

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Dovč, M. 2013. Sistemi vodenja prometa vlakov in interoperabilnosti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Zgonc, B., somentorica Šemrov, D.): 81 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Dovč, M. 2013. Sistemi vodenja prometa vlakov in interoperabilnosti. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Zgonc, B., co-supervisor Šemrov, D.): 81 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
GRADBENIŠTVA  
PROMETNA SMER**

Kandidat:

**MATIC DOVČ**

**SISTEMI VODENJA PROMETA VLAKOV IN  
INTEROPERABILNOSTI**

Diplomska naloga št.: 3297/PS

**TRAIN CONTROL - COMMAND AND SIGNALLING  
SYSTEM AND INTEROPERABILITY**

Graduation thesis No.: 3297/PS

**Mentor:**

prof. dr. Bogdan Zgonc

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentorica:**

asist. Darja Šemrov

**Član komisije:**

izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov

asist. Patricija Cotič

prof. dr. Bojan Majes

viš. pred. mag. Rok Fazarinc

Ljubljana, 26. 04. 2013

## **POPRAVKI**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **MATIC DOVČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

»**SISTEMI VODENJA VLAKOV IN INTEROPERABILNOST**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 19. 3. 2013

---

(podpis kandidata)

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>656.22.008(497.4)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Matic Dovč</b>
<b>Mentor:</b>	<b>prof. Dr. Bogdan Zgonc, univ. dipl. inž. grad.</b>
<b>Somentorica:</b>	<b>asist. Darja Šemrov, univ. dipl. inž. grad.</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Sistem vodenja vlakov in interoperabilnost</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>81 str., 3 pregl., 78 sl., 2 en.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>signalnovarnostni sistem, svetlobni signali, interoperabilnost, ETCS, kapaciteta, izkoriščenost kapacitete, zgoščanje voznega reda</b>

### **Izvleček**

V prvem delu diplomske naloge bom opisal signalnovarnostni sistem (SV sistem) in pokazal, kako poteka vodenje vlakov z SV napravami. Opisal bom štiri načine vodenja vlakov, in sicer z dogovarjanjem dveh prometnikov sosednjih postaj, medpostajno odvisnostjo, avtomatskim progovnim blokom in s telekomando, nato pa še možno nadgradnjo s sistemom ETCS (ang. *European train control system*), ki omogoča interoperabilnost železniškega omrežja. V nadaljevanju bom opisal, kako se določi čas zasedenosti progovnega odseka, in prikazal, kako se s pomočjo voznega reda izračuna izkoriščenost kapacitete po metodi UIC 406.

V praktičnem delu diplome bom obravnaval progo Ljubljana–Kranj, ki je del X.koridorja, in prikazal, kako se spremeni lokacija zaviranja vlaka na progi ter izkoriščenost kapacitete v primeru nadgradnje klasičnega SV sistema z Evropskim sistemom za nadzor in vodenje vlakov. Za modeliranje železniškega sistema na progi Ljubljana–Kranj sem uporabil program OpenTrack. Analiziral sem jutranjo konico od 5.30–7.30, v kateri je največ potniških vlakov.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 656.22.008(497.4)(043.2)  
**Author:** Matic Dovč  
**Supervisor:** Prof. Bogdan Zgonc, Ph. D.  
**Co-supervisor:** Assist. Darja Šemrov B. Sc.  
**Title:** Train control-command and signalling system and interoperability  
**Document type:** Graduation thesis – University studies  
**Notes:** 81 str., 3 pregl., 78 sl., 2 en.  
**Keywords:** signaling and interlocking system, light-safety devices, interoperability, ETCS, capacity, capacity consumption, timetable compression

### **Abstract**

The first part of the paper describes the signaling and interlocking system and shows how the trains are controlled with signal devices. Four types of controlling the trains are described: verbal communication between two dispatchers of neighbour stations, the block system, automatic line block and the remote traffic control centre (tele-command centre) with a possibility of ETCS (European train control system) upgrade, which allows the interoperability of the rail network. This is followed by the explanation of how to determine the time when a certain rail line segment is occupied and show how to calculate the blocking time by using Code UIC 406.

The empirical part discusses Ljubljana–Kranj route, which forms a part of the tenth corridor, and furthermore explains, how the location of the train braking on the track changes and takes a look at the capacity utilization in case of upgrading conventional railway signaling and inter-blocking system with the European train control system. For presenting the rail system on Ljubljana–Kranj route, OpenTrack program is used. The analysis was conducted during the morning peak train times from 5:30 to 7:30, in which the maximum number of passenger trains is on the track.

## **ZAHVALA**

Najprej bi se rad zahvalil svoji mami in očetu za podporo in finančno pomoč skozi celoten študij.

Mentorju prof. dr. Bogdanu Zgoncu in somentorici asist. Darji Šemrov se zahvaljujem za strokovno pomoč in nasvete pri pisanju diplome.

Za pomoč pri razumevanju tematike in reševanju tehničnih problemov se zahvaljujem mag. Laszlu Cikajlu.

Velika zahvala gre Gašperju Arhu, Luki Ratajcu in Miklavžu Tacolu za pomoč pri risanju in za vzpodbudo pri delu.

Rad bi se zahvalil še prijateljem: Davidu, Alanu, Gregi G., Johnu, Snežani, Gregi N., Matjažu, Katji, Harisu, Alji in sorodnikom: Luki, Žigu in Niki za vse telefonske pogovore, skype konference, kavice in piva v času ko mi ni šlo vse po načrtih.

Zahvaljujem se Emi Golob za lektoriranje diplome.

Posebna zahvala gre vsem kolegom, ki so mi zelo olajšali študij, še posebej Tadeji Lavrič s katero sva veliko časa preživela v računalniški učilnici in razmišljala kako rešiti marsikateri problem.

Diplomo posvečam svoji babici Pavli.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1	Namen in cilji diplome .....	2
<b>2</b>	<b>KLASIČEN NAČIN VODENJA VLAKOV</b> .....	<b>3</b>
2.1	Zavarovanje voženj vlakov na odprti progi .....	3
2.1.1	Zavarovanje voženj vlakov z dogovarjanjem .....	4
2.1.2	Medpostajna odvisnost .....	5
2.1.3	Avtomatski progovni blok .....	5
2.1.4	Telekomanda .....	8
2.1.5	Čas zasedenosti progovnega odseka na odprti progi .....	10
2.2	Zavarovanje voženj vlakov na postajah.....	12
2.2.1	Vozna pot.....	12
2.2.2	Čas zasedenosti progovnega odseka na postaji .....	14
<b>3</b>	<b>OPIS SV NAPRAV</b> .....	<b>16</b>
3.1	Notranje ERSV naprave .....	16
3.1.1	Relejni del.....	17
3.1.2	Oprema za napajanje .....	17
3.1.3	Centralna postavljalna naprava .....	18
3.2	Zunanje ERSV naprave.....	19
3.2.1	Naprave za kontrolo prostosti progovnega odseka.....	19
3.2.1.1	Mehanični detektorji.....	19
3.2.1.2	Hidravlični in pnevmatični detektorji.....	20
3.2.1.3	Magnetni detektorji.....	20
3.2.1.4	Induktivni detektorji.....	21
3.2.2	Izolirka.....	21



3.2.2.1	Izolirni stik.....	23
3.2.3	Signali.....	24
3.2.3.1	Signalni znak.....	24
3.2.3.2	Svetlobni signal.....	25
3.2.4	Kretniški pogon.....	27
3.2.5	Naprave za zavarovanje nivojskih prehodov .....	28
3.3	Naprave za avtomatsko zaustavljanje vlakov .....	32
3.4	Naprave za zaznavanje vročih osi .....	33
4	KAPACITETA PROGE.....	35
4.1	Metoda UIC 406 za določanje izkoriščenosti kapacitete železniške proge .....	35
4.2	Potek vrednotenja izkoriščenosti kapacitete po metodi UIC 406 .....	36
5	EVROPSKI SISTEM ZA NADZOR IN UPRAVLJANJE VLAKOV.....	39
5.1	Splošno o ERTMS.....	39
5.2	ETCS oprema.....	40
5.2.1	ETCS oprema na vlaku .....	40
5.2.2	ETCS oprema ob progi .....	43
5.3	Delovanje sistema ETCS in nivoji delovanja.....	47
5.3.1	ETCS nivo 0 in STM.....	48
5.3.2	ETCS nivo 1.....	48
5.3.2.1	Primerjava ETCS nivoja 1 s klasičnem SV sistemom pri zaviranju.....	51
5.3.3	ETCS nivo 2.....	52
5.3.4	ETCS nivo 3.....	53
5.4	ETCS zavorne krivulje.....	54
5.5	Vodenje prometa s pomočjo sistema ETCS.....	56
5.5.1	Kabinska signalizacija s fiksnim progovnim blokom .....	57
5.5.2	Kabinska signalizacija z gibljivim progovnim blokom .....	58
5.6	Primerjava nivojev ETCS .....	60

<b>6</b>	<b>ANALIZA VODENJA PROMETA NA PROGI LJUBLJANA–KRANJ .....</b>	<b>61</b>
6.1	Karakteristike proge Ljubljana–Kranj .....	62
6.2	Modeliranje proge Ljubljana–Kranj .....	63
6.2.1	Model proge s klasičnimi SV napravami .....	63
6.2.2	Model proge nadgrajen z ETCS nivojem 1.....	70
6.2.3	Model proge nadgrajen z ETCS nivojem 2.....	71
6.3	Vozni red.....	72
6.4	Simulacija .....	73
6.5	Analiza rezultatov .....	74
6.5.1	Diagram hitrosti in poti pri klasičnem SV sistemu .....	74
6.5.2	Diagram hitrosti in poti pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 1.....	75
6.5.3	Diagram hitrosti in poti pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 2.....	76
6.5.4	Izkoriščenost kapacitete pri klasičnem SV sistemu .....	78
6.5.5	Izkoriščenost kapacitete pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 1 .....	79
6.5.6	Izkoriščenost kapacitete pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 2 .....	82
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>84</b>
<b>VIRI.....</b>	<b>.....</b>	<b>86</b>

## **KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Vidna razdalja za glavne signale in predsignale (Signalni pravilnik, 2011) .....	26
Preglednica 2: Vlaki v smeri Ljubljana–Kranj.....	73
Preglednica 3: Vlaki v smeri Kranj–Ljubljana.....	73

## KAZALO SLIK

Slika 1: Prostorski razmik (Zgonc, 2003).....	3
Slika 2: Postopek dogovarjanja med sosednjima postajama na enotirni progi (Zgonc, 2003).....	4
Slika 3: Medpostajna odvisnost (Romanešen, 2011).....	5
Slika 4: Avtomatski progovni blok (Romanešen, 2011) .....	6
Slika 5: Zavarovanje zaporednih vlakov (Zgonc, 2003) .....	7
Slika 6: Delovanje progovnega bloka (Theeg, Vlasenko, 2009).....	7
Slika 7: Telekomanda (Romanešen, 2011).....	8
Slika 8: Nadzorna plošča (Romanešen, 2011).....	9
Slika 9: Čas zasedenosti progovnega odseka na odprti progi (Pachl, White, 2004).....	10
Slika 10: Stopničasti grafikon (Theeg, Vlasenko, 2009).....	11
Slika 11: Postavljanje vozne poti (Theeg, Vlasenko, 2009).....	13
Slika 12: Vozna pot (Theeg, Vlasenko, 2009).....	13
Slika 13: Zavarovanje vozne poti po odsekih (Theeg, Vlasenko, 2009) .....	14
Slika 14: Zasedenost progovnega odseka pri prevozu vlaka skozi postajo (Zgonc, 2003) .....	15
Slika 15: Zasedenost progovnega odseka pri izvozu vlaka (Zgonc, 2003) .....	15
Slika 16: Stojalo z relejnimi skupinami (Romanešen, 2011) .....	17
Slika 17: Postavljalna miza (Jontes, 1999).....	18
Slika 18: Mehanični detektorji (Theeg, Vlasenko, 2009).....	20
Slika 19: Pnevmatični detektorji (Theeg, Vlasenko, 2009).....	20
Slika 20: Magnetni detektorji (Theeg, Vlasenko, 2009).....	21
Slika 21: Induktivni detektorji (Theeg, Vlasenko, 2009) .....	21
Slika 22: Izolirka (Jontes, 1989).....	22
Slika 23: Prikaz izvedbe sestavljenega izolirnega stika in njegov prerez.....	23
Slika 24: Prikaz izvedbe sestavljenega lepljenega stika in njegov prerez (Jontes, 1989).....	24
Slika 25: Svetlobni signal (Romanešen, 2011).....	26
Slika 26: Kretniški pogon (Romanešen, 2011).....	27
Slika 27: Sistem NPR–PO (Jontes, 1989).....	29

Slika 28: Sistem NPr–KS (Jontes, 1989) .....	30
Slika 29: Sistem NPr–DK (Jontes, 1989).....	31
Slika 30: Avtostop naprava INDUSI (Romanešen, 2011) .....	32
Slika 31: Naprave za zaznavnje vročih osi (Schobel, Pisek, 2006).....	33
Slika 32: Medsebojna odvisnost parametrov kapacitete (Landex, 2008).....	36
Slika 33: Zgoščanje voznega reda (Cikajlo, 2010).....	37
Slika 34: Zaslon DMI (RGS, 2010) .....	42
Slika 35: Opozorilne barve na zaslonu DMI (RGS, 2010).....	43
Slika 36: Baliza (ETCS, 2012).....	44
Slika 37: Evrozanka (Hernavs, Godec, 2009) .....	44
Slika 38: Delovanje progovne elektronske enote (Hernavs, Godec, 2009).....	45
Slika 39: Shema delovanja RBC (Hernavs, Godec, 2009).....	46
Slika 40: Osnovno delovanje ETCS nivo 1 (RGS, 2010) .....	49
Slika 41: Največji/najmanjši odmik za zadnjim ali pred sprednjim delom vlaka (RGS, 2010).....	50
Slika 42: Spreminjanje razdalje med balizami s povečanjem hitrosti (RGS, 2010).....	50
Slika 43: Graf zaviranja ETCS in klasičen sistem (ETCS handbook, 2008) .....	51
Slika 44: Delovanje ETCS nivoja 2 (RGS, 2010) .....	53
Slika 45: Delovanje ETCS nivoja 3 (ETCS, 2012).....	54
Slika 46: Zavorne krivulje sistema ETCS (Theeg, Vlasenko, 2009) .....	55
Slika 47: Potek zaviranja s sistemom ETCS (Breaking curves, 2012).....	56
Slika 48: Sodobno vodenje prometa (Theeg, Vlasenko, 2009) .....	57
Slika 49: Čas zasedenosti progovnega odseka pri sistemu s kabinsko signalizacijo (Theeg, Vlasenko, 2009) .....	58
Slika 50: Primerjava med fiksnim in gibljivim progovnim blokom (Wikipedia, 2012) .....	59
Slika 51: Zasedenosti progovnega odseka pri sistemu z gibljivim prostorskim odsekom (Theeg, Vlasenko, 2009) .....	59
Slika 52: Osnovni elementi programa OpenTrack (Nash, Huerlimann, 2003) .....	61
Slika 53: Pregledna karta (SŽ, 2012) .....	62
Slika 54: Tirna shema postaje Medvode (SŽ, 2012) .....	63

Slika 55: Primer različno obarvanih »točk« .....	64
Slika 56: Postaja Ljubljana .....	64
Slika 57: Postaja Ljubljana Šiška .....	65
Slika 58: Postaja Ljubljana Vižmarje .....	65
Slika 59: Postaja Medvode .....	65
Slika 60: Postaja Škofja Loka.....	66
Slika 61: Postaja Kranj .....	66
Slika 62: Prostorni signali na odprti progi.....	67
Slika 63: Definiranje največje dovoljene hitrosti na segmentu proge .....	67
Slika 64: Prostorski odsek .....	68
Slika 65: Vozna pot .....	69
Slika 66: Relacija vlaka .....	70
Slika 67: ETCS nivo 1 .....	71
Slika 68: ETCS nivo 2.....	71
Slika 69: Vozni red (SŽ, 2012).....	72
Slika 70: Diagram hitrosti in pot pri klasičnem SV sistemu .....	75
Slika 71: Diagram hitrosti in pot pri nadgradnji s sistemom ETCS nivojem 1 .....	76
Slika 72: Diagram hitrosti in pot pri nadgradnji s sistemom ETCS nivojem 2 .....	77
Slika 73: Nezgoščen vozni red Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje pri klasičnem SV sistemu .....	78
Slika 74: Zgoščen vozni red Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje pri klasičnem SV sistemu .....	79
Slika 75: Nezgoščen vozni red Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 1 .....	80
Slika 76: Zgoščen vozni red Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 1 .....	81
Slika 77: Nezgoščen vozni red Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 2.....	82
Slika 78: Zgoščen vozni red Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 2.....	83

## SEZNAM KRATIC

APB	avtomatski progovni blok
ETCS	European Train Control System (Evropski sistem za nadzor in vodenje vlakov)
ERMTS	European Railway Management System (Evropski železniški sistema za upravljanje železnic)
ERSV naprave	elektrorelejne signalnovarnostne naprave
MO	medpostajna odvisnost
SV naprave	signalnovarnostne naprave
SŽ	Slovenske železnice
UIC	International Union of Railways (Mednarodna železniška zveza)

## 1 UVOD

Temeljna naloga železnice je zagotoviti potnikom in tovoru hitro, zanesljivo in varno prometno povezavo med posameznimi kraji. Zadovoljivo stopnjo varnosti na železnici je mogoče doseči le z uporabo tehničnih sredstev, ki človeka razbremenijo rutinskih opravil, z ustreznimi tehničnimi rešitvami pa zagotovijo varnost železniškega prometa. Ta tehnična sredstva se imenujejo SV naprave.

