionice u sustav prigradskog prijevoza grada Zagreba. Da bi se to ostvarilo, zbog lošeg je stanja potrebna njena modernizacija i elektrifikacija pa se u radu razmatra postojeće i buduće stanje infrastrukture na ovom području. Za analiziranje postojeće i buduće organizacije prometa i kretanje vlakova koristi se računalni program za modeliranje u željeznici *OpenTrack.* Na budućoj liniji prigradskog putničkog prijevoza Zagreb Glavni kolodvor – Zabok predlažu se četiri nove varijante organizacije prometa vlakova koje se potom međusobno uspoređuju pomoću različitih parametara kako bi se što kvalitetnije odredila najpogodnija varijanta za ovu liniju.

KLJUČNE RIJEČI: Sjeverozapadna Hrvatska; dionica Zaprešić – Zabok; *OpenTrack;* organizacija prometa vlakova; parametri; usporedba

SUMMARY

The population of Northwestern Croatia is traditionally focused on the railway and gravitates daily to the wider Zagreb area. The most intensive passenger traffic on the Zaprešić – Varaždin line is realized on the Zaprešić – Zabok section, and passengers from Đurmanec and Gornja Stubica are also gravitating to Zabok. For this reason it is planned to include mentioned section line in the suburban transportation system of the city of Zagreb. In order to achieve this, its modernization and electrification is needed due to the poor condition, so in this graduate thesis the current and future state of the infrastructure in this area is being considered. For the analysis of the existing and future passenger train organization and train traffic, a computer program for modeling in the railways *OpenTrack* is used. On the future suburban passenger transport line Zagreb Main Station – Zabok there are proposed four new variants of passenger train organizations that are compared with different parameters to better define the most suitable variant for this line.

KEYWORDS: Northwestern Croatia; railway section Zaprešić – Zabok; *OpenTrack;* passenger train organization; parameters; comparison

SADRŽAJ

1. Uvod 1
2. Pregled postojećeg stanja željezničke infrastrukture na sjeverozapadu Hrvatske .. 2
2.1. Regionalna pruga Zaprešić – Zabok – Varaždin – Čakovec 4
2.1.1. Kolodvor Zaprešić 5
2.1.2. Kolodvor Novi Dvori 7
2.1.3. Kolodvor Luka 8
2.1.4. Kolodvor Veliko Trgovišće 9
2.1.5. Kolodvor Zabok 10
2.2. Regionalna pruga Zabok – Đurmanec – državna granica 12
2.3. Lokalna pruga Zabok – Hum Lug – Gornja Stubica 12
3. Izrada simulacijskog modela u programskom alatu *OpenTrack* 13
3.1. Formiranje modela mreže željezničkih pruga 14
3.2. Formiranje voznih putova vlakova 17
3.3. Formiranje vučnih vozila i baze novih vlakova 17
3.4. Formiranje trasa vlakova i voznog reda 18
4. Analiza voznog parka i postojeće organizacije prometa pomoću simulacijskog modela 21
4.1. Postojeće stanje voznog parka 21
4.2. Promet vlakova na dionici Zagreb GK – Bedekovčina 22
4.3. Promet vlakova na dionici Zabok – Đurmanec 27
4.4. Promet vlakova na dionici Zabok – Gornja Stubica 30
5. Pregled budućeg rješenja nakon modernizacije 33
5.1. Kolodvor Zaprešić 34
5.2. Kolodvor Novi Dvori 35
5.3. Kolodvor Luka 35
5.4. Kolodvor Veliko Trgovišće 36
5.5. Kolodvor Zabok 36
5.6. Stajališta 38
6. Prijedlog varijanti nove organizacije prometa vlakova 40
7. Analiza varijantnih rješenja pomoću parametara usporedbe 42
7.1. Definiranje parametara za usporedbu varijanti 42
7.2. Vrijeme putovanja putnika 46

7.3. Presjedanje putnika 48
7.4. Broj istovremenih vlakova u kolodvoru 48
7.5. Komercijalna brzina 49
7.6. Vrijeme obrta 52
7.7. Troškovi linije 53
7.8. Utjecaj na okoliš 55
7.9. Potrošnja energije 55
8. Diskusija 57
9. Zaključak 61
Literatura 62
Popis kratica 64
Popis oznaka i mjernih jedinica 65
Popis slika 66
Popis tablica 67
Popis grafikona 68

1. Uvod

Potrebe i zahtjevi modernog načina života iziskuju povećanu mobilnost ljudi. Ne postoji li pritom prometna uređenost, javljaju se zagušenja i sve češće zastoji, pogotovo u velikim urbanim i prometnim središtima. Uz jačanje svijesti o važnosti očuvanja okoliša potrebno je ponuditi adekvatna rješenja za funkcioniranje velikih prometnih sustava prilagođena svim suvremenim standardima. Željeznica tu ima najveću prednost zbog ekološke prihvatljivosti i velikih raspoloživih prijevoznih kapaciteta za zadovoljavanje potreba masovnog prijevoza putnika. Formiranje održivih prometnih sustava i kvalitetne prijevozne ponude ovisi o njenoj integraciji s ostalim oblicima prijevoza, ali i neprestanim ulaganjima u vlastita sredstva rada.

U prometnom sustavu Republike Hrvatske željeznica ima važnu ulogu u gradsko – prigradskom prijevozu putnika na širem području nacionalne metropole, ali i u njenom povezivanju s drugim zemljama iz srednje, sjeverozapadne i jugoistočne Europe. Količini ukupnog putničkog prometa znatno pridonosi veliki dio stanovništva sjeverozapadne Hrvatske koji se tradicionalno oslanja na željeznicu i gravitira širem zagrebačkom području, s najintenzivnijim putničkim prometom između Zaprešića i Zaboka. Radi toga se planira proširenje zone javnog zagrebačkog prigradskog prijevoza na spomenutu dionicu, ali tek nakon njene modernizacije i elektrifikacije. Upravo je organizacija kvalitetnog prijevoza putnika na ovoj dionici, po završetku njenog osposobljavanja za promet prigradskih vlakova, tema ovoga diplomskog rada.

U radu se detaljnije razmatra geoprometni položaj sjeverozapadne Hrvatske i stanje postojeće prometne infrastrukture, s naglaskom na dionicu regionalne pruge od Zaprešića do Zaboka, te analizira vozni park operatera kojim se ostvaruje usluga prijevoza na tom području. Potom se opisuje izrada računalnog modela postojećeg stanja dijela željezničke mreže u programskom alatu *OpenTrack*, a na temelju podataka iz tog modela objašnjava postojeća organizacija prometa na razmatranoj dionici i na pobočnim prugama prema Đurmancu i Gornjoj Stubici te analizira kretanje putničkih vlakova koji prometuju tim prugama.

Nakon toga opisuju se promjene na infrastrukturi koje nastaju zbog modernizacije i elektrifikacije, te predlažu varijante nove organizacije prometa vlakova na budućoj liniji prigradskog prijevoza Zagreb Glavni kolodvor – Zabok, kao i na ostalim prugama koje su povezane s promatranom dionicom. Predložene varijante međusobno se uspoređuju na temelju definiranih parametara, a pomoću podataka dobivenih simulacijom kretanja vlakova u računalnom modelu budućeg stanja mreže. Uvidom u sve dobivene rezultate na kraju se predlaže način odabira najpogodnije varijante.

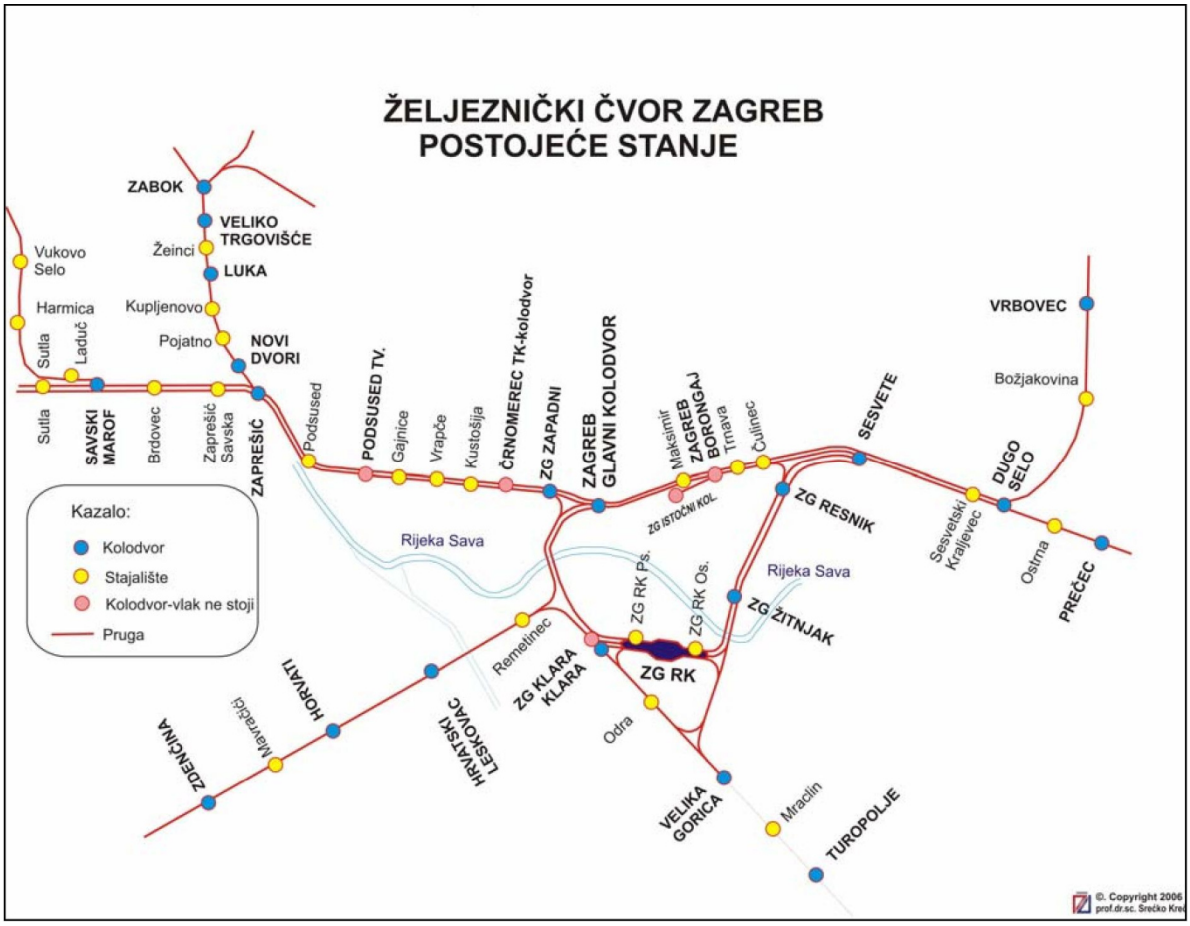
2. Pregled postojećeg stanja željezničke infrastrukture na sjeverozapadu Hrvatske

S geoprometnog gledišta područje sjeverozapadne Hrvatske je od iznimne važnosti za cjelokupni prometni sustav Republike Hrvatske zahvaljujući Mediteranskom koridoru, kao jednom od dva koridora osnovne Transeuropske prometne mreže (eng.*Trans – European Transport Network* (kratica TEN – T)) na teritoriju države, što joj omogućava povezanost s jugozapadnom i istočnom Europom [1]. U tome kontekstu glavni grad Zagreb predstavlja najvažnije čvorište različitih prometnih sustava i podsustava koji su u funkciji zadovoljavanja svakodnevnih poslovnih, obrazovnih, društvenih, kulturnih i drugih potreba stanovništva iz bliže i dalje okolice. Po pitanju željezničkog prometa, Zagreb je smješten na raskrižju četiri važna željeznička magistralna pravca koja ga povezuju prema sjeveru s Varaždinom i Koprivnicom te srednjoeuropskim zemljama, prema zapadu s Ljubljanom i zapadnoeuropskim zemljama, prema jugu s Rijekom, jadranskom obalom i Sredozemljem te prema istoku s Vinkovcima i zemljama jugoistočne Europe [2].

Visoki stupanj motorizacije i svakodnevne migracije ljudi dovode do sve većih zagušenja mreže cestovnih prometnica, a time i porasta ekoloških problema na gradskom i prigradskom području zbog čega se željeznički prijevoz ističe kao ključni oblik ekološki prihvatljivijeg masovnog prijevoza putnika. Njegove prednosti osobito je moguće iskoristiti na područjima koja obuhvaćaju veći broj gradskih naselja povezanih s postojećom željezničkom infrastrukturom kako bi se gradska željeznica što bolje uklopila u gradski i prigradski javni prijevoz. Takav pristup primijenjen je na zagrebačkom području gdje je povoljan raspored željezničke infrastrukture omogućio kvalitetnu nadogradnju početnog sustava javnog gradskog prijevoza, sastavljenog od tramvajskog i autobusnog prijevoza, što je rezultiralo porastom broja putnika željezničkog prijevoza i znatnim rasterećenjem ostalih oblika gradskog prijevoza. Danas se najintenzivniji tok gradsko – prigradskog prijevoza odvija na dionici od Savskog Marofa i Zaprešića na zapadnom dijelu grada, preko Glavnog kolodvora do Sesveta i Dugog Sela u istočnom dijelu [2]. Činjenica je da tome, osim prigradskih vlakova, doprinose i vlakovi lokalnog i regionalnog putničkog prijevoza iz svih većih regionalnih centara Hrvatske koji usput i rasterećuju zagrebački gradski prijevoz. Putnički i ubrzani vlakovi koji prometuju prugom Zaprešić – Zabok – Varaždin zaustavljaju se u svim stajalištima između Glavnog kolodvora i Zaprešića, što uglavnom rezultira prenapučenosti vlakova u tom smjeru i nezadovoljstvom putnika koji nastavljaju prijevoz prema sjeveru Hrvatske.

Stanovnici s područja Hrvatskog zagorja tradicionalno su orijentirani na željeznicu zbog, prvenstveno poslovnih i obrazovnih potreba, ali i dobre opsluženosti tog područja infrastrukturom te je na pruzi između Zaprešića i Čakovca (tzv. zagorska magistrala) putnički promet izrazito podijeljen na gravitacijska područja Zagreba i Varaždina. Kao najveće prometno čvorište ove relacije i granica zagrebačkog gravitacijskog područja može se izdvojiti Zabok u koji se još slijeva i promet s

priključnih pruga iz Đurmanca i Gornje Stubice. Budući da je gustoća naseljenosti ovog područja veća od prosjeka države (108,1 stanovnika/km^2 naprema 75,8 stanovnika/km^2), ne čudi podatak da je putnički promet, nakon pruga zagrebačkog područja, najintenzivniji između Zaprešića i Zaboka [3,4]. Iz tog razloga posljednjih tridesetak godina razmatra se o proširenju zone prigradskog prijevoza te uključivanju dionice Zaprešić – Zabok u sustav zagrebačkog prigradskog prijevoza. Na slici 1. može se vidjeti prikaz postojećih linija javnog gradskog i prigradskog željezničkog prijevoza putnika, kao i položaj nove linije prema Zaboku.



Slika 1. Shema linija javnog gradsko – prigradskog željezničkog prijevoza, [2]

Osnovi preduvjet za organizaciju kvalitetnog i racionalnog prijevoza putnika u sklopu gradskog i prigradskog putničkog prometa grada Zagreba je provođenje modernizacije dionice Zaprešić – Zabok, čiji se pripremni radovi planiraju krajem tekuće godine, zbog lošeg stanja gornjeg i donjeg ustroja te zastarjelosti opreme na čitavoj duljini pruge Zaprešić – Zabok – Varaždin – Čakovec. Osim toga, obzirom da su pruge zagrebačkog željezničkog čvora, na kojima se odvija gradsko – prigradski prijevoz putnika vlakovima, elektrificirane sustavom napona od 25 kV i frekvencije 50 Hz, dionicu Zaprešić – Zabok potrebno je još elektrificirati istim sustavom napajanja

radi nesmetanog prometovanja putničkih vlakova i pružanja kvalitetnije usluge prijevoza korisnicima.

Radi boljeg shvaćanja potrebe za modernizacijom i elektrifikacijom pružne dionice Zaprešić – Zabok, u nastavku se detaljno analizira aktualno tehničko stanje gornjeg i donjeg ustroja pruge, signalno – sigurnosnih i telekomunikacijskih uređaja te službenih mjesta spomenute dionice, kao i njenih pobočnih pruga Zabok – Đurmanec i Zabok – Gornja Stubica koje pridonose veličini putničkog prometa kolodvora Zabok. Osvrt na stanje voznog parka i postojeću organizaciju prometa vlakova na spomenutom dijelu mreže dat je naknadno.

2.1. Regionalna pruga Zaprešić – Zabok – Varaždin – Čakovec

Željeznička pruga od značaja za regionalni promet R201 Zaprešić – Zabok – Varaždin – Čakovec, građevinske duljine 100,7 km, službeno je otvorena za promet 4. rujna 1886. u sklopu tzv. zagorskih vicinalnih, tj. lokalnih željeznica, čime je omogućeno izravno povezivanje grada Varaždina i Međimurja s većim dijelom Hrvatskog zagorja, gradom Zagrebom te Mađarskom [5,6]. Izgradnja te jednokolosiječne neelektrificirane pruge namijenjene mješovitom prometu uvelike je pridonijela gospodarskom razvoju područja kojim se proteže te procvatu djelatnosti primarnog i sekundarnog sektora, što je zahtijevalo stvaranje željezničke mreže izgradnjom pobočnih pruga uz postojeću glavnu zagorsku prugu. Tako se od Zaboka odvaja lokalna pruga do Gornje Stubice i regionalna pruga za Đurmanec koja vodi prema Sloveniji. Od drugih značajnijih željezničkih čvorišta ističu se Varaždin, gdje se odvaja lokalna pruga za Ivanec i Golubovec te regionalna pruga za Koprivnicu i Osijek, te Čakovec u kojem se pruga R201 spaja na međunarodnu prugu Pragersko (Slovenija) – Ptuj (Slovenija) – Čakovec – Kotoriba – Nagykanizsa (Mađarska) te odvaja i lokalna pruga za Mursko Središće i slovensku Lendavu [5].

Pružna dionica Zaprešić – Zabok početni je dio regionalne pruge R201 Zaprešić – Zabok – Varaždin – Čakovec koja se u kolodvoru Zaprešić odvaja od dvokolosiječne željezničke pruge od značaja za međunarodni promet M101 državna granica – Savski Marof – Zagreb Glavni kolodvor. Pruga M101 nalazi se na bivšem X. paneuropskom koridoru, a dionica Zaprešić – Zabok i pruga Zabok – Krapina – državna granica dio su bivšeg A ogranka X. paneuropskog koridora koji bi Zagrebu trebao omogućavati vezu s Grazom u Austriji. Trasa spomenute dionice u duljini od 23,8 km proteže se dolinom rijeke Krapine i dobrim dijelom je na prilazu savskoj nizini zbog čega ima nizinske značajke s najvećim nagibom nivelete od 4 ‰, a gotovo 70 % dionice nalazi se u pravcu, s najmanjim tlocrtnim radijusom od 250 m koji je na samom izlazu iz kolodvora Zaprešić [6,7].

Tehničko stanje gornjeg i donjeg ustroja pruge R201 nije zadovoljavajuće s obzirom na to da je posljednji puta remontirana rabljenim gradivom sustava 45/49 u

razdoblju do 1978. godine. Tome je pridonijelo i dugogodišnje neulaganje u željeznicu i nedostatak adekvatnog održavanja koji su rezultirali redovitim smanjenjem maksimalne brzine te osovinskog opterećenja pa je tako na dijelu dionice Zabok – Veliko Trgovišće uvedeno ograničenje brzine od 40 km/h. Uz to, odvodnja pruge je slaba ili nije uopće riješena, oborinski kanali su zatrpani i dobar dio propusta ne funkcionira zbog dotrajalosti i neodgovarajućeg održavanja. Ova dionica spada u kategoriju pruga B2 s maksimalnim osovinskim pritiskom od 18 t/osovini (180 kN), dok slobodni profil pruge odgovara standardu UIC GC [7].

Službena mjesta na spomenutoj pružnoj dionici su kolodvori Zaprešić, Novi Dvori, Luka, Veliko Trgovišće i Zabok te stajališta Pojatno, Kupljenovo i Žeinci. U nastavku se ukratko opisuju njihove osnovne karakteristike, kapaciteti i stanje. Promet vlakova regulira se u kolodvorskom razmaku, a signalno – sigurnosni uređaji kolodvora bitni za regulaciju, prijam i otpremu vlakova su zastarjeli, osim onog u kolodvoru Zaprešić.

2.1.1. Kolodvor Zaprešić

Kolodvor Zaprešić je prema zadaći u reguliranju prometa međukolodvor na međunarodnoj dvokolosiječnoj pruzi M101, s položajem kolodvorske zgrade na desnoj strani pruge u km 439 + 562,5, te se kao odvojni kolodvor za regionalnu prugu R201 nalazi u njenom nultom kilometru. Početak pruge prema Čakovcu je kod početka odvojne skretnice br. 27. Problematični dio pruge kod budućih planova za modernizaciju čine upravo prvi luk iza navedene skretnice koji je vrlo oštar s malim radijusom od 250 m, prva prijelaznica koja je vrlo kratka te nedostatak međupravca između početka skretnice i početka prijelaznog luka [8].

Kolodvor je otvoren za prijam i otpremu putnika, vagonskih pošiljaka i živih životinja, a podređena su mu stajališta Podsused stajalište u smjeru Podsused Tvornice i Zaprešić Savska u smjeru Savskog Marofa [8].

Kolodvor sadrži skupinu od šest prihvatno – otpremnih kolosijeka, pri čemu je prvih pet kolosijeka elektrificirano [8]:

I. kolosijek je glavni prihvatno – otpremni za vlakove pruge R201 u oba smjera po potrebi s korisnom duljinom od 492 m,
II. kolosijek je glavni kolosijek za pretjecanje vlakova u smjeru Savskog Marofa i Varaždina, a u posebnim slučajevima i za prijam vlakova iz smjera Zagreba te služi smještaju tranzitnog i loko bruta, a ima korisnu duljinu 593 m,
III. kolosijek je glavni prolazni kolosijek u smjeru Savskog Marofa, a nepravilni glavni prolazni kolosijek za vlakove u smjeru Varaždina, korisne duljine 664 m,

IV. kolosijek je glavni prolazni kolosijek u smjeru Zagreba za vlakove iz Savskog Marofa, a nepravilni glavni prolazni kolosijek za vlakove iz smjera Varaždina korisne duljine 671 m,
V. kolosijek je glavni kolosijek korisne duljine 709 m za pretjecanje vlakova u smjeru Zagreba,
VI. kolosijek je glavni kolosijek korisne duljine 688 m za smještaj vlakova koji čekaju dispoziciju te za prijam tranzitnog bruta.

Uz navedene glavne kolodvorske kolosijeke, postoje još kolosijeci od 7 do 14 koji su sporedni kolosijeci namijenjeni za utovar i istovar vagona, manevriranje, sastavljanje i rastavljanje vlakova te garažiranje vagona, te ih se neće detaljnije opisivati s obzirom na to da je tematika rada vezana uz putnički promet. Na ulaznoj i izlaznoj strani kolodvora postoje veze između glavnih prolaznih kolosijeka samo desnim skretnicama (nema A – V veza). Međukolosiječne udaljenosti između kolosijeka su cca 4,7 m – 4,8 m, osim između kolosijeka 5 i 6, gdje je udaljenost veća zbog stupova portala kontaktne mreže (cca 5,25 m) [8].

Kolodvor je opremljen s tri uređene asfaltirane površine za prihvat putnika [8]:
1. peron duljine je 83 m i širine 4 – 6 m, a nalazi se uz prvi kolosijek,
2. peron duljine je 161 m, širine 1,60 m, a nalazi se između drugog i trećeg kolosijeka,
3. peron duljine je 161 m i širine 1,54 m, a nalazi se između trećeg i četvrtog kolosijeka.

Od ostalih stabilnih postrojenja u kolodvoru postoji skladišna rampa koja je smještena uz jedanaesti kolosijek duljine 50 m sa zatvorenim skladištem 30 x 10 m, te postrojenje za sekcioniranje smješteno uz prvi kolosijek s rastavljačima za uzdužno sekcioniranje [8].

Kolodvor Zaprešić osiguran je elektro – relejnim signalno – sigurnosnim uređajem tipa Sp Dr "Lorenz" 30 s automatskim pružnim blokom (u daljnjem tekstu APB) u međukolodvorskim odsjecima između kolodvora Zaprešić – Podsused Tvornica i Zaprešić – Savski Marof. Svi glavni signali kolodvora su svjetlosni i dvoznačni, osim izlaznih signala E1, E2 i E3 koji su jednoznačni samo za vožnju vlakova u međukolodvorskom odsjeku Zaprešić – Novi Dvori [8].

Ulazni signal „A" od strane kolodvora Podsused Tvornica nalazi se u km 438 + 538, njegov predsignal, ujedno i prostorni signal 042, u km 437 + 51, a zbog smanjene vidljivosti između njih u km 43 + 186 ugrađen je ponavljač predsignaliziranja. Ulazni signal „B" od strane kolodvora Savski Marof u km 440 + 180, a njegov predsignal, ujedno i prostorni signal 051, u km 441 + 263. Ulazni signal „C" od strane kolodvora Novi Dvori u km 0 + 830 (pruga R201), a njegov predsignal u km 1 + 830 [8].

Skretnice na glavnim kolosijecima uključene su u signalno – sigurnosni uređaj te se njima rukuje iz središnjeg mjesta i u zavisnosti su s glavnim signalima. U kolodvoru se nalazi i šest iskliznica kojima se rukuje iz središnjeg mjesta i u zavisnosti su s položajem skretnica [8].

Na kolodvorskom području postoje dva željezničko – cestovna prijelaza (u daljnjem tekstu ŽCP), ŽCP 76 „Zaprešić" u km 440 + 074 i ŽCP 76A „Putine" u km 0 + 722. Pružni cestovni prijelazi na pruzi M101 su ŽCP 77 „Zaprešić Savska" u km 441 + 517 i ŽCP 79 „Brdovec" u km 443 +898, a na pruzi R201 ŽCP 76 A1 „Putine" u km 1 + 053. Svi željezničko – cestovni prijelazi osigurani su automatsko, pri čemu su ŽCP 76, 76 A i 76 A1 osigurani polubranicima te zvučnim i svjetlosnim signalima, a ŽCP 77 i 79 samo svjetlosno – zvučnom signalizacijom bez polubranika [8].

2.1.2. Kolodvor Novi Dvori

Prema zadaći u reguliranju prometa kolodvor Novi Dvori je međukolodvor pruge R201, s položajem kolodvorske zgrade na lijevoj strani pruge u km 4 + 210,77. Otvoren je za prijam i otpremu putnika te vagonskih pošiljaka u unutarnjem i međunarodnom prometu, a podređeno mu je stajalište Pojatno u km 7 + 500 [9].

Kolodvor Novi Dvori ima tri kolosijeka sljedeće namjene [9]:

I. kolosijek služi kao utovarno – istovarni i skladišni kolosijek, a korisna duljina mu iznosi 527 m,
II. kolosijek je glavni kolosijek za prijam i otpremu vlakova s korisnom duljinom od 617 m,
III. kolosijek je glavni prolazni kolosijek za prijam i otpremu vlakova, a korisna duljina mu iznosi 617 m.

Kolodvor ima jednu uređenu asfaltiranu površinu duljine 138 m i širine 1,6 m između drugog i trećeg kolosijeka namijenjenu manipulaciji putnika [9].

Od ostalih stabilnih postrojenja u kolodvoru postoji skladišna rampa koja je smještena uz prvi kolosijek duljine 20 m sa zatvorenim skladištem 17 x 7 m [9].

Navedeni kolodvor osiguran je relejnim signalno – sigurnosnim uređajem tipa „SS – 74" Posit koji obuhvaća svjetlosne ulazne signale s predsignalima i skupnim izlaznim signalima [9].

Granicu kolodvorskog područja u odnosu na otvorenu prugu čine, od strane kolodvora Zaprešić, ulazni signal „A" u km 3 + 633, sa predsignalom „PsA" u km 2 + 933 te od strane kolodvora Luka ulazni signal „B" u km 5 + 032, sa predsignalom „PsB" u km 5 + 732 [9].

Sve skretnice postavljaju se na licu mjesta. Ulazne skretnice broj 1 i 9 osigurane su u pravac središnjim zasunom kojim se rukuje iz prometnog ureda, a u skretanje sa skretničkom bravom te su u ovisnosti s ulaznim signalima. Ostale skretnice osigurane su Robel bravama. Za kontrolu zauzetosti kolosijeka i skretnica koriste se izolirani odsjeci [9].

Na području kolodvora nalazi se jedan ŽCP u km 3 + 966,91 koji je osiguran signalnom oznakom STOP i Andrijinim križem. Prijelazi na otvorenoj pruzi između kolodvora Novi Dvori i Luka se nalaze u km 6 + 323, km 7 + 728, km 8 + 450, km 9 + 804, km 10 + 383 i km 11 + 916, od kojih su svi osigurani signalnom oznakom STOP i Andrijinim križem, osim ŽCP u km 3 + 966,61, km 7 + 728 i km 10 + 383 koji su osigurani s cestovnim svjetlosnim signalima i jakozvučnim zvonima i polubranicima [9].

Na međukolodvorskom odsjeku između kolodvora Novi Dvori i Luka nalaze se zaštitni signali odvojne skretnice industrijskog kolosijeka „Viadukt“ s posebnim predsignalima zaštitnih signala koji su svjetlosni jednoznačni signali. Od strane kolodvora Novi Dvori zaštitni signal „A“ nalazi se u km 6 + 932, njegov predsignal „PsA“ u km 6 + 232, a od strane kolodvora Luka zaštitni signal B u km 7 + 400 te njegov predsignal „PsB“ u km 8 + 110 [9].

Za osiguranje odvojne i zaštitne skretnice na otvorenoj pruzi ugrađen je signalno – sigurnosni uređaj tipa „SS – 74“ kojim se rukuje uređajem smještenim u posebnom kontejneru [9].

Kao što je prethodno spomenuto, stajalište Pojatno podređeno je kolodvoru Novi Dvori. Prijamna zgrada stajališta nalazi se na lijevoj strani kolosijeka u km 7 + 538 te obuhvaća uređenu površinu za ulaz i izlaz putnika duljine 90 m [9].

2.1.3. Kolodvor Luka

Prema zadaći u reguliranju prometa kolodvor Luka je međukolodvor na pruzi R201 s kolodvorskom zgradom na lijevoj strani pruge u km 12 + 913. Otvoren je za prijam i otpremu putnika i vagonskih pošiljaka samo za poduzeće „Lagermax“ koje je vlasnik 3. kolosijeka, dok za druge korisnike nije zbog nedostatka manipulativnog kolosijeka i manipulativnog prostora. Podređeno mu je stajalište Kupljenovo [10].

Kolodvor Luka ima četiri kolosijeka sljedeće namjene [10]:

I. kolosijek je glavni prijamno – otpremni kolosijek s korisnom duljinom 564 m,
II. kolosijek je glavni prolazni kolosijek za prijam i otpremu vlakova, iste korisne duljine kao i prvi kolosijek, odnosno 564 m,
III. kolosijek je industrijski kolosijek „Lagermax“ korisne duljine 350 m,
IV. kolosijek je krnji kolosijek za istovar preko čeone rampe korisne duljine 30 m.

Kolodvor ima dvije uređene asfaltirane površine za prihvat i otpremu putnika, od čega je prva smještena između kolodvorske zgrade i prvog kolosijeka duljine 92 m i širine 2 – 5 m, te druga između prvog i drugog kolosijeka duljine 138 m i širine 1,2 m [10].

Od ostalih stabilnih postrojenja u kolodvoru postoji prsobran na kraju četvrtog kolosijeka kod čeone rampe za utovar, tj. istovar automobila duljine 10 metara [10].

Kolodvor je osiguran relejnim signalno – sigurnosnim uređajem tipa „SS – 74“ sa svjetlosnim ulaznim signalima i predsignalima te skupnim izlaznim signalima [10].

Granicu kolodvorskog područja Luke predstavljaju od strane kolodvora Novi Dvori ulazni signal „A“ u km 12 + 194 i njegov predsignal „PsA“ u km 11 + 494 te od strane kolodvora Velikog Trgovišća, ulazni signal B u km 13 + 605 i njegov predsignal „PsB“ u km 14 + 605 [10].

Ulaznim skretnicama rukuje se iz središnjeg mjesta, dok se ostale skretnice i iskliznice postavljaju na licu mjesta i opremljene su skretničkom bravom tipa Robel. Za kontrolu zauzetosti kolosijeka i skretnica koriste se izolirani odsjeci [10].

Na području kolodvora nalaze se dva željezničko – cestovna prijelaza, i to prvi ŽCP u km 12 + 512, a drugi ŽCP u km 13 + 474, oba osigurana zvučnim i svjetlosnim signalima, pri čemu je drugi i s polubranicima. Uređaji osiguranja cestovnih prijelaza u ovisnosti su s putovima vožnje [10].

Na međukolodvorskom odsjeku Luka – Veliko Trgovišće postoje tri željezničko – cestovna prijelaza, od čega su ŽCP u km 14 + 763 i ŽCP 17 + 660 osigurani signalnom oznakom STOP i Andrijinim križem, a ŽCP u km 16 + 193 osiguran je s polubranicima te zvučnim i svjetlosnim signalima [10].

Stajališna zgrada podređenog mjesta Kupljenovo nalazi se na desnoj strani željezničke pruge u km 10 + 365 uz koju je i površina za ulaz i izlaz putnika duljine 92 m, ali preko županijske ceste, koja se u tom dijelu križa sa željezničkom prugom [10].

2.1.4. Kolodvor Veliko Trgovišće

S obzirom na obavljanje prometne službe, kolodvor Veliko Trgovišće je međukolodvor na pruzi R201 smješten u km 18 + 421, s kolodvorskom zgradom na lijevoj strani pruge. Namijenjen je prijamu i otpremi putnika te vagonskih pošiljaka, a njemu je podređeno stajalište Žeinci [11].

Kolodvor Veliko Trgovišće obuhvaća tri kolosijeka sljedeće namjene [11]:

I. kolosijek je manipulacijski za utovar i istovar vagona, s korisnom duljinom 219 m,

II. kolosijek je glavni kolosijek za prijam i otpremu vlakova, korisne duljine 372 m,

III. kolosijek glavni je prolazni kolosijek za prijam i otpremu vlakova najveće korisne duljine 398 m.

Između drugog i trećeg kolosijeka nalazi se asfaltirana uređena površina za kretanje putnika duljine 128 m i širine 1,6 m [11].

Kolodvor uz prvi kolosijek ima i skladišnu rampu duljine 10 m sa zatvorenim skladištem 17 x 8 metara [11].

Kolodvor Veliko Trgovišće osiguran je relejnim uređajem tipa „INSTITUT“ sa svjetlosnim jednoznačnim ulaznim signalima i svjetlosnim predsignalima. On omogućava središnje rukovanje skretnicama br. 1 i 4 koje su u ovisnosti s ulaznim signalima, dok se skretnice br. 2 i 3 postavljaju na licu mjesta, a osigurane su Robel bravama [11].

Kolodvorsko područje definirano je ulaznim signalima „A“ i „B“. Tako se od smjera Luke signal „A“ nalazi u km 17 + 815, a njegov predsignal u km 16 + 899, dok se od smjera Zaboka signal „B“ nalazi u km 18 + 996, a predsignal „PsB“ u km 19 + 696 [11].

Na području kolodvora nalazi se jedan željezničko – cestovni prijelaz u km 18 + 608 te je on osiguran svjetlosnim i zvučnim signalima, dok su četiri ŽCP – a koja se nalaze na međukolodvorskom odsjeku Veliko Trgovišće – Zabok osigurana signalnom oznakom STOP i Andrijinim križem s lokacijama u km 19 + 077, km 20 + 225, km 22 + 201, km 22 + 817 [11].

Nažalost, prihvatna zgrada stajališta Žeinci je devastirana, a nalazi se na lijevoj strani željezničke pruge u km 16 + 249. Na istoj se strani nalazi i površina za manipulaciju putnika u duljini 95 m [11].

2.1.5. Kolodvor Zabok

Kolodvor Zabok predstavlja međukolodvor na pruzi između Zaprešića i Čakovca, s položajem kolodvorske zgrade u km 23 + 847, a ujedno je rasporedni kolodvor za pruge Zabok – Đurmanec – državna granica i Zabok - Gornja Stubica u oba smjera (početak pruga je od sredine kolodvorske zgrade). Osnovna zadaća kolodvora je prijam i otprema putnika u unutarnjem prometu i svih vagonskih pošiljaka u unutarnjem i međunarodnom prometu. U skladu s navedenim podređena mu je rasputnica Hum Lug te stajališta Oroslavje, Stubičke Toplice, Donja Stubica i Dubrava Zabočka [12].

Kolodvor sadrži sljedećih šest kolosijeka [12]:

I. kolosijek je utovarno – istovarni kolosijek korisne duljine 314 m,

II. kolosijek je glavni prolazni za putničke vlakove s korisnom duljinom 408 m,
III. kolosijek je glavni prolazni za putničke vlakove s korisnom duljinom 349 m,
IV. kolosijek je prijamno – otpremni kolosijek korisne duljine 295 m,
V. kolosijek je prijamno – otpremi za teretne vlakove korisne duljine 246 m,
VI. kolosijek je garažni kolosijek korisne duljine 246 m.

Glavni prolazni kolosijek je drugi kolosijek kod kojeg pravac izlaznih skretnica vodi u smjer Krapine i Đurmanca, a otklon sretnice br.12 vodi u smjer prema Bedekovčini i Čakovcu. Najveća dopuštena brzina u kolodvoru iznosi 35 km/h [12].

Uređene površine za ulaz i izlaz putnika postoje između prvog i drugog kolosijeka u duljini 90 m i širini 1,63 m, drugog i trećeg u duljini 193 m i širini 1,59 m te trećeg i četvrtog kolosijeka u duljini 95 m i širini 1,64 m [12].

Uz to, pored prvog kolosijeka smještena je skladišna bočna rampa duljine 11,9 m sa zatvorenim skladištem dimenzija 28 x 9 m i vagonska vaga duljine 16 m i nosivosti 80 t [12].

Kolodvor je osiguran pojednostavljenim relejnim privolnim signalno – sigurnosnim uređajem sa svjetlosnim jednoznačnim ulaznim signalima i svjetlosnim predsignalima te sa ključevnom ovisnošću položaja skretnica, a izlaznih signala nema. Ulaznim signalima i predsignalima rukuje prometnik vlakova, a uređaj je izveden bez izoliranih odsjeka što zahtijeva od prometnika ručno vraćanje signala u redovit položaj. Svim skretnicama u kolodvoru rukuje se na licu mjesta, a osigurane su Robel bravama [12].

Kolodvorsko područje omeđeno je s tri strane ulaznim signalima „A“, „B“ i „C“. Od strane Velikog Trgovišća ulazni signal „A“ smješten je u km 23 + 289 pruge R201, a njegov predsignal „PsA“ u km 22 + 594. Od strane Bedekovčine ulazni signal „B“ nalazi se u km 24 + 533 iste pruge, a njegov predsignal „PsB“ u km 25 + 234, a od strane Svetog Križa Začretja kolodvorsko područje omeđuje ulazni signal „C“ u km 0 + 744 pruge R106 s predsignalom „PsC“ u km 1 + 469 [12].

Na kolodvorskom području nalaze se dva željezničko – cestovna prijelaza, jedan u km 23 + 637 osiguran svjetlosnim, zvučnim signalima i polubranikom, te drugi prijelaz u km 24 + 221 pruge R201 (tj. 0 + 366 pruge Zabok – Đurmanec) osiguran svjetlosnim i zvučnim signalima [12].

Rasputnica Hum Lug nalazi se u km 25 + 925 te je zaštićena trima svjetlosnim zaštitnim signalima. Zaštitni signal „A“ nalazi se u km 25 + 525, a njegov predsignal „PsA“ u km 24 + 825 pruge R201, „B“ u km 26 + 436 i predsignal „PsB“ u km 27 + 136 iste pruge, a zaštitni signal „C“ u km 2 + 400 na pruzi Zabok – Gornja Stubica bez predsignala [12].

2.2. Regionalna pruga Zabok – Đurmanec – državna granica

Regionalna željeznička pruga R106 Zabok – Krapina – Đurmanec – državna granica odvaja se u kolodvoru Zabok od regionalne pruge R201 Zaprešić – Čakovec. Prva dionica pruge od kolodvora Zabok do kolodvora Krapina puštena je u promet 4. rujna 1886. godine, a druga dionica od kolodvora Krapina preko kolodvora Đurmanec do granice sa Slovenijom 1930. godine [5]. Pruga duljine 27 km je jednokolosiječna neelektrificirana i namijenjena mješovitom prometu s najvećim dozvoljenim osovinskim pritiskom od 160 kN [12]. Veći grad na pruzi je Krapina koja je sjedište Krapinsko – zagorske županije i važan obrazovano – kulturni centar. Službena mjesta na pruzi su kolodvori Sveti Križ Začretje, Krapina i Đurmanec te stajališta Štrucljevo, Dukovec, Velika Ves, Pristava Krapinska, Doliće, Žutnica i Hromec.

Tehničko stanje gornjeg i donjeg ustroja pruge te signalno – sigurnosnih uređaja na dionici Zabok – Đurmanec nije zadovoljavajuće, a i nakon provedenih remontnih radova prije par godina u svrhu ponovne uspostave prometa preko Đurmanca do slovenske granice te podizanja brzine na 60 km/h, na dijelovima pružne dionice između kolodvora Đurmanec i stajališta Hromec brzina je ograničena na samo 20 km/h [13,14].

Kao što je spomenuto u potpoglavlju 2.1., ova pruga dio je bivšeg A ogranka X. paneuropskog željezničkog koridora, čija je glavna karakteristika ostvarivanje veze između središnje i jugoistočne Europe. Međutim, taj njezin potencijal i uloga do danas nisu adekvatno iskorišteni i provedeni, iako je njihova realizacija bila predviđena u brojnim strategijama i prostornim planovima. Za očekivati je da bi se ti planovi mogli ponovno razmotriti u skorijoj budućnosti, a pogotovo nakon realizacije planirane modernizacije i elektrifikacije pružne dionice Zaprešić – Zabok.

2.3. Lokalna pruga Zabok – Hum Lug – Gornja Stubica

Željeznička pruga L202 Zabok – Hum Lug – Gornja Stubica lokalna je jednokolosiječna neelektrificirana pruga namijenjena mješovitom prometu. U promet je puštena 19. studenog 1916. godine te je posljednja hrvatska vicinalna pruga jer su raspadom Austro – Ugarske Monarhije krajem I. svjetskoga rata sve vicinalne pruge u Hrvatskoj bile podržavljene [5]. Službena mjesta na pruzi su stajališta Hum Lug, Oroslavje, Stubičke Toplice i Donja Stubica te kolodvor Gornja Stubica.

Ova pruga duga je 12,9 km, a nakon sanacije gornjeg ustroja rabljenim gradivom krajem 2004. godine na dionici Hum Lug – Gornja Stubica, osposobljena je za brzine vlakova od najviše 60 km/h s ograničenjem od 40 km/h u kolodvorima i tovarištu Oroslavje i najvećom osovinskom težinom od 20 t/osovini [13,14].

3. Izrada simulacijskog modela u programskom alatu *OpenTrack*

Zahvaljujući dosadašnjem napretku informatičke tehnologije i njenoj primjeni u kompleksnom području tehnike i tehnologije prometa razvijeni su brojni računalni alati i paketi koji na temelju poznatih ulaznih parametara i specifičnih zakonitosti omogućavaju rješavanje različitih prometnih situacija i problema. Najčešće su koncipirani u obliku nekoliko različitih modula unutar jednog ili više programskih alata radi pojednostavljenja rada korisnika, a kao rezultat toga nastaju računalni modeli čije osnovne karakteristike i funkcije odgovaraju stvarnim prometnim sustavima. Pritom se mogu sigurno isprobavati potencijalna rješenja mnogih problema bez da se dolazi u kontakt sa stvarnim sustavom i njegovim elementima, što uvelike smanjuje mogućnost pogreške u realnom sustavu i pridonosi uštedi nepotrebnih troškova.

Za potrebe ovoga rada korišten je računalni program namijenjen modeliranju u željezničkom prometnom sustavu *OpenTrack*. On omogućava izradu mikroskopskih računalnih modela različitih vrsta željezničkih sustava na principu pohrane ulaznih podataka, definiranih od strane korisnika, u zasebne baze podataka i njihove obrade u infrastrukturnom modulu, modulu za upravljanje voznim parkom i modulu za izradu voznoga reda. Kao takav, model postaje vjerni duplikat određenog stvarnog željezničkog sustava, njegove infrastrukture i cjelokupne tehnologije rada, te prikazuje međusobni utjecaj i djelovanje svih elemenata vezanih uz željezničku infrastrukturu, vozila i vozne redove u obliku tablica i dijagrama [15]. Korisnik može simulirati vozni red, planirati ga ili pak provjeravati njegovu stabilnost, simulirati izvanredne događaje te situacije koje im prethode ili tek slijede. Isto tako, olakšano mu je planiranje radova na pruzi uz prikaz signalnih sustava, zauzetosti kolosijeka, vremena vožnje, intervala slijeđenja i ostalog.

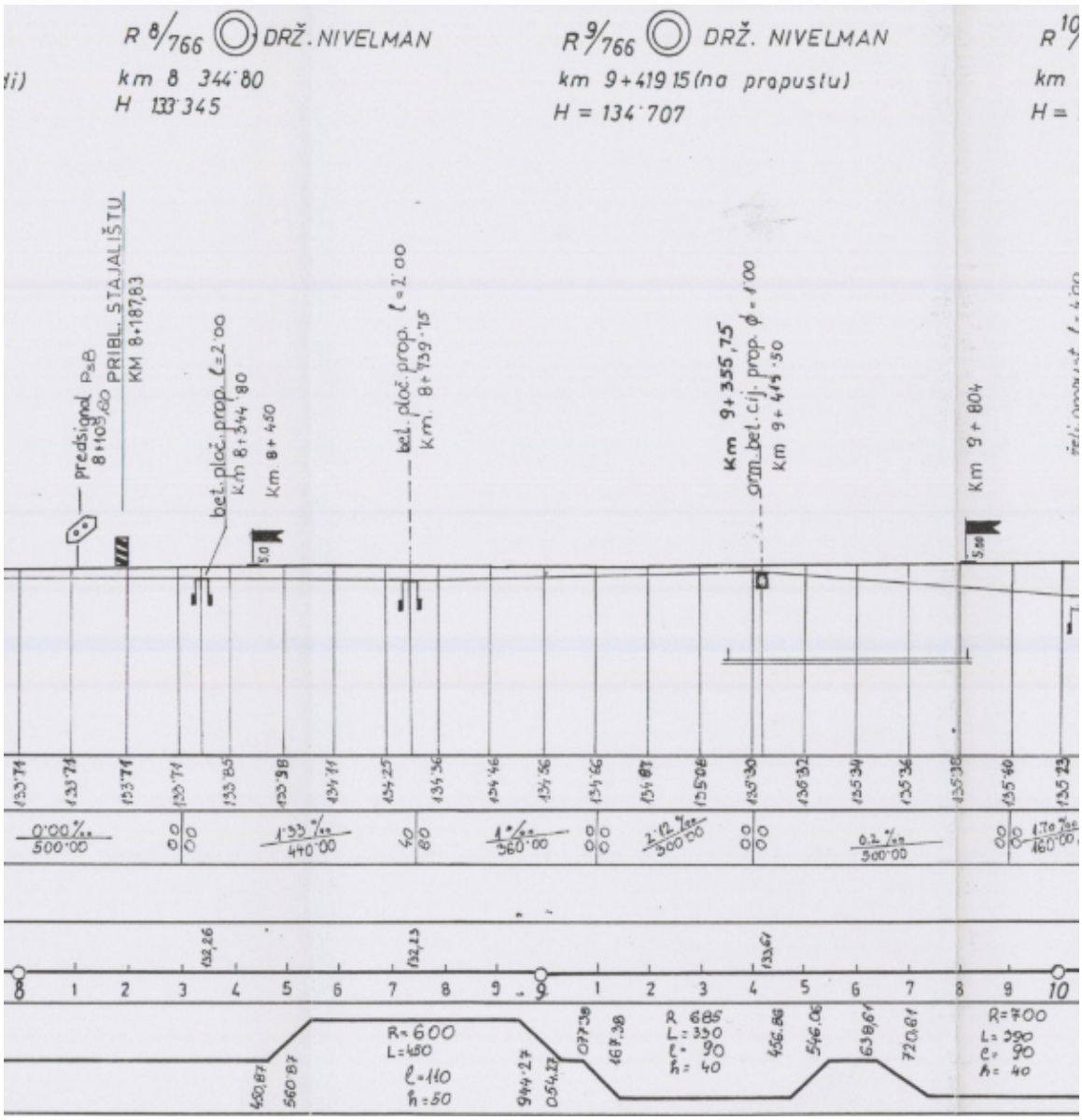
Radi dobivanja što točnijih podataka kod analize dionice Zaprešić – Zabok, prije i nakon njene modernizacije i elektrifikacije, računalnim modelom obuhvaćen je dio mreže pruga u koji su uključene dionice pruge M101 između Zagreb Glavnog kolodvora i kolodvora Zaprešić, potom dio pruge R201 između kolodvora Zaprešić i Bedekovčina[1], regionalna pruga Zabok – Đurmanec (R106) te lokalna pruga Zabok – Gornja Stubica (L202).

Za izradu računalnog modela pruga u simulacijskom programu *OpenTrack* korišteni su podaci iz Uzdužnog profila pruga M101, R201, R106 i L202, Poslovni redovi kolodvora I. i II. dio za sva službena mjesta na prugama koje su obuhvaćene ovim modelom, Izvješće o mreži 2017., Grafikon voznog reda 2016./17.[2] te Elektronske knjižice voznog reda za putnički i teretni promet.

[1] Kao granica regionalne pruge R201 Zaprešić – Čakovec u smjeru Čakovca radi pojednostavljenja simulacijskog modela odabran je prvi sljedeći kolodvor nakon kolodvora Zabok, a to je Bedekovčina.
[2] Kod unosa voznoga reda za vlakove koji prometuju na pružnim dionicama obuhvaćenim računalnim modelom koristio se Grafikon voznog reda 2016./'17. prije prve izmjene.

3.1. Formiranje modela mreže željezničkih pruga

Za modeliranje otvorene pruge u infrastrukturnom modulu po uzoru na neku stvarnu prugu potrebni su detaljni podaci o njenim nagibima (usponi i padovi pruge) i zavojima te položajima glavnih signala (ulazni, izlazni i zaštitni signali) i željezničko – cestovnih prijelaza u razini koji su sadržani u uzdužnom profilu te pruge jer on objedinjuje sve topografske uvjete prema kojima je pruga građena. Na slici 2. prikazan je isječak iz uzdužnog profila pruge R201 u duljini od 2 km s podacima koji služe kao ulazni parametri za definiranje željezničke infrastrukture u programu *OpenTrack*.



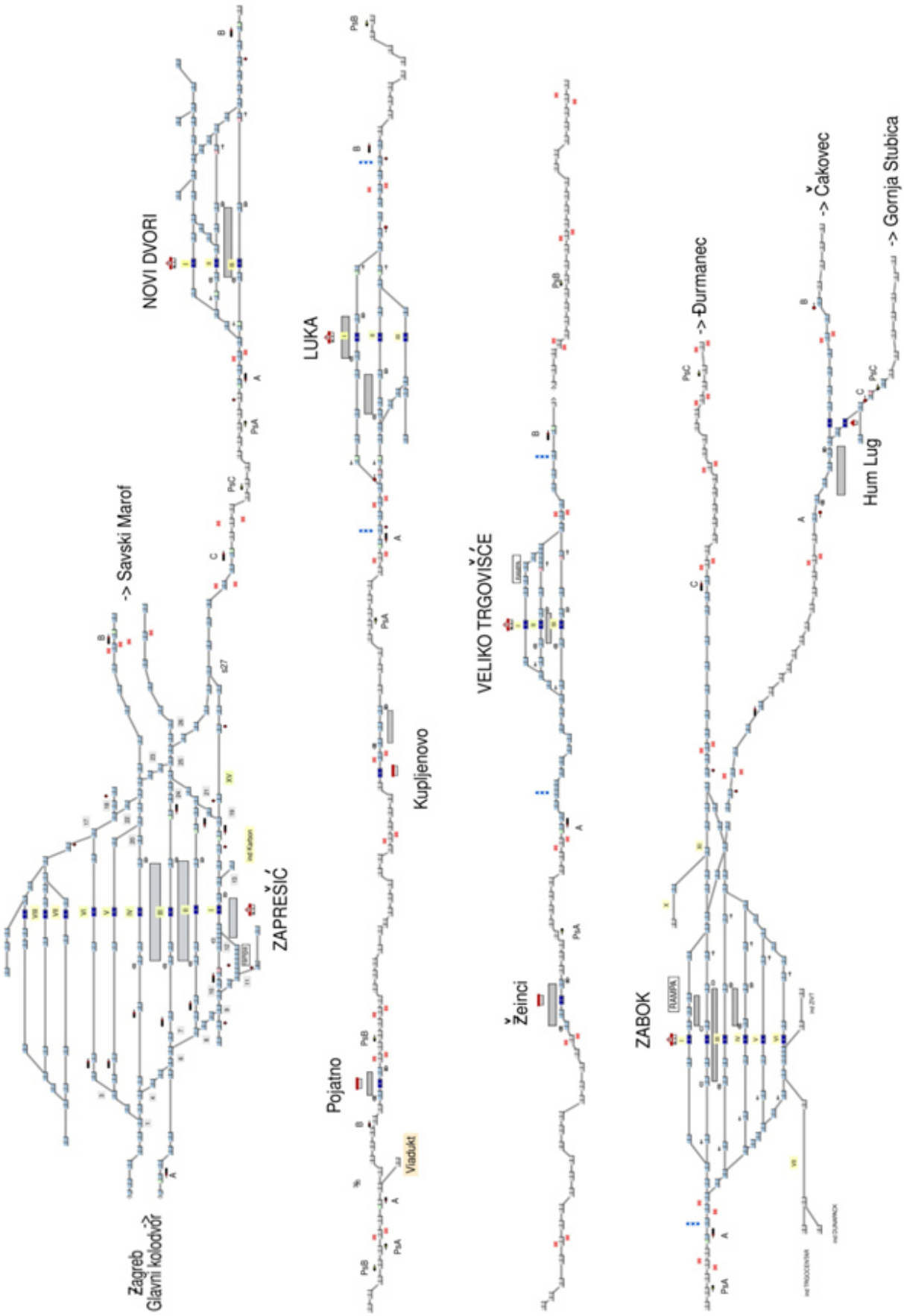
Slika 2. Isječak iz uzdužnog profila pruge R201 od km 8 + 000 do km 10 + 000, [16]

Svako mjesto promjene na stvarnoj pruzi u modelu se predočuje kao tzv. *verteks*, tj. čvor čije je osnovne karakteristike (naziv, kilometarski položaj, status, itd.) moguće uređivati u izborniku *Inspector – Vertex*. Spoj dva susjedna verteksa (eng. *edge*) predstavlja dio pruge istih karakteristika (nagib, polumjer zakrivljenosti, brzina,...) koje je moguće definirati u izborniku *Inspector – Edge* [15].