SV naprave sestavljajo svetlobni ali likovni signali ob progi, ki preko centralne naprave v medsebojni odvisnosti s kretnicami in drugimi napravami omogočijo vlaku varno vožnjo. Signali služijo za sporazumevanje med strojevodjo vlaka in prometnim osebjem, ki vodi železniški promet. V Evropi poznamo kar 18 različnih SV sistemov, kar otežuje sporazumevanje med strojevodjo vlaka in prometnim osebjem in s tem onemogoča nemoteno prečkanje »železniških mej«. Zato je Evropska unija (EU) ustanovila projekt ERMTS (ang. *European Railway Management System*), katerega najpomembnejši del je ETCS (ang. *European Train Control System*). S tem sistemom je omogočena nemotena komunikacija med strojevodjo in prometnim osebjem in čezmejna interoperabilnost, kar pomeni uskladitev SV sistemov.

Poleg interoperabilnosti lahko sistem ETCS na nekaterih progah poveča kapaciteto proge in zanesljivost delovanja železniškega omrežja. Za doseganje omenjenih koristi je bistvenega pomena predhodna študija vpliva sistema na železniško omrežje in pravilna izbira stopnje sistema.



## **1.1 Namen in cilji diplome**

Namen diplomskega dela je prikazati različne načine vodenja prometa, ki se uporabljajo na Slovenskih železnicah, in podrobno opisati SV naprave, ki takšne načine vodenja omogočajo. Povdarek je predvsem na tistih SV napravah, ki se uporabljajo na progi Ljubljana – Jesenice, del katere obravnavam v praktičnem delu diplome (odsek Ljubljana – Kranj). Poleg klasičnih načinov vodenja prometa je opisan tudi moderen način vodenja prometa ETCS, ki zagotavlja interoperabilnost.

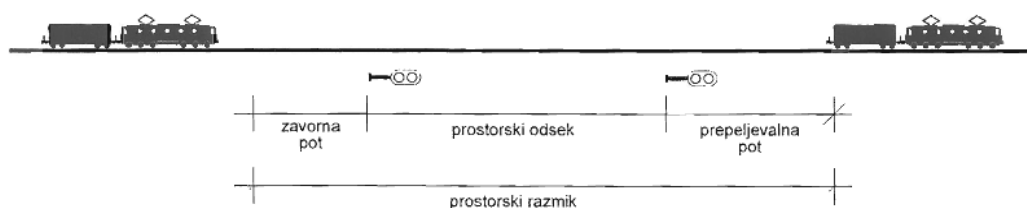
Cilj diplomske naloge je pokazati na kakšne načine je možno voditi promet s pomočjo interoperabilnega sistema ETCS ter opisati, prednosti sistema ETCS v primerjavi s klasičnim SV sistemom, in na odseku Ljubljana – Kranj s pomočjo modela analizirati, kako se spremenijo karakteristike vlaka in proge (maksimalna hitrost in izkoriščenost kapacitete proge) pri nadgradnji z sistemom ETCS v primerjavi z obstoječim SV sistemom.

## 2 KLASIČEN NAČIN VODENJA VLAKOV

Železniški promet se bistveno razlikuje od ostalih prometnih sistemov. Prva velika razlika je v koeficientu trenja, ki je osemkrat manjši kot pri cestnem prometu (Theeg, Vlasenko, 2009), zato je tudi zavorna sila osemkrat manjša. Ob upoštevanju velike mase vlaka in posledično dolge zavorne poti strojevodja ne more pravočasno ustaviti vlaka na podlagi vidne razdalje, ampak mora upoštevati signalne znake, ki mu prepovedujejo oz. dovoljujejo vožnjo na posameznih odsekih. Druga posebnost železniškega prometa je vnaprej natančno določena vozna pot vlaka s tirnim vodenjem in da sta za varen promet odgovorna dva: strojevodja, ki vozi vlak ter prometnik, ki postavlja vozno pot. Strojvodja je odgovoren za upravljanje vlaka in ne more vplivati na vozno pot oziroma na odločitev kam, do kod oziroma na kateri tir bo zapeljal. Za slednje je odgovoren prometnik na postaji. Prometnik preko signalnih znakov daje strojevodji obvezna navodila za vožnjo vlaka.

### 2.1 Zavarovanje voženj vlakov na odprti progi

Vožnjo vlakov lahko zavarujemo z zagotavljanjem prostorskega razmika med zaporednimi vlaki in z zavarovanjem vlakovnih vozni poti na prometnih mestih. Zavarovanje voženj vlakov se izvede s SV napravami, ki so opisane v 3. poglavju. V primeru zaporednih vlakov si mora vožnja slediti v t. i. prostorskem razmiku. Prostorski razmik sestavljajo: zavorna pot, prostorski odsek in prepeljevalna pot (Zgonc, 2003).



Slika 1: Prostorski razmik (Zgonc, 2003)

Prostorski razmik med vlaki je lahko fiksni ali gibljiv. Pri fiksni prostorski razmiku je ob progi vgrajena signalizacija, ki strojevodjo informira o tem, ali lahko vstopi na določen odsek na progi. Pri gibljivem prostorski razmiku pa vgrajene signale nadomešča vodnik v tiru, ki neprestano prenaša informacije o prostosti tira z vodnika na lokomotivo.

Prostorski odsek je območje med dvema sosednjima glavnima signaloma. V prostorski odseku se lahko nahaja samo en vlak. Minimalna dolžina prostorskega odseka je enaka dolžini zavorne poti

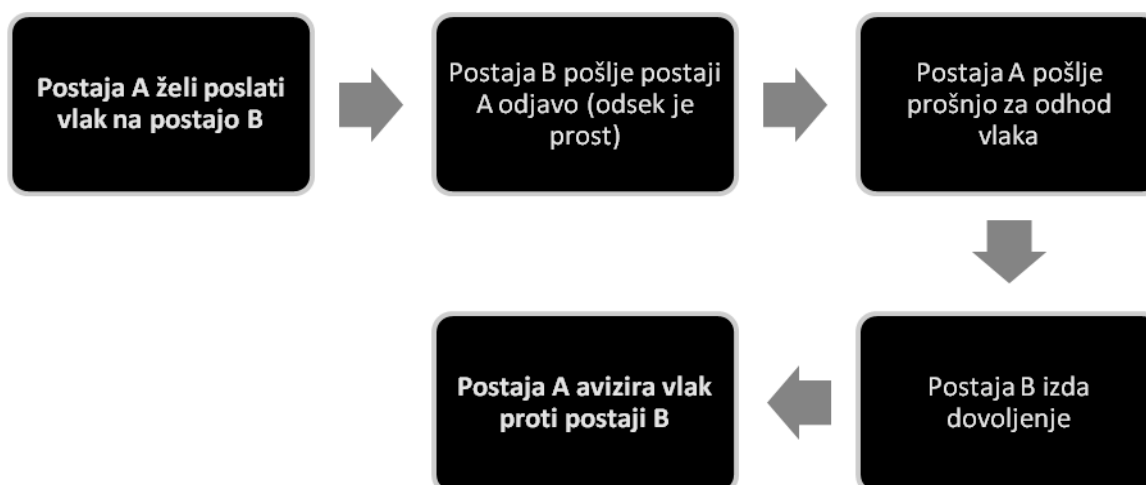
vlak. Prostorski odseki so lahko medpostajni (med dvema sosednjima postajama), blokovni (med signali na progah z avtomatskim progovnim blokom) ali odjavni (med dvema odjavnicama). Zavarovanje prometa vlakov v prostorskem razmiku se lahko zagotovi z dogovarjanjem prometnikov sosednjih postaj ali pa s pomočjo progovnega bloka (medpostajne odvisnosti, avtomatskega progovnega bloka in telekomande) (Zgonc, 2003).

### 2.1.1 Zavarovanje voženj vlakov z dogovarjanjem

Zavarovanje voženj vlakov z dogovarjanjem se uporablja na manj obremenjenih progah. Temelji na dogovarjanju po telefonu ali brzojavu med dvema prometnikoma sosednjih postaj po točno določenem postopku. Takšno vodenje vlakov je odvisno od človeškega faktorja, zato lahko bolj pogosto pride do napak. Vodenje vlakov z dogovarjanjem sestoji iz dajanja odjav, zahtevanja in dajanja dovoljenj in dajanja najav (aviz).

Odjava je sporočilo postaje B, da je predhodni vlak cel uvozil na postajo (prometnik mora videti sklepní signal na zadnjem vagonu), da sta prostorni odsek in prepeljevalna pot na uvoznem signalu postaje prosta in da je uvozni signal postaje postavljen v lego za prepovedano vožnjo. Dovoljenje je potrditev, da je prostorni odsek med postajama A in B prost, da postaja B proti postaji A ni odpravila nobenega vlaka in da lahko sprejme ponujeni vlak na postajo. Po sprejetem dovoljenju postaja A odpravi vlak proti postaji B in ga istočasno najavi, avizira, prometnim in službenim mestom (čuvajnice, delovišča na progi) v smeri proti postaji B (Zgonc, 2003).

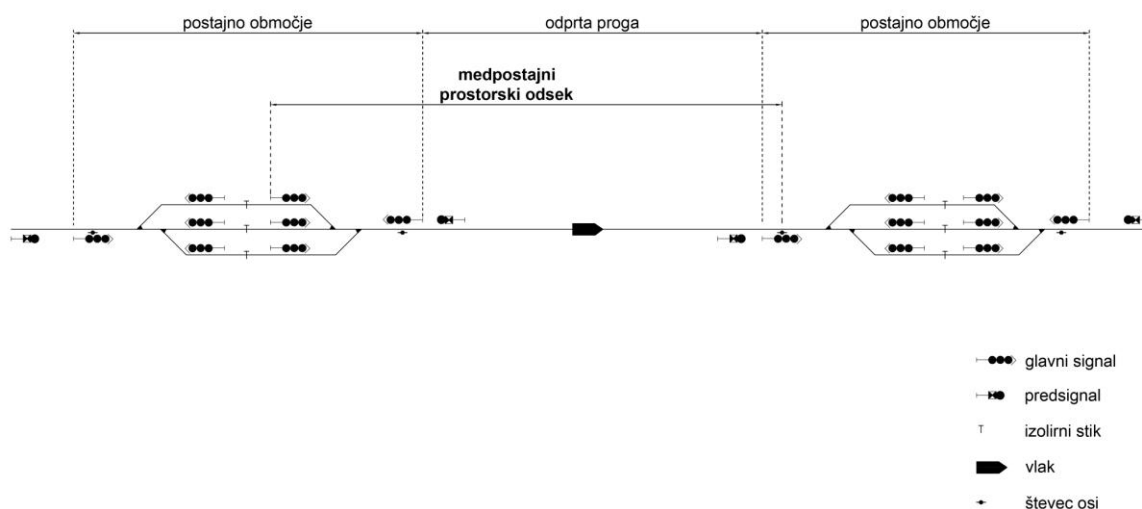
Postopek dogovarjanja med sosednjima postajama na enotirni progi je prikazan na naslednji shemi:



Slika 2: Postopek dogovarjanja med sosednjima postajama na enotirni progi (Zgonc, 2003)

### 2.1.2 Medpostajna odvisnost

Na enotirnih progah, kjer se promet vodi s pomočjo medpostajne odvisnosti, je med sosednjima postajama le en prostorski odsek. Takšen način vodenja prometa ne omogoča voženj več zaporednih vlakov, ki bi se istočasno nahajali na medpostajnem odseku. Za zavarovanje voženj vlakov v nasprotnih smereh se po Jontesu (1999) uporablja »Privolitev vozne smeri«, kar pomeni, da je omogočeno signaliziranje samo v eni izbrani smeri, v drugi pa je onemogočeno. S posebnim ukazom na postavljalni mizi se lahko sosednji postaji po potrebi dogovorita za spremembo smeri. Vsaka postaja je varovana z uvoznim signalom (podrobneje opisano v poglavju 3.2.3) na obeh straneh postaje. Uvozni signal je predsignaliziran s predsignalom, ki se nahaja na zavorni razdalji pred uvoznim signalom. Na vsakem tiru je izvozni signal, ki varuje izvoz s postaje. Po Jontesu (1989) izvozne in uvozne signale še vedno upravlja prometnik, kontrola, da je prostorski odsek med postajama prost, se opravlja s števcem osi (način delovanja opisan v poglavju 3.2.1), prostost postajnega prostorskega odseka pa z izolirkami (Zgonc, 2003).

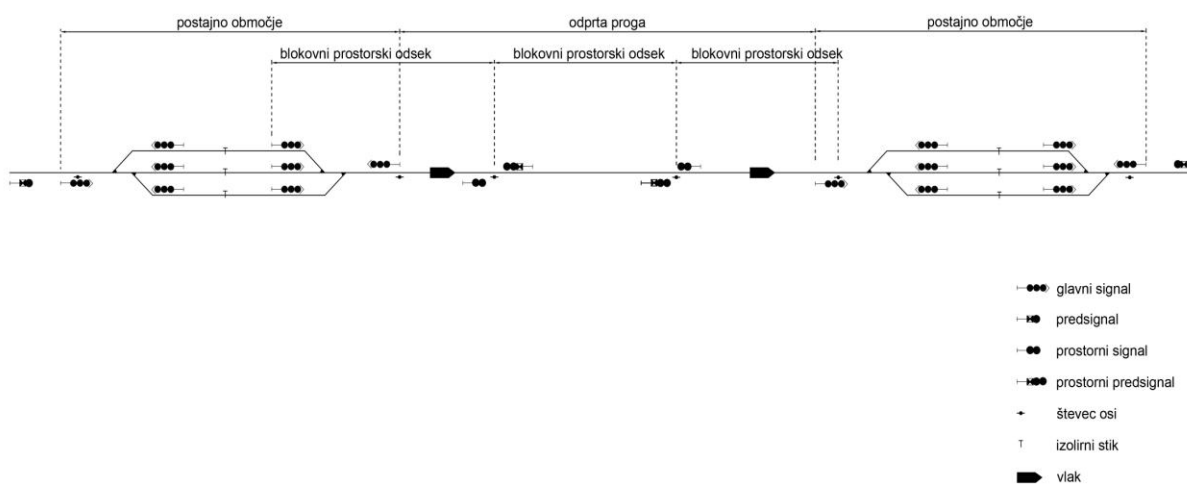


Slika 3: Medpostajna odvisnost (Romanešen, 2011)

### 2.1.3 Avtomatski progovni blok

Pri avtomatskem progovnem bloku (APB) je po Romanešnu (2011) med sosednjima postajama več blokovnih prostorskih odsekov dolžine od 1000 do 3000 m, ki so ločeni s prostornimi signali (podrobneje obrazloženo v poglavju 3.2.3). Takšen način vodenja prometa omogoča več zaporednih vlakov, ki se istočasno nahajajo na medpostajnem odseku. Vsaka postaja je opremljena z dvema uvoznima signaloma in vsak postajni tir z izvoznim signalom. Uvozni signal je predsignaliziran s

prostornim signalom, ki se nahaja v prostorskem odseku pred postajo. Tako kot pri medpostajni odvisnosti tudi v tem primeru uvozne in izvozne signale še vedno upravlja prometnik, pri prostornih signalih pa se signalni znaki spreminjajo avtomatično kot posledica vožnje skozi prostorske odseke. Prostost prostorskih odsekov se tudi v tem načinu vodenja nadzoruje s števeci osi in izolirkami (način delovanja opisan v poglavju 3.2.1). Po Jontesu (1999) takšen način vodenja prometa omogoča boljše izkoriščenost proge in večjo stopnjo varnosti.