Otvorena pruga omeđena je kolodvorskim područjima dva susjedna kolodvora. Kolodvorsko područje nekog kolodvora definirana se ulaznim signalima ili prvim ulaznim skretnicama sa svake strane kolodvora [17]. Ono u modelu obuhvaća prihvatnu zgradu, glavne signale, kolosijeke, perone, skretnice, međike i signalne oznake mjesta zaustavljanja vlaka. Podaci za određivanje kolodvorskih područja službenih mjesta u modelu preuzeti su iz Poslovnih redova kolodvora I. dio.

Uz ulazne signale koji omogućuju ulaz vlakova u neki kolodvor, kod simulacije kretanja vlakova u ovome programu za njihov izlazak iz istog kolodvora koriste se izlazni signali. Pojedini kolodvori na promatranom dijelu mreže u stvarnosti su osigurani grupnim izlaznim signalima koji vrijede za sve funkcionalne kolodvorske kolosijeke, što znači da ne postoji posebni izlazni signal za svaki kolosijek nekog takvog kolodvora. Da bi se omogućilo pokretanje vlakova s istih kolosijeka u simulaciji prometa vlakova kao i u stvarnosti, u računalni model dodani su virtualni signali na sve kolosijeke takvih kolodvora.

Kako je modeliranjem pruga R106 i L202 te pružnih dionica M101 (od Zagreb Glavnog kolodvora do Zaprešića) i R201 (od Zaprešića do Bedekovčine) dobiven kompleksni model mreže pruga u računalnom alatu *OpenTrack*, na slici 3. prikazan je samo onaj dio modela koji obuhvaća dionicu Zaprešić – Zabok.



Slika 3. Prikaz modela mreže izrađenog u programu *OpenTrack*

3.2. Formiranje voznih putova vlakova

Po završetku izrade kompletne željezničke infrastrukture, sljedeći korak u modeliranju je definiranje voznih putova vlaka koji su opisani trima razinama [15]:

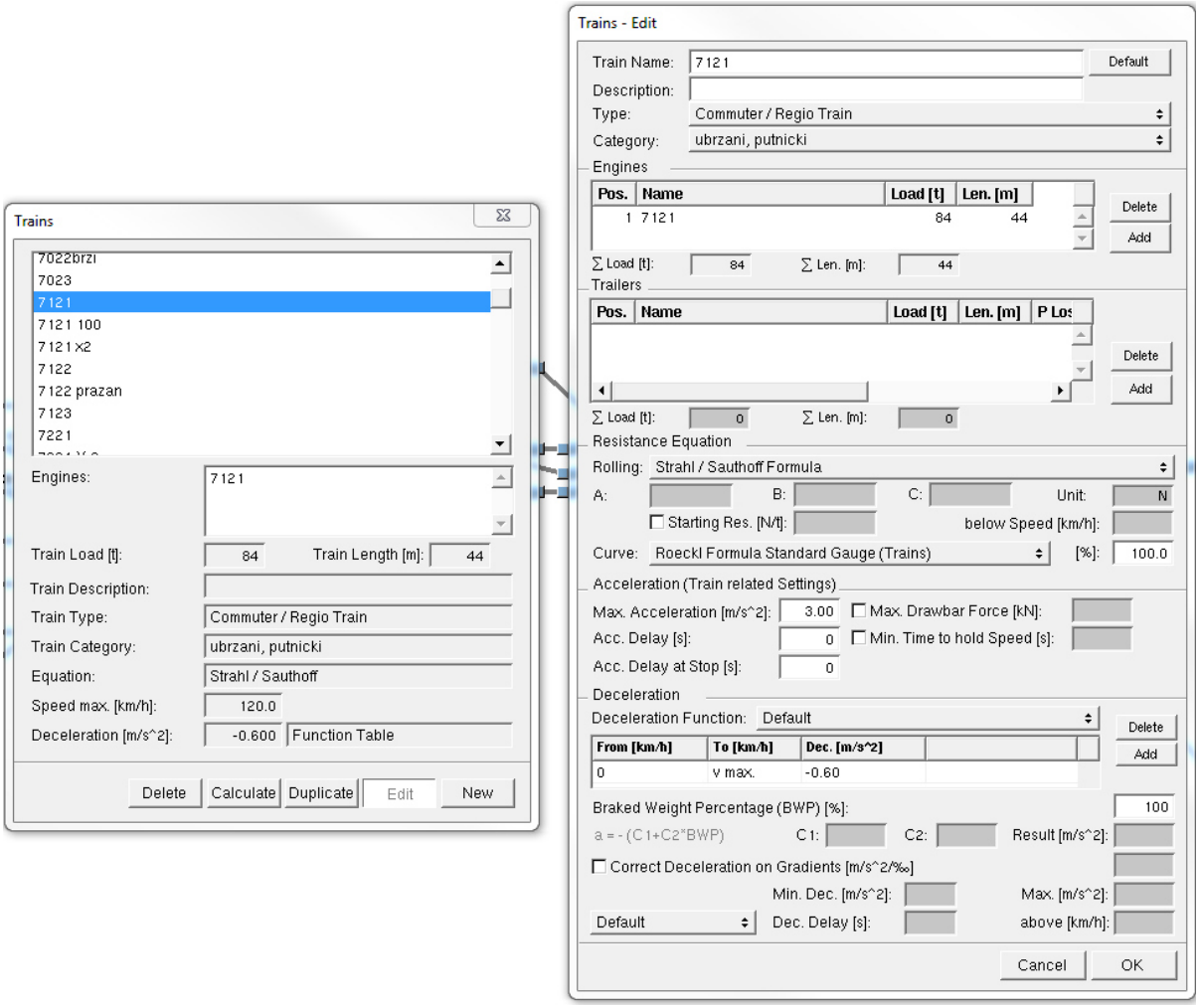
1) put vožnje (eng. *route*) osnovne je razine, a vezan je uz glavni signal od kojeg započinje vožnja te može sadržavati predviđenu sigurnosnu rezervu za zaustavljanje vlaka ako se on ne zaustavi na vrijeme kod izlaznog signala (eng. *overlap*). Sve vezano uz put vožnje uređuje se u izborniku *Routes*.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

3.3. Formiranje vučnih vozila i baze novih vlakova

Nakon prethodno opisanog koraka može se pristupiti izradi vučnih vozila. Željezničke lokomotive i motorne garniture (eng. *engines*) nalaze se u posebnoj bazi podataka nazvanoj depo (eng. *depot*) u koju se može dodati neograničeno puno modela vučnih vozila unosom podataka koji opisuju njihove glavne značajke poput naziva vučnog vozila, njegove mase i duljine, maksimalne brzine, vučnog pasoša, sustava napajanja i dr. [15]. Kod unosa podataka o duljini i masi vozila u slučaju motorne garniture misli se na ukupnu masu i duljinu garniture.

Za kreiranje različitih kompozicija vlakova koristi se izbornik *Trains.* Vlak može biti sastavljen od jednog ili više vučnih vozila i određenog broja vagona ili pak jedne ili više motornih garnitura. Osim imena, tipa i kategorije vlaka, unose se podaci o vrsti vučnog vozila, eventualno broju pridruženih vagona s podacima o masi, duljini, maksimalnoj brzini, potrošnji energije..., formule za izračun otpora kretanja vlaka te podaci vezani uz sustave ubrzanja i kočenja. Ako je potrebno, svaki sastav vlaka je moguće naknadno promijeniti opcijom *Edit* [15].

Na slici 4. može se vidjeti da označeni sastav vlaka broj 7121 u izborniku *Trains* čini dvodijelni dizelmotorni vlak, tzv. makoza, ukupne težine 84 t i duljine 44 m. To je regionalni putnički vlak s maksimalnom brzinom vožnje od 120 km/h.



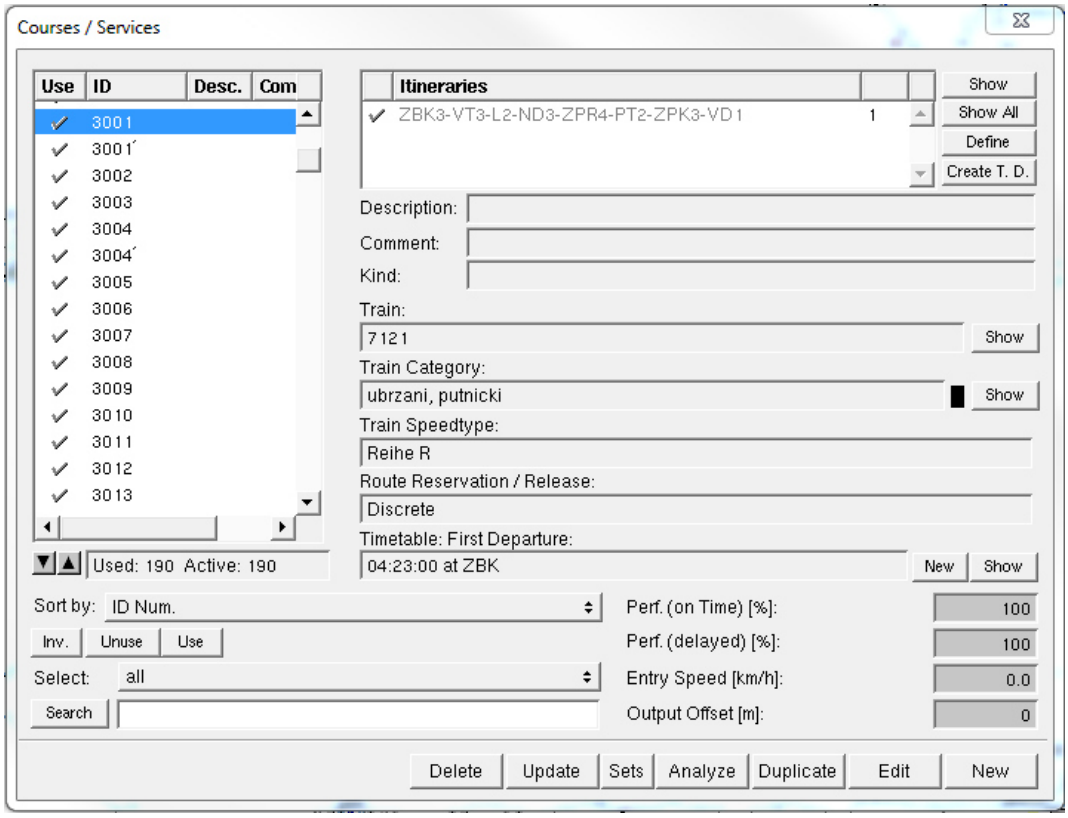
Slika 4. Izgled izbornika *Tains* i prozora *Edit* za uređivanje sastava vlakova

Tijekom simulacije program u ovisnosti o kategoriji vlaka, koja se određuje u izborniku *Train Category*, uvijek daje prioritet vlaku višeg ranga kod zauzimanja elemenata infrastrukture, ako dolazi do poklapanja s vlakom nižeg ranga. Radi lakšeg raspoznavanja kategorija vlakova pri izradi voznog reda, ubrzani i putnički vlakovi u grafikonu obilježeni su crnom bojom, brzi vlakovi crvenom, a teretni vlakovi plavom bojom.

3.4. Formiranje trasa vlakova i voznog reda

U izborniku *Courses/Services,* prikazanom na slici 5., sadržani su svi sastavi vlakova koji su kreirani u simulacijskom modelu. Ovdje se definira jedinstveni broj ili oznaka trase vlaka, sastav i kategorija vlaka, odabire jedan ili više itinerara po kojima će odabrani sastav vlaka voziti te unose pripadajuća vremena dolaska i odlaska vlakova u/iz pojedinih službenih mjesta. Moguće je i neki vlak isključiti iz simulacije

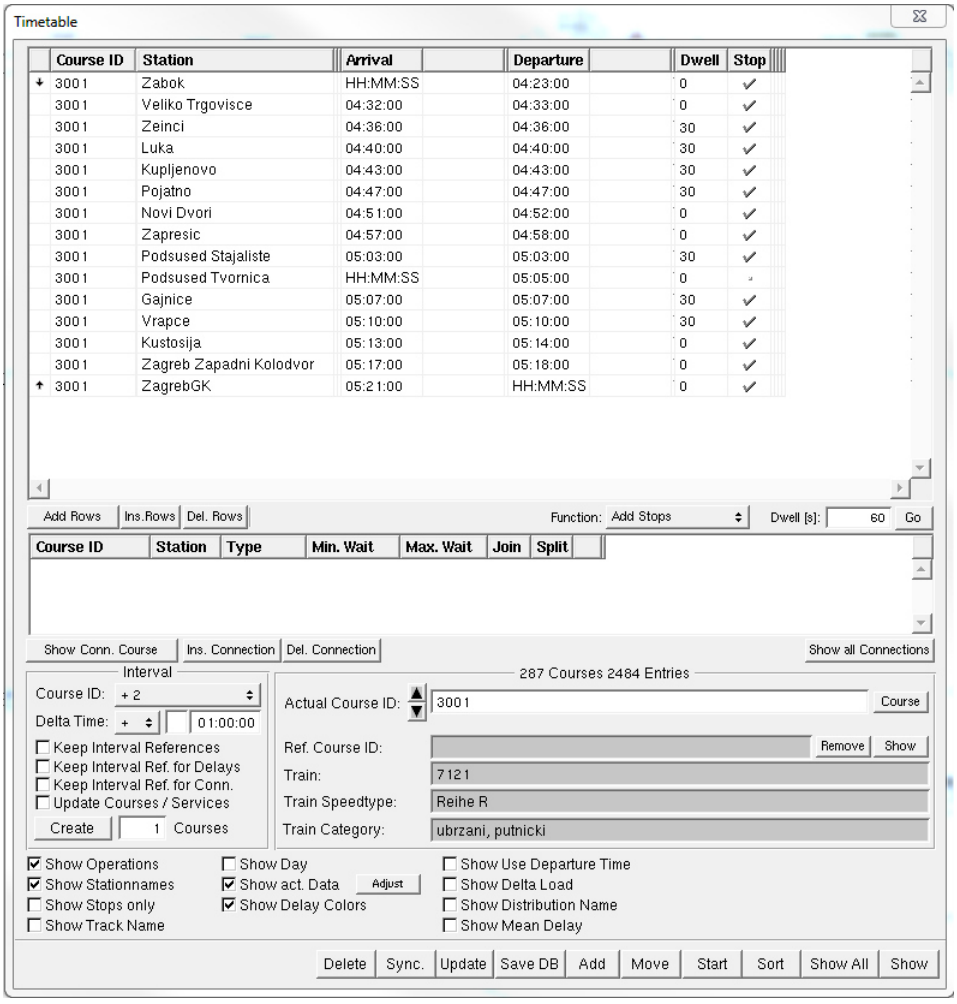
dvostrukim klikom na kvačicu pored njegova broja ili oznake trase. Za naknadno uređivanje pojedinih parametara određene trase koristi se opcija *Edit* [15]. Kod nekih vlakova dolazi do promjene sastava u pojedinim kolodvorima na mreži (u modelu je to najčešće u kolodvoru Zabok) pa su za prikaz takvih vlakova kreirane dvije trase s istim brojem. Prva trasa obuhvaća jedan sastav nekog vlaka s itinerarom i voznim redom od predviđenog početnog kolodvora do kolodvora promjene, a druga izmijenjeni sastav vlaka s novim itinerarom i voznim redom od kolodvora promjene do predviđenog krajnjeg kolodvora u modelu. U ovom slučaju kreirane su dvije trase pod istim brojem, 3001 i 3001', za vlak koji prometuje na relaciji Čakovec – Zagreb Glavni kolodvor i pritom u Zaboku mijenja svoj sastav. Trasom 3001' prometuje vlak sastavljen od dva dizel motorna vlaka serije HŽ 7121, i to od početnog kolodvora u modelu (Bedekovčina) do kolodvora promjene, a trasom 3001, od kolodvora Zabok do Glavnog kolodvora, nastavlja prometovati jedan dizel motorni vlak iste serije.



Slika 5. Izbornik *Courses/Services* za uređivanje trasa vlakova

Vozni red uređuje se u izborniku *Timetable*. Ovdje se posebno za svaku trasu vlaka, prema Voznom redu za 2016./2017. godinu, upisuju pripadajuća vremena polazaka i odlazaka vlakova iz/u pojedinih službenih mjesta, minimalno vrijeme zadržavanja vlaka u nekom kolodvoru/stajalištu te moguća povezanost nekih vlakova. Slika 6. prikazuje izbornik za uređivanje voznog reda na primjeru iste trase 3001, gdje je vidljivo da putnički vlak, sastavljen od dizelmotorne garniture serije

7121, polazi iz kolodvora Zabok u 4:23 h, te se, do odredišnog kolodvora Zagreb Glavni kolodvor u koji stiže u 5:21 h, zaustavlja u svim službenim mjestima osim u kolodvoru Podsused Tvornica. Ako je vrijeme dolaska i polaska za pojedino stajalište jednako, definirano je minimalno zadržavanje od 30 s kako bi se omogućila izmjena putnika.



Slika 6. Izbornik *Timetable* za uređivanje voznog reda trase 3001

Prilikom svake simulacije u izborniku *Timetable* moguće je uspoređivati stvarno vrijeme putovanja s planiranim vremenom dolaska vlaka na stajalište ili u kolodvor prema voznom redu te vidjeti određena odstupanja koja se ističu po bojama: zelenom bojom označena su vremena ranijeg dolaska vlaka u odnosu na planirani prema voznom redu, žutom bojom kašnjenja do 60 s u odnosu na stvarni vozni red te crvenom bojom kašnjenja veća od 60 s.[3]

[3] Vremenske granice pojedine kategorije odstupanja moguće je proizvoljno podesiti u izborniku *Train Category*.

4. Analiza voznog parka i postojeće organizacije prometa pomoću simulacijskog modela

Nakon provedbe svih prethodno opisanih koraka pristupa se simuliranju vožnje unesenih vlakova u izborniku *Simulation*. Ovdje je moguće regulirati tijek simulacije, odrediti vremenski interval početka i završetka izvođenja simulacije[4], odabrati brzinu izvođenja simulacije, pratiti različite parametre, uključiti/isključiti prikaz vlaka na mreži tijekom simulacije i pripadajuće podatke, npr. broj vlaka, vrijeme kašnjenja, veličinu prikaza, prikaz trenutnog vremena odvijanja simulacije, popratnih poruka koje opisuju kretanje vlakova, itd.

Rezultat simulacije kretanja pojedinih sastava vlakova na računalnom modelu mreže je grafikon voznog reda za određeni vremenski interval. Grafikon voznog reda neke pruge sadrži prostornu os sa svim službenim mjestima na toj pruzi, vremensku os s definiranim vremenskim intervalom za koji taj grafikon vrijedi te trase vlakova koji njome prometuju. Osim grafikona voznoga reda, *OpenTrack* pruža mogućnost izrade dijagrama i grafikona kretanja putničkih i teretnih vlakova te njihove potrošnje energije. Temeljem njih moguće je kvalitetno analizirati performanse pojedinih sastava vlakova u ovisnosti o dionicama na kojima oni prometuju.

4.1. Postojeće stanje voznog parka

HŽ Putnički prijevoz jedini je operater koji pruža uslugu prijevoza putnika u Hrvatskoj, a zakonodavnim prijedlozima tzv. „četvrtog željezničkog paketa“ definirano je da će tako ostati barem do prosinca 2019. godine. Nakon toga će se stranim prijevoznicima omogućiti pristup ugovorima o pružanju javnih usluga na domaćem tržištu radi poboljšanja kvalitete i učinkovitosti nacionalnih usluga prijevoza putnika kao preduvjeta stvaranju jedinstvenog europskog željezničkog prostora [18]. U takvim okolnostima nacionalni prijevoznici mogu izgubiti određeni dio tržišta, ako nisu konkurentni jer će isti preuzeti neki strani prijevoznik, ili ga pak osvojiti u nekoj drugoj zemlji članici Europske unije. Dakle, uspješnost domaćeg prijevoznika na vlastitom i stranom tržištu prijevoza putnika bitno ovisi o kvaliteti njegove cjelokupne ponude.

Ograničavajući čimbenik postojeće prijevozne ponude domaćeg prijevoznika predstavlja još uvijek veliki udio zastarjelog voznog parka s prosječnom starošću iznad 30 godina. Njegovo održavanje i nabava novih rezervnih dijelova iziskuju velika novčana sredstva pa kod izostanka istih dolazi do kvarova vučnih sredstava (učestaliji kvarovi u zimskom razdoblju) [2,6]. Takva pogonska nepouzdanost direktno utječe na stabilnost planiranog voznog reda jer se javljaju odstupanja od vremena vožnji vlakova predviđenih voznim redom. Osim toga, posljedica

[4] Broj 0 uz polje vremena završetka simulacije odnosi se na onaj dan u kojem je definirano i vrijeme početka simulacije, dok broj 1 označava sljedeći dan.

zastarjelosti vozila je premali prijevozni kapacitet pojedinih vozila i čitavog voznog parka, koji ne udovoljavaju realnim potrebama korisnika u gradsko – prigradskom i regionalnom prijevozu već kod „redovitog“ povećanja prijevozne potrebe (vršna opterećenja, vikendi, blagdani, praznici, ljetna sezona, itd.), a zasigurno neće ni u uvjetima budućeg povećanja obujma prijevoza.

Osviješten posljedicama koje nosi liberalizacija tržišta, HŽ Putnički prijevoz detektirao je vlastite slabosti i pristupio reorganizaciji prijevoza i osuvremenjivanju vlastite usluge, stavljanjem želja i potreba korisnika na prvo mjesto. Kvalitetnijoj usluzi zasigurno pridonosi novi informatički sustav za prodaju i rezervaciju on-line karata u unutarnjem i međunarodnom prijevozu, a u sklopu programa restrukturiranja predviđena je promjena strukture željezničkih vozila i nabava novih motornih vlakova. Budući da provođenje planiranih aktivnosti zahtijeva ogromna financijska sredstva, ali i vrijeme, nastoji se odgoditi rok početka liberalizacije, barem dok se domaći prijevoznik adekvatno ne pripremi za tržišnu utakmicu [19].

Do isporuke svih ugovorenih vlakova, u gradskom i prigradskom prijevozu grada Zagreba, osnovu voznog parka čine stari elektromotorni vlakovi (EMV) serije 6111 te deset novih EMV serije 6112 i podserije 1xx. Za promet vlakova na pruzi R201 i njenim pobočnim prugama, koje nisu elektrificirane, koriste se konvencionalne garniture, s dizelskim lokomotivama serije 2044 i klasičnim putničkim vagonima za regionalni prijevoz, stari jednodijelni dizelmotorni vlakovi (DMV) serije 7122 i dvodijelni DMV serije 7121, te dva nova regionalna trodijelna DMV serije 7022 i 7023 [2,20].

U nastavku slijedi analiza grafikona voznog reda za period od jednog radnog dana te grafikona ovisnosti brzine vožnje o prijeđenom putu i pritom utrošene energije za različite sastave vlakova na dionicama Zagreb Glavni kolodvor (u nastavku Zagreb GK) – Bedekovčina, Zabok – Đurmanec i Zabok – Gornja Stubica izrađenih u *OpenTracku*. Na grafikonu voznog reda crvenom bojom označene su trase brzih vlakova, crnom bojom ubrzanih i putničkih, a plavom bojom teretnih.

4.2. Promet vlakova na dionici Zagreb GK – Bedekovčina

Vozni red 2016./17. relativno je dobro usklađen sa svakodnevnim potrebama lokalnog stanovništva koje najviše putuje na posao ili u škole u veće gradove, međutim, direktan putnički promet na relaciji Zagreb – Varaždin slabog je intenziteta, što zbog manjeg broja migranata između ta dva regionalna središta, što zbog konkurentnosti cestovnog prometa u pogledu vremena i troškova putovanja. Prema trenutnoj organizaciji prometa vlakova povezivanje središnjeg i sjevernog dijela Hrvatske moguće je na dva načina, od Zagreba preko Zaprešića po regionalnoj pruzi do Varaždina, s tim da neki vlakovi voze izravno i do Kotoribe, ili po magistralnoj pruzi od Zagreba preko Koprivnice do Varaždina.

Radnim danom iz smjera Zagreba prema Varaždinu preko Zaprešića i Zaboka prometuje jedanaest putničkih vlakova, jedan brzi i jedan ubrzani, a još jedan putnički vlak prema Varaždinu pokreće se iz Zaboka te još dva iz Konjščine. Preko Koprivnice prometuje samo jedan brzi vlak i njime se postiže najkraće vrijeme putovanja na promatranom dijelu od svega 2 h i 1 min, što je za 12 min brže nego putovanje brzim vlakom drugim pravcem. Najkraće vrijeme putovanja putničkim vlakom na čitavoj relaciji iznosi 2 h i 29 min, a najdulje 2 h i 49 min. Vikendom je broj vlakova manji, pa tako subotom od Zagreba do Varaždina vozi devet vlakova,a nedjeljom njih šest [21].

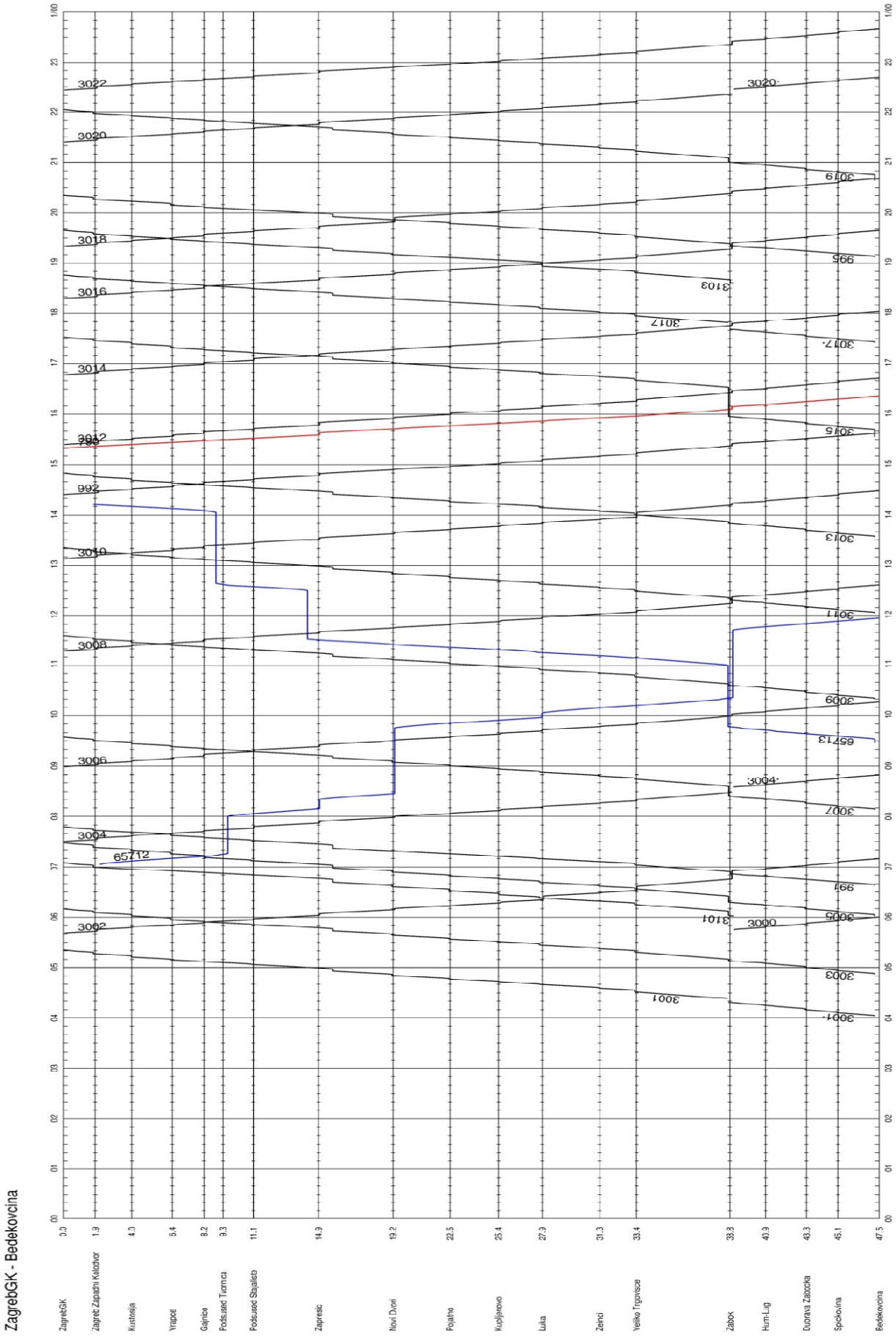
U suprotnom smjeru, od Varaždina do Zagreba, preko Zaboka i Zaprešića prometuje deset putničkih vlakova i jedan ubrzani vlak, a još jedan putnički vlak prema Zagrebu pokreće se iz Budinščine te dodatna dva putnička vlaka koja od Zaboka nastavljaju iz smjera Đurmanca. Od Varaždina preko Koprivnice vozi jedan brzi vlak, s još kraćim vremenom putovanja nego kod istog pravca u suprotnom smjeru od 1 h i 53 min. Najkraće vrijeme putovanja putničkim vlakom na toj relaciji iznosi 2 h i 24 min, a najdulje 3 h i 17 min. Isto tako, vikendom od Varaždina do Zagreba vozi manji broj vlakova, deset njih subotom i pet nedjeljom [21, 22].