**Slika 4: Avtomatski progovni blok (Romanešen, 2011)**

### 2.1.3.1 Način delovanja avtomatskega prostorskega bloka

APB je, kot sem že omenil, sestavljen iz več progovnih odsekov, ki imajo na začetku in koncu odseka prostorne signale, ki so med seboj tehnično odvisni s pomočjo blokovnih polj ali relejev. Signalni znak vsakega prostornega signala je odvisen od prostosti prostorskega odseka pred tem signalom, pri čemer se signalni znak avtomatično spremeni zaradi vožnje vlaka skozi prostorske odseke (Zgonc, 2003).

Progovni odsek je prost (začetni prostorni signal kaže »PROSTO«), če so izpolnjeni naslednji pogoji (Theeg, Vlasenko, 2009):

- vlak, ki je vozil pred opazovanim vlakom, je zapustil progovni odsek,
- vlak, ki je vozil pred opazovanim vlakom, je prevozil prepeljevalno pot (rezervo),
- vlak mora ščititi signal »STOJ« pred vlaki, ki vozijo za njim,
- opazovani vlak mora biti zaščiten pred nasprotno vozečimi vlaki.

Za boljše razumevanje delovanja progovnih odsekov je na spodnji sliki prikazan način delovanja progovnega odseka v primeru dveh zaporednih vlakov. V spodnjem besedilu je primer podrobno opisan.



Slika 5: Zavarovanje zaporednih vlakov (Zgonc, 2003)

Progovni odsek je blokiran (prostorni signal na začetku kaže »STOJ«), ko vlak zapelje na progovni odsek. Ob prevozu prve osi vlaka mimo signala detektor števca osi oziroma izolirke zazna vlak ter postavi začetni signal v »STOJ«. Progovni odsek se sprosti (signal kaže »PROSTO«), ko vlak prečka drugi prostorni signal in drugi števec osi oz. izolirko (oddaljen(o) od drugega prostornega signala od 50–200 m) s svojo zadnjo osjo. Naslednji vlak lahko zapelje na progovni odsek.

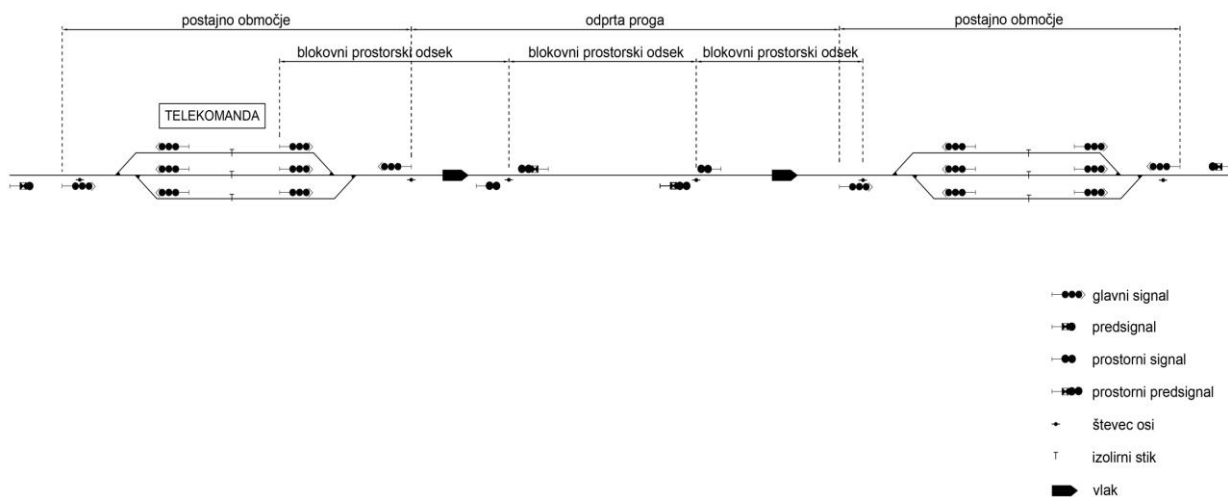
Delovanje progovnega bloka lahko prikažemo tudi z naslednjo shemo:



Slika 6: Delovanje progovnega bloka (Theeg, Vlasenko, 2009)

## 2.1.4 Telekomanda

Telekomanda je centralna postavljalnica z napravami za daljinsko vodenje prometa vlakov, ki ne vsebuje kakšnih posebnih varnostnih naprav, ampak gre za nadgradnjo avtomatskega progovnega bloka. Osnova za vodenje s pomočjo telekomande ostajajo SV naprave, ki sem jih omenil v poglavju 2.1.3. Z njihovo pomočjo se nadzoruje in daljinsko vodi vse postavljalne naprave na postajah, ki jih področje telekomande pokriva. S pomočjo telekomande lahko nadzorujemo in krmilimo promet vlakov na določenem odseku proge. Vse postaje morajo biti opremljene s SV napravami, ki omogočajo krmiljenje iz centralnega mesta. V centralnem mestu imamo nadzorne plošče v mozaikih, ki omogočajo vodenje prometa vlakov. Pogosto so dodane še naprave za sledenje številke vlakov, ki preko številčnih prikazovalnikov na nadzornih ploščah izpisujejo številke vlakov. Vsak vlak ima svojo številko, tako da dispečer telekomande takoj razbere, za kateri vlak gre in kje se nahaja.



Slika 7: Telekomanda (Romanešen, 2011)

Dispečer preko komandne konzole ali računalniške tipkovnice daje ukaze za postavljanje voznih poti, postavljanje kretnic in preklon svetlobnih signalov. Vsi njegovi ukazi se izpišejo na tiskalniku. Vsako postajo je po potrebi možno preklopiti iz daljinskega v lokalni režim delovanja.



**Slika 8: Nadzorna plošča (Romanešen, 2011)**

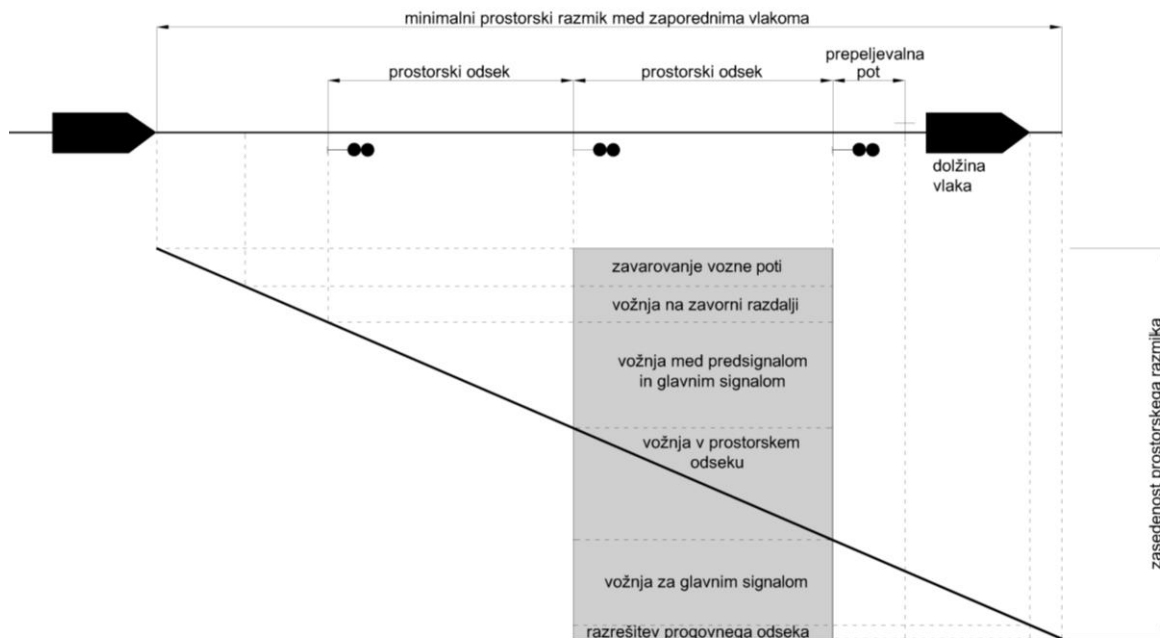
Za progo Ljubljana–Jesenice, del katere obravnavam v praktičnem primeru diplomske naloge, je bila zgrajena prva linijska telekomanda pri nas. Nahaja se v Ljubljani. Vključenih je sedem postaj na razdalji približno 60 km, ki so opremljene s SV napravami (Romanešen, 2011).



### 2.1.5 Čas zasedenosti progovnega odseka na odprti progi

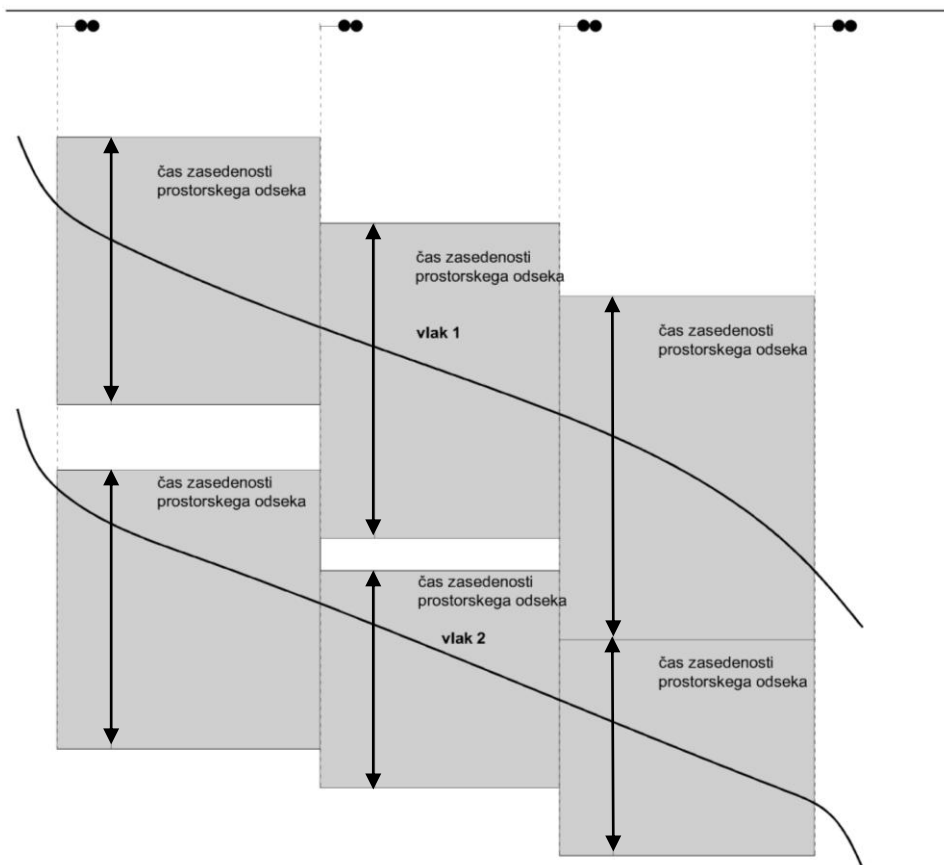
Čas zasedenosti progovnega odseka na odprti progi je ponavadi mnogo daljši kot čas, ki ga dejansko zaseda vlak na progovnem odseku. Čas zasedenosti progovnega odseka je sestavljen iz naslednjih časovnih intervalov (Pachl, White, 2004):

- čas zavarovanja vozne poti,
- časa vožnje med predsignalom in glavnim signalom,
- časa vožnje v prostorskem odseku (med dvema glavnima signaloma),
- časa vožnje prepeljevalne poti skupaj s časom vožnje za glavnim signalom,
- časa, ki je potreben za razrešitev progovnega odseka.



Slika 9: Čas zasedenosti progovnega odseka na odprti progi (Pachl, White, 2004)

Če na enem diagramu narišemo čas zasedenosti progovnega odseka za vse progovne odseke na progi, dobimo stopničast grafik, ki nam pokaže, koliko časa se nahaja določen vlak na določeni progi. Z risanjem stopničastega grafikona lahko razberemo minimalni interval zaporedja med vlaki na določeni progi. Možno je določiti tudi čas kritičnega progovnega odseka, ki predstavlja najmanjši časovni interval med dvema zaporednima vlakoma na vsakem progovnem odseku.



Slika 10: Stopničasti grafikon (Theeg, Vlasenko, 2009)

## **2.2 Zavarovanje voženj vlakov na postajah**

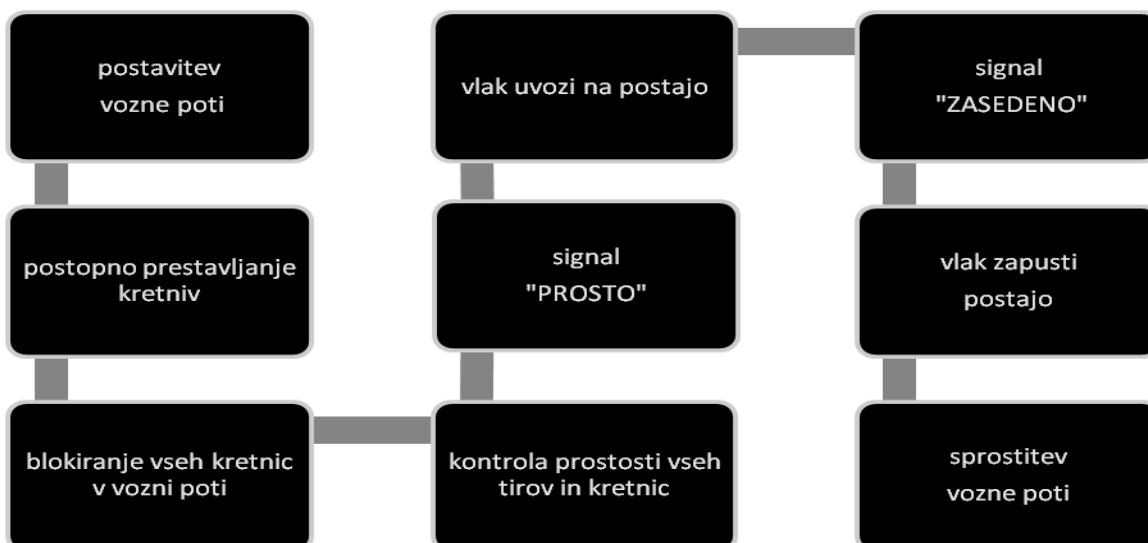
Za zavarovanje voženj vlakov na postajah, kjer se nahajajo tudi kretnice, ne zadošča le zavarovanje voženj vlakov v prostorskem razmiku s pomočjo progovnega bloka, ampak je potrebno zavarovati t. i. vozne poti, vključno z vsemi elementi, ki posamezno vozno pot sestavljajo. To pomeni, da morajo biti vse kretnice na vozni poti, kakor tudi vse kretnice in raztirniki za bočno zaščito vozne poti, zapornice na nivojskih prehodih in signali, postavljeni in blokirani v pravilni in natančni legi in v taki odvisnosti od glavnih signalov, ki ščitijo to vozno pot, da ne more priti do ogrožanja prometa, ko se prihajajočemu vlaku dovoli prosta pot (Zgonc, 2003).

### **2.2.1 Vozna pot**

Za varno gibanje vlaka na postaji je potrebno vedeti, ali je tir prost ali zaseden in v kakšni legi je posamezna kretnica. Če je tir prost in kretnica v pravilni legi, je vlaku dovoljen uvoz na postajo (uvozni signal kaže »PROSTO«). Poti, ki jo vlak prepelje na območju postaje pri uvozu, izvozu ali prevozu, pravimo tudi vozna pot, za katero morajo biti po Theegu in Vlasenku (2009) zagotovljene naslednje zahteve:

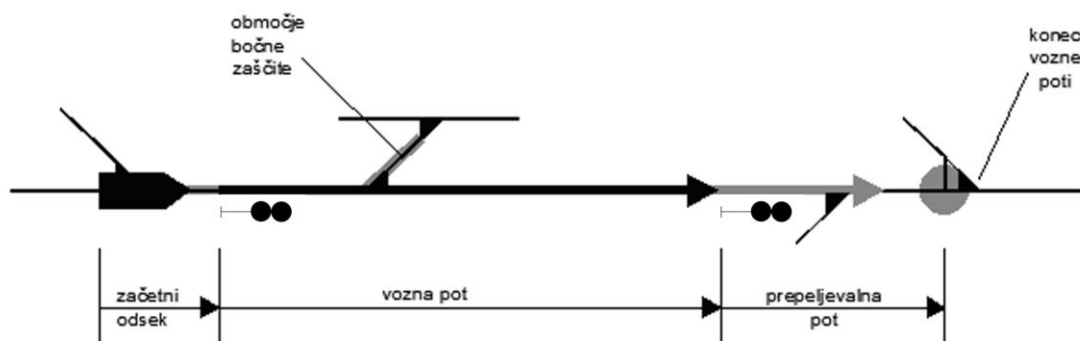
- kretnice morajo biti v pravilni in natančni legi, dokler se na njih nahaja vlak,
- samo en vlak lahko vstopi na progovni odsek (načelo fiksne progovnega odseka),
- zagotovljena zaščita pred nasprotno vozečimi in zaporednimi vlaki,
- zagotovljena bočna zaščita vlaka,
- zavarovanje prometa na cestnih prehodih.

Vozno pot postavlja prometnik na postavljalni mizi. Postavljanje vozne poti je prikazano na shemi spodaj.



Slika 11: Postavljanje vozne poti (Theeg, Vlasenko, 2009)

Vsaka vozna pot ima določen začetek in konec. Začne se pri glavnem uvoznem signalu, konča pa se lahko na koncu prepeljane poti za ciljnim signalom (npr. pri uvozu na postajo) ali na koncu kretniškega območja, kjer se nadaljuje na odprto progo do naslednjega glavnega signala (npr. pri izvozu s postaje).



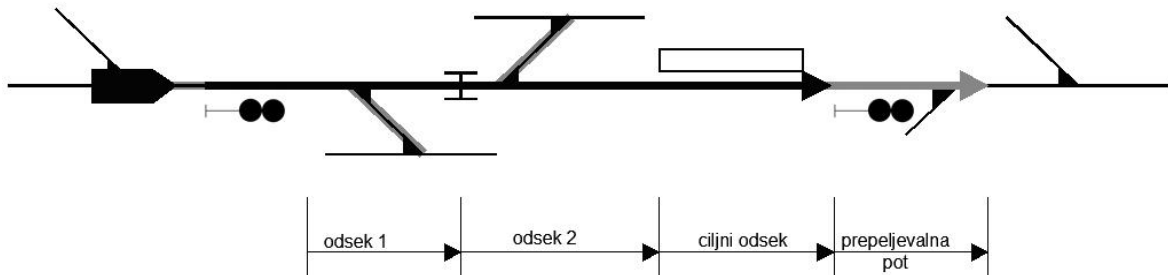
Slika 12: Vozna pot (Theeg, Vlasenko, 2009)

Vozna pot mora biti zavarovana, dokler vlak ne sprosti odseka ali dokler se vlak ne ustavi. Vozna pot je v celoti zavarovana, vendar je možno, da se del vozne poti sprosti, če so izpolnjeni naslednji varnostni pogoji (Theeg, Vlasenko, 2009):

- vmesni odseki, ki pripadajo prostorskemu odseku (»running path«), morajo biti zavarovani, dokler vlak ne zapusti opazovanega vmesnega odseka,
- elementi, ki pripadajo prepeljani poti, morajo ostati zavarovani in prosti, dokler je vlak v ciljnim odseku vozne poti ali dokler vlak ne prečka izvoznega signala,

- tiri, ki zagotavljajo bočno zaščito, morajo ostati zavarovani in prosti, dokler je vlak na odseku.

Tako omogočimo, da se ta odsek uporabi za drugo vozno pot, in s tem povečamo kapaciteto proge.



**Slika 13: Zavarovanje vozne poti po odsekih (Theeg, Vlasenko, 2009)**

Večina železnic na svetu uporablja zaščito pred prezgodnjo sprostitvijo vozne poti zaradi možnih napak, ki bi se lahko pojavile pri napravah za zaznavanje prostosti tira.

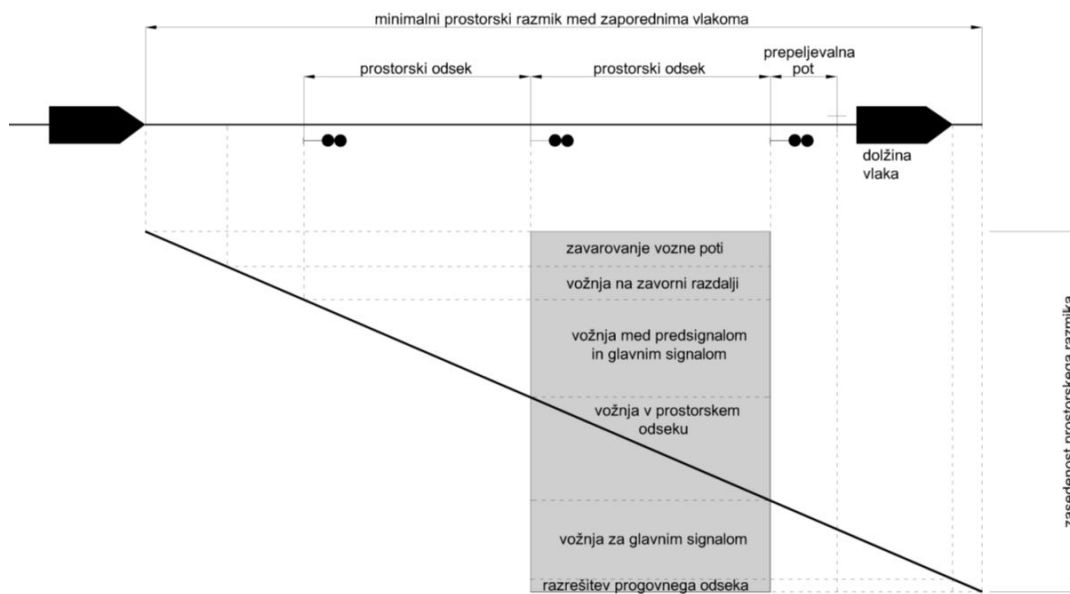
Primeri uporabe zaščite pred prezgodnjo sprostitvijo vozne poti:

- vozna pot se sprosti, ko vlak zapusti najmanj dva zaporedna odseka; zaradi večje varnosti se uporablja kombinacija tirnega detektorja in izolirke,
- merjenje časovnega razmika med prevozom vlaka skozi odsek in sprostitvijo danega odseka.

### 2.2.2 Čas zasedenosti progovnega odseka na postaji

Za vodenje železniškega prometa je zelo pomembno, da vemo, kako dolgo mora biti prostorski odsek na medpostajnem območju (podrobneje opisano v poglavju ) oz. na postaji rezerviran za posamezni vlak. Zaradi varnosti je pomembno, da je ta čas daljši kot pa čas, ki je potreben, da vlak prevozi prostorski odsek. Na postajnem območju, kjer vlak nima načrtovanega postanka, je po Zgoncu (2003) čas zasedenosti postajnega območja sestavljen iz naslednjih časovnih intervalov:

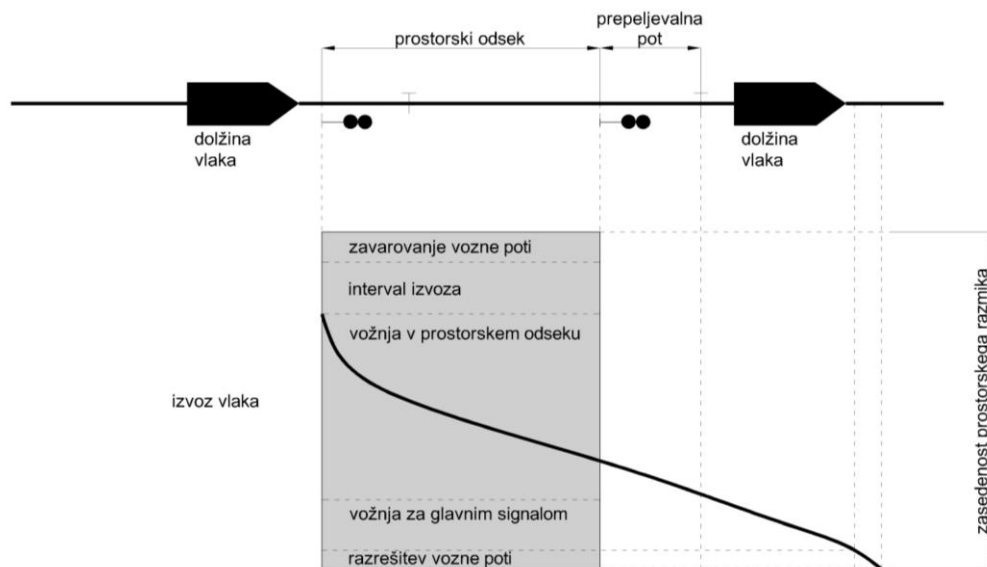
- časa, ki je potreben za zavarovanje vozne poti,
- časa vožnje na vidni razdalji (pri  $V \leq 80$  km/h je vidna razdalja 200 m, pri  $V > 80$  km/h je 500 m),
- časa na zavorni razdalji (med predsignalom in glavnim signalom),
- časa vožnje v prostorskem odseku (med dvema glavnima signaloma),
- časa vožnje prepeljevalne poti skupaj s časom vožnje za glavnim signalom (šteje se, da je dolžina vlaka pri vlakih s hitrostmi  $V \leq 80$  km/h 700 m, pri vlakih s hitrostmi  $V > 80$  km/h pa 400 m),
- časa, ki je potreben za razrešitev vozne poti.



Slika 14: Zasedenost progovnega odseka pri prevozu vlaka skozi postajo (Zgonc, 2003)

S pomočjo časa zasedenosti progovnega odseka lahko določimo najmanjši časovni interval med dvema zaporednima vlakoma.

Zasedenost progovnega odseka, kadar vlak po postanku izvozi s postaje, je razvidna iz naslednje slike:



Slika 15: Zasedenost progovnega odseka pri izvozu vlaka (Zgonc, 2003)

### **3 OPIS SV NAPRAV**

SV naprave so tehnična sredstva, s katerimi zavarujemo najrazličnejša kritična mesta na železniški infrastrukturi, kot so: postaje (kretniška območja), odprta proga, križanje železniških prog s cestami ipd. Poleg varovalne funkcije SV naprave omogočajo tudi vodenje prometa, kot sem že opisal v 2. poglavju.

SV naprave se delijo na:

- mehanske SV naprave,
- elektromehanske SV naprave,
- elektrolejne SV naprave (v nadaljevanju ERSV naprave) in
- elektronske SV naprave.

V diplomski nalogi bo poudarek predvsem na ERSV napravah, saj se uporabljajo na progi Ljubljana–Kranj, ki jo obravnavam v praktičnem delu diplome.

ERSV naprave se delijo na notranje in zunanje naprave. Notranje ERSV naprave omogočajo krmiljenje zunanjih ERSV naprav. Osnovni element vseh ERSV naprav je rele, ki je zelo zanesljiv v svojem delovanju in ima samo dva položaja (mirovni in delovni). (Jontes, 1998).

#### **3.1 Notranje ERSV naprave**

Notranje ERSV naprave se nahajajo v prostorih postajnih zgradb. Z njimi rešujemo problematiko zavarovanja železniškega prometa na področju postaje, kjer obstoja zaradi široke razvejanosti tirnih naprav in gostote prometa veliko možnosti za ogrožanje vlakovnega prometa. Delijo se na relejni del, opremo za napajanje ter centralno postavljalno napravo.

### 3.1.1 Relejni del

Relejni del je centralni del SV naprave. Sestavljen je iz relejnih stojal, v katerih so nameščene relejne skupine. Vsak objekt na terenu ima v relejnem delu pripadajočo skupino, te pa so medsebojno povezane s kabli v takem zaporedju, kot so razporejene naprave na terenu. Relejni del je s centralno postavljalno mizo povezan z notranjimi kabli (Jonets, 1989).

V relejnem delu se vzpostavljajo in preverjajo vse medsebojne odvisnosti, onemogočajo nepravilna delovanja, avtomatsko postavljajo vozne poti in krmilijo ter kontrolirajo vse zunanje naprave. V relejnem delu potekajo stikalni procesi, ki jih sproži prometnik z ukazom na postavljalni mizi. Na takšen način določimo vozno pot vlaka (podrobneje opisana v poglavju 2.2.1) od začetka do cilja.



Slika 16: Stojalo z relejnimi skupinami (Romanešen, 2011)

### 3.1.2 Oprema za napajanje

Oprema za napajanje poskrbi, da se osnovna trifazna napetost javnega omrežja pretvarja v vse oblike, ki jih SV naprave potrebujejo za delovanje. Javno električno omrežje ni dovolj zanesljivo, saj prihaja do izpadov električne napetosti, zato so za nemoteno in neprekinjeno delovanje SV naprav predvideni rezervni viri napajanja. Vsaka postajna SV naprava ima akumulatorsko baterijo ustrezne kapacitete, ki omogoča 3 do 8 urno rezervo v primeru izpada napetosti. Drugi rezervni vir je dizelski agregat, to je dizelski motor z vgrajenim generatorjem, ki daje ustrezno napetost (Jonets, 1989).

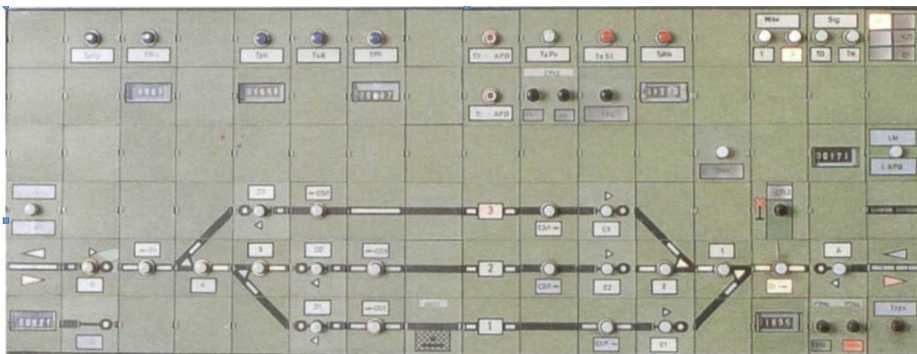


### 3.1.3 Centralna postavljalna naprava

Centralna postavljalna naprava omogoča krmiljenje vseh signalov, kretnic, izolirk itd. do razdalje približno šestih kilometrov iz enega centralnega mesta. Centralne postavljalne naprave uporabljajo enega izmed dveh osnovnih sistemov za zavarovanje vožnje vlakov: tabelarni princip formiranja vozni poti ali prikaz dejanske postajne tirne sheme (Theeg, Vlasenko, 2009).

Pri centralnih postavljalnih napravah, ki temeljijo na tabelarnem principu, so vse možne vlakovne poti definirane v matriki, na kateri so natančno navedeni elementi, ki pripadajo ustrezni vozni poti. Vozne poti, ki ne morejo biti aktivne istočasno, so označene. Pri prikazu s pomočjo tirne sheme imamo prikazano dejansko tirno situacijo, na kateri lahko s pritiskom na ustrezne tipke določimo vozno pot. Tabelarni način se uporablja pri manjših postajah, geografski pa pri velikih postajah.