Radnim danom i subotom između kolodvora Čakovec i Varaždin voze dva putnička vlaka. U suprotnom smjeru radnim danom ima jedan brzi i pet putničkih vlakova, a subotom tri putnička. Nedjeljom u oba smjera vozi po jedan putnički vlak, a vrijeme putovanja svim vlakovima iznosi 10 min. U obzir nisu uzeti vlakovi s pruga Kotoriba – Varaždin, Čakovec – Varaždin i Varaždin – Koprivnica [21].

Teretni prijevoz relativno je mali i uglavnom se svodi na dva teretna vlaka radnim danom za posluživanje regionalnih proizvodnih kapaciteta uz prugu, dok tranzitnog teretnog prometa gotovo nema jer je poznato da se veći dio robe iz Zagreba prema Varaždinu i obrnuto otprema preko Koprivnice [23].

Kako je naglasak ovoga rada na pružnoj dionici od Zaprešića do Zaboka, a dnevno na prugama od Savskog Marofa do Dugog Sela vozi oko četiristo prigradskih, regionalnih, daljinskih i međunarodnih putničkih vlakova te teretnih vlakova u unutarnjem i međunarodnom prijevozu, u grafikonu voznog reda dobivenog simulacijom nalaze se samo vlakovi koji voze prugom R201. Time je ostvarena bolja preglednost simuliranog grafikona i olakšana daljnja analiza buduće linije prigradskog prijevoza Zagreb Glavni kolodvor – Zabok.

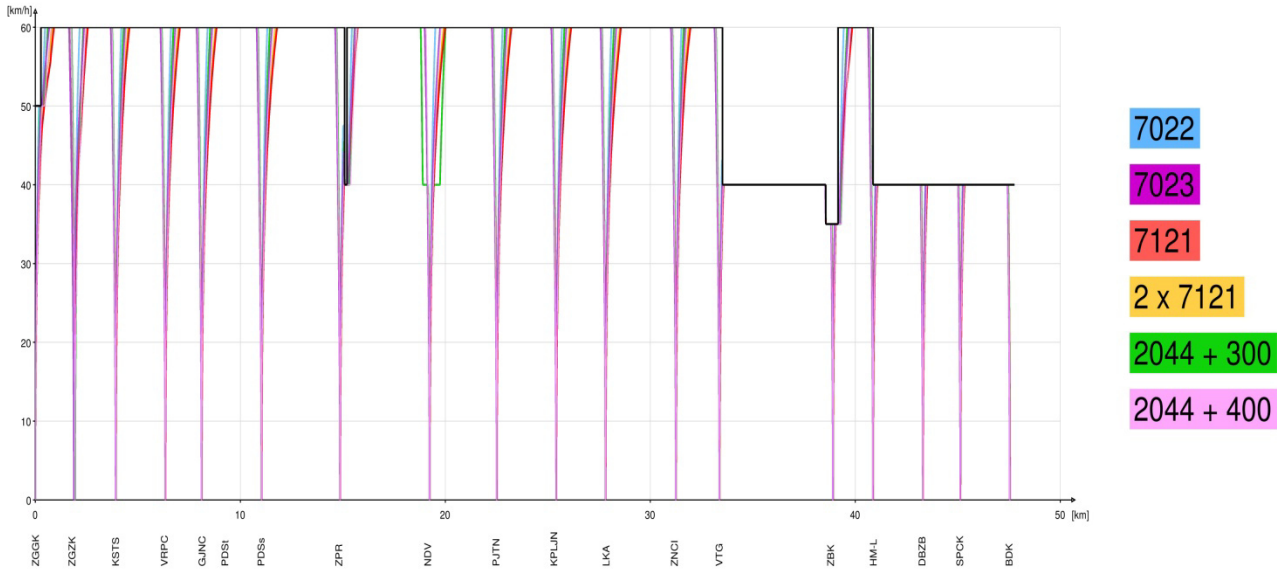
Grafikon voznog reda za dionicu Zagreb Glavni kolodvor – Bedekovčina dobiven simulacijom unesenih vlakova za period od 0 h do 24 h nalazi se na slici 7. Vidljivo je da na spomenutoj dionici od ponoći do 4 h ujutro nema vlakova za prijevoz putnika, što ostavlja dovoljno prostora za uvođenje novih teretnih vlakova u slučaju porasta potražnje za prijevozom roba na ovom području. Najviše putničkih vlakova prometuje između 6 i 8 h ujutro, i to više njih prema Zagrebu, što je povezano s činjenicom da većina stanovništva s ovoga prostora putuje na posao ili u škole u tome smjeru. U popodnevnim satima između 14 i 15 h te navečer od 18 do 20 h je situacija obrnuta.



Slika 7. Grafikon voznog reda za dionicu Zagreb GK – Bedekovčina za period od 24h

Prema Voznom redu za 2016./17. godinu na razmatranoj relaciji najčešće voze klasični sastavi s dizelskom lokomotivom serije HŽ 2044 i četiri ili šest putničkih vagona te stari dizelmotorni vlakovi serije HŽ 7121 i novi DMV serije HŽ 7022 i 7023.

Na grafikonu 1. prikazana je ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu od Zagreb GK do Bedekovčine za šest različitih putničkih vlakova u čijem se sastavu nalaze spomenuta željeznička vozila. Radi lakšeg raspoznavanja linija na grafikonu, svakoj vrsti vozila dodijeljena je određena boja. Vidljivo je da nakon napuštanja kolodvorskog područja Zagreb Glavnog kolodvora, najbrže ubrzanje do maksimalne brzine od 60 km/h na otvorenoj pruzi ima putnički vlak s DMV serije HŽ 7022 (plave boje), potom vlak mase 300 t s lokomotivom serije HŽ 2044 (zelene boje) te regionalni DMV serije HŽ 7023 (ljubičaste boje), a najsporije DMV serije HŽ 7121 (crvene boje), koji se, zanimljivo, najviše koristi u sastavu putničkih vlakova na razmatranoj relaciji. Na drugom dijelu promatrane dionice razlike u izvedbi između pojedinih sastava vlakova su gotovo neprimjetne, budući da nakon kolodvora Veliko Trgovišće dolazi do smanjenja maksimalne brzine na otvorenoj pruzi na 40 km/h, a u kolodvoru Zabok još i niže, osim na kraćem dijelu dionice do stajališta Hum Lug, gdje je ograničenje ponovno 60 km/h.

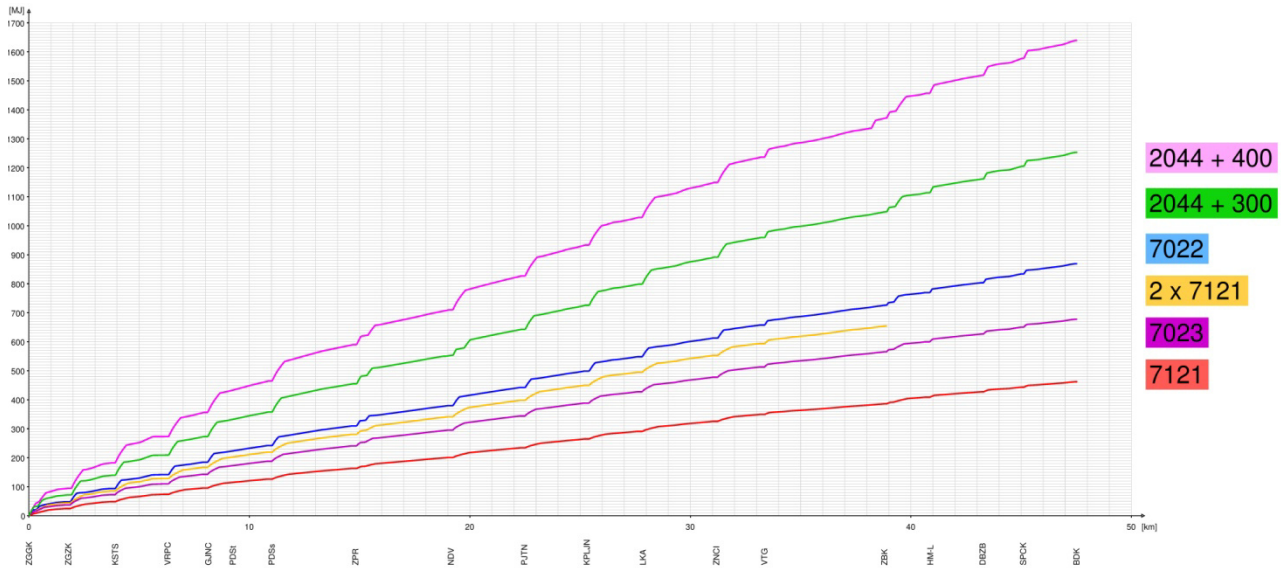


Grafikon 1. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za relaciju Zagreb GK – Bedekovčina

Od ukupno dvadeset i pet službenih mjesta između Zaprešića i Varaždina, ovim je grafikonom obuhvaćeno njih dvanaest na otprilike 37 % ukupne duljine pruge. Kako, zbog nezadovoljavajućeg stanja pružnih građevina i gornjeg ustroja kolosijeka te razine opremljenosti signalno – sigurnosnim uređajima, na većem dijelu te relacije (66 %) prema aktualnom voznom redu najviša dozvoljena brzina pruge ne

prelazi 60 km/h, a putnički vlak s najboljim performansama, prema grafikonu 1., u svom sastavu ima DMV serije HŽ 7022 koji je predviđen za brzine do 160 km/h, jasno je da se on koristi ispod svojih tehničkih mogućnosti [14,21,24].

Na grafikonu 2. može se vidjeti ovisnost potrošnje energije u megadžulima [MJ] o prijeđenom putu između Zagreb GK i kolodvora Bedekovčina za iste putničke vlakove i njihove sastave kao na prethodnom grafikonu. Kod iste prijeđene udaljenosti od 47, 5 km putnički vlak najveće ukupne mase 400 t s lokomotivom serije HŽ 2044 (roze boje), ima otprilike dvostruko veću potrošnju energije za približno jednaki kapacitet putnika u odnosu na dizelmotorne vlakove serije HŽ 7022 i 7023 i dva spojena DMV serije HŽ 7121, te skoro četverostruko veću potrošnju od dizel motorne garniture serije HŽ 7121, s duplo manjim ukupnim brojem mjesta za prijevoz putnika. I 100 t lakši sastav, vlak s lokomotivom serije 2044 (zelene boje), ima dvostruko veću potrošnju energije od DMV serije 7023 i skoro trostruko od DMV serije HŽ 7121. Odnos između utrošenih megadžula za DMV serije 7022 i 7121 je dva naprama jedan.



Grafikon 2. Potrošnja energije putničkih vlakova na razmatranoj dionici

Zaključak je da na analiziranoj relaciji dizel motorni vlakovi imaju manju potrošnju energije od teških vlakova s klasičnim sastavom, što je i općenito jedan od razloga zbog čega ih se planira zamijeniti, međutim, do konačne isporuke svih ugovorenih DMV, s većom pouzdanošću, većim prijevoznim kapacitetom i boljom prilagođenosti modernim zahtjevima društva, izbor optimalnog vozila za ovu dionicu uvjetovan je raspoloživim stanjem voznog parka HŽ Putničkog prijevoza.

4.3. Promet vlakova na dionici Zabok – Đurmanec

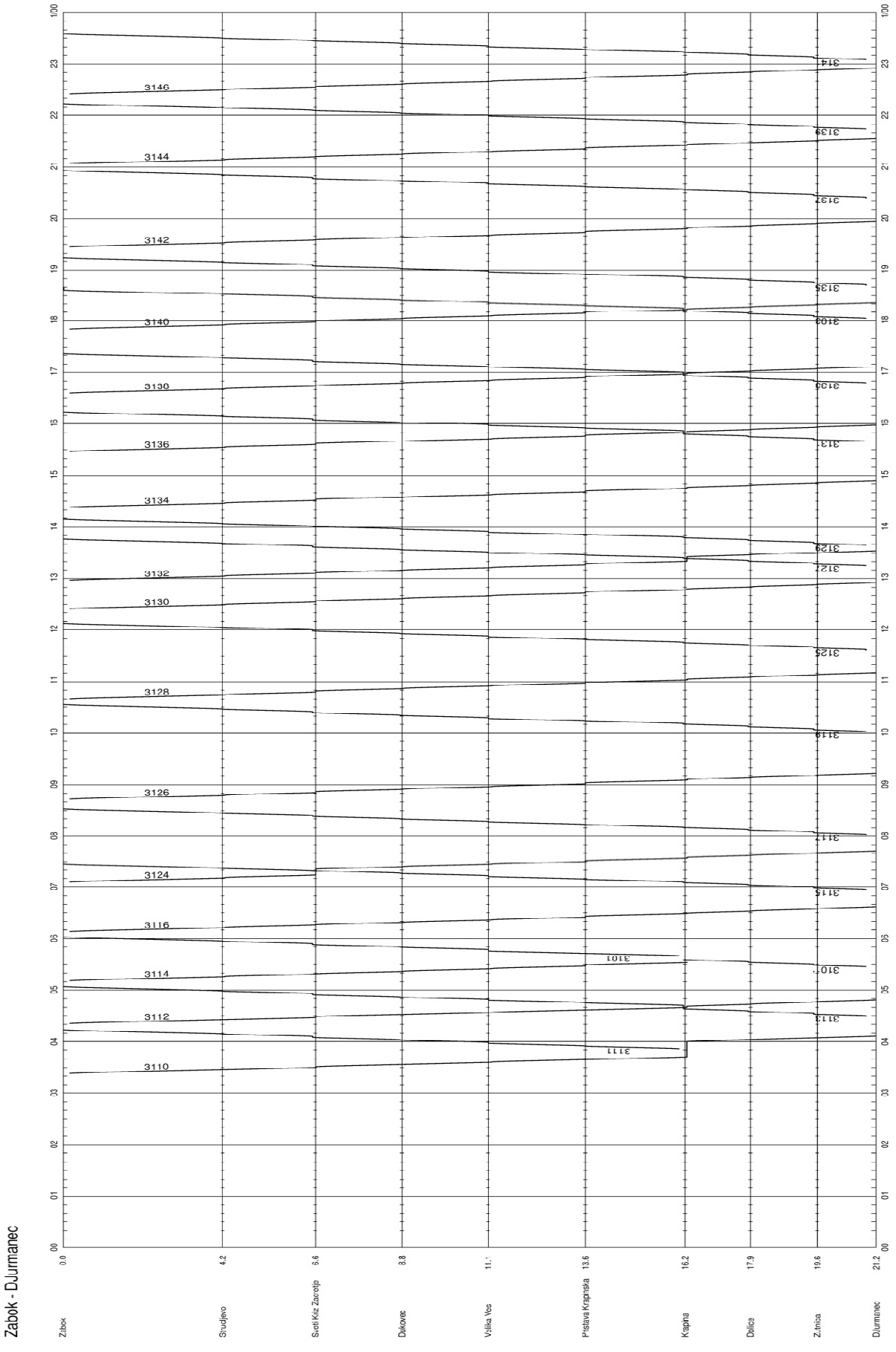
Prema važećem voznom redu u smjeru od Zagreba prema Đurmancu i slovenskoj granici nema direktnih vlakova, nego se putnici prvo od Zagreba do Zaboka voze u vlakovima koji svoje putovanje nastavljaju prema Varaždinu, a potom presjedaju na vlakove koji prometuju u smjeru Đurmanca. Iz smjera Đurmanca dnevno postoje samo dva direktna vlaka do Zagreb Glavnog kolodvora, dok je kod ostalih vlakova potrebno presjedanje putnika u kolodvoru Zabok. Isto tako, na relaciji Đurmanec – Varaždin u oba smjera nema izravnih vlakova pa putnici moraju presjedati u Zaboku. Nažalost, vozni redovi vlakova na ovim relacijama nisu usklađeni, tako da putnici ovisno o dobu dana moraju čekati između 3 min u najboljem slučaju i čak 4 h u najgorem [21].

Dnevno na dionici Zabok – Đurmanec – Hromec prometuje petnaest parova putničkih vlakova, od čega sedam parova putničkih vlakova nastavlja ili započinje prijevoz iz stajališta Hromec, a osim njih dnevno vozi još jedan par putničkih vlakova na relaciji od kolodvora Krapina do kolodvora Zabok i obrnuto. Ovisno o dobu dana, vrijeme putovanja putničkim vlakom od kolodvora Zabok do kolodvora Đurmanec varira između 28 i 44 min, a u suprotnom smjeru, od kolodvora Đurmanec prema kolodvoru Zabok, između 30 i 35 min. Vrijeme putovanja između kolodvora Đurmanec i stajališta Hromec je 7 min. Od kolodvora Đurmanec veza prema Sloveniji ostvaruje se trima parovima putničkih vlakova u vlasništvu Slovenskih željeznica [21].

Subotom između Zaboka i Đurmanca prometuje jedanaest pari vlakova. Nedjeljom ih vozi upola manje, šest putničkih vlakova prema Zaboku i svega pet vlakova iz Zaboka prema Đurmancu [21].

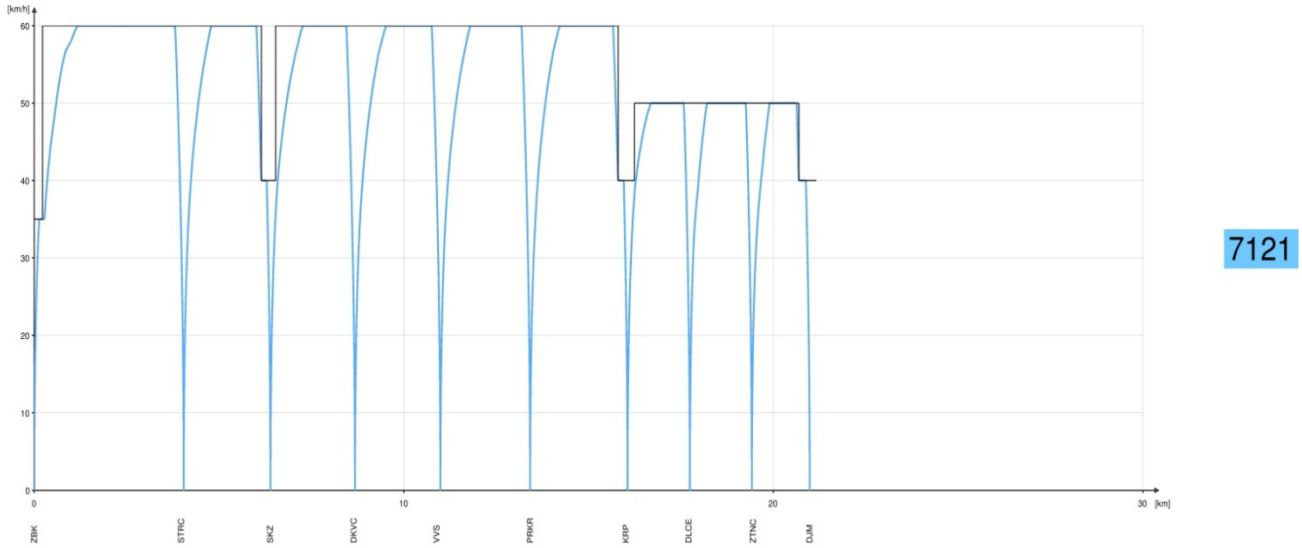
Teretni prijevoz je neznatnih razmjera i odvija se po potrebi, no zbog dobrih geoprometnih predispozicija za očekivati je njegov porast u budućnosti [23].

Grafikon voznog reda dobiven simulacijom za prugu Zabok – Đurmanec u vremenskom intervalu od 0 do 24 h prikazan je na slici 8. Iz njega se uočava da u ranojutarnjim satima do 3 h i 30 min uopće nema prometa vlakova, dok se u ostatku dana izdvajaju tri karakteristična perioda, prvi između 4 i 7 h ujutro, drugi od 12 do 14 h popodne te treći od 15:30 do 19 h poslijepodne, u kojima je promet putničkih vlakova u oba smjera na promatranoj dionici najintenzivniji. Takva podjela je i logična s obzirom na to da se na promatranoj dionici nalaze dva velika obrazovna, kulturna i upravna središta Krapinsko – zagorske županije, Krapina i Zabok.

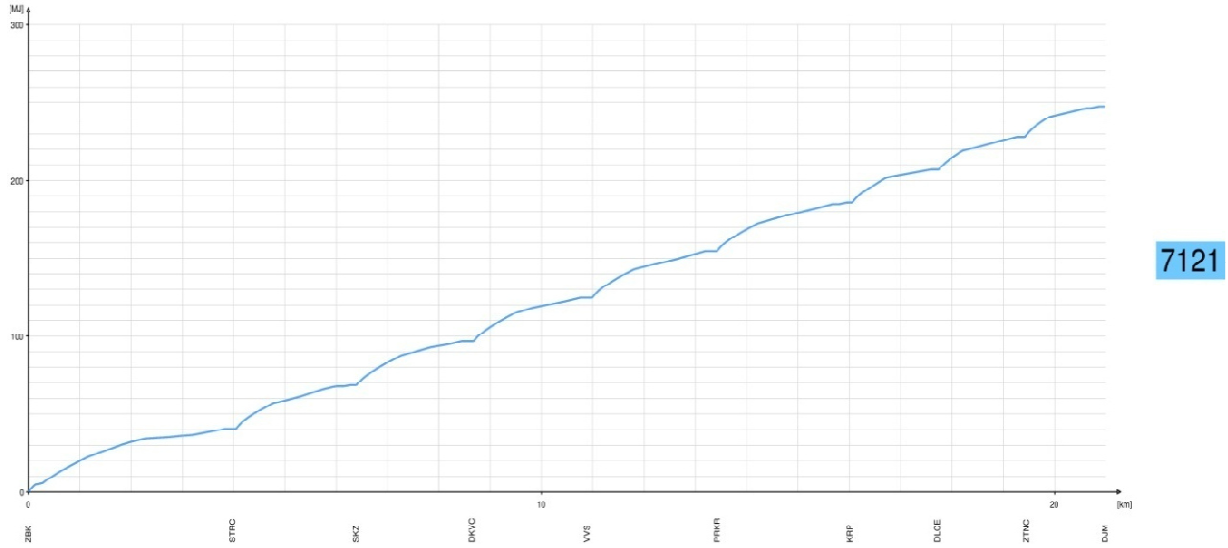


Slika 8. Grafikon voznog reda za prugu Zabok – Đurmanec za period od 24 h

Kako svi putnički vlakovi od kolodvora Zabok do kolodvora Đurmanec u svom sastavu imaju DMV serije HŽ 7121, na grafikonu 3. prikazana je ovisnost brzine vožnje o prijeđenoj udaljenosti za jedan putnički vlak spomenutog sastava. Može se reći da DMV serije HŽ 7121 odgovara zahtjevima ove dionice, obzirom da nakon izlaska iz kolodvora Zabok, u kojem je ograničenje brzine 35 km/h, on na više od pola promatrane dionice optimalno koristi maksimalnu dopuštenu brzinu na otvorenoj pruzi od 60 km/h, zahvaljujući većim razmacima između službenih mjesta na tom dijelu dionice. Isto je i s brzinom od 50 km/h na kraćem dijelu, između kolodvora Krapina i Đurmanec, s bližim razmještajem službenih mjesta. U kolodvorskim područjima kolodvora Sveti Križ Začretje, Krapina i Đurmanec brzina je ograničena na 40 km/h. Za ukupno prijeđenih 21,2 km ove dionice, prema grafikonu 4., spomenuti vlak potroši oko 250 MJ.



Grafikon 3. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za relaciju Zabok – Đurmanec



Grafikon 4. Potrošnja energije za putnički vlak na relaciji Zabok – Đurmanec

4.4. Promet vlakova na dionici Zabok – Gornja Stubica

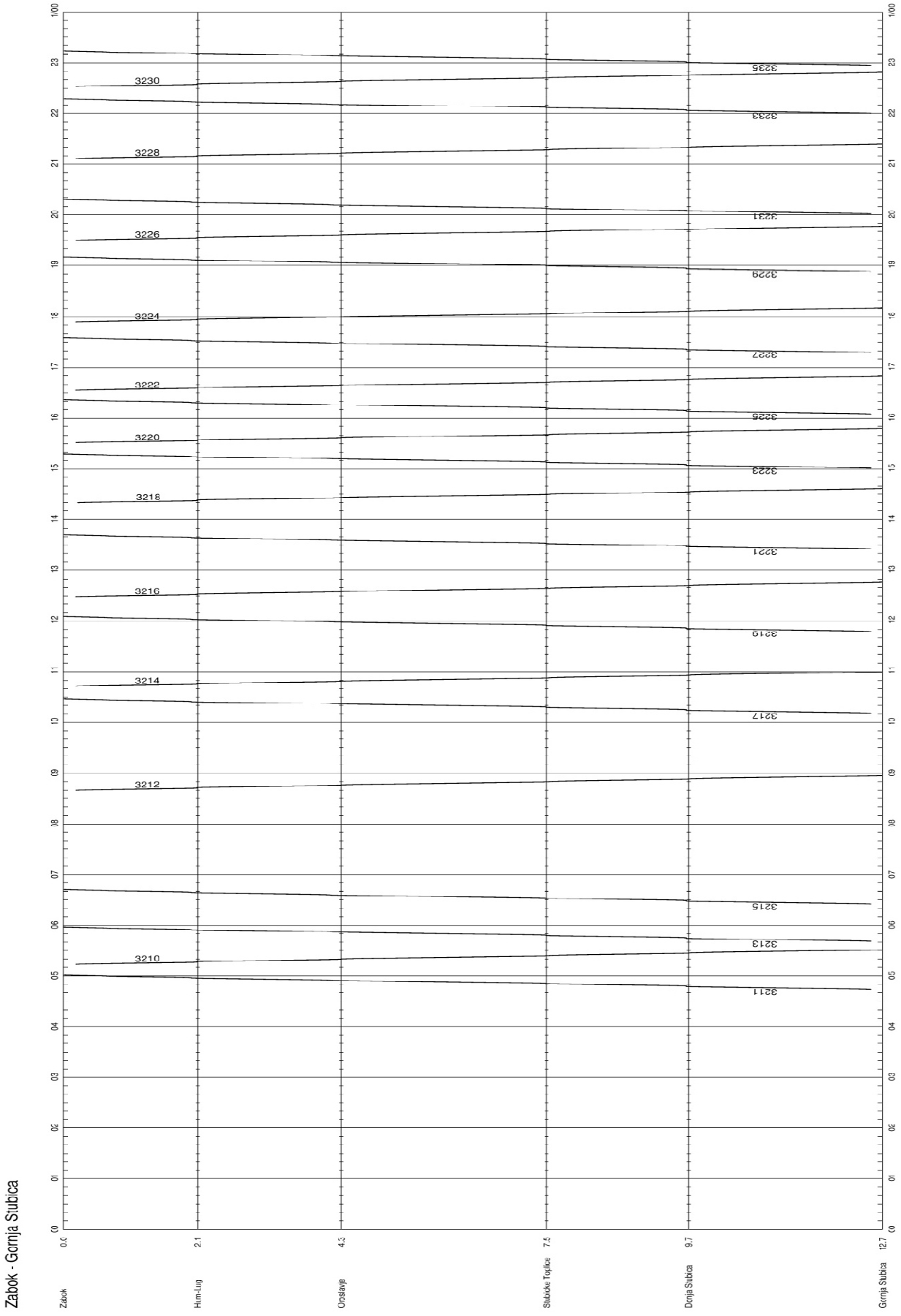
Organizacija prometa vlakova na lokalnoj pruzi Zabok – Gornja Stubica slična je onoj na regionalnoj pruzi prema Đurmancu. U ovom slučaju ne postoji ni jedan direktni vlak od Gornje Stubice prema Zagrebu i obrnuto pa putnici koji putuju u smjeru Zagreba moraju presjedati u kolodvoru Zabok na putničke vlakove koji dolaze iz smjera Varaždina ili direktne putničke vlakove iz Đurmanca. Kako ni na relaciji od Gornje Stubice prema Varaždinu nema izravnih vlakova, presjedanje putnika u Zaboku je također neophodno. Osim u kolodvoru Zabok, putnici mogu presjedati na vlakove koji voze prugom R201, već na stajalištu Hum Lug koje ima funkciju rasputnice za lokalnu prugu prema Gornjoj Stubici, međutim u tom slučaju trebaju paziti na kategoriju vlaka kojim žele nastaviti putovanje[5]. Budući da vozni redovi vlakova na spomenutim relacijama nisu usklađeni, ovisno o dobu dana putnici čekaju između 3 min u najboljem slučaju i čak 4 h u najgorem [21].