Pri prikazu s pomočjo tirne sheme sta možna dva načina določanja vozne poti. Prometnik lahko s sočasnimi pritiski začetne in ciljne tipke določi vozno pot. To sproži v relejnem delu naprave stikalne postopke, ki se nadaljujejo šele, ko prometnik spusti tipke. Končni učinek postavitve vozne poti je avtomatski prekop začetnega signala na signal za dovoljeno vožnjo, če so vsi stikalni postopki potekali po pravilnem vrstnem redu in programu. Drugi način določanja vozne poti je avtomatski in je zelo uporaben na nezasedenih postajah. Na zadostni razdalji od postaje je na progi senzor (tirni magnet) za ugotavljanje, ali se postaji približuje vlak. Ko ga zazna, odda ukaz za postavitev uvozne in izvozne poti skozi postajo.



**Slika 17: Postavljalna miza (Jontes, 1999)**

Pri postavitvi vlakovne poti ERSV naprave opravljajo naslednje naloge (Jontes, 1989):

- določitev vozne poti,
- pravilna postavitve in zaklenitev vseh kretnic v vozni poti,
- preverjanje bočne zaščite tirov,

- kontrola prostosti vseh tirov in kretnic v vozni poti (izolirka),
- avtomatski preklon začetnega signala za dovoljeno vožnjo v primeru, da so vsi zgornji pogoji izpolnjeni.

### 3.2 Zunanje ERSV naprave

Vsaka zunanja ERSV naprava ima v notranjem delu pripadajočo tipsko relejno skupino in je z zemeljskimi kabli povezane z relejnim delom. Vse zunanje ERSV naprave so med seboj povezane v sistem s sledilnimi kabli v takem zaporedju, kot so objekti na terenu (Jontes, 1989).

Med zunanje ERSV naprave spadajo:

- naprave za kontrolo prostosti progovnega odseka,
- signali,
- kretniški pogon,
- naprave za zavarovanje nivojskih prehodov (NPr).

#### 3.2.1 Naprave za kontrolo prostosti progovnega odseka

Namen naprav za kontrolo prostosti progovnega odseka je pridobitev informacij o tem, kje se nahaja vlak na železniškem omrežju glede na stanje tira (prost, zaseden ali poškodovan tir) v medpostajnem območju ali na postaji. Tako preprečimo, da bi vlak prispel na zaseden tir ali da bi prišlo do premikanja kretnice pod vlakom. Nekatere naprave lahko zaznajo ovire tudi na odprti progi (plazovi) ali ovire na nivojskih križanjih železnice s cesto.

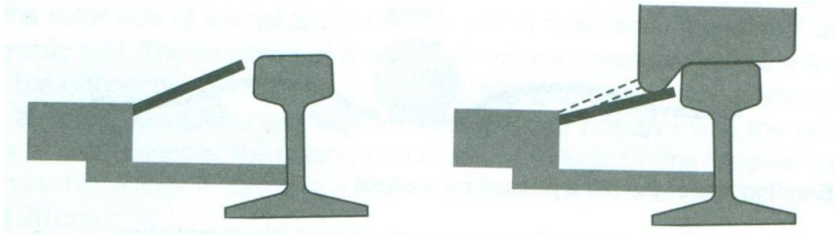
Pri zaznavanju vlakov so pomembne naslednje informacije (Theeg, Vlasenko, 2009):

- vlak je dosegel opazovano točko s svojim začetkom (ang. *front end*),
- vlak je dosegel opazovano točko s svojim koncem (ang. *rear end*),
- odsek je prost.

##### 3.2.1.1 Mehanični detektorji

Mehanični detektorji imajo na notranji ali zunanji strani nameščeno ročko. Kolo prečka detektor, ročka se premakne in tako detektor zazna kolo. Ročka je lahko nameščena tako, da dovoljuje gibanje v dveh smereh in zato lahko detektor zazna tudi smer gibanja. Takšni detektorji lahko delujejo tudi kot

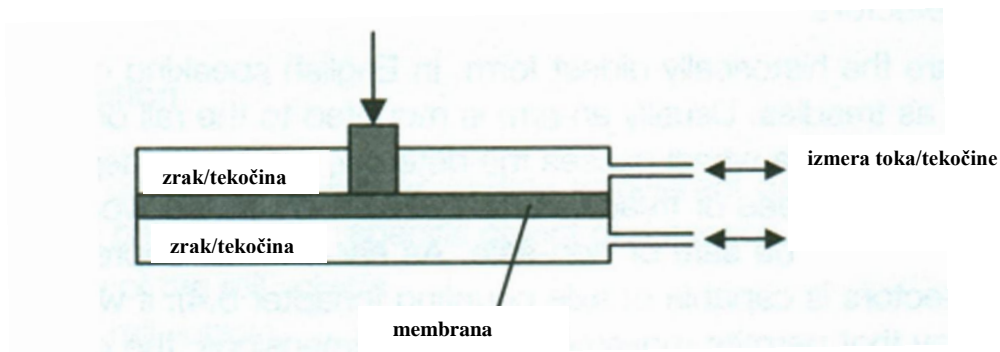
števcu osi, vendar so stroški vzdrževanja visoki in so jih v večini držav zamenjali z drugimi vrstami števcov.



Slika 18: Mehanični detektorji (Theeg, Vlasenko, 2009)

### 3.2.1.2 Hidravlični in pnevmatični detektorji

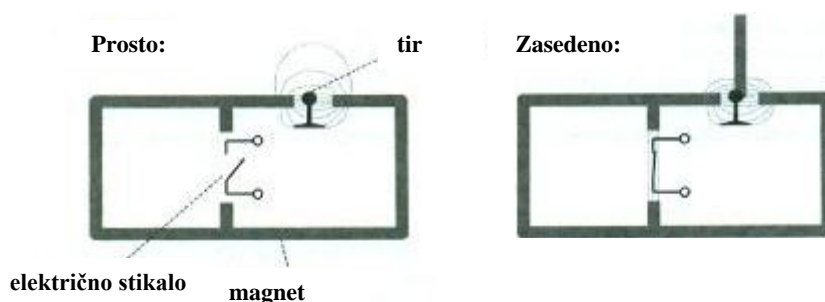
Hidravlični in pnevmatični detektorji so nameščeni pod tirnicami in delujejo tako, da zaznavajo rahlo upogibanje tirov zaradi velike mase vlaka. Zaradi posebnega delovanja se lahko zgodi, da ne zaznajo zelo lahkih vlakov, potrebujejo pa tudi večkratno preverjanje delovanja, kar povečuje stroške vzdrževanja in zmanjšuje zanesljivost. S temi detektorji ne moremo šteti osi. Zaradi naštetih slabih lastnosti se zelo redko uporabljajo. Ker so nameščeni pod tirom, jih nepooblaščen osebe ne morejo poškodovati, kar je velika prednost v primerjavi z ostalimi detektorji.



Slika 19: Pnevmatični detektorji (Theeg, Vlasenko, 2009)

### 3.2.1.3 Magnetni detektorji

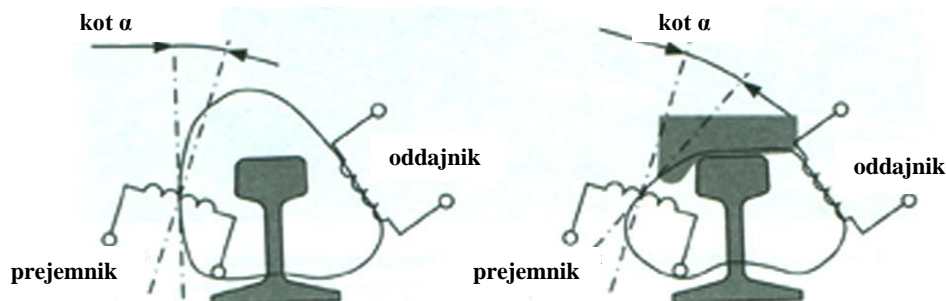
Magnetni detektorji delujejo na osnovi magnetnega kroga. Magnetni krog zazna prisotnost kolesa vlaka na tiru zaradi spremembe magnetnega toka, ki jo zazna električno stikalo. Zaradi hitrosti vlaka so spremembe magnetnega pretoka zelo hitre. Te spremembe zaznava elektronska naprava – števec impulzov, ki šteje tudi vlakovne osi.



Slika 20: Magnetni detektorji (Theeg, Vlasenko, 2009)

### 3.2.1.4 Induktivni detektorji

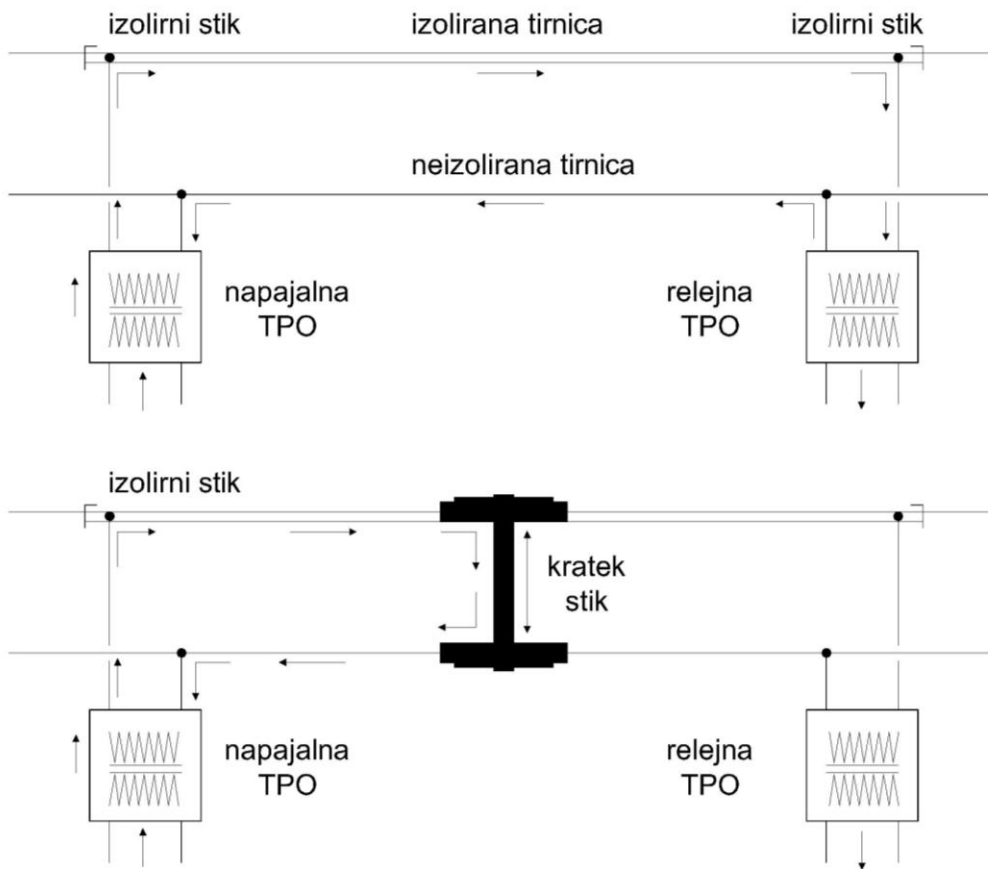
Večina detektorjev na novejših železniških omrežjih je zasnovana na elektromagnetni indukciji. Za svoje delovanje uporabljajo elektromagnetno polje okoli tira. Sestavljeni so iz oddajnika, ki je na zunanji strani tira, in prejemnika na notranji strani. Prisotnost kolesa spremeni magnetno polje, kar se odrazi na spremembi kota med pravokotno linijo na tuljavo (sprejemnik) ter tangento na magnetne silnice. Induktivni detektorji se lahko uporabljajo kot števcvi osi.



Slika 21: Induktivni detektorji (Theeg, Vlasenko, 2009)

### 3.2.2 Izolirka

Izolirka je del tira, ki je prirejen in opremljen z napravo za merjenje električne upornosti med dvema tirnicama. Sestavljena je iz izolirane in neizolirane tirnice. Ko na področje izolirke pripelje vlak, pride do kratkega stika med izolirano in neizolirano tirnico in tokokrog se zaključi preko koles in osi. Varnostne naprave to zaznajo kot zasedbo izoliranega odseka.



**Slika 22: Izolirka (Jontes, 1989)**

Na elektrificiranih progah so izolirke na postajnih območjih sestavljene iz ene izolirane tirnice (faze) in ene neizolirane, ki služi kot povratni vod.

Izolirke se uporabljajo na tistih postajah, ki so opremljene z ERSV napravami. Ko se vlak nahaja na tiru, se preko relejev pošlje informacija o zasedenosti tira na postavljalno mizo v prometnem uradu, ki kaže signal za zasedenost tira.

Izolirko sestavljajo (Jontes, 1989):

- napajalna tirna priključna omarica (TPO) na začetku izolirke s priključnimi vezmi na tirnico,
- izolirana in neizolirana tirnica, ki potekata vzporedno vzdolž celotne izolirke,
- odzemna relejna TPO na koncu izolirke s pripadajočimi vezmi na tirnici in
- izolirani stiki na ustreznih mestih.

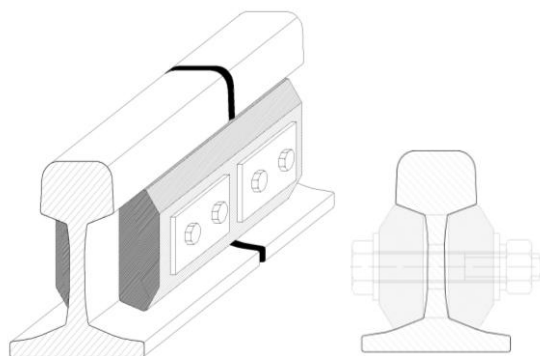
### 3.2.2.1 Izolirni stiki

Izolacija tirnic se izvede s pomočjo t. i. izolirnih stikov, ki se vgrajujejo na začetku in na koncu izolirane kretnice, kakor tudi na drugih mestih, kjer se stikata izolirana in neizolirana tirnica. Izolirni stiki so različnih izvedb. Na mestu, kjer je potrebno izolirati tirnico, to prerežemo, med oba dela vstavimo t. i. »T« vložek, ki je iz izolacijskega materiala (npr. sustamita, pertinaksa) debeline cca 5 mm in ima obliko profila tirnice.

Oba dela tirnice nato spojimo z oblogami, ki so prav tako iz izolacijskega materiala. Ostali mehanski deli (npr. drogovi pri kretnici) so izolirani z različnimi prilagojenimi oblikami vložkov iz izolacijskega materiala (Jonets, 1989).

Za medsebojno električno ločitev tirnih tokokrogov se uporabljajo izolirani stiki, ki se vgradijo ali zavarijo v tir. Danes se največ uporabljata dve vrsti stikov, in sicer:

- sestavljeni stiki in
- lepljeni stiki.

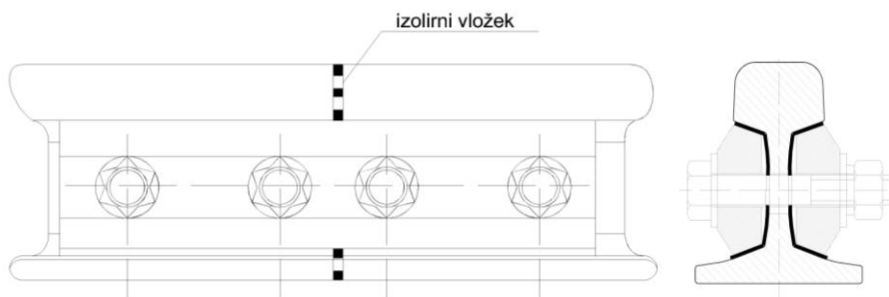


**Slika 23: Prikaz izvedbe sestavljenega izolirnega stika in njegov prerez**

Sestavljeni izolirani stik je sestavljen iz dveh spojnih stranskih plošč, izdelanih iz izolacijskega materiala, ki sta na stiku ob vratu tirnic močno povezani skupaj s 4 spojnimi vijaki, kar je razvidno z zgornje slike. Na sliki je v prerezu prikazan sestavljeni izolirani stik za tirnico S49. Med gladka čela tirnic se vstavi izolirni vložek debeline 5 mm, ki je enakega profila kot osnovna tirnica S49. Pomembno je, da so izolirne spojne plošče (obloge) dovolj močne, da prevzamejo vse mehansko dinamične obremenitve, ki nastanejo med vožnjo vlakov.

Druga možnost izvedbe izolirnega stika je lepljeni izolirani stik, ki se izdelava že v delavnici in nato na terenu zvari v tir ali kretnico. Lepljeni izolirani stik se izvede tako, da se med čela tirnic vstavi izolacijski vložek, na vrat tirnice se nanese lepilo metalon, prav tako se ga nanese na izolacijsko

oblogo iz steklenih vlaken in obloži vrat tirnic. Nato se namestijo ustrezno obdelane jeklene stranske spojnice, v luknje se vstavijo izolirane pušče, nato se vse močno stisne s 4 jeklenimi spojnimi vijaki. Tako nastane kompaktni izolirani stik. Lepljeni izolirani stiki imajo odlične mehanske in električne lastnosti. Vožnja preko takšnih stikov je gladka (Žagavec, 2001).



**Slika 24: Prikaz izvedbe sestavljenega lepljenega stika in njegov prerez (Jontes, 1989)**

### 3.2.3 Signali

Signali so naprave, ki preko centralne naprave v medsebojni odvisnosti in odvisnosti z drugimi napravami (kretnice, izolirke, števcji osi) nadzorujejo vozno pot vlaka. Namen signalov je podati pravočasna ter nedvoumna navodila in informacije strojevodji, zaposlenim na postajah ter delavcem na progi. Z njimi se prikazujejo signalni znaki za dovoljeno ali prepovedano vožnjo vlakov, znaki za dovoljeno vožnjo z redno ali zmanjšano hitrostjo ter informacije o obliki (prema ali odklon) in smeri vozne poti.

Signali so likovni in svetlobni. V preteklosti so se uporabljali zgolj likovni, sedaj pa so jih v veliki meri nadomestili s svetlobnimi. Nadomestili so jih predvsem zaradi pomanjkljivosti, kot so slaba vidljivost na dolge razdalje, majhen domet upravljanja in prikazovanje največ treh signalnih znakov. Na progi Ljubljana–Kranj, ki jo obravnavam v praktičnem primeru, se likovni signali ne uporabljajo več, zato se bom osredotočil le na svetlobne signale.

#### 3.2.3.1 Signalni znaki

Signalni znaki so dveh vrst, poznamo vidne in slišne signale. Slišni signalni znaki se zaznavajo s sluhom; oddajajo se na enak način podnevi in ponoči. Vidni signalni znaki se zaznavajo z vidom in so lahko likovni, svetlobni ali ročni. V diplomu se bom omejil le na svetlobne signalne znake.

Svetlobne signalne naprave sestavljajo dve, tri ali štiri luči s standardiziranim razporedom barv. S prižiganjem posameznih barvnih luči, njihovimi kombinacijami ter z uporabo mirnih in utripajočih luči lahko signaliziramo različne znake. Skladno s Signalnim pravilnikom, izdanem v Ur. L RS št. 123, dne 28. 12. 2007 (v nadaljevanju Signalni pravilnik, kot primer navajam naslednje pomene glavnih svetlobnih signalov:

- ena mirna rdeča luč pomeni »STOJ«,
- ena mirna zelena luč pomeni »PROSTO«,
- ena mirna rumena luč pomeni »PREVIDNO«, pričakuj »STOJ«.

### 3.2.3.2 Svetlobni signali

Svetlobni signali spadajo v skupino ERSV naprav. Osnovni sestavni element teh naprav je rele, ki omogoča veliko zanesljivost delovanja. Uvedba svetlobnih signalov je pomembno povečala varnost in zanesljivost delovanja železniškega omrežja.

Najpomembnejši svetlobni signali so: glavni signali, predsignali, premikalni signali in dopolnilni signali glavnih signalov. Skladno s Signalnim pravilnikom se glavni signali po pomenu delijo na: uvozne, izvozne, prostorne in kritne signale. Uvozni signali so locirani pred postajo in prepovedujejo ali dovoljujejo vlaku uvoz na postajo. Signali, ki prepovedujejo ali dovoljujejo izvoz vlaka s postajnega območja na odprto progo, se imenujejo izvozni signali. Prostorni signali prepovedujejo ali dovoljujejo vlaku vožnjo v blokovni ali odjavni odsek, ki ga krijejo. Kritni signali prepovedujejo ali dovoljujejo vlaku vožnjo preko cepišča, nakladišča ali postajališča na dvotirni progi in vožnjo iz enega v drugo postajno področje.

V primeru nezadostne vidne razdalje se pred uvoznim signalom postavi predsignal, ki predsignalizira signalni znak uvoznega signala, torej opozarja na stanje, ki ga mora strojevodja pričakovati na uvoznem signalu. Na progah, ki so opremljene z APB, prostorni signal pred uvoznim signalom (preduvozni signal) hkrati predsignalizira signalne znake uvoznega signala. Predsignale je potrebno postaviti tako, da ustrezajo vidni in zavorni razdalji, na kateri je možno vlak pred uvoznim signalom ustaviti. Zavorna razdalja je v Sloveniji za glavne proge enaka 1000 m in za regionalne proge 700 m (Signalni pravilnik, 2011).



**Preglednica 1: Vidna razdalja za glavne signale in predsignale (Signalni pravilnik, 2011)**

Progovna hitrost (km/h)	Vidna razdalja za glavni signal (m)	Vidna razdalja za predsignal (m)
do 80	200	100
pri 100	250	150
pri 160	400	300

Glavni signali in predsignali so pogosto opremljeni tudi z dopolnilnimi svetlobnimi signali, ki dopolnjujejo pomen signalnega znaka. To so predvsem smerna in hitrostna kazala ter tirna in odhodna kazala. Poznamo enopomenske in večpomenske glavne signale. Enopomenski signali s svojimi signalnimi znaki prepovedujejo ali dovoljujejo vožnjo v prostorski odsek. Večpomenski signali pa istočasno prepovedujejo ali dovoljujejo vožnjo v prostorski odsek in predsignalizirajo signalni znak naslednjega prostorskega odseka (Zgonc, 2003).

Na železniških progah z visokimi hitrostmi se signalizacija ob progi ne uporablja, saj strojevodja ne more pravočasno opaziti signalnega znaka. Mejna hitrost za signalizacijo ob progi je okoli 160 km/h, na nekaterih železnicah v zahodni Evropi tudi do 220 km/h. V tem primeru svetlobne signale zamenja kabinska signalizacija (Theeg, Vlasenko, 2009).



**Slika 25: Svetlobni signal (Romanešen, 2011)**

### 3.2.4 Kretniški pogon

Kretniški pogon je zunanji del postajnih elektrotelegrafskih SV naprav, ki omogoča daljinsko prestavljanje in kontrolo stanja kretnic oziroma raztirnika. S pomočjo kretniškega pogona lahko prestavljamo kretnice na razdaljah do nekaj kilometrov. Kretniški pogon je lahko v električni ali hidravlični izvedbi. V primeru okvare oziroma vzdrževalnih del je možno tudi ročna prestavitve kretnice. Pri prestavitvi kretnice iz ene skrajne lege v drugo kretniške pogone razvrščamo v počasi tekoče (4,5 s), normalno tekoče (2,5 s) ali hitro tekoče (do 1 s).

Glavni dve nalogi kretniškega pogona sta, da hitro zanesljivo in enakomerno prestavi kretnico iz ene skrajne lege v drugo in da drži kretnico v končni legi (Jontes, 1989).



Slika 26: Kretniški pogon (Romanešen, 2011)

### **3.2.5 Naprave za zavarovanje nivojskih prehodov**

Nivojska križanja železnice in ceste predstavljajo eno izmed šibkih točk na železnici. Glavni problem je, da strojevodja zaradi velike zavorne poti ne more vlaka pravočasno ustaviti, če mu pot prekriža vozilo. Za zagotovitev večje varnosti so na nivojskih križanjih začeli vgrajevati avtomatske naprave za zavarovanje cestnih prehodov, ki omogočajo večje hitrosti ter bistveno povečujejo varnost in prepustnost tako železniškega kot tudi cestnega prometa (Theeg, Vlasenko, 2009).

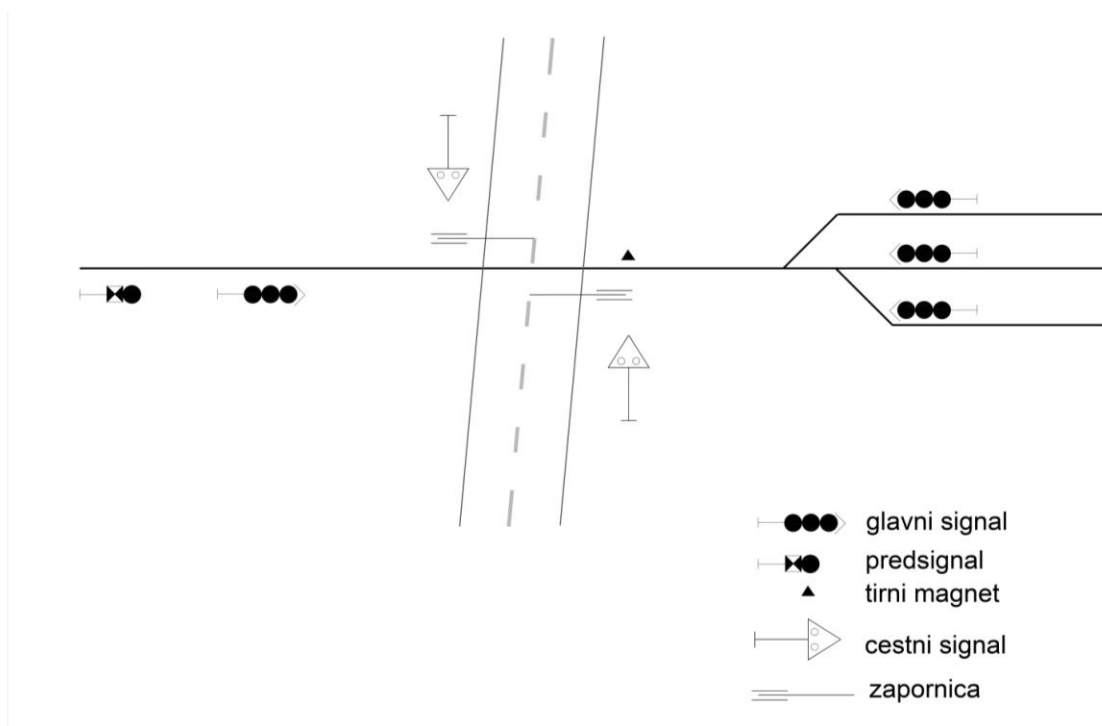
Na SŽ obstajajo tri različne vrste avtomatskih sistemov za zavarovanje nivojskih prehodov (NPr) (Jontes, 1989):

- sistem za zavarovanje NPr v postajnem območju (NPr–PO),
- sistem za zavarovanje NPr s kontrolnimi signali (NPr–KS),
- sistem za zavarovanje NPr z daljinsko kontrolo (NPr–DK).

#### **3.2.5.1 Sistem NPr–PO**

Sistem NPr–PO se uporablja v postajnem območju, torej znotraj uvoznih signalov. Zavarovanje se vključuje avtomatsko s postavitvami voznih poti. Izklopi se, ko zadnje kolo vlaka prepelje izklopno mesto, kar pomeni konec vozne oz. prepeljevalne poti vlaka, ki poteka preko križanja ceste in proge.

Avtomatika je sestavljena iz krmilnega dela, ki je vključen v postajno SV napravo, in naprav neposredno ob samem cestnem prehodu za krmiljenje cestnih signalov in zapornic, ki sta medsebojno povezani z zemeljskim kablom. Na tirno sliko postajne postavljalne mize se prenašajo vsa javljanja o delovanju cestnega prehoda, podobno kot za vse ostale postajne zunanje SV naprave. Omogočeno pa je tudi ročno krmiljenje s tipkami (Jontes, 1989).

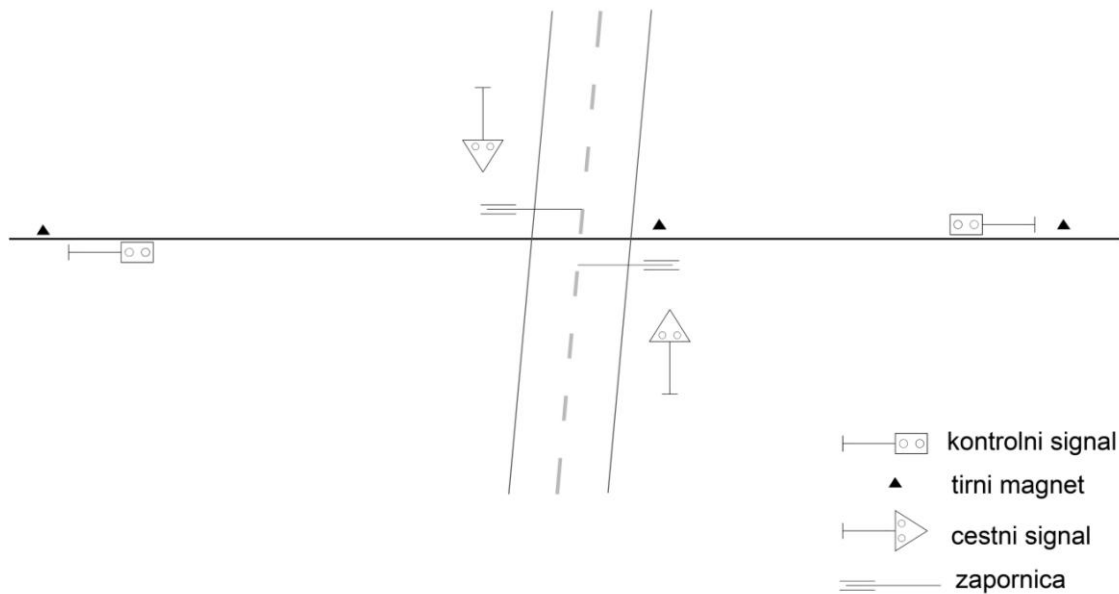


Slika 27: Sistem NPr-PO (Jontes, 1989)

### 3.2.5.2 Sistem NPr-KS

Sistem CPr-KS se uporablja na enotirnih ali dvotirnih odprtih progah, na katerih praviloma dovoljene hitrosti ne presegajo 90 km/h in niso vgrajene APB naprave. Z obeh strani cestnega prehoda sta na progi, najmanj na zavorni razdalji, vgrajena kontrolna signala, pred njima na razdalji cca. 100 do 180 m pa vklopni mesti. Vklonni element na progi pri sistemu KS je lahko krajša izolirka ali magnetni tirni kontakt. Ta sistem je popolnoma samostojen in neodvisen od sosednjih postaj. Pomebno je, da po vklopu zavarovanje traja samo določen čas, ki ga imenujemo čas avtomatskega izklopa. Vlak mora od vklopnega mesta do cestnega prehoda voziti najmanj z najmanjšo dovoljeno hitrostjo, ki znaša 10 km/h, sicer se zavarovanje samodejno izključi (Jontes, 1999).

Izklop sistema je avtomatski (odprtje zapornic, izključitev cestnih signalov), ko vlak v celoti zapusti področje prehoda oz. ko prepelje izklopno mesto (izolirka ali tirni magnet).