Ovom lokalnom prugom prometuju samo putnički vlakovi, i to više njih u smjeru prema Zaboku. Tijekom radnog dana na relaciji Gornja Stubica – Zabok prometuje trinaest putničkih vlakova, a u suprotnom smjeru jedanaest, dok je vrijeme putovanja za oba smjera jednako i iznosi 17 min. Subotom u oba smjera prometuje osam parova putničkih vlakova, a nedjeljom četiri para putničkih vlakova [21].

Teretnog prijevoza gotovo da nema i odvija se po potrebi [23].

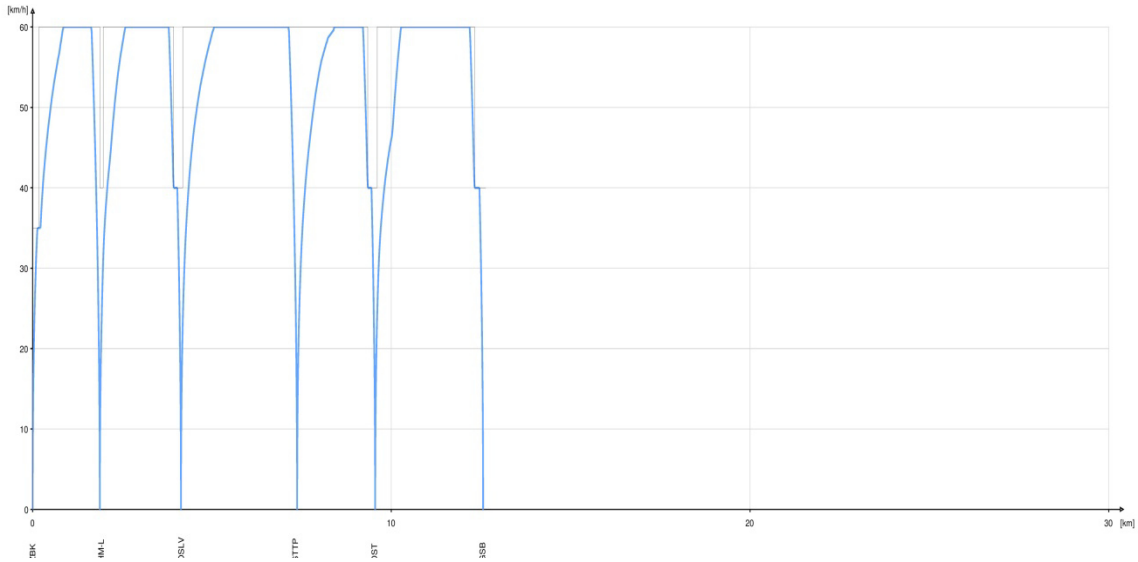
Simulacijom dobiven grafikon voznog reda sa slike 9. sadrži sve putničke vlakove koji prometuju prugom Zabok – Gornja Stubica u vremenskom intervalu od 0 do 24 h. Temeljem njega utvrđeno je da u periodu od 23:30 h do 4:40 h nema prometa putničkih vlakova, a odmah nakon njega slijedi dvosatni interval intenzivnijeg prometa, prvenstveno u smjeru Zaboka. Drugi period s intenzivnijim prometom vlakova na ovoj relaciji je u terminu od 15 do 18 h, kojeg karakterizira jednaki broj vlakova prema Zaboku i prema Gornjoj Stubici.

[5] Brzi i putnički vlakovi na pruzi R201 ne zaustavljaju se u stajalištu Hum Lug.

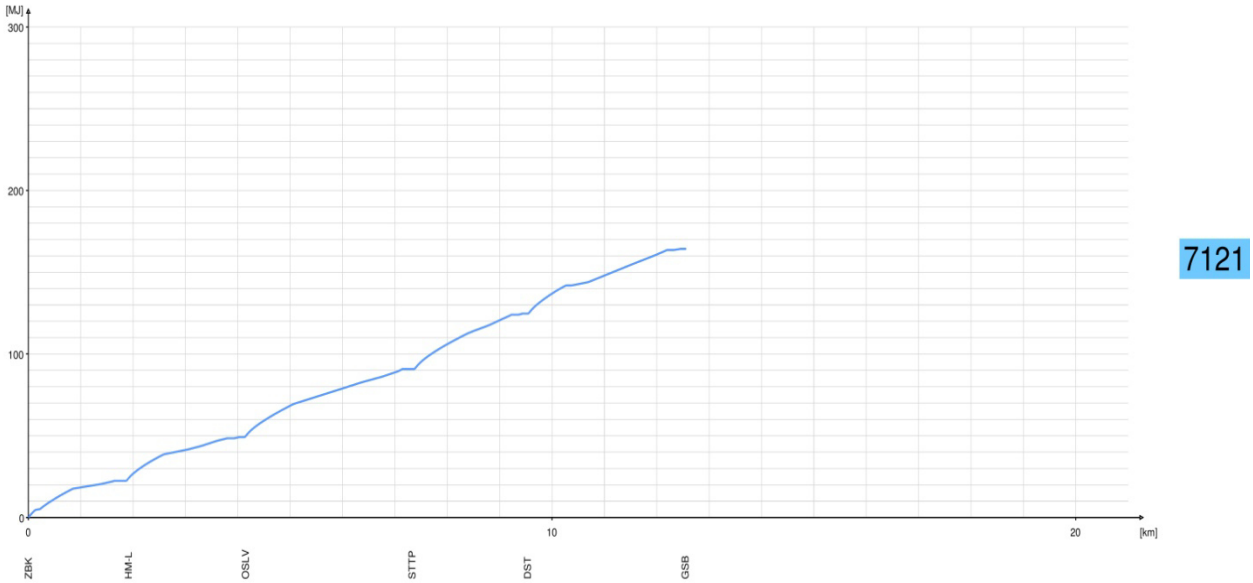


Slika 9. Grafikon voznog reda za prugu Zabok – Gornja Stubica za period od 24 h

Svi putnički vlakovi koji prometuju lokalnom prugom Zabok – Gornja Stubica u svom sastavu imaju DMV serije HŽ 7121. Iz grafikona 5. koji prikazuje ovisnost brzine o prijeđenoj udaljenosti između ta dva kolodvora, vidljivo je da se maksimalna brzina kreće od 35 km/h u kolodvoru Zabok i 40 km/h u stajalištima Hum Lug, Oroslavje i Donja Stubica te kolodvoru Gornja Stubica do 60 km/h na otvorenoj pruzi, te da je upotreba DMV serije HŽ 7121 opravdana s obzirom na to da se radi o kratkoj dionici od 12,7 km na kojoj je prosječna udaljenost između službenih mjesta 2 km. Za prijevoz putnika od početnog do krajnjeg kolodvora na pruzi L106, putnički vlak prema grafikonu 6. utroši oko 165 MJ.



Grafikon 5. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za relaciju Zabok – Gornja Stubica



Grafikon 6. Potrošnja energije za putnički vlak na relaciji Zabok – Gornja Stubica

5. Pregled budućeg rješenja nakon modernizacije

Prema projektnim podacima ustupljenim od HŽ Infrastrukture, svi planirani radovi vezani uz rekonstrukciju i elektrifikaciju pružne dionice od Zaprešića do Zaboka te njeno opremanje novim signalno – sigurnosnim i telekomunikacijskim uređajima, okvirno su podijeljeni u četiri faze unutar 36 mjeseci [25].

Rekonstrukcija ove pružne dionice, za najveću brzinu od 120 km/h izvodit će se u većoj mjeri remontom postojeće pruge, a djelomično izgradnjom potpuno novih kraćih dijelova pruge na mjestima gdje je potrebno ublažiti postojeće lukove. Osim toga, pružna dionica će se osposobiti za promet željezničkih vozila mase od 22,5 t/o i 8,0 t/m (model opterećenja D4) da bi se stvorili uvjeti za povećanje teretnoga prijevoza [7,25].

Kolosiječna konstrukcija na otvorenoj pruzi, glavnim prolaznim i prijamno – otpremnim kolosijecima u kolodvorima sastojat će se od neprekinuto zavarenog kolosijeka s tračnicama tipa UIC 60, elastičnog kolosiječnog pričvrsnog pribora SKL–1, prednapetih armirano – betonskih pragova i zastora od tučenca odgovarajuće kakvoće, dok će na ostalim kolosijecima u kolodvorima biti od tračnica tipa S–49, pričvrsnog pribora tipa SKL–2 te pragova od impregniranog tvrdog drveta. Na svim spojnim točkama između tračnica tipa UIC 60 i S–49 ugradit će se prijelazne tračnice UIC 60 – S–49. Skretnice na glavnim kolosijecima na kolodvorima bit će iz tračnica UIC 60, s minimalnim radijusom skretnice 300 m. Širina ravnika na dijelovima otvorene pruge koji se rekonstruiraju iznosit će najmanje 7,0 m, s dvostranim poprečnim padom nagiba 1:20. Zaštitni sloj ispod zastora izvodit će se u debljini od 40 cm i odgovarajućeg sastava materijala [7,25].

Osim povećanja dopuštene infrastrukturne brzine, s ciljem skraćivanja ukupnoga vremena vožnje na relaciji Zagreb GK – Zabok i njenog uključivanja u sustav prigradskog prometa grada Zagreba, potrebna je elektrifikacija otvorene pruge i prijamno – otpremnih kolosijeka u svim kolodvorima, sustavom 25 kV i frekvencije 50 Hz, te rekonstrukcija i izgradnja perona u službenim mjestima za lakšu izmjenu putnika. Pozicioniranje istih unutar postojećih shema kolodvora i stajališta uvjetuje njihovu rekonstrukciju te izgradnju novog stajališta Putine i brojnih drugih objekata. Povezivanje bočnih i otočnih perona pothodnikom za početak je predviđeno u kolodvorima Zaprešić i Zabok, a u slučaju povećanja intenziteta prometa i u ostalim kolodvorima [7,25].

Postojeće kolodvorske zgrade u službenim mjestima ovim će se projektom rekonstruirati i modernizirati, te prilagoditi za smještaj buduće signalno – sigurnosne i telekomunikacijske opreme, kao i prostora za potrebe putnika i prometnika. Isto tako, uz kolodvorske zgrade će se osigurati određeni parkirališni kapaciteti za korisnike željeznice. U sklopu toga izvest će se sustav informiranja za obavještavanje putnika o voznim redovima vlakova, kao i o njihovom eventualnom kašnjenju.

Na dionici Zaprešić – Zabok ugradit će se suvremeno tehnološko rješenje centraliziranog uređaja automatskog pružnog bloka u elektroničkoj izvedbi, kojim će se osiguravati obostrani promet vlakova uz njihovo slijeđenje, pri čemu komponente uređaja APB–a moraju imati razinu sigurnosnog integriteta SIL 4. Sukladno tome, međukolodvorski razmaci će se podijeliti na prostorne odsjeke minimalnog razmaka 1000 m (uz dozvoljene tolerancije od – 5%), koliko iznosi zaustavni put za maksimalnu brzinu od 120 km/h. Prostorne odsjeke odjeljivat će prostorni signali opremljeni balizama autostop uređaja s rezonantnim krugovima 1000/2000 Hz. U službenim mjestima predsignali će se u odnosu na pripadajuće ulazne signale nalaziti na udaljenosti od 1000 m, a svi prijamno – otpremi kolosijeci bit će opremljeni izlaznim signalima za oba smjera. Kontrola zauzetosti ulaznih, kolosiječnih i skretničkih odsjeka u kolodvorima te prostornih odsjeka izvest će se brojačima osovina. Svi elementi osiguranja međukolodvorskog razmaka i njihova stanja (odsjeci, signali, itd.) moraju biti prikazani na monitoru računala prometnika vlakova [7,25].

Postojeći željezničko – cestovni i pješački prijelazi preko pruge na pružnoj dionici Zaprešić – Zabok bit će osigurani uređajem za osiguravanje prijelaza ili ukinuti s ili bez svođenja na drugo križanje, a željezničko – cestovni prijelaz na državnoj cesti pretvoren u križanje izvan razine [7,25].

U nastavku rada slijedi sažeti opis budućih rješenja službenih mjesta predviđenih projektom.

5.1. Kolodvor Zaprešić

U skladu s njegovom dvostrukom funkcijom, po završetku modernizacije u kolodvoru Zaprešić susretat će se dvije linije prigradskog prijevoza, Zagreb GK – Savski Marof i Zagreb GK – Zabok. Predviđeno je zadržavanje postojećeg broja prijamno – otpremnih kolosijeka, s tim da će postojeći peti kolosijek biti ukinut, a sedmi pretvoren u prijamno – otpremni. Rekonstrukcija kolosijeka i ugradnja novih skretničkih veza između glavnih prolaznih kolosijeka radi pretjecanja vlakova zahtijevat će promjene postojećeg signalno – sigurnosnog uređaja kolodvora Zaprešić, u smislu uključivanja novih izlaznih signala uz sve prijamno – otpremne kolosijeke za oba smjera, te rekonstrukciju kontaktne mreže [7,25].

Kako bi se omogućilo mimoilaženje, odnosno križanje vlakova, potrebno je osigurati dovoljne peronske kapacitete za izmjenu putnika, što podrazumijeva uređivanje postojećeg bočnog perona širine 4 m i izgradnju jednog otočnog perona širine 6,1 m između 4. i 6. kolosijeka, tj. na mjestu postojećeg 5. kolosijeka, oba u duljini 250 m povezana pothodnikom širine 5 m. Isti će se opremiti nadstrešnicama i urbanom opremom (suvremeni sustav informiranja, itd.) [7,25].

Predviđeno je da najveća brzina kod izlaza iz kolodvora Zaprešić bude ograničena na 50 km/h, obzirom na specifičnost ovog dijela gdje pružna dionica Zaprešić – Zabok, s početkom kod kolodvorske zgrade, nastavlja preko prvog kolosijeka koji vodi u otklon odvojne skretnice s novim radijusom od 300 m iza koje slijedi luk s vrlo nepovoljnim elementima (R = 250 m, kratke prijelaznice). Rekonstrukcija ove krivine za veću brzinu zahtijevala bi sasvim drugačiju shemu kolodvora Zaprešić i rušenja dosta objekata, što nije predviđeno u projektima, jer ionako svi vlakovi prema Zaboku kreću iz Zaprešića i svi vlakovi iz Zaboka se u Zaprešiću zaustavljaju [7,25].

5.2. Kolodvor Novi Dvori

Rekonstrukcijom pruge dolazi do promjena stacionaže svih pružnih objekata pa će tako kolodvor Novi Dvori biti lociran u km 4 + 213. U kolodvoru će ostati tri kolosijeka, s tim da je na mjestu sadašnjeg drugog kolosijeka predviđena izgradnja otočnog perona duljine 160 m i širine 6,15 m. Prvi i treći kolosijek bit će izvedeni kao podijeljeni, pri čemu će dio prvog kolosijeka 1a biti štitni, 1b uz peron prijamno – otpremni, a 1c manipulativni, drugi kolosijek će biti prijamno – otpremni, a treći glavni prolazni. Ugradnjom štitnog kolosijeka na ulaznoj strani kolodvora i graničnih kolosiječnih signala na prvom i trećem podijeljenom kolosijeku, omogućit će se istovremeni ulaz vlakova iz suprotnih smjerova [25].

Skretnice će imati električno grijanje i svima će se rukovati centralno, osim skretnicama br. 6 i 10. Bočna zaštita manipulativnog kolosijeka uz skretnicu br. 3 izvest će se isklizničom uključenom u središnje rukovanje [25].

Na dionici otvorene pruge između Novih Dvora i Luke postoje dvije odvojne skretnice „Vijadukt“ i „Špoljar“ kojima će se upravljati preko udaljenih kontrolera iz elektroničkog signalno – sigurnosnog uređaja Novi Dvori, a svakoj odvojnoj skretnici pridružena su dva zaštitna signala, AS balize 1000/2000 Hz, dvije skretničke postavne sprave (odvojna i zaštitna), brojači osovina i lokalna kabelska mreža za povezivanje vanjskih elemenata osiguranja [7,25].

5.3. Kolodvor Luka

Kolodvorska zgrada kolodvora Luka bit će smještena u km 12 + 904, a kolodvor će nakon rekonstrukcije imati tri kolosijeka od kojih je prvi prijamno – otpremni, drugi glavni prolazni, a treći manipulativni kolosijek [7,25].

Na mjestu sadašnjeg drugog kolosijeka predviđena je izgradnja otočnog perona duljine 160 m i širine 5,10 m, što bi se ostvarilo razmicanjem kolosijeka.

Ugradnjom štitnog kolosijeka na izlaznoj strani kolodvora i graničnih kolosiječnih signala na drugom podijeljenom kolosijeku za smjer prema Zagrebu, omogućen je istovremeni ulaz vlakova iz suprotnih smjerova [7,25].

Svim skretnicama u kolodvoru rukovat će se centralno i bit će opremljene električnim grijačima. Bočna zaštita kolosijeka „Lagermaxa“ uz skretnicu br. 4 izvest će se pomoću iskliznice uključene u središnje rukovanje [7,25].

5.4. Kolodvor Veliko Trgovišće

Kolodvor Veliko Trgovišće, s položajem kolodvorske zgrade u km 18 + 420, nakon rekonstrukcije imat će tri kolosijeka od kojih je prvi manipulativni, drugi glavni prolazni, a treći prijamno – otpremni kolosijek. Ugradnja štitnog kolosijeka u produžetku trećeg kolosijeka na izlaznoj strani kolodvora i graničnih kolosiječnih signala na drugom kolosijeku za smjer prema Zaprešiću (prije skretnice br. 2), omogućit će istovremeni ulaz vlakova iz suprotnih smjerova [7,25].

Na kolodvoru se između drugog i trećeg kolosijeka predviđa izgradnja otočnog perona u duljini od 160 m i širini od 6,6 m, s prilazom u razini, a u slučaju značajnijeg povećanja intenziteta prometa, koje bi zahtijevalo korištenje dvostrukih garnitura i njihovo križanje u kolodvoru Veliko Trgovišće, pristup otočnom peronu izveo bi se pomoću pothodnika i liftova [7,25].

5.5. Kolodvor Zabok

Kako je Zabok posljednji kolodvor obuhvaćen modernizacijom pružne dionice Zaprešić – Zabok, u njemu će se susretati novi prigradski vlakovi iz Zagreba i lokalni vlakovi iz Varaždina, Đurmanca i Gornje Stubice, on osim rekonstrukcije, zahtijeva i dogradnju kako bi uspješno udovoljio svim budućim zahtjevima [25].

Predviđeno je da će postojeći kolodvor Zabok uz određene izmjene postati putnički dio kolodvora, s novom stacionažom u km 23 + 858. Imat će ukupno četiri kolosijeka za prijam i otpremu vlakova te jedan (peti) obilazni kolosijek za opsluživanje industrije. Od toga će prvi kolosijek biti podijeljeni na 1a dio kao štitni, te 1b i 1c kao prijamno – otpremne kolosijeke, drugi kolosijek bit će glavni prolazni, a treći i četvrti prijamno – otpremni. Zahvaljujući tome, omogućit će se istovremeni prijam četiri vlaka iz četiri različita smjera, budući da će putnici lokalnih vlakova iz smjera Varaždina, Đurmanca i Gornje Stubice morati presjedati na prigradske vlakove prema Zagrebu i obrnuto. Istovremeni ulaz vlakova u kolodvor Zabok iz suprotnih smjerova omogućit će se pomoću većeg broja graničnih kolosiječnih signala. Unutar putničkog dijela predviđena su i dva garažna kolosijeka [7,25].

U skladu s novom shemom kolodvora, potrebno je osigurati i dovoljno peronskih kapaciteta za neometanu i što kraću izmjenu putnika, pa se projektom predviđa izgradnja jednog otočnog i dva bočna perona povezana pothodnikom. Bočni peroni, duljine 80 m i širine 3 m, izgradit će se uz prvi kolosijek, lijevo i desno od kolodvorske zgrade (uz 1b i 1c kolosijek), a otočni peron duljine 290 m i širine 6,6 m na mjestu sadašnjeg trećeg kolosijeka [7,25].

Teretni dio kolodvora Zabok bit će smješten lijevo u odnosu na postojeći kolodvor (od strane kolodvora Veliko Trgovišće) i činit će ga pet kolosijeka korisnih duljina 500 m jer će se teretni promet kroz kolodvor Zabok prvenstveno odvijati u funkciji opsluživanja industrije preko industrijskih kolosijeka. Kolosijek br. 12. bit će glavni prolazni, kolosijeci broj 13. i 14. prijamno – otpremni, kolosijek br. 15. manipulativni, a kolosijek br. 15a štitni kolosijek. Prijamno – otpremni kolosijeci služit će za prijam teretnih vlakova te njihovu obradu, formiranje i otpremu. Kako se u budućnosti očekuje određeni rad s vagonskim pošiljkama, za to je predviđena manipulativna površina s bočnom rampom i skladište 30 x 10 m sa službenim prostorijama. Na manipulativni kolosijek će se sa sadašnje lokacije preseliti vaga [7,25].

Teretni i putnički dio kolodvora Zabok bit će povezani preko kolosijeka br. 2a i 3a, a opsluživanje industrijskih kolosijeka „Trgocentra“ i „Tifona“ obavljat će se preko petog kolosijeka putničkog dijela kolodvora. Sustavom napona 25 kV i frekvencije 50 Hz elektrificirat će se svi kolosijeci u putničkom dijelu i prijamno – otpremni kolosijeci teretnog dijela kolodvora [7,25].

Svim skretnicama, koje će biti električno grijane, rukovat će se centralno, osim skretnice br. 5 u teretnom dijelu kolodvora. Bočna zaštita manipulativnog kolosijeka u teretnom djelu izvest će se iskliznicama uključenim u središnje rukovanje, a radi olakšavanja znatnog manevarskog rada ugradit će se manevarski signali za zaštitu kolosiječnog puta [7,25].

Osiguranje u kolodvoru Zabok omogućavat će novi signalno – sigurnosni uređaj kojim će se rukovati središnje iz prometnog ureda. Ovdje će biti smješten centar daljinskog upravljanja prometom na dijelu pruge od Zaprešića do Zaboka, kojim će se daljinski upravljati s kolodvorima Novi Dvori, Luka i Veliko Trgovišće, dok će se kolodvorima Zaprešić i Zabok rukovati lokalno. Osim dijela dionice otvorene pruge Veliko Trgovišće – Zabok, uređaj za osiguranje kolodvora Zabok osigurava i dio dionice otvorene pruge Zabok – rasputnica Hum – Lug, uključujući i samu rasputnicu [7,25].

Kako će izgradnjom teretnog dijela kolodvora Zabok, željezničko – cestovni prijelaz u km 23 + 637 biti unutar kolodvorskih kolosijeka, što nije dopustivo, predviđa se njegovo ukidanje i svođenje na željezničko – cestovni prijelaz u km 22 + 817 [7,25].

5.6. Stajališta

Tijekom modernizacije i elektrifikacije pružne dionice Zaprešić – Zabok, rekonstruirat će se tri postojeća stajališta i izgraditi jedno novo stajalište na početnom dijelu dionice između kolodvora Zaprešić i Novi Dvori. Uslijed provedbe planiranih promjena na pružnoj dionici, navedeni su novi kilometarski položaji stajališta [7,25]:

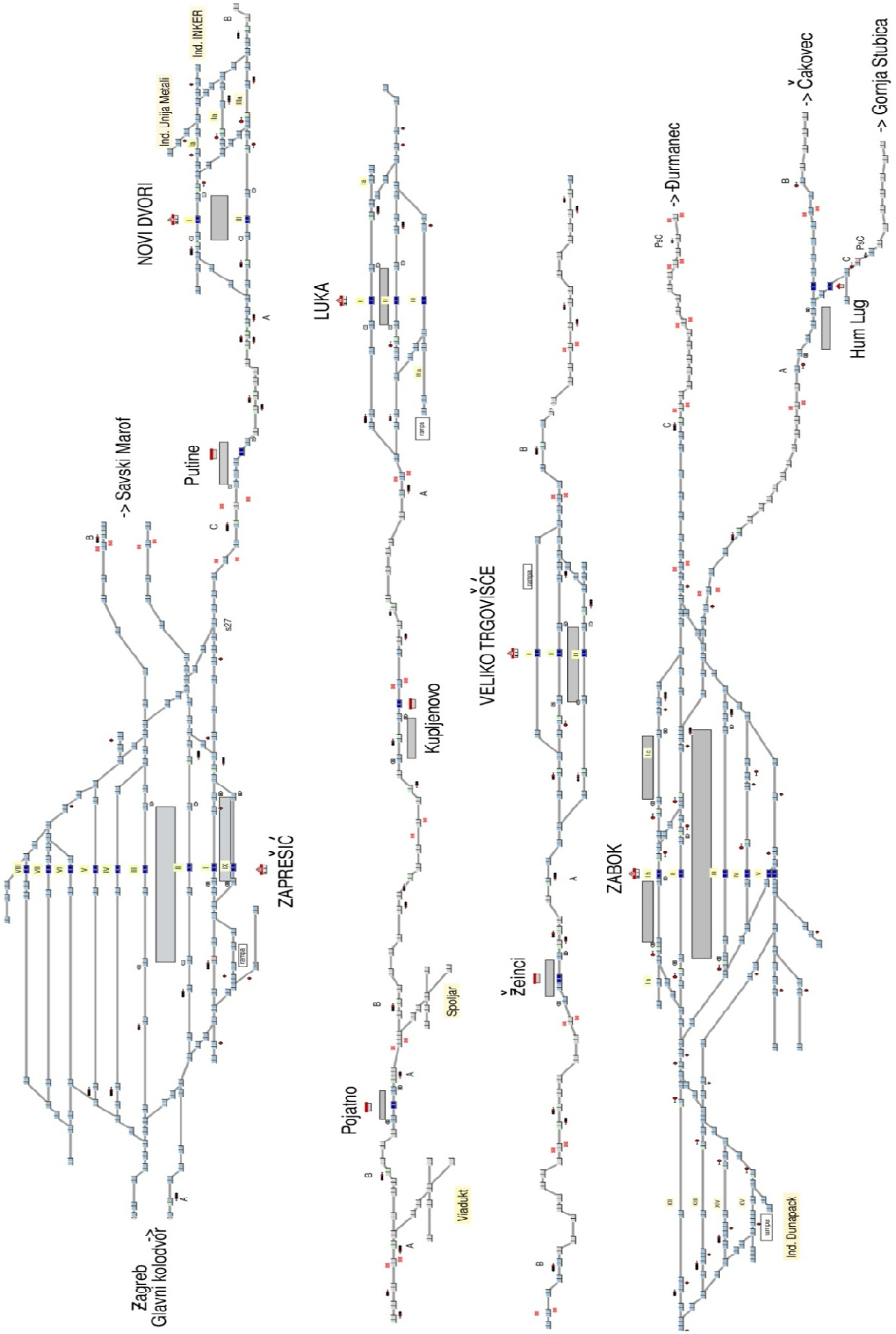
- Putine u km 1 + 140,
- Pojatno u km 7 + 539,
- Kupljenovo u km 10 + 370
- Žeinci u km 16 + 270.