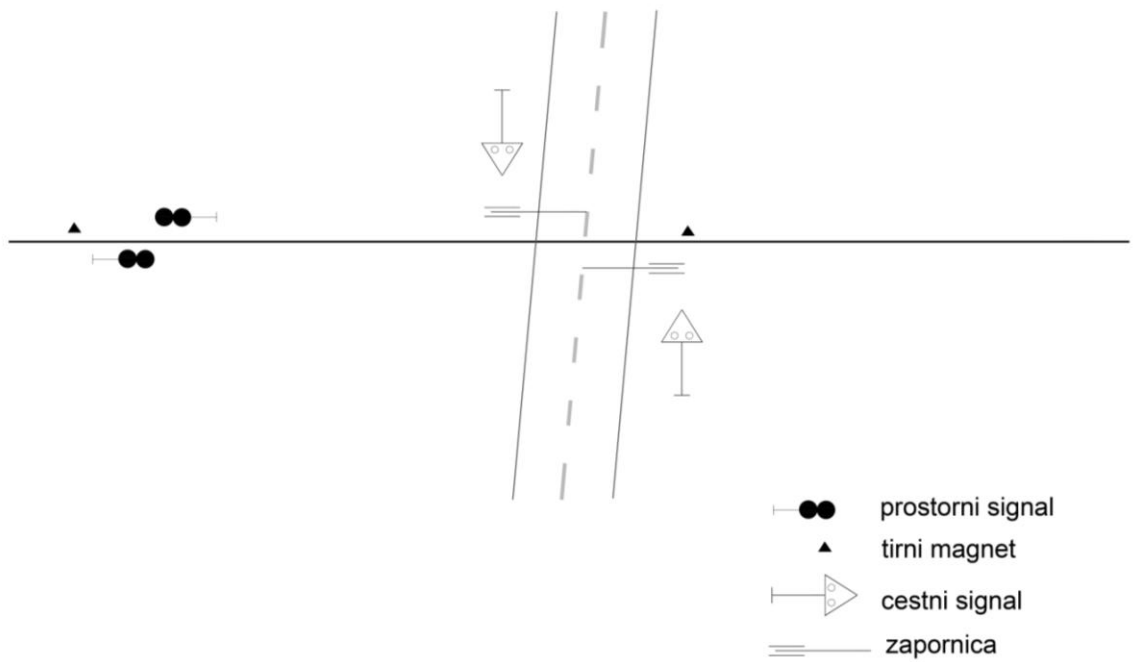


**Slika 28: Sistem NPr–KS (Jontes, 1989)**

### 3.2.5.3 Sistem NPr–DK

Sistem zavarovanja z daljinsko kontrolo (DK) se vgrajuje na progah, ki dovoljujejo večje progovne hitrosti, predvsem pa kadar so opremljene z APB. Ta sistem nima na progi nikakršnih signalov, ki bi opravljali varnostne funkcije. Delovanje naprav se neprestano kontrolira z najbližje postaje, kar imenujemo daljinska kontrola (Jontes, 1989).

Na progi z obeh strani cestnega prehoda so na ustrezni razdalji (povprečno 1000 do 1500 m) vklopna mesta, ki so opremljena s po dvema magnetnima tirnima kontaktoma. Ko vlak zapelje preko vklopnih kontaktov, se aktivira zavarovanje (zaprtje zapornic, vključitev cestnih signalov). Podobno kot pri sistemu KS traja zavarovanje samo določen čas (čas avtomatskega izklopa).



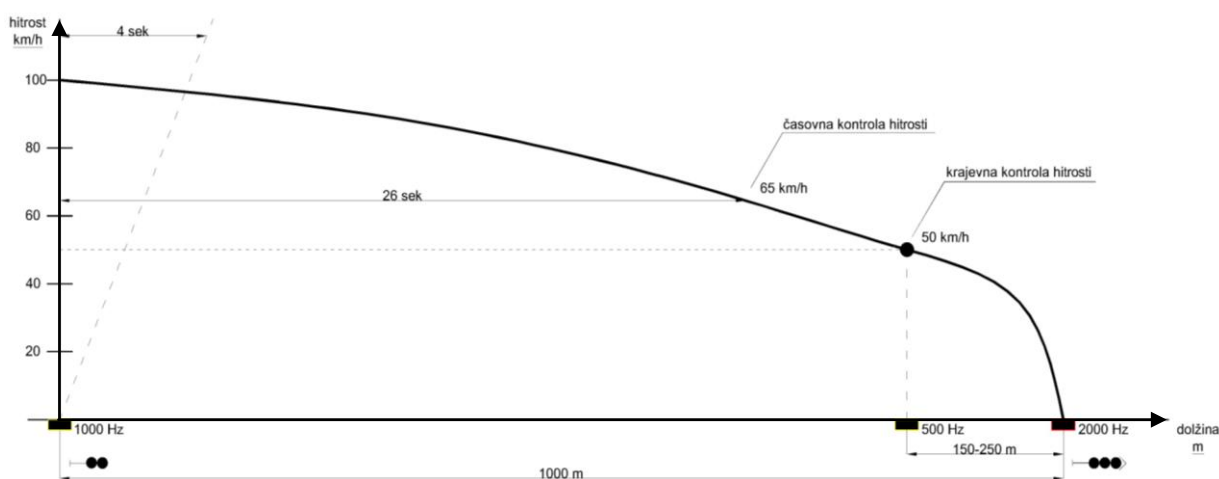
**Slika 29: Sistem NPr-DK (Jontes, 1989)**

### 3.3 Naprave za avtomatsko zaustavljanje vlakov

Naprave za avtomatsko zaustavljanje vlakov (Avtostop naprave) so v varnostnem smislu pomembno dopolnilo SV napravam. Naloga teh naprav je, da preprečijo nezgode ali nevarnosti v primerih, ko strojevodja pri vožnji mimo glavnih signalov ne uravnava vožnje tako, kot mu narekujejo signalni znaki. Pri nas so najbolj znane naprave INDUSI I 60.

Progovni del sistema je opremljen s tirnimi magneti (balizami), ki so pritrjeni na desni zunanji strani tira. Sestavljajo ga tri vrste magnetov, ki delujejo na frekvencah 500, 1000 in 2000 Hz. Relejna omarica aktivira tirni magnet takrat, ko kaže signalni znak »OMEJITEV HITROSTI« ali »STOJ«. Ko zapelje vlak nad aktiven magnet, se energija določene frekvenca zmanjša in ta sprememba aktivira zavore.

Primer delovanja tirnih magnetov: lokomotivski del avtostop naprave je potrebno pred pričetkom vožnje naravnati na največjo dovoljeno hitrost vlaka. Na primer: vlak vozi s hitrostjo 100 km/h proti signalu, ki kaže »STOJ«. Vlak najprej prepelje predsignal, ki kaže »PRIČAKUJ STOJ«, kateremu pripada tirni magnet s frekvenco 1000 Hz. Ko prevozi tirni magnet, se v kabini oglasi opozorilni signal in nato mora strojevodja v času 4 sekund pritisniti tipko, da je videl signal, ki zahteva znižanje hitrosti. V primeru, da tega ne stori, se na vlaku avtomatsko sproži zavora. Če je strojevodja pravočasno pritisnil tipko, se aktivira časovna kontrola hitrosti, in če v 26 sekundah ne zmanjša hitrosti pod 65 km/h, se avtomatsko sproži hitro zaviranje vlaka. Nato sledi tirni magnet 500 Hz, ki preverja hitrost vlaka in v primeru, da je hitrost vlaka večja od 50 km/h, se sproži zavora tu (Romanešen, 2011).



Slika 30: Avtostop naprava INDUSI (Romanešen, 2011)

### 3.4 Naprave za zaznavanje vročih osi

Naprave za zaznavanje vročih osi so namenjene zmanjševanju števila izrednih dogodkov, ki so povzročeni zaradi pregrevanja osi, ležajev in zavronih diskov. Vgrajujejo se na mestih, ki glede na potek vožnje vlakov z visoko verjetnostjo zagotavljajo, da bodo ležaji tirnih vozil segreti tako, da bo na podlagi njihove temperature možno ugotoviti pregrete ležaje ali zavorne diske (Pravilnik o železniških signalnovarnostnih napravah, 2010).

Uporablja se več različnih sistemov za zaznavanje vročih osi, najbolj pogosto se uporablja sistem, ki ga sestavljajo naslednji elementi (Theeg, Vlasenko, 2009):

- oprema ob progi (senzorji, števcji osi),
- kontrolna enota,
- oprema za prenos podatkov,
- zaslon za prikaz podatkov in alarmov.

Opremo ob progi sestavljajta dva infrardeča senzorja, ki se nahajata na zunanji strani obeh tirov, merita temperaturo osi, ležajev in zavornih diskov. Poleg senzorjev se v nekaterih sistemih uporablja še števec osi, s katerim se točno določi katera os vlaka se pregreva. Podatki iz senzorjev in števcjev osi se prenesejo preko opreme za prenos podatkov (progovni kabli) do kontrolnega sistema.



Slika 31: Naprave za zaznavanje vročih osi (Schobel, Pisek, 2006)



V primeru, da je določena os oz. zavorni diski prevroč se prikaže na zaslonu opozorilo, ki ga prometnik posreduje strojevodji. Sistem ima določeni dve mejni temperaturi; temperatura pri kateri se sproži samo opozorilo in temperatura, pri kateri se sproži alarm. Pri obeh mejnih temperaturah mora tehnik oz. strojevodja pregledati krtične osi oz. diske.

Strojevodja v primeru alarma lahko samo vizualno pregleda ali je os vlaka zaradi pregrevanja poškodovana oz. ali so ležaji vidno pregreti (postanejo rdeče barve). Tudi, če strojevodja ni opazil nobenih sprememb, mora vožnjo nadaljevati z znižano hitrostjo vlaka do postaje, kjer je možen podroben pregled vlaka (Schobel, Pisek, 2006).

## **4 KAPACITETA PROGE**

Kapaciteta proge je odvisna od večih parametrov in zato obstaja več različnih definicij kapacitete. Po Zgoncu (2003) je kapaciteta proge (prepustnost proge) število vlakov, ki jih lahko v določeni časovni enoti, običajno v enem dnevu (24ur), prepeljemo na določeni progi.

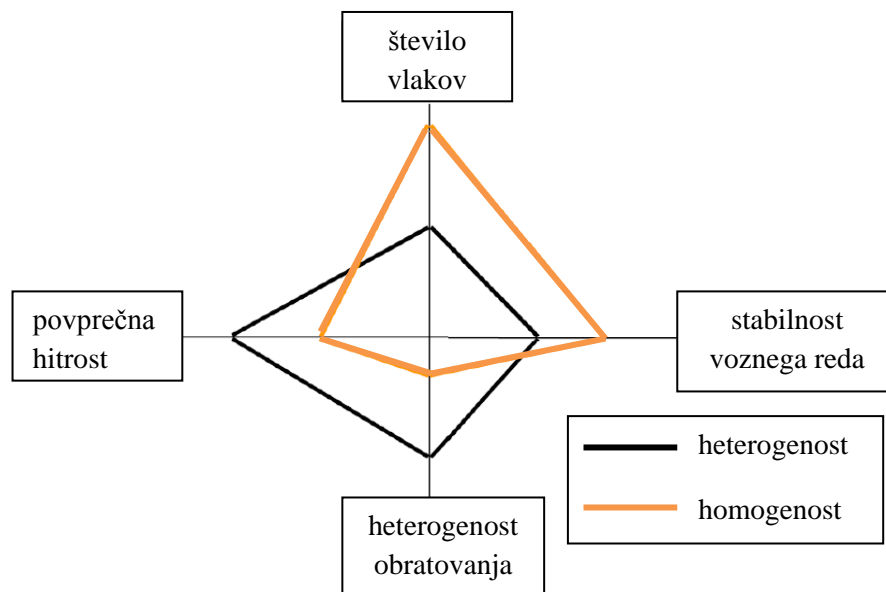
Definicija kapacitete po UIC 406: kapaciteta proge je odvisna od načina njene uporabe. Meri se le izkoriščenost kapacitete infrastrukture

Poznamo dva načina za določanje kapacitete, in sicer analitično ter s simulacijo. Tradicionalna metoda je analitična. Temelji na računanju časa kritičnega prostorskega odseka, stopnje izkoriščenosti infrastrukture in karakteristik voznega reda. Simulacija deluje na podlagi računalniškega modela, v katerem se simulira delovanje proge, za katero se računajo podatki (predvsem zamude) za izračun kapacitete (UIC, 2008).

V nadaljevanju se bom omejil le na analitične metode in sicer na metodo UIC 406, s katero bom v praktičnem primeru izračunal izkoriščenost kapacitete obravnavne proge Ljubljana–Kranj.

### **4.1 Metoda UIC 406 za določanje izkoriščenosti kapacitete železniške proge**

Po metodi UIC 406 na kapaciteto vplivajo naslednji parametri: število vlakov (število vlakov na definiran časovni interval), stabilnost voznega reda, heterogenost obratovanja in povprečna hitrost. Vsi ti parametri so med seboj odvisni. Odvisnost parametrov je prikazana na sliki (UIC, 2008).

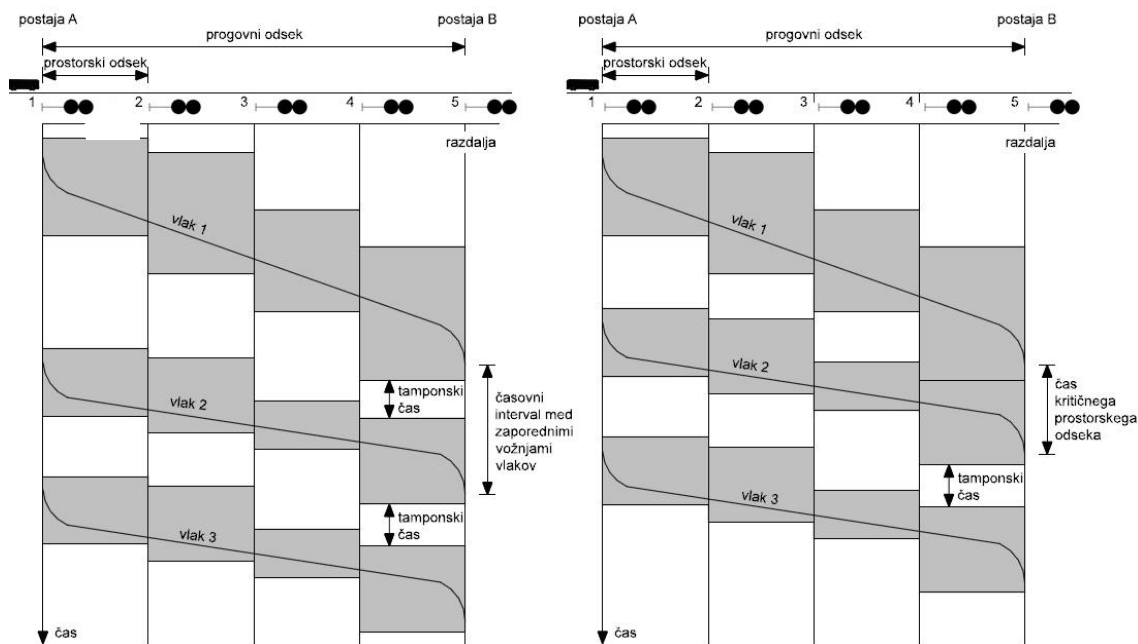


**Slika 32: Medsebojna odvisnost parametrov kapacitete (Landex, 2008)**

Na sliki je vidno, da v primeru, ko proga obratuje heterogeno (vlaki vozijo z različnimi hitrostmi, imajo različno dolge postanke na postajah), kljub višji povprečni hitrosti na progi obratuje manj vlakov z manjšo stabilnostjo voznega reda, kot je to možno pri homogenem (vlaki, ki vozijo z istimi hitrostmi, imajo enako dolge postanke na postajah) obratovanju. Na sliki vidimo, da se s povečanjem stabilnosti voznega reda (pri enaki povprečni hitrosti in stopnji heterogenosti) zmanjšuje število vlakov. Stabilnost voznega reda se nanaša na čimprejšnjo vrnitev voznega reda v staro stanje v primeru zamud (Cikajlo, 2010).

#### **4.2 Potek vrednotenja izkoriščenosti kapacitete po metodi UIC 406**

Metoda za določanje kapacitete UIC 406 je analitična metoda, ki temelji na zgoščanju voznega reda (blokovnih diagramov). Najprej je potrebno progo razdeliti na progovne odseke, ki v našem primeru ustrezajo razdalji med postajama. Nato sledi zgoščanje voznega reda, ki smo ga naredili v okviru predhodno določenega časovnega intervala (konična ura). V procesu zgoščevanja najprej določimo kritičen prostorski odsek, kjer je med dvema vožnjama vlakov časovni interval najmanjši in razberemo tamponski čas (ang. *buffer time*). Tamponski čas predstavlja razliko med dejanskim časovnim intervalom med zaporednimi vožnjami in časom kritičnega prostorskega odseka. Po zgoščanju je tamponski čas enak nič (Landex, 2008).



**Slika 33: Zgoščanje voznega reda (Cikajlo, 2010)**

Zgoščamo lahko vsak prostorski odsek posebej, saj se na podlagi zgoščanja določa samo vrednost izkoriščenosti kapacitete, ne dela se nobenih zaključkov glede izvedljivosti voznega reda (Lavrič, 2012).