Bočni peroni u postojećim stajalištima će se rekonstruirati da bi njihova duljina odgovarala duljinama prigradskih vlakova, a u novom stajalištu Putine planira se gradnja jednog bočnog perona duljine 160 m i širine 3 m. Svi peroni morat će se opremiti nadstrešnicama, urbanom opremom i sustavom informiranja kako bi se putnici mogli adekvatno obavijestiti o planiranim voznim redovima vlakova i pravovremeno dobiti informacije o njihovom kašnjenju [7,25].

Od postojećih objekata za prodaju karata zadržat će se stajališne zgrade u stajalištima Pojatno i Kupljenovo, dok će se ona u stajalištu Žeinci zbog devastiranosti zamijeniti. Umjesto nje predviđena je ugradnja kioska za prodaju karata u sklopu nadstrešnice perona, isto kao u stajalištu Putine [7,25].

Za korisnike željezničke usluge prijevoza na stajalištima su predviđene parkirne površine različitih kapaciteta. U stajalištu Putine osigurat će se 40 parkirališnih mjesta, na stajalištima Pojatno i Žeinci po 25 parkirališnih mjesta, a na stajalištu Kupljenovo njih 20 [7,25].

Nakon što su u računalni model postojećeg stanja unesene sve planirane promjene na otvorenoj pruzi i u pojedinim službenim mjestima na pružnoj dionici Zaprešić – Zabok, dobiven je novi model mreže pruga, prikazan na slici 10., koji će poslužiti daljnjoj analizi mogućih načina organizacije prometa vlakova koja se predlaže u nastavku rada.



Slika 10. Izgled modela budućeg stanja dionice Zaprešić – Zabok

6. Prijedlog varijanti nove organizacije prometa vlakova

Organizacija putničkog prijevoza zbog svoje kompleksnosti predstavlja izazov svakom željezničkom operateru koji nudi svoju uslugu prijevoza korisnicima. S jedne strane, on mora uskladiti moguće troškove i raspoložive kapacitete vlastitog voznog parka, kod odabira odgovarajućeg broja vlakova koji će prometovati određenim područjem, njihove strukture (brzi, putnički, prigradski,..), vrste vuče i sastava (potrebne lokomotive, motorni vlakovi, vagonski park), a s druge pak treba istražiti realne putničke tokove te uzeti u obzir potrebe i zahtjeve stanovništva s tog područja. Odabir potrebnog broja vlakova ovisi i o duljini dionice, komercijalnoj brzini te intervalu slijeđenja, a s aspekta putnika bitno je vrijeme putovanja i broj presjedanja od izvorišta do odredišta putovanja, u kojoj mjeri je usluga prijevoza integrirana te cijena usluge. Dakle, organizacija prometa vlakova direktno utječe na prijevoznika, a posredno i na korisnika.

Nakon provedbe modernizacije i elektrifikacije pružne dionice Zaprešić – Zabok, uklonit će se sve infrastrukturne i sigurnosne prepreke koje su do tada onemogućavale širenje postojeće zone zagrebačkog prigradskog prometa na ovom području, a time i povećati konkurentnost željezničkog prijevoza te kvaliteta usluge. U skladu s tim uvest će se nova linija prigradskog prijevoza na relaciji Zagreb GK – Zabok, ali s manjom frekvencijom polazaka prigradskih vlakova u odnosu na liniju prema Savskom Marofu jer je potražnja na ovom području ipak manja. To će promijeniti i dosadašnju ulogu kolodvora Zabok na mreži zagorskih pruga, a time uvjetovati i promjenu organizacije prometa vlakova na pruzi R201. Predviđeno je da će Zabok postati početno – završni kolodvor zagrebačkih prigradskih vlakova i lokalnih vlakova iz Varaždina, Đurmanca te Gornje Stubice. Putnici koji će nastavljati putovanje iz sjevernih krajeva prema Zagrebu, i obrnuto, u Zaboku će morati presjedati budući da ostatak pruge prema Varaždinu i pobočne pruge prema Đurmancu i Gornjoj Stubici nisu elektrificirane. Daljinski vlakovi iz smjera Varaždina prometovat će do Zagreba uz zaustavljanje u kolodvoru Zabok [7].

Kolodvori Zaprešić, Novi Dvori, Luka i Veliko Trgovišće u pogledu prometovanja putničkih vlakova ostaju prolazni kolodvori pa zadržavanje vlakova u njima iznosi jednu do dvije minute ili traje nekoliko minuta radi križanja.

Kod organizacije prometa putničkih vlakova, koja se predlaže i razmatra u ovome radu, naglasak je na odabiru optimalne konstrukcije i pogona vučnog vozila u sastavu prigradskih vlakova na novoj liniji prigradskog prijevoza Zagreb GK – Zabok. Iako već postoje planovi da će ovom linijom prometovati vlakovi s elektro vučom, i to prvenstveno elektromotorne garniture serije 6111 koje se već koriste na prigradskom području grada Zagreba, istraživanjem u sklopu ovoga rada žele se istražiti i ostale mogućnosti organizacije kako bi se olakšalo odlučivanje donositeljima odluke o najboljoj varijanti organizacije za ovu relaciju.

Za početak, definirane su četiri moguće varijante organizacije koje će se kasnije međusobno usporediti na temelju naknadno definiranih kriterija.

Prva varijanta organizacije putničkog prijevoza na relaciji Zagreb GK – Zabok je upravo ona koja se planira primijeniti. Ovom varijantom pretpostavlja se korištenje elektro vuče kod prigradskih vlakova na elektrificiranom dijelu pruge te dizel vuče kod vlakova na ostatku pruge prema Varaždinu i prugama prema Đurmancu i Gornjoj Stubici jer one nisu elektrificirane. Kako to podrazumijeva presjedanje putnika u kolodvoru Zabok s prigradskih vlakova na lokalne i obrnuto, s aspekta putnika ovo se smatra nedostatkom. Međutim, primjena elektro vuče na elektrificiranoj dionici ostvaruje manji negativni utjecaj na okoliš što je itekako prednost ove varijante.

Druga varijanta organizacije pretpostavlja prometovanje prigradskih vlakova kod kojih dvije lokomotive (jedna je dizel, a druga elektro lokomotiva) vuku putničke vagone od Zagreb GK do Zaboka, nakon čega se u Zaboku elektro lokomotiva otkopčava s tih vlakova, pa oni dalje nastavljaju s dizel lokomotivom po nekoj od neelektrificiranih pruga, i prikopčava se na pristigle lokalne vlakove koji potom kreću prema Zagrebu. Ovdje nije potrebno presjedanje putnika u kolodvoru Zabok, ali se mora uzeti u obzir vrijeme potrebno za formiranje/rasformiranje vlakova, koje opet utječe na korisnike, te naknada koju upravitelj infrastrukture naplaćuje za tu uslugu, a koja ima utjecaj na prijevoznika.

Treća varijanta pretpostavlja prometovanje vlakova s dizel vučom po cijeloj relaciji, od Zagreba do Zaboka, te dalje prema Varaždinu, Đurmancu ili Gornjoj Stubici. Prednost ove varijante je da nema presjedanja putnika u kolodvoru Zabok, ni čekanja na formiranje i rasformiranje garnitura, ali je nedostatak korištenje dizel vlakova na elektrificiranoj pruzi, što nije poželjno s aspekta zaštite okoliša, i visokih investicijskih troškova nastalih zbog elektrifikacije dionice Zaprešić – Zabok.

Četvrta varijanta odnosi se na primjenu višesistemskih lokomotiva kod prigradskih vlakova, kakve se inaće i koriste u situacijama kada je jedan dio mreže elektrificiran, a drugi nije. Prednost ove varijante je u tome što nema potrebe za presjedanjem putnika u kolodvoru Zabok, kao ni za promjenom vuče, tj. formiranjem/rasformiranjem garnitura, a manji je negativni utjecaj na okoliš, nego kod primjene klasične dizel vuče. No, za trenutno jedinog putničkog prijevoznika u Hrvatskoj, nedostatak je u nabavi takvih lokomotiva što bi mu predstavljalo znatne financijske izdatke. Kada se otvori tržište željezničkog putničkog prijevoza novi operateri bi mogli koristiti prednosti navedenih lokomotiva, ako se iste već nalaze u njihovom voznom parku, a pokaže se da je ova varijanta organizacije optimalna za razmatranu relaciju.

7. Analiza varijantnih rješenja pomoću parametara usporedbe

Podaci potrebni za analizu varijantnih rješenja dobiveni su simulacijom kretanja putničkih vlakova u računalnom modelu s moderniziranom i elektrificiranom dionicom Zaprešić – Zabok. U sastavu tih vlakova nalaze se željeznička vozila koja nacionalni prijevoznik trenutno koristi u prigradskom i regionalnom prijevozu. Ista su razvrstana ovisno o vrsti pogonske energije u tri kategorije prema predloženim varijantama organizacije. Prvom varijantom obuhvaćeni su EMV serije HŽ 6111 i 6112 te elektro lokomotive serije HŽ 1141 i 1142. Druga varijanta predstavlja kombinacije elektro lokomotiva serije HŽ 1141 i 1142 s dizel lokomotivom serije HŽ 2044. Treću varijantu čine DMV serije HŽ 7022, 7023 i 7121 te dizel lokomotiva serije HŽ 2044. Osim njih, u modelu su kreirana dva nova vučna vozila, dvosistemske lokomotive Siemensove proizvodnje tzv. taurus serije 1116 i vectron serije 193 273, čije specifične karakteristike odgovaraju zahtjevima četvrte predložene varijante. Klasične vlakove za sve varijante čine pripadajuće lokomotive i šest putničkih vagona drugog razreda.

7.1. Definiranje parametara za usporedbu varijanti

Da bi se kvalitetno utvrdila opravdanost primjene jedne od predloženih varijanti organizacije prometa vlakova, nije dovoljno promatrati njihove učinke samo sa stajališta operatera, već u obzir treba uzeti i stajalište korisnika. Za dobivanje što preciznijih rezultata istraživanja, odabrano je sljedećih nekoliko mjerljivih kriterija pomoću kojih će se sve varijante međusobno usporediti:

- Vrijeme putovanja putnika,
- Presjedanje putnika,
- Broj istovremenih vlakova u kolodvoru,
- Komercijalna brzina,
- Vrijeme obrta,
- Troškovi linije,
- Utjecaj na okoliš,
- Potrošnja energije.

Ukupno vrijeme putovanja nekim prijevoznim sredstvom promatrano s aspekta putnika lako se može raščlaniti na nekoliko manjih vremenskih intervala s individualnim karakteristikama, a oni su [26]:

- vrijeme putovanja od izvorišta putovanja do polaznog kolodvora (t_p'),
- vrijeme transfera (t_t) i vrijeme čekanja na prijevozno sredstvo ($t_č$),
- vrijeme vožnje prijevoznim sredstvom (t_v),
- vrijeme od odredišnog kolodvora do odredišta putovanja (t_p'').

Od navedenih vremena u kontekstu putovanja željeznicom važno je vrijeme vožnje vlakom te vrijeme transfera i čekanja vlaka.

Vrijeme vožnje vlakom sastoji se od čistog vremena vožnje i vremena zadržavanja vlaka na međukolodvorima. Vrijeme vožnje ovisi o najvećoj dopuštenoj brzini na pruzi ili njenim pojedinim dionicama, minimalnom razmaku između dva uzastopna službena mjesta te tehničkim značajkama vučnog vozila koje se koristi za prijevoz [17].

Vrijeme čekanja na prijevozno sredstvo je neželjeno vrijeme u ukupnom vremenu putovanja bilo kojim prijevoznim sredstvom te ga se nastoji maksimalno smanjiti. Ono je usko povezano s frekvencijom pojavljivanja prijevoznog sredstva pa ako se ona poveća, prosječno vrijeme čekanja će se smanjiti. Do povećanja frekvencije u pravilu dolazi povećanjem potražnje za promatranim načinom prijevoza na nekoj promatranoj liniji. Prosječno vrijeme čekanja kod javnog prijevoza iznosi pola intervala slijeđenja.

Osim vremena putovanja, bitan parametar koji utječe na korisnike kod donošenja odluke o odabiru prijevoznog moda je i činjenica da li kod odabira određenog prijevoza ima potrebe za presjedanjem, jer ono najčešće ostavlja negativni dojam na potencijalnog korisnika. Jasno je da bi većina korisnika odabrala direktno putovanje, ali kako to nije uvijek moguće, presjedanja bi trebala biti što jednostavnija za putnike. Pod time se podrazumijeva usklađivanje vozih redova kako bi korisnici što manje čekali, minimiziranje udaljenosti koju moraju prijeći zbog presjedanja, uklanjanje horizontalnih prepreka na tome putu te postojanje jedinstvene prijevozne isprave.

Broj istovremenih vlakova u odvojnom kolodvoru je parametar kojim se određuje potreban broj kolosijeka u određenom kolodvoru namijenjenih za prijam i otpremu putničkih vlakova. On se dobiva na temelju maksimalnog broja vlakova koji se u istom trenutku mogu zaustaviti u nekom kolodvoru radi izmjene putnika, a najčešće je vezan uz funkciju koju neki kolodvor ima na mreži te uz broj pruga s kojih vlakovi pristižu u razmatrani kolodvor. Tijekom operacije izmjene putnika bitno je predvidjeti dovoljna zadržavanja vlakova kako bi putnici koji nastavljaju putovanje i pritom moraju presjedati za to imali dovoljno vremena.

Komercijalna brzina je parametar koji stavlja u odnos prijeđeni put na nekoj pruzi i ukupno vrijeme vožnje potrebno da vlak prijeđe tu udaljenost. Pored čistog vremena vožnje, iznos komercijalne brzine ovisi i o vremenu zadržavanja na kolodvorima i stajalištima radi izmjene putnika, pa je njihov odnos obrnuto proporcionalan [17]. Iz toga proizlazi da manje zaustavljanje vlakova pridonosi povećanju komercijalne brzine, a time i smanjenju ukupnog vremena putovanja vlakom. U slučajevima kod većih zadržavanja putničkih vlakova u kolodvorima radi prometnih situacija (križanje, pretjecanje), njihova se komercijalna brzina dodatno smanjuje. Osim navedenog, ovim pokazateljem može se odrediti u kojoj mjeri je iskorištena maksimalna dopuštena brzina na nekoj pruzi.

Vrijeme putovanja vlaka može se promatrati i sa stajališta prijevoznika pri čemu se onda govori o obrtu. U tom se slučaju ovim pokazateljem utvrđuje koliko se vremenski koristila određena garnitura u sastavu nekog vlaka. Vrijeme obrta sastoji se od vremena vožnje i zadržavanja na službenim mjestima radi ukrcaja i iskrcaja putnika te vremena provedenog u početnom (matičnom) i krajnjem (obrtnom) kolodvoru [17]. Poznavanjem obrta garniture i intervala slijeđenja, moguće je odrediti potreban broj vozila za opsluživanje određene linije prijevoza. Pritom vrijeme obrta bitno ovisi i o komercijalnoj brzini na promatranoj liniji prijevoza. Radi se o obrnuto proporcionalnoj vezi, što znači da porastom komercijalne brzine na nekoj relaciji dolazi do smanjenja obrta garniture, a time se smanjuje i broj potrebnih garnitura za tu relaciju.

Osim poznavanja obrta vozila, važan podatak za operatera predstavljaju i troškovi vezani uz organizaciju kompletne usluge putničkog prijevoza na nekoj liniji. Troškovi linije mogu se podijeliti na troškove pristupa infrastrukturi, troškove potrebnog broja vozila i troškove osoblja.

Troškovi pristupa infrastrukturi su troškovi koje su prijevoznici obvezni platiti upravitelju željezničke infrastrukture kao naknadu za njegove usluge. Te usluge su minimalni pristupni paket, pristup uslužnim objektima i uslugama koje se u njima pružaju, kao i pristup prugom do uslužnih objekata te dodatne i prateće usluge [14].

Prema Izvješću o mreži naknada za minimalni pristupni paket (C) izračunava se prema sljedećoj formuli [14]:

$$C = (T + d_m + d_n) \cdot \sum(L \cdot l) \cdot C_{vlkm} + l_{el} \cdot C_{el} \qquad (9.1)$$

gdje je:

- T ekvivalent trase vlaka (za brze i ubrzane vlakove iznosi 1,79; prigradske 1,46; putničke i pogranične 0,94),
- d_m dodatak za masu vlaka,
- d_n dodatak za korištenje nagibne tehnike,
- L parametar linije (L_1 za M101 iznosi 2,00; L_6 za R201 iznosi 0,30),
- L duljina trase vlaka [km],
- C_{vlkm} osnovna cijena [kn/vlkm] (u važećem voznom redu za putnički prijevoz iznosi 2,64 HRK/vlkm + PDV),
- l_{el} duljina trase vlaka s električnom vučom [km],
- C_{el} dodatak na cijenu vlkm trase vlaka s električnom vučom [kn/vlkm] (iznosi 0,51 HRK/vlkm + PDV).

Vezano uz pristup uslužnim objektima i pružanim uslugama, prijevoznik je dužan platiti naknadu za korištenje službenih mjesta (C_{sm}) te svih drugih objekata potrebnih za prijam i otpremu putnika, koja se izračunava prema sljedećoj formuli [14]:

$$C_{sm} = K_{sm} \cdot K_{vl} \cdot C_{os} \qquad (9.2)$$

gdje je:

- K_{sm} koeficijent službenog mjesta (određen posebno za svako službeno mjesto),
- K_{vl} koeficijent vrste vlaka (ovisan o duljini vlaka; za brze i ubrzane 1,91; putničke i pogranične 0,89; prigradske 0,99),
- C_{os} osnovna cijena korištenja službenih mjesta (iznosi 3,04 HRK / zaustavljanju + PDV).

Osim navedenih troškova postoje i drugi troškovi koji se odnose na naknadu za korištenje kolosijeka za garažiranje, formiranje/rasformiranje vlaka u putničkom prometu, naknadu za kašnjenje vlaka itd. Od značajnijih usluga treba još spomenuti naknadu za isporuku električne energije potrebne za vuču vlakova (C_{ev}) koja se dobiva na temelju izraza 9.3 kako slijedi [14]:

$$C_{ev} = C_{brtkm} \cdot BRTKM_{vlaka} \qquad (9.3)$$

gdje je:

- C_{brtkm} osnovna cijena električne energije [kn/brtkm] (određuje se na osnovi tarifnih stavki dobavljača električne energije i specifične potrošnje pojedine kategorije vlaka),
- $BRTKM_{vlaka}$ brutotonski kilometri vlaka koji se dobivaju umnoškom bruto – tona i količine prijeđenih kilometara vozila.

Troškovi osoblja direktno su povezani s brojem vlakova. Potreban broj vlakova ovisi o razini usluge, odnosno intervalu slijeđenja i vremenu obrta. Što je veća razina usluge na pojedinoj liniji, to je interval slijeđenja kraći, a potreban broj vlakova veći. Razinu usluge moguće je sagledati i s aspekta kategorije pruge, odnosno mala je

vjerojatnost da će prijevoznik ponuditi visoku razinu usluge na prugama regionalnog i lokalnog značaja s malom ili umjerenom potražnjom.

Na globalnoj razini prometni sektor ostvaruje najveći negativni utjecaj na okoliš. Iako se u pogledu visokih emisija štetnih plinova, razini buke, zauzimanju površine i drugog kao najveći zagađivač ističe cestovni promet, ni utjecaj ostalih prometnih grana nije zanemariv [27]. Najveću prednost u tome ima željeznica, s najmanjim negativnim udjelom, zbog čega bi trebala predstavljati okosnicu modernih i održivih prometnih sustava.

Radi smanjenja postojećih zaliha fosilnih goriva te velikog negativnog utjecaja na okoliš koji se općenito javlja njihovom upotrebom, potiče se primjena električne energije u vuči vlakova kao ekonomičnijeg i energetski povoljnijeg rješenja. Naravno, nije moguće elektrificirati sve pruge i koristiti isključivo električnu energiju za vuču vlakova, jer to iziskuje velika investicijska sredstva, a i nije uvijek opravdano s obzirom na prometnu potražnju i trasu pruga. Zbog toga treba razvijati nove tehnologije primjenjive na željezničkim vozilima s obje vrste vuče kako bi se optimizirala njihova upotreba uz maksimalni doprinos zaštiti okoliša.

Osim toga, utjecaj željeznice na okoliš ne odnosi se samo na opseg pružnog zemljišta, razinu buke i vrstu pogonske energije željezničkih vozila. Veliku pozornost treba posvetiti i negativnom utjecaju stabilnih željezničkih sredstava, prilikom njihove izgradnje, održavanja i modernizacije ili neadekvatnog otpisa. Iste treba što ranije detektirati i u što većoj mjeri umanjiti njihovo štetno djelovanje korištenjem suvremene konstrukcije gornjeg i donjeg pružnog ustroja kod održavanja postojećih i gradnje novih pruga, zbrinjavanjem opasnog otpada i drugim.

Potrošnja energije povezana je s utjecajem na okoliš, ali predstavlja manji dio ukupnog negativnog utjecaja željezničkog prometa. On se može dodatno smanjiti usklađivanjem pojedinih ili svih elemenata o kojima ovisi eksploatacije energije za sva vučna željeznička vozila. Ti elementi su vučne i kočne karakteristike vozila, njegova masa, profil pruge i maksimalna dopuštena brzina te grafikon voznog reda.

7.2. Vrijeme putovanja putnika

Vrijeme putovanja pojedine željezničke garniture unutar svake varijantne skupine dobiveno je na temelju simulacije kretanja vlakova na relaciji Zagreb GK – Zaprešić po onim kolodvorskim kolosijecima na koje se uobičajeno prihvaćaju vlakovi iz/prema Zaboku, odnosno po glavnim prolaznim kolosijecima u moderniziranim kolodvorima na relaciji Zaprešić – Zabok. Na čitavoj relaciji predviđena su zadržavanja vlakova u iznosu od 60 s u svim kolodvorima te 20 s u stajalištima radi izmjene putnika. U tablici 1. prikazana su vremena putovanja pojedinih garnitura iz simulacije za četiri promatrane varijante organizacije na relaciji Zagreb GK – Zabok.

Tablica 1. Vremena putovanja za sve varijante na relaciji Zagreb GK – Zabok [min]

1. varijanta		2. varijanta		3. varijanta		4. varijanta	
sastav	vrijeme	sastav	vrijeme	sastav	vrijeme	sastav	vrijeme
EMV 6111	53:52	1141 + 2044	49:49	DMV 7022	51:59	1116	52:05
EMV 6112	49:33			DMV 7023	53:42	193 273	52:03
1141	51:43	1142 + 2044	49:48	DMV 7121	58:13		
1142	49:46			DMV 7121 x 2	57:08		
				2044	53:30		
prosjek	***51:14***		***49:49***		***54:54***		***52:04***

Unatoč jednakim ulaznim parametrima, u smislu infrastrukturnih mogućnosti i definiranih vremena zadržavanja po službenim mjestima, ukupna vremena putovanja razlikuju se kako između svih varijanti, tako i unutar svake pojedine varijante zbog različitih tehničkih značajki vozila. Gledajući sve varijante zajedno, najmanje prosječno vrijeme putovanja od 49 min i 49 s imaju garniture u sklopu druge varijante, a najveće s 54 min i 54 s one iz treće varijante. Promatra li se dobivene vrijednosti pojedinačno, najmanje vrijeme putovanja ima EMV serije 6112 koji relaciju od Zagreb GK do Zaboka prođe za 49 min i 33 s, dok za istu relaciju najviše vremena, čak 58 min i 13 s, treba DMV serije 7121. Bolji rezultati elektro lokomotiva i novog EMV ne čude budući da općenito vozila s elektro vučom imaju velike vučne sile i veća ubrzanja pa pri polasku iz službenih mjesta prije ostvaruju velike brzine. To pogotovo dolazi kod izražaja kada se radi o ravničarskoj dionici pruge poput ove između Zagreb GK i Zaboka.

Kako se u stvarnosti prilikom izrade voznog reda, sve dobivene vrijednosti voznih vremena ispod 20 s zaokružuju na manji cijeli broj, a iznad toga na veći [17], ukupno gledajući, najmanje vrijeme putovanja najbolje varijante i najbolje garniture (EMV serije 6112) je jednako i iznosi 50 min. Usporedi li se ono s najmanjim vremenom putovanja prema postojećem voznom redu za istu relaciju od Zagreb GK do Zaboka koje iznosi 56 min, vidljivo je smanjenje vremena putovanja za 11 %. Međutim, značajnija razlika dobiva se usporedbom s najdužim vremenom putovanja putničkih vlakova koje u razdoblju vršnog opterećenja iznosi 65 min. Tada ukupno smanjenje iznosi 23 %.

Izdvoji li se posebno dionica Zaprešić – Zabok, najmanje vrijeme putovanja prema simulaciji iznosi 28 min, što je 15 % manje od trenutno najbržeg putničkog vlaka, odnosno 33 % manje u usporedbi s najvećim vremenom putovanja na ovoj relaciji.

Usporedbom vremena putovanja iz aktualnog voznog reda i iz simulacije za brzi vlak jednakog sastava (DMV serije HŽ 7022), na cijeloj relaciji od Zagreb

Glavnog kolodvora do Zaboka ostvarena je ušteda vremena od 26 %, a na dionici Zaprešić – Zabok gotovo 38 %.

7.3. Presjedanje putnika

Korištenje bilo kojeg EMV ili elektro lokomotive iz prve varijante organizacije prometa vlakova u sastavu prigradskih vlakova nužno zahtijeva presjedanje putnika u kolodvoru Zabok na lokalne vlakove prema Varaždinu, Gornjoj Stubici i Đurmancu i obrnuto. U tom slučaju vozni redovi prigradskih i lokalnih vlakova moraju biti usklađeni, kako bi se čekanje putnika svelo na minimum. Prometno – prijevoznom uputom za unutarnji promet, propisano je minimalno čekanje ubrzanih, putničkih i lokalnih vlakova u odvojnim kolodvorima na sve druge vlakove za prijevoz putnika te najmanje vrijeme za manipulaciju putnika. Za kolodvor Zabok to vrijeme čekanja lokalnih vlakova, u ovom slučaju na prigradske vlakove iz smjera Zagreba, iznosilo bi najmanje 15 min te još 3 min za izmjenu putnika i prtljage [20].

Upotreba spojenih elektro i dizel lokomotiva iz druge varijante, DMV i dizel lokomotiva iz treće varijante ili pak neke od dvosistemskih lokomotiva iz četvrte varijante ne zahtijeva presjedanje putnika na relaciji Zagreb – Varaždin, ali zahtijeva za preostale smjerove. Osim toga, kod primjene druge varijante dolazak prigradskih vlakova u Zabok i odlazak vlakova iz Zaboka prema Zagrebu mora biti usklađen radi veće učinkovitosti rada elektro lokomotiva, uz poštovanje propisanog vremena za izmjenu lokomotive i skraćenu probu kočenja koja za vlakove za prijevoz putnika iznosi oko 7 min [28].

7.4. Broj istovremenih vlakova u kolodvoru

Ugradnjom skretničkih veza između prvog i drugog kolosijeka te uređenjem potrebnih perona u sklopu rekonstrukcije putničkog dijela kolodvora Zabok, omogućena je primjena kratkih i dugih ulaza vlakova te prihvaćanje maksimalno četiri putnička vlaka. Time se povećao kapacitet samog kolodvora, ali i propusna moć pruge.

Ako se broj vlakova u rasporednom kolodvoru promatra u uvjetima vršnog opterećenja, kod prve varijante u njemu će se nalaziti jedan prigradski vlak iz Zagreba te tri lokalna vlaka pristigla iz Varaždina, Đurmanca i Gornje Stubice. Nakon izmjene putnika u Zaboku, svi vlakovi započinju vožnju u suprotnom smjeru.

Kod druge varijante ista je situacija, jedino što je eventualno potreban još jedan kolosijek za premještanje elektro lokomotive, s prigradskog vlaka pristiglog iz

Zagreba koji nastavlja vožnju prema Varaždinu, na lokalni vlak iz Varaždina koji nastavlja prema Zagrebu.

Za odvijanje prometa prema trećoj i četvrtoj varijanti, u rasporednom kolodvoru bila bi potrebna najviše četiri vlaka za sva četiri moguća smjera.

7.5. Komercijalna brzina

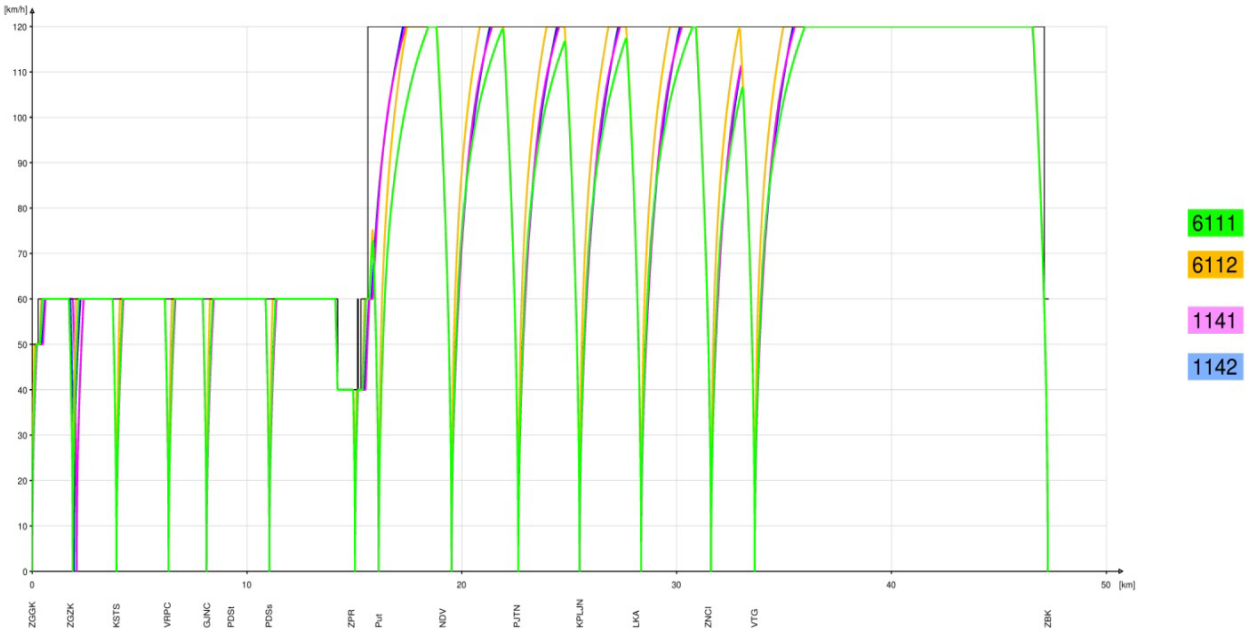
Na temelju poznavanja ukupne duljine promatrane dionice od Zagreb GK do Zaboka i vremena putovanja za svaku vrstu vozila u pojedinoj varijanti organizacije prometa vlakova, moguće je izračunati prosječnu komercijalnu brzinu na toj dionici. Kod izračuna prosječne komercijalne brzine za pojedine sastave uzete su u obzir zaokružene vrijednosti vremena putovanja svakog pojedinog sastava unutar određene varijante. Zbrojem prosječnih komercijalnih brzina pojedinih sastava unutar istih varijanti dobivene su ukupne prosječne komercijalne brzine za sve razmatrane varijante, a iste su prikazane u tablici 2. Vidljivo je da najveću prosječnu vrijednost komercijalne brzine od 46,8 km/h ostvaruju vlakovi iz druge varijante, a najmanju od 42,3 km/h oni iz treće varijante.

Tablica 2. Komercijalna brzina za sve varijante na relaciji Zagreb GK – Zabok [km/h]

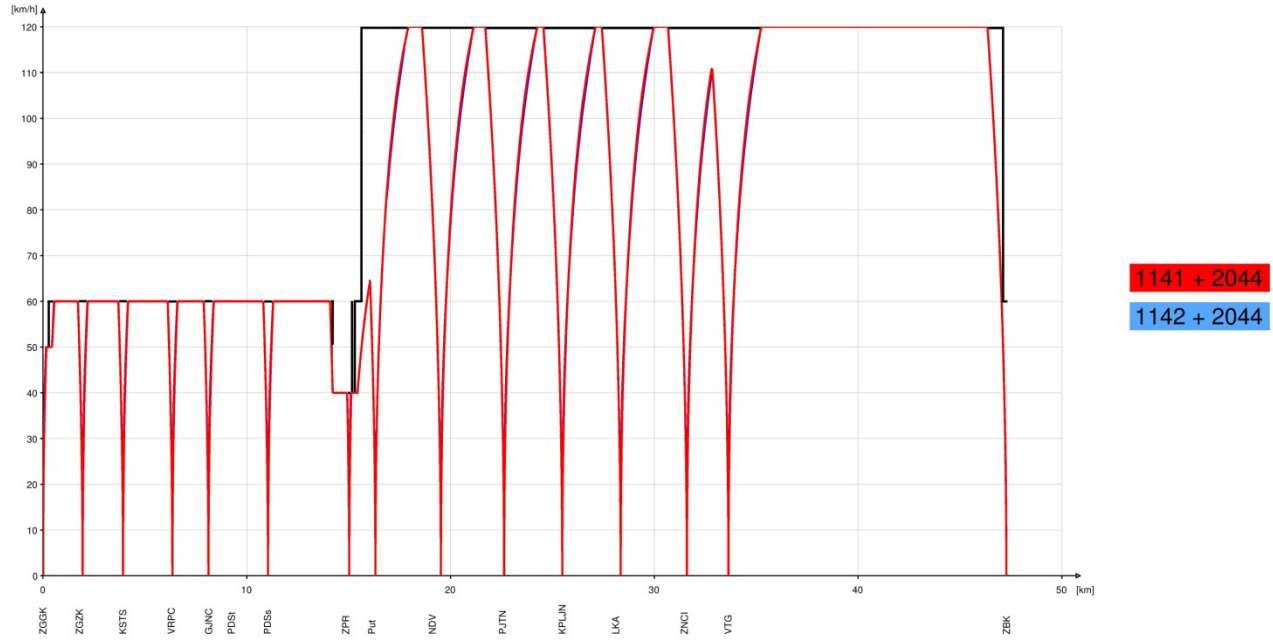
1. varijanta		*2. varijanta*		*3. varijanta*		*4. varijanta*	
sastav	*brzina*	*sastav*	*brzina*	*sastav*	*brzina*	*sastav*	*brzina*
EMV 6111	43	1141 + 2044	46,8	DMV 7022	44,8	1116	44,8
EMV 6112	46,8			DMV 7023	43	193 273	44,8
1141	44,8	1142 + 2044	46,8	DMV 7121	40		
1142	46,8			DMV 7121 x 2	40,8		
				2044	43		
prosjek	***45,4***		***46,8***		***42,3***		***44,8***

Prosječna komercijalna brzina za brzi vlak, u čijem je sastavu DMV serije HŽ 7022, na cijeloj promatranoj dionici iznosi 67 km/h. Promatra li se zasebno dionica između Glavnog kolodvora i Zaprešića, komercijalna brzina za ovaj vlak iznosi 56 km/h, dok je na dionici između Zaprešića i Zaboka 80 km/h.

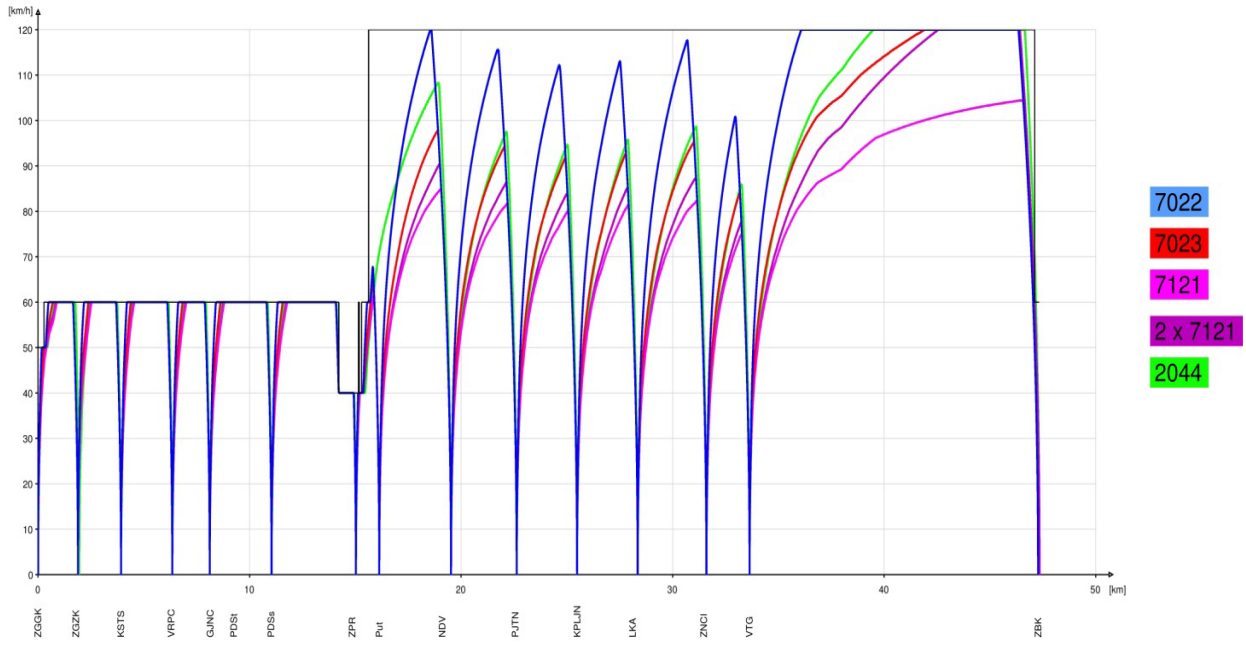
Radi detaljnijeg uvida u kretanje vlakova i lakšeg razumijevanja dobivenih prosječnih komercijalnih brzina, koristit će se simulacijom dobiveni grafikoni 7.,8.,9. i 10. na kojima je prikazana ovisnosti brzine vožnje o ukupnom prijeđenom putu za svaku varijantu pojedinačno.



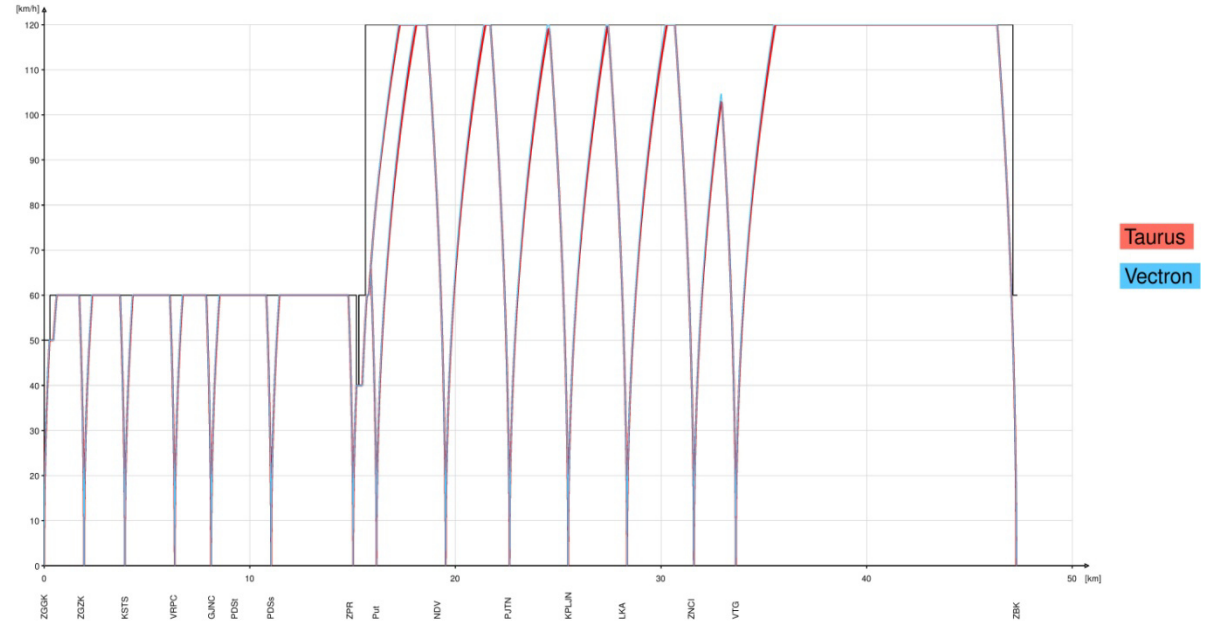
Grafikon 7. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za prvu varijantu



Grafikon 8. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za drugu varijantu



Grafikon 9. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za treću varijantu



Grafikon 10. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za četvrtu varijantu

Analizom grafikona svih varijanti očito je da se čitava promatrana dionica može podijeliti na dva dijela koja se razlikuju prema najvećim dopuštenim brzinama. U prvom dijelu, između Glavnog kolodvora i Zaprešića, s maksimalnom brzinom od

60 km/h vidljivo je da skoro sva vozila u sklopu prigradskih vlakova imaju podjednake vozne karakteristike, tj. ubrzanje, održavanje brzine i usporenje, osim starih DMV iz treće varijante koji su u tome nešto sporiji. Međutim, takva mala dozvoljena brzina, koju uvjetuje loše građevinsko stanje pruge, pored relativno kratkih međustajališnih razmaka i zadržavanja vlakova u svakom službenom mjestu zbog ulaska i izlaska putnika, uvjetuje i manju prosječnu komercijalnu brzinu od oko 42 km/h.

U drugom dijelu, između kolodvora Zaprešić i Zabok, najveća dopuštena brzina ograničena je na 120 km/h. No, i ovdje nepovoljni razmještaj službenih mjesta s malim međusobnim razmacima direktno utječe na komercijalnu brzinu vlakova. Najkritičniji razmak je između stajališta Žeinci i kolodvora Veliko Trgovišće, gdje svi vlakovi dosežu maksimalno 110 km/h (osim EMV serije 6112 iz prve varijante koji postigne skoro 120 km/h). Najduži razmak je između Velikog Trgovišća i Zaboka na kojem gotovo svi vlakovi optimalno koriste vlastite i infrastrukturne mogućnosti, osim pojedinih vlakova iz treće varijante, koji od svih razmatranih varijanti imaju najlošiju izvedbu. To je zbog skoro duplo manje specifične snage od vozila s elektro vučom koji lakše podnose veća trenutna opterećenja. Prosječna komercijalna brzina na ovoj dionici kreće se između 41 i 51 km/h.

Svim grafikonima je zajedničko to da odmah ili vrlo kratko nakon što vlakovi ubrzaju dovoljno da postignu maksimalnu dozvoljenu brzinu, oni moraju početi usporavati kako bi se mogli sigurno zaustaviti u sljedećem službenom mjestu. Takvo kretanje prigradskih vlakova nije racionalno jer se pritom ostvaruju kratkotrajni učinci, a istodobno troše velike količine energije. S obzirom na to da se položaj službenih mjesta na infrastrukturi ne može promjeniti, povećanje ukupne učinkovitosti, odnosno veće iskorištenje dopuštene infrastrukturne brzine, optimalnije korištenje vozila i racionalnija potrošnja energije može se ostvariti drugačijom organizacijom prometa vlakova (npr. skip – stop operacije), boljim izborom vozila, ugradnjom boljih signalno – sigurnosnih uređaja, itd.

7.6. Vrijeme obrta

Ukupno vrijeme putovanja za izračun obrta garnitura za sve četiri varijante dobiveno je zbrojem prosječnih vremena putovanja svake pojedine varijante na relaciji Zagreb GK – Zabok i vremena putovanja od Zaboka prema Varaždinu iz postojećeg voznog reda jer na toj relaciji nije bilo promjena na pruzi koje bi utjecale na vozna vremena. Osim toga, pretpostavilo se da svi vlakovi imaju jednako ukupno vrijeme u matičnom kolodvoru od 10 min i u obrtnom kolodvoru 20 min te da je zadržavanje u kolodvoru Zabok zbog izmjene lokomotive za vlakove iz druge varijante 7 min, a zadržavanje radi izmjene putnika u ostalim varijantama 5 min.

U tablici 3. prikazana su zajednička vremena obrta za sve vlakove koji prometuju na relaciji od Zagreba do Varaždina. Očito je da visina ukupnog obrta

vlakova na liniji znatno ovisi o broju vlakova koji njome prometuju. Tako na visinu ukupnog obrta u prvoj varijanti utječu obrt elektro vlaka od Zagreba do Zaboka i obrt dizel vlaka od Zaboka do Varaždina jer je ukupni obrt na cijeloj relaciji dobiven njihovom sumom. Najveće ukupno vrijeme obrta imaju vozila iz druge varijante jer se obrtu elektro lokomotiva pridružuje obrt dizel lokomotiva koji se računa za čitavu promatranu dionicu od Zagreba do Varaždina. To pokazuje da je angažiranje dvije vrste lokomotiva nepotrebno na pruzi poput ove čija trasa ne zahtijeva dvostruku vuču. Najmanji obrt imaju vlakovi iz četvrte i treće varijante kod kojih se ne mijenja sastav na čitavoj dionici, a razlici u vremenu pridonose isključivo bolje tehničke karakteristike vlakova s dvosustavnim lokomotivama na elektrificiranom dijelu pruge u odnosu na dizel vlakove.

Tablica 3. Vrijeme obrta između Zagreba i Varaždina za sve varijante

Varijanta	*Pojedinačan obrt [h]*		*Ukupni obrt [h]*
	Zagreb GK – Zabok	*Zabok – Varaždin*	
1. varijanta	2,37	3,77	6,14
2. varijanta	2,33	5,67	8,00
3. varijanta	5,76		5,76
4. varijanta	5,67		5,67

Gledajući u širinu, povećanje komercijalne brzine na dionici Zaprešić – Zabok pridonijelo je smanjenju vremena putovanja garnitura koje se koriste za promet ovom dionicom, a time i smanjenju njihova obrta. Iz toga proizlazi da će za prijevoz putnika na čitavoj relaciji biti dovoljan manji broj garnitura jer će one raditi više ciklusa obrta. Za prijevoznika to znači da i trenutno raspoloživa prijevozna sredstva može još optimalnije koristiti, barem do puštanja u promet novih vlakova, jer će se uz povećanje ciklusa garnitura moći prevesti više putnika te ostvariti veći prihod.

7.7. Troškovi linije

S ekonomskog aspekta primjena pojedinih vrsta vozila iz predloženih varijanti mora opravdati operativne troškove koji se redovito javljaju kod organizacije prometa vlakova u obliku troškova pogonske energije, strojnog osoblja, manevarskog rada, tehničkog pregleda, održavanja, itd.

Kako troškovi potrebnog broja vozila i troškovi osoblja ovise o broju vlakova, za izračun troškova linije prigradskog prijevoza od Glavnog kolodvora do Zaboka prema predloženim varijantama organizacije promatrani su samo troškovi pristupa infrastrukturi. U izračun troškova pristupa infrastrukturi uključena je stopa poreza na dodatnu vrijednost od 25 %, a konačni pregled troškova dat je u tablici 4. Izračun cijene isporuke električne energije potrebne za vuču vlakova određen je na temelju visoke tarife dobavljača električne energije za ljetno računanje vremena, a prikazan je odvojeno za klasične sastave (*) koji su teži i lakše elektromotorne vlakove (**).

Tablica 4. Ukupni troškovi pristupa infrastrukturi za sve varijante

Varijanta	Troškovi pristupa infrastrukturi [kn]				Ukupni troškovi pristupa infrastrukturi [kn]
	Minimalni pristupni paket	Pristup uslužnim objektima i uslugama	Isporuka električne energije	Dodatne usluge	
1.	202,86	57,07	670,68*	/	930,61
			119,67**		379,60
2.	202,86	57,07	840,98*	14,88	1115,79
3.	178,12	57,07	/	/	235,19
4.	202,86	57,07	677,70*	/	937,63

Prema prikazanim podacima ispada da će prijevoznik platiti upravitelju infrastrukture najmanju naknadu u slučaju korištenja dizel vlakova iz treće varijante. Takve rezultate treba uzeti s oprezom jer u izračun troškova pristupa za ovu varijantu nisu uključeni troškovi pogonske energije, kao u ostalim varijantama, ali i ostali troškovi, a pogotovo troškovi održavanja s obzirom na to da je u operaterovom voznom parku veliki postotak vozila s dizel vučom koja su nepouzdana i stara te troše puno energije. Tome u prilog govore i podaci od HŽ Putničkog prijevoza za organiziranje prometa na relaciji Zagreb Glavni kolodvor – Varaždin, prema kojima najviši udio u operativnim troškovima nakon troškova potrebnog osoblja (strojovođe, vlakopratnja, blagajnici, prometnici...) imaju troškovi goriva, potom održavanja željezničkih vozila, amortizacija i troškovi usluge čišćenja, a od ostalih značajnih na posljednjem mjestu su troškovi usluge trase [29].

Istraživanja provedena na Hrvatskim željeznicama pokazala su da je 3,15 puta isplativije koristiti se električnom vučom od dizelske. Ona ima bolji stupanj korištenja pogonske energije, manju specifičnu potrošnju i manji utrošak energije te je održavanje vozila s elektro vučom puno jednostavnije i lakše, nego održavanje dizelskih lokomotiva [30]. Uzimajući to u obzir, od ostalih varijanti organizacije,

najmanje ukupne troškove pristupa infrastrukturi imaju EMV iz prve varijante, s 2,5 puta jeftinijom naknadom u odnosu na klasične sastave iz iste varijante i 3 puta manjom od najviše naknade za vlakove u drugoj varijanti jer se obračun za isporuku električne energije temelji na bruto masi vlaka. Primjenom novih EMV serije 6112 i postupnom zamjenom zastarjelih EMV, moguće su dodatne uštede u troškovima eksploatacije za čak 14,67 kn/km [19].

7.8. Utjecaj na okoliš

Elektrifikacijom dionice Zaprešić – Zabok, s ekološkog aspekta, povećana je energetska učinkovitost u odnosu na prethodno stanje. Upotreba vlakova s elektro vučom u sklopu prve varijante i višesustavnih lokomotiva iz četvrte varijante ima znatno manji utjecaj na okoliš. U tom slučaju nema ispušnih plinova, dima i čađe prilikom prometa vlakova, a razina buke znatno je manja nego kod ostalih varijanti.

Kako se elektrifikacija pruge, i pritom ostvareni pozitivni učinci, direktno vežu uz primjenu električne vuče, kao najnepovoljnije varijante organizacije izdvajaju se druga i treća varijanta. Kod druge varijante prisutne su prednosti primjene električne vuče, ali i izraženi nedostaci koji se javljaju zbog korištenja dizelskih lokomotiva. Isti negativni utjecaj na čitavoj relaciji od Zagreb GK do Varaždina ostvaruje i upotreba vlakova pogonjenih dizel vučom iz treće varijante. Vrijednosti emisija štetnih plinova i tvari, kao i razine buke uzrokovani radom lokomotiva i izgaranjem goriva neznatno bi se promijenile od postojećih na toj relaciji. Prema Međunarodnoj željezničkoj uniji željeznica je ovdje odgovorna za 3 kg ugljičnog dioksida (CO_2), 9,3 g dušikovih oksida (NO_x) te 0,93 g krutih čestica (PM) [31]. U odnosu na „čišću“ električnu vuču, ove se vrijednosti čine visokima, ali treba uzeti u obzir da dizelski vlakovi onečišćuju atmosferu puno manje nego automobili (omjer 1 : 14 po putnik/km) [30].

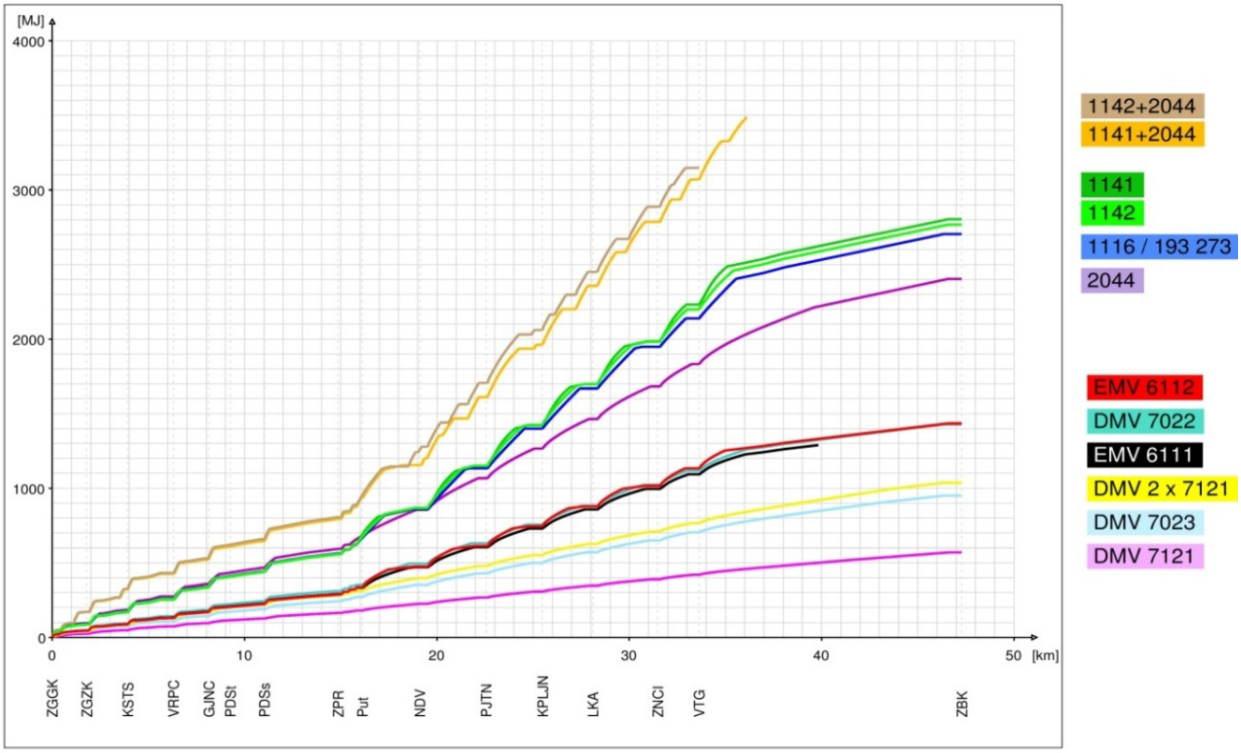
7.9. Potrošnja energije

U okviru smanjenja negativnog utjecaja željeznice na okoliš, teži se energetski što učinkovitijem kretanju vlakova. Ono se može postići praćenjem svih uvjeta odvijanja prometa vlakova na nekoj promatranoj relaciji i pritom utrošene energije. Ušteda energije ovisi o energetski uspješnoj konstrukciji lokomotiva, uspješnom reduciranju otpora pri kretanju vlaka te odgovarajućem održavanju voznog parka i pruge [32].

Potrošnja energije za vlakove iz svih predloženih varijanti grafički je prikazana na slici 11. Uočava se stroga podijeljenost grafikona na dva dijela. U donjem dijelu, s vrijednošću potrošene energije ispod 1500 MJ, svrstani su laki dizel i elektromotorni vlakovi, dok se u gornjem dijelu nalaze potrošnje teških klasičnih vlakova s

lokomotivom i vagonima. Najveću potrošnju energije imaju vlakovi iz druge varijante jer su najteži. Oni kao i vlakovi s elektro i dvosistemskim lokomotivama, imaju veću snagu pa lakše vuku teže sastave vagona u odnosu na dizel lokomotive. Slično vrijedi i za EMV serije HŽ 6112 i DMV serije HŽ 7022 iz donjeg dijela grafikona koji su nešto teži od drugih DMV te EMV serije HŽ 6111. Ovakva podjela proizlazi iz odnosa vlastite mase pojedinog sastava vlaka i broja popunjenih putničkih sjedala, što znači da primjena klasičnih vlakova na ovoj dionici bitno ovisi o budućem broju putnika.

Povećanoj potrošnji energije pridonose česta zaustavljanja i pokretanja u službenim mjestima s malim međusobnim razmacima, a s visokom maksimalnom dopuštenom brzinom. To se vidi iz proporcionalnog rasta potrošnje energije za sve vlakove do stajališta Putine jer je do tuda brzina ograničena na 60 km/h. Nakon toga javljaju se značajniji skokovi u potrošnji, sve do najduljeg dijela promatrane dionice između Velikog Trgovišća i Zaboka, u kojem vlakovi održavaju najvišu dopuštenu brzinu uz optimalniju potrošnju energije. S obzirom na to da je profil pruge i raspored službenih mjesta definiran samom modernizacijom dionice Zaprešić – Zabok, optimiziranje potrošnje energije postiglo bi se upotrebom lakših dizel i elektromotornih vlakova te ujednačavanjem vožnje na međustaničnim razmacima primjenom odgovarajućih organizacijskih, tehničkih, rekonstrukcijskih i ostalih mjera.



Slika 11. Potrošnja energije za sve varijante na relaciji Zagreb GK – Zabok

8. Diskusija

Povoljan položaj željezničke infrastrukture na području grada Zagreba i njena integracija s tramvajskim i autobusnim prijevozom predstavljaju kvalitetnu osnovu za formiranje učinkovitog sustava javnog gradskog i prigradskog prijevoza. Međutim, loše stanje željezničke infrastrukture zbog dugogodišnjeg izostanka održavanja te starost i pogonska nepouzdanost voznog parka znatno utječu na kvalitetu prijevozne usluge i konkurentnost ove vrste prijevoza. S ciljem njihovog poboljšanja do otvaranja domaćeg tržišta željezničkog putničkog prometa tržišnom natjecanju, upravitelj infrastrukture provodi rekonstrukcije pruga, a nacionalni putnički prijevoznik je u sklopu svojeg restrukturiranja krenuo u nabavu novih motornih vlakova.

Računalni programi za modeliranje prometnih sustava predstavljaju veliku pomoć korisnicima kod planiranja voznog reda, zatvora pruge, organizacije prometa vlakova, itd., a zahvaljujući visokoj razini detalja simulacijski modeli vjerne su replike prometnih sustava u stvarnosti. Korištenjem računalnog programa *OpenTrack* izrađen je model mreže pruga za analizu putničkih vlakova i postojeće organizacije prometa na dionici pruge Zaprešić – Zabok, kao i pobočnim prugama Zabok – Đurmanec i Zabok – Gornja Stubica.

Kao rezultat simulacije kretanja vlakova u računalnom modelu dobiveni su različiti grafički prikazi. Grafikon voznog reda za period od jednog dana između Zagreb GK i kolodvora Bedekovčina ukazuje na dobru usklađenost voznog reda 2016./17. sa svakodnevnim potrebama lokalnog stanovništva, no direktan putnički promet na relaciji Zagreb – Varaždin slabog je intenziteta zbog manjeg broja dnevnih migranata između ta dva regionalna središta i visoke konkurentnosti cestovnog prometa. U prometovanju vlakova između Zagreb GK i Bedekovčine, lakši DMV imaju manju potrošnju energije od teških vlakova s klasičnim sastavom, a najbolje performanse ima DMV serije HŽ 7022. No, zbog ograničenja brzine na 60 km/h na velikom dijelu pruge R201, kao i na pruzi M101 od Zaprešića do Glavnog kolodvora, on se koristi ispod svojih tehničkih mogućnosti. Prijevoz putnika vlakovima između Zaboka i Đurmanca te Zaboka i Gornje Stubice manjeg je intenziteta u odnosu na prugu Zagreb – Varaždin te je potrebno presjedanje putnika u kolodvoru Zabok na vlakove koji nastavljaju u smjeru Zagreba ili Varaždina. Na tim se relacijama koriste samo DMV serije HŽ 7121 koji relativno dobro odgovaraju zahtjevima tih dionica, pri čemu na pruzi R106 jedan vlak utroši oko 250 MJ, a na kraćoj pruzi L202 oko 165 MJ.

Zbog intenzivnog putničkog prometa na dionici Zaprešić – Zabok, odlučeno je pristupiti njenoj rekonstrukciji i elektrifikaciji kako bi se mogla uključiti u sustav prigradskog prometa grada Zagreba. U sklopu modernizacije predviđeno je ublažavanje profila trase, osuvremenjivanje osiguranja na željezničko – cestovnim prijelazima, zamjena zastarjelih signalno – sigurnosnih sustava te ugradnja novih telekomunikacijskih uređaja i uređaja daljinskog upravljanja prometom radi postizanja

maksimalne brzine od 120 km/h. Najveće promjene planiraju se izgradnjom novog stajališta Putine i dogradnjom teretnog dijela na postojeći dio kolodvora Zabok, pri čemu će prijamne zgrade svih službenih mjesta biti bolje prilagođene korisnicima i suvremenim standardima.

Po završetku tih radova moći će se uvesti nova linija prigradskog prijevoza na relaciji Zagreb GK – Zabok, ali s manjom frekvencijom polazaka prigradskih vlakova u odnosu na liniju prema Savskom Marofu jer je potražnja na ovom području ipak manja. To će promijeniti i dosadašnju ulogu kolodvora Zabok na mreži zagorskih pruga, a time uvjetovati i promjenu organizacije prometa vlakova na pruzi R201.

Kod organizacije putničkog prijevoza na nekoj liniji te odabira broja vlakova, njihove strukture, vrste vuče i sastava, željeznički operater mora uskladiti sve troškove i raspoložive kapacitete vlastitog voznog parka s realnim putničkim tokovima te potrebama i zahtjevima stanovništva s tog područja. U radu se predlažu četiri moguće varijante organizacije prigradskog prometa na novoj liniji.

Prva varijanta pretpostavlja korištenje elektro vuče kod prigradskih vlakova na elektrificiranom dijelu pruge do Zaboka te dizel vuču kod lokalnih vlakova prema Varaždinu, Đurmancu i Gornjoj Stubici. Druga varijanta pretpostavlja prometovanje prigradskih vlakova s dvije lokomotive (dizel i elektro) do Zaboka, nakon čega se elektro lokomotiva s njih otkopčava i prikopčava na pristigle lokalne vlakove koji potom kreću prema Zagrebu. Treća varijanta pretpostavlja prometovanje vlakova s dizel vučom po cijeloj relaciji, a četvrta varijanta odnosi se na primjenu dvosistemskih lokomotiva koje mogu neometano prometovati po elektrificiranom i neelektrificiranom dijelu mreže.

Za usporedbu predloženih varijanti organizacije korišteni su parametri: vrijeme putovanja, broj presjedanja putnika, broj istovremenih vlakova u kolodvoru, komercijalna brzina, vrijeme obrta, troškovi linije, utjecaj na okoliš i potrošnja energije. Postoje i ostali parametri, poput zadovoljstva i sigurnosti korisnika, vizualne privlačnosti vozila, udobnosti, itd., ali njih nije moguće kvantitativno vrednovati.

Različite tehničke značajke vozila bitno utječu na iznos vremena putovanja između Zagreba i Zaboka za pojedine skupine vozila unutar promatranih varijanti. Najmanje prosječno vrijeme putovanja vlakova iz druge varijante i pojedinačnog EMV serije HŽ 6112 iz prve varijante je jednako i iznosi 50 min, što je 11 % manje od najmanjeg vremena i 23 % od najdužeg vremena putovanja iz postojećeg voznog reda. Elektro lokomotive i novi EMV imaju bolje rezultate jer je poznato da vozila s elektro vučom imaju velike vučne sile i veća ubrzanja pa pri polasku iz službenih mjesta prije ostvaruju potrebne brzine. Usporedbom vremena putovanja za brzi vlak u čijem je sastavu DMV serije HŽ 7022, na cijeloj relaciji od Zagreba do Zaboka ušteda vremena iznosi 26 %, a na dionici Zaprešić – Zabok gotovo 38 %.

Korištenje sastava iz prve varijante u prigradskim vlakovima, za razliku od onih iz preostalih varijanti, zahtijeva presjedanje putnika u kolodvoru Zabok na lokalne

vlakove prema Varaždinu, Gornjoj Stubici i Đurmancu te obrnuto, zbog čega bi vozni redovi prigradskih i lokalnih vlakova trebali biti usklađeni kako bi se čekanje putnika svelo na minimum, ali i radi veće učinkovitosti rada elektro lokomotiva iz druge varijante.

Sve varijante organizacije pretpostavljaju istodobno prihvaćanje maksimalno četiri putnička vlaka u rasporednom kolodvoru, što je moguće primjenom kratkih i dugih ulaza vlakova zahvaljujući ugradnji skretničkih veza između prvog i drugog kolosijeka te uređenju potrebnih perona u putničkom dijelu kolodvora Zabok.

Na relaciji Zagreb GK – Zaprešić gotovo svi vlakovi optimalno koriste vlastite i infrastrukturne mogućnosti, s tim da su vlakovi iz treće varijante nešto sporiji. Na dijelu od Zaprešića do Zaboka kretanje vlakova uopće nije racionalno i troše se velike količine energije za kratkotrajne učinke. Pritom vlakovi iz treće varijante imaju najlošiju izvedbu zbog skoro duplo manje specifične snage od vozila s elektro vučom koja lakše podnose veća trenutna opterećenja. Najveću prosječnu komercijalnu brzinu na cijeloj dionici imaju vlakovi iz druge varijante i ona iznosi 46,8 km/h, a najmanju od 42,3 km/h oni iz treće varijante. Tako niska brzina rezultat je lošeg građevinskog stanja dionice od Zagreba do Zaprešića, malih međustaničnih razmaka (pogotovo na dijelu od Žeinca do Velikog Trgovišća) i zadržavanja vlakova u svim službenim mjestima zbog ulaska i izlaska putnika. Veće iskorištenje dopuštene brzine, optimalnije korištenje vučnih značajki vozila i racionalnija potrošnja energije mogu se postići promjenama u organizaciji prometa vlakova (primjerice, primjenom skip – stop operacija), boljim izborom vozila, boljim signalno – sigurnosnim uređajima i drugim sličnim mjerama.

Iznos ukupnog obrta vlakova na liniji znatno ovisi o broju vlakova koji njome prometuju. Najveće ukupno vrijeme obrta imaju vozila iz druge varijante što dokazuje da je angažiranje dvije vrste lokomotiva nepotrebno na pruzi čija trasa ne zahtijeva dvostruku vuču. Najmanji obrt imaju vlakovi iz četvrte i treće varijante kod kojih se ne mijenja sastav na čitavoj dionici, a razlici u vremenu pridonose isključivo bolje tehničke karakteristike vlakova s dvosistemskim lokomotivama na elektrificiranom dijelu pruge u odnosu na dizel vlakove. Smanjenje vremena putovanja garnitura na liniji Zagreb Glavni kolodvor – Zabok, kao posljedica povećanja komercijalne brzine, pridonosi smanjenju njihova obrta pa će za prijevoz putnika biti dovoljan manji broj garnitura jer će one raditi više ciklusa obrta. Za prijevoznika to znači da trenutno raspoloživa prijevozna sredstva može još optimalnije koristiti jer će se, uz povećanje ciklusa garnitura, moći prevesti više putnika, a time ostvariti i veći prihod.

Iako rezultati izračuna minimalnih pristupnih troškova pokazuju da je za prijevoznika povoljnija naknada u slučaju korištenja dizel vlakova iz treće varijante, u proračun nisu uključeni i ostali operativni troškovi, a pogotovo troškovi goriva i održavanja jer je u operaterovom voznom parku veliki postotak vozila s dizel vučom koja su nepouzdana i stara te troše puno energije. Osim toga, električna vuča je 3,15 puta isplativija od dizelske jer ima bolji stupanj korištenja pogonske energije, manju

specifičnu potrošnju i utrošak energije, a održavanje vozila je puno jednostavnije i lakše, nego održavanje dizelskih lokomotiva. Gledajući ostale varijante organizacije, najmanje ukupne troškove pristupa infrastrukturi imaju EMV iz prve varijante, s 2,5 puta jeftinijom naknadom u odnosu na klasične sastave iz iste varijante i 3 puta manjom od najviše naknade za vlakove u drugoj varijanti, jer se obračun za isporuku električne energije temelji na bruto masi vlaka. Osim toga, primjenom novih EMV serije HŽ 6112 i postupnom zamjenom zastarjelih EMV serije HŽ 6111, moguće su dodatne uštede u troškovima eksploatacije za čak 14,67 kn/km, što im daje dodatnu prednost u odnosu na druge vlakove iz njihove varijante i ostalih varijanti.

Upotreba vlakova iz prve i četvrte varijante ima znatno manji utjecaj na okoliš jer nema ispušnih plinova, dima i čađe prilikom prometa vlakova, a razina buke je manja nego kod ostalih varijanti. Nepovoljne varijante organizacije su druga i treća, kod koji se vrijednosti emisija štetnih plinova i tvari ne bi značajno promijenile od postojećih na toj relaciji, a koje se kreću oko 3 kg ugljičnog dioksida (CO_2), 9,3 g dušikovih oksida (NO_x) te 0,93 g krutih čestica (PM).

Najveću potrošnju energije imaju vlakovi iz druge varijante jer su najteži, a najmanju motorni vlakovi iz treće. Ovakva podjela proizlazi iz odnosa vlastite mase pojedinog sastava vlaka i broja popunjenih putničkih sjedala tako da primjena klasičnih vlakova na ovoj dionici uvelike ovisi o budućem broju putnika. Osim mase, povećanoj potrošnji energije pridonose česta zaustavljanja i pokretanja u službenim mjestima s malim međusobnim razmacima i visokom maksimalnom dopuštenom brzinom na otvorenoj pruzi. S obzirom na to da je profil pruge i raspored službenih mjesta definiran modernizacijom dionice Zaprešić – Zabok, optimiziranje potrošnje energije postiglo bi se upotrebom lakših dizel i elektromotornih vlakova te ujednačavanjem vožnje na međustaničnim razmacima, što je moguće ostvariti primjenom odgovarajućih organizacijskih, tehničkih, rekonstrukcijskih i ostalih mjera.

Na temelju svih razmatranih učinaka pojedinih sastava u sklopu predloženih varijanti organizacije prometa vlakova na budućoj liniji prigradskog prijevoza Zagreb GK – Zabok, kao najpogodniji mogli bi se izdvojiti novi elektromotorni vlakovi serije HŽ 6112 iz prve predložene varijante. Međutim, budući da u konačnici svi parametri nisu podjednako bitni i svaki od njih ima drugačiju varijantu koja je po njemu najbolja, konačnu odluku o izboru optimalne vrste željezničkog vozila u sastavu prigradskih vlakova ima donositelj odluke. On prvo mora detaljno sagledati sve kriterije zajedno i vrednovati ih prema vlastitim afinitetima. To je moguće učiniti korištenjem neke od metoda višekriterijskog odlučivanja, primjerice metode Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP metoda). Tek potom donositelj može donijeti odluku koju varijantu odabrati kao najpogodniju i kvalitetnu osnovu bolje prijevozne usluge u budućoj tržišnoj utakmici.

9. Zaključak

Visoki stupanj motorizacije i veliki broj dnevnih migracija u kombinaciji s nedostatkom prostora sve češće dovode do brojnih prometnih i ekoloških problema u velikim urbanim sredinama. Rješenje predstavlja razvoj javnog gradskog putničkog prijevoza koji integrira različite oblike prijevoza, a gotovo uvijek njegovu osnovu čini željeznica.

Željeznički gradski i prigradski prijevoz na području grada Zagreba najintenzivniji je na dionici Savski Marof – Dugo Selo, a od ostalih pruga najznačajniji promet putnika odvija se na dionici Zaprešić – Zabok. Kolodvor Zabok ima povoljan položaj na pruzi Zaprešić – Varaždin, a iz njega se odvajaju još dvije pobočne pruge, jedna prema Đurmancu i granici sa Slovenijom te druga prema Gornjoj Stubici. Svakodnevne migracije velikog broja stanovništva s ovog prostora u zagrebačko gravitacijsko područje zadovoljavaju uvjet za uključivanje spomenute pružne dionice u sustav prigradskog prijevoza grada Zagreba. Da bi se isto ostvarilo, potrebna je modernizacija i elektrifikacija dionice Zaprešić – Zabok koja bi omogućila promet vlakova s maksimalnom brzinom od 120 km/h.

Modeli postojećeg i budućeg stanja pruga značajnih za promet vlakova na dionici Zaprešić – Zabok izrađeni su u računalnom programu za modeliranje u željeznici *OpenTrack.* Budući da on pruža mogućnost simuliranja prometa vlakova po uzoru na stvarni željeznički sustav, rezultati dobiveni simulacijom kretanja vlakova u modelu korišteni su za analizu četiri varijante nove organizacije prometa vlakova na budućoj liniji prigradskog prijevoza Zagreb GK – Zabok. Predložene varijante međusobno se razlikuju po vrsti konstrukcije i pogona vučnog vozila, a opravdanost primjene svake pojedine varijante promatrana je kroz osam različitih kriterija, podjednako bitnih i za korisnike i za željezničkog prijevoznika. Međutim, kako svaki parametar ima drugačiji redoslijed najpogodnijih varijanti, a i sami parametri nisu nužno jednako važni, teško je pouzdano utvrditi optimalnu varijantu buduće organizacije prometa vlakova. Istraživanje provedeno u ovome diplomskom radu svakako može poslužiti kao dobra podloga za sustav donošenja odluka u kojem će donositelj odluke moći vrednovati sve razmatrane kriterije prema vlastitim prioritetima, a potom i odabrati najbolje rješenje za novu liniju prigradskog prometa.

Odabir optimalne varijante povezan je i s modernizacijom voznog parka koju provodi nacionalni prijevoznik, ali za ostvarivanje učinkovitog i održivog prometnog sustava kojem se danas teži, a čija je okosnica željeznički prijevoz, nju treba pratiti i modernizacija pruga koje su godinama bile zanemarivane, jer jedino zajedničke aktivnosti pridonose prilagodbi željezničkog sektora suvremenim potrebama korisnika i povećanju njegove konkurentnosti na tržištu usluga.

Literatura

1. EU prometni koridori i TEN–T, URL: http://www.promet-eufondovi.hr/eu-prometni-koridori-i-ten-t (pristupljeno: lipanj 2017.)
2. Pintarić, Lj.: Osnovne karakteristike tržišta željezničkoga gradsko –prigradskog putničkog prijevoza (GPPP–a), Željeznice 21, Vol. 13, No. 2, str. 21-30., 2014.
3. Krapinsko – zagorska županija, URL: http://www.kzz.hr/opcenito (pristupljeno: srpanj 2017.)
4. Ilić, M.: Željeznički putnički promet Središnje Hrvatske, Hrvatski geografski glasnik, Vol. 62, No. 1, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, str. 67-80., 2000.
5. Somođi, V. et al: 100 godina željezničke pruge Zaprešić – Varaždin – Čakovec – Zabok – Krapina, SOUR ŽTP Zagreb, Varaždin, 1986.
6. Klečina, A.: Stanje i perspektive pruga Zaprešić – Čakovec i Zabok – Đurmanec – državna granica, Željeznice 21, Vol. 7, No. 3, Hrvatske željeznice, str. 13-23., 2008.
7. Idejni projekt – Modernizacija željezničke pruge I. reda Zaprešić – Varaždin – Čakovec, Dionica: Zaprešić – Zabok, Hrvatske željeznice, Zagreb, 2004.
8. HŽ Infrastruktura, Poslovni red kolodvora Zaprešić I. dio
9. HŽ Infrastruktura, Poslovni red kolodvora Novi Dvori I. dio
10. HŽ Infrastruktura, Poslovni red kolodvora Luka I. dio
11. HŽ Infrastruktura, Poslovni red kolodvora Veliko Trgovišće I. dio
12. HŽ Infrastruktura, Poslovni red kolodvora Zabok I. dio
13. Program financiranja i upravljanja lokalnim prugama, URL: https://vlada.gov.hr/UserDocsImages//Sjednice/Arhiva//33.%20-%202.b.pdf, (pristupljeno: srpanj 2017.)
14. HŽ Infrastruktura, Izvješće o mreži 2017.
15. Haramina, H., Schöbel, A., Bojić, M.: Računalno modeliranje i simulacija željezničkog prometa na relaciji Savski Marof – Dugo Selo primjenom programskog alata *OpenTrack*, Željeznice 21, Vol. 13, No. 2,, str. 17-19., 2014.
16. HŽ Infrastruktura, Uzdužni profil željezničke pruge R201 Zaprešić – Čakovec
17. Badanjak, D., Bogović, B. , Jenić, V.: Organizacija željezničkog prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
18. Četvrti željeznički paket: poboljšanje europskih željeznica, URL: http://www.consilium.europa.eu/hr/policies/4th-railway-package/, (pristupljeno: srpanj 2017.)
19. Program restrukturiranja HŽ Putničkog prijevoza, Zagreb, 2014.
20. HŽ Putnički prijevoz, Prometno – prijevozna uputa za unutarnji putnički promet uz vozni red 2016./2017, Zagreb, 2016.
21. Vozni red – kupnja karte, URL: https://prodaja.hzpp.hr/hr/Ticket, (pristupljeno: srpanj 2017.)

22. HŽ Infrastruktura, Elektronska knjižica voznog reda uz VR 2016./2017. za putnički promet, Zagreb, 2016.
23. HŽ Infrastruktura, Elektronska knjižica voznog reda uz VR 2016./2017. za teretni promet, Zagreb, 2016.
24. Niskopodni dizel–motorni vlak za regionalni promet, URL: http://tzv-gredelj.hr/proizvodni-program/vlakovi/niskopodni-diesel-elektromotorni-vlak.html, (pristupljeno: srpanj 2017.)
25. HŽ Infrastruktura, Knjiga 3 – Tehničke specifikacije I, Zagreb, 2017.
26. Petrović, M.: Planiranje lokacije intermodalnih putničkih terminala u gradsko-prigradskom željezničkom prijevozu, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
27. Golubić, J.: Promet i okoliš, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
28. Hrvatske željeznice, Uputa o kočenju vlakova, Zagreb, 2005.
29. HŽ Putnički prijevoz, interni podaci, Zagreb, 2017.
30. Mandić, M.: Elektrifikacija željeznica opravdana na prugama velikog opsega prometa, Željezničar, No. 828, str. 12-13., 2014.
31. EccoPassenger, URL: http://www.ecopassenger.org/bin/query.exe/en?ld=uic-eco&L=vs_uic&OK#focus, (pristupljeno: srpanj 2017.)
32. Jong, J. C., Chang, E. F.: Models for estimating energy consumption on electric trains, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 278 - 291, 2005.

Popis kratica

A – E	ulazni/ izlazni signali čija vrsta ovisi o broju kolosijeka i namjeni
AHP	Analitički hijerarhijski proces
APB	automatski pružni blok
B2	kategorija pruga s najvećim opterećenjem od 64 kN/m
CO_2	ugljični dioksid
D4	kategorija pruga s najvećim opterećenjem od 80 kN/m
DMV	dizel motorni vlak
EMV	elektromotorni vlak
GK	Glavni kolodvor
HŽ	Hrvatske željeznice
L202	lokalna pruga Zabok – Donja Stubica
M101	međunarodna pruga Zagreb GK – Savski Marof–državna granica
NO_x	dušični oksidi
PsA	predsignal ulaznog signala A
PM	krute čestice
R106	regionalna pruga Zabok – Đurmanec – državna granica
R201	regionalna pruga Zaprešić – Varaždin – Čakovec
S – 49	tračnice čija je masa 49 kg/m
SIL 4	razina integriteta sigurnosti 4
SKL	elastični kolosiječni pričvrsni pribor
SpDr „Lorenz“ 30	elektro – relejni signalno – sigurnosni uređaj
SS – 74	relejni signalno – sigurnosni uređaj
UIC 60	tračnice čija je masa 60 kg/m
UIC GC	slobodni profil prema propisu Međunarodne željezničke unije
ŽCP	željezničko – cestovni prijelaz

Popis oznaka i mjernih jedinica

$BRTKM_{vlaka}$	brutotonski kilometri vlaka [brtkm]
C	naknada za minimalni pristupni paket [kn]
C_{brtkm}	osnovna cijena električne energije [kn/brtkm]
C_{el}	dodatak na cijenu vlkm trase vlaka s električnom vučom [kn/vlkm]
C_{ev}	naknadu za isporuku električne energije potrebne za vuču vlakova [kn]
C_{os}	osnovna cijena korištenja službenih mjesta [kn]
C_{sm}	naknadu za korištenje službenih mjesta te svih drugih objekata potrebnih za prijam i otpremu putnika [kn]
C_{vlkm}	osnovna cijena [kn/vlkm]
d_m	dodatak za masu vlaka
d_n	dodatak za korištenje nagibne tehnike
K_{sm}	koeficijent službenog mjesta
K_{vl}	koeficijent vrste vlaka
L	duljina trase vlaka [km]
L	parametar linije
l_{el}	duljina trase vlaka s električnom vučom [km]
R	polumjer luka [m]
T	ekvivalent trase vlaka

Popis slika

Slika 1. Shema linija javnog gradsko – prigradskog željezničkog prijevoza

Slika 2. Isječak iz uzdužnog profila pruge R201 od km 8 + 000 do km 10 + 000

Slika 3. Prikaz modela mreže izrađenog u programu *OpenTrack*

Slika 4. Izgled izbornika *Tains* i prozora *Edit* za uređivanje sastava vlakova

Slika 5. Izbornik *Courses/Services* za uređivanje trasa vlakova

Slika 6. Izbornik *Timetable* za uređivanje voznog reda trase 3001

Slika 7. Grafikon voznog reda za dionicu Zagreb GK – Bedekovčina za period od 24h

Slika 8. Grafikon voznog reda za prugu Zabok – Đurmanec za period od 24 h

Slika 9. Grafikon voznog reda za prugu Zabok – Gornja Stubica za period od 24 h

Slika 10. Izgled modela budućeg stanja dionice Zaprešić – Zabok

Slika 11. Potrošnja energije za sve varijante na relaciji Zagreb GK – Zabok

Popis tablica

Tablica 1. Vremena putovanja za sve varijante na relaciji Zagreb GK – Zabok [min]

Tablica 2. Komercijalna brzina za sve varijante na relaciji Zagreb GK – Zabok [km/h]

Tablica 3. Vrijeme obrta između Zagreba i Varaždina za sve varijante

Tablica 4. Ukupni troškovi pristupa infrastrukturi za sve varijante

Popis grafikona

Grafikon 1. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za relaciju Zagreb GK – Bedekovčina

Grafikon 2. Potrošnja energije putničkih vlakova na razmatranoj dionici

Grafikon 3. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za relaciju Zabok – Đurmanec

Grafikon 4. Potrošnja energije za putnički vlak na relaciji Zabok – Đurmanec

Grafikon 5. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za relaciju Zabok – Gornja Stubica

Grafikon 6. Potrošnja energije za putnički vlak na relaciji Zabok – Gornja Stubica

Grafikon 7. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za prvu varijantu

Grafikon 8. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za drugu varijantu

Grafikon 9. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za treću varijantu

Grafikon 10. Ovisnost brzine vožnje o prijeđenom putu za četvrtu varijantu