Naslednji korak je izračun izkoriščenosti kapacitete, ki se izračuna po naslednji formuli:

$$k = A + B + C + D \tag{1}$$

$$K = k * 100 / U \tag{2}$$

kjer je:

- A.....zasedenost infrastrukture [%],
- B.....tamponski čas [min],
- C.....dodatek časa za križanje vlakov na enotirnih progah (ang. crossing buffer time) [min],
- D.....časovni dodatek za vzdrževanje infrastrukture (ang. supplement for maintenance) [min],
- k.....skupni čas zasedenosti progovnega odseka [min],
- K.....izkoriščenost kapacitete [%].

Dobljena vrednost izkoriščenosti kapacitete mora biti v mejah, ki se v našem primeru nanašajo na mešani promet in znaša za konično uro 75 % (UIC, 2008).

## 5 EVROPSKI SISTEM ZA NADZOR IN UPRAVLJANJE VLAKOV

V Evropi obstaja veliko različnih sistemov za zavarovanje železniškega prometa, kar onemogoča, da bi vlaki nemoteno prečkali »železniške meje«. Za nemoten »brezmejni« železniški transport je potrebna interoperabilnost železniške infrastrukture, kar pomeni poenotenje sistemov za nadzor in zavarovanje železniškega prometa. Zato je Evropska unija začela projekt Evropskega železniškega sistema za upravljanje železnic (ang. *European Railway Traffic Management System*, v nadaljevanju ERTMS), katerega najpomembnejši del je Evropski sistem za nadzor in upravljanje vlakov (ang. *European Train Control System*, v nadaljevanju ETCS) (Nova Proga, 2005).

### 5.1 Splošno o ERTMS

ERTMS je evropski železniški sistem, s katerim želi Evropska unija (EU) olajšati, izboljšati in razviti železniški prevoz znotraj EU. S tem sistemom je omogočena čezmejna interoperabilnost in vzpostavitev enotnega vseevropskega standarda za vodenje in nadzor vlakov.

ERTMS sestavljajo štirje elementi (RGS, 2010):

- ETCS – interoperabilni sistem, ki omogoča vodenje in nadzor vlakov in vključuje avtomatsko zaščito vlaka (ang. *Automatic Train Protection*),
- globalni mobilni komunikacijski sistem za železnice (ang. *Global System for Mobile communication Railway*, v nadaljevanju GSM-R) – telekomunikacijski sistem, ki prenaša podatke za vodenje vlakov med opremo ob progi in vlakom ter omogoča mobilno komunikacijo,
- evropski sistem za optimizacijo vodenja železniškega prometa (ang. *European Traffic Management Layer*),
- evropska operacijska pravila (ang. *European Operational Rules*) – pravila, ki standardizirajo delovanje železnice po Evropski uniji.

Najpomembnejši del sistema ERTMS je sistem ETCS, ki ni samostojen SV sistem, ampak omogoča nadgradnjo obstoječih SV sistemov in jih centralizira v vlakovni kontrolni sistem. S tem omogoča tudi prestopen prehod na standardizirane rešitve, kar lahko dosežemo z novejšimi informacijskimi in telekomunikacijskimi sistemi.

ETCS se uporablja na številnih progah v Evropi. Omogoča postopno izgradnjo in uvajanje na področju železniške uprave, kar manjšim državam olajša njegovo uvajanje. Problem so visoki investicijski stroški in stroški pri nadgradnji starega sistema. Sistem prinaša konkurenčnost med proizvajalci ETCS opreme, hkrati pa je oprema različnih proizvajalcev kompatibilna.

Tudi veliko drugih držav izven Evropske unije je uvedlo ETCS sistem: Tajvan, Južna Koreja, Kitajska, Savdska Arabija, Turčija, Indija, Avstralija in Mehika (Theeg, Vlasenko, 2009).

## 5.2 ETCS oprema

ETCS je razdeljen na dva podsistema: oprema na vlaku in oprema ob progi.

Oba podsistema v velikem obsegu omogočata vključitev obstoječega SV sistema. Vsa oprema na vlaku je računalniško podprta in je sestavljena iz več modulov in enot, ki lahko delujejo kot posamezne enote ali v kombinaciji. Oprema ob progi je sestavljena iz naprav in sistemov, ki so vgrajeni neposredno na progi ali pa so njen bistven del. Te naprave omogočajo enosmerno (proga–vlak) in dvosmerno (proga–vlak in obratno) komunikacijo (RGS, 2010).

Komponente opreme na vlaku so:

- računalnik,
- vmesnik med strojevodjo in vozilom (ang. *Driver-Machine Interface*, v nadaljevanju DMI),
- vmesna enota vlaka (ang. *Train Interface Unit*, nadaljevanju TIU),
- čitalec baliz,
- merilnik hitrosti in poti,
- specifični prenosni modul (ang. *Specific Transmission Module*, v nadaljevanju STM).

Komponente opreme na progi so:

- baliza,
- evrozanka (ang. *Euroloop*),
- progovna elektronska enota (ang. *Lineside Electronic Unit*, v nadaljevanju LEU),
- radijski bločni center (ang. *Radio Block Centre*, v nadaljevanju RBC),
- GSM-R,
- dopolnilna radijska enota (ang. *Radio Infill Unit*),
- signali ob progi (odvisno od nivoja ETCS).

### 5.2.1 ETCS oprema na vlaku

Vsa ETCS oprema na vlaku je računalniško podprta in sestavljena iz enot, ki jih bom opisal v nadaljevanju. Z računalnikom se nadzoruje vlak, koordinira ETCS oprema na vlaku in izvaja različne operacije, kot so računanje dinamičnega profila hitrosti, shranjevanje vlakovnih podatkov, nadzor hitrosti in kontrola načina delovanja. Informacije o hitrosti in prevoženi poti računalniku posredujejo

merilniki hitrosti in poti. Računalnik sprejema te podatke iz tahometra in hitrostnega radarja, ki je nameščen pod vlakom in sproti izračunava hitrost in položaj vlaka. Informacije o položaju vlaka na progi lahko računalnik pošilja ETCS opremi ob progi. Čitalec baliz omogoča prenos podatkov med balizo in vlakom in pošlje vse informacije računalniku na vlaku. Ko vlak prečka balizo, jo čitalec baliz napolni z energijo. Čitalec baliz omogoča tudi prenos podatkov med evrozanko in računalnikom na vlaku (ETCS handbook, 2008).

Na podlagi vseh podatkov računalnik prikaže pomembne informacije na kabinskem zaslonu (DMI) in v primeru nevarnosti avtomatsko sproži zavore preko vmesne enote vlaka (TIU).

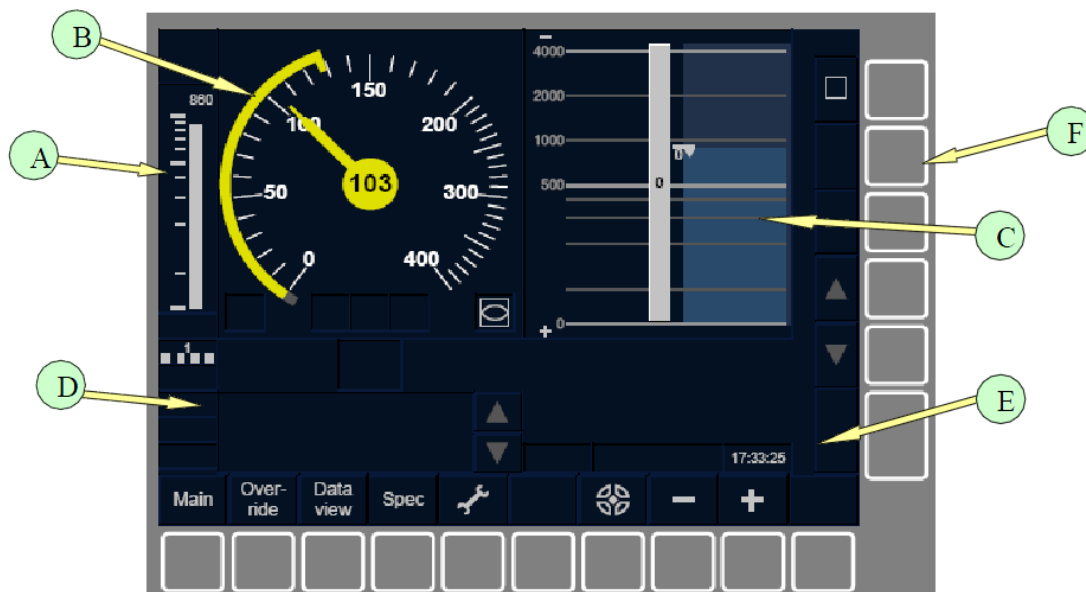
TIU je enota na vlaku, s katero računalnik nadzoruje zavorni sistem, delovanje vlaka in delovanje motorja. S pomočjo tega sistema se nadzoruje zaviranje. Če strojevodja ne upošteva priporočenega zaviranja, se lahko sproži zasilno zaviranje, in sicer sistem avtomatsko ustrezno zmanjša delovanje motorja.

DMI predstavlja kabinski signalni zaslon, ki se nahaja v kabini vlaka in omogoča komunikacijo s strojevodjem. S pomočjo DMI se strojevodji prikažejo bistveni parametri, kot so: največja hitrost, ciljna hitrost in razdalja do točke, pri kateri mora strojevodja začeti zavirati, ne glede na to, v katerem nacionalnem železniškem omrežju je vlak. Seveda mora nacionalno omrežje delovati v ETCS načinu. Strojvodja lahko preko DMI vnese podatke o vlaku, ki so potrebni za zagon ETCS opreme na vozilu. Pri vožnji vlaka ima strojevodja preko DMI ves čas prikazano kabinsko signalizacijo, informacije in opozorila, ki jih sistem zazna.

DMI daje strojevodji šest glavnih vozniških nalog in informacij (RGS, 2010):

- podrobnosti zavorne poti (razdalja do točke, pri kateri mora začeti zavirati),
- kontrolo hitrosti (hitrostne krivulje in nadzor),
- obratovalno hitrost (dejanska hitrost in priporočena hitrost),
- planiranje (napoved prihodnjih dogodkov),
- nadzor (alarmi in status tehničnih sistemov),
- vnos podatkov.



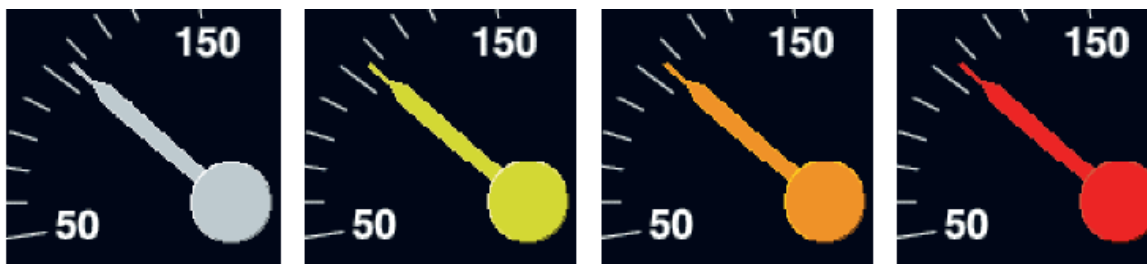


**Slika 34: Zaslou DMI (RGS, 2010)**

Na zgornji sliki lahko vidimo, da je DMI zaslon sestavljen iz razliĝnih obmoĝij, ki prikazujejo strojevodji naslednje informacije (RGS, 2010):

- obmoĝje A prikazuje podrobne podatke o zaviranju,
- obmoĝje B prikazuje informacijo o trenutni hitrosti,
- obmoĝje C prikazuje vnaprejšnje informacije o naĝrtovani voŝnji (naklon proge, razdalja do toĝke, pri kateri se mora vlak ustaviti),
- obmoĝje D informira strojevodjo o tem, v katerem nivoju ETCS deluje, in s sporoĝili opozarja na morebitne nevarnosti (D),
- obmoĝje E informira strojevodjo o trenutni lokaciji vlaka na progi in prihajajoĝih dogodkih,
- obmoĝje F omogoĝa strojevodji vnos podatkov (F).

DMI zaslon deluje tako, da skrrije informacije, ki v doloĝenem trenutku niso tako pomembne za voznika. Ko pa neka informacija postane pomembna, se vozniku pojavi na zaslonu in se po potrebi drugaĝe obarva (npr. priporoĝena hitrost). Barve izraŝajo prioriteto neke informacije, opozarjajo lahko tudi na nevarnost. Glavne barve, ki jih sistem uporablja, so bela (ni nevarnosti), rumena (majhna nevarnost), oranŝna (srednja nevarnost) in rdeĝa (zelo nevarna situacija, intervencija sistema).



**Slika 35: Opozorilne barve na zaslonu DMI (RGS, 2010)**

Kot sem že omenil, je velik problem pri uvajanju sistema ETCS poenotenje med seboj različnih nacionalnih sistemov za nadzor in vodenje vlakov. Sistem ETCS omogoča, da se interoperabilnost doseže s posebnim vmesnikom na vlaku, ki se imenuje specifični prenosni modul (STM). STM omogoča vlaku komunikacijo z različnimi nacionalnimi sistemi, in sicer omogoča pridobivanje informacij z opreme ob progi (zanke, magneti) ter omogoča »prevod« informacij iz nacionalnih sistemov v jezik ETCS, kar se pokaže kot ustrezen ukaz na DMI zaslonu.

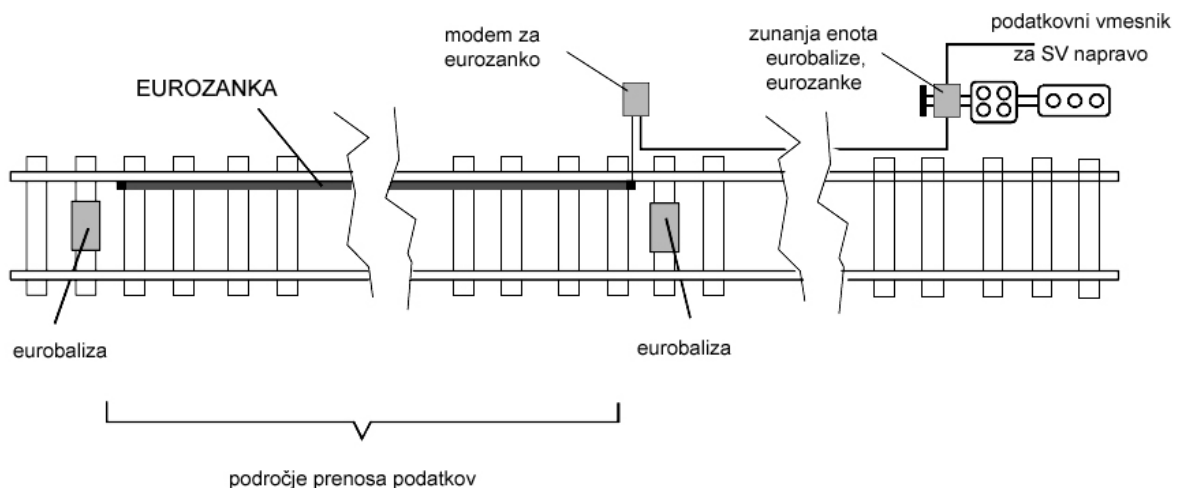
### **5.2.2 ETCS oprema ob progi**

Balize so progovne enote, ki omogočajo točkovni prenos podatkov in se uporabljajo na vseh ETCS nivojih (1, 2 in 3), ki so opisani v nadaljevanju. Sestavljene so iz napajalnega, spominskega in prenosnega dela ter antene. Balize ne potrebujejo zunanjega napajanja in se polnijo med prečkanjem vlaka. Lahko se uporabljajo posamezno ali v skupini do osmih baliz (FFIS, 2007). V primeru, da se balize uporabljajo v skupini, dosežemo večjo zanesljivost prenosa podatkov in s tem večjo varnost. Balize morajo biti nameščene na predpisani medsebojni razdalji, ki je odvisna od progovne hitrosti. Po Hernavsu in Godcu (2009) so balize v skupini sposobne prenosa podatkov do 565 kbit/s, kar vlakom omogoča hitrosti do 500 km/h. Zaradi možnega negativnega vpliva okolja (električne motnje) so informacije zaščitene z zaščitno kodo. Lahko so informacijsko povezane z ostalo opremo ob progi (npr. s signali ob progi preko tirne elektronske progovne enote) ali delujejo le kot detektorji za lociranje vlaka, odvisno od nivoja ETCS. Balize v skupini se uporabljajo tudi za prepoznavanje smeri potovanja vlakov.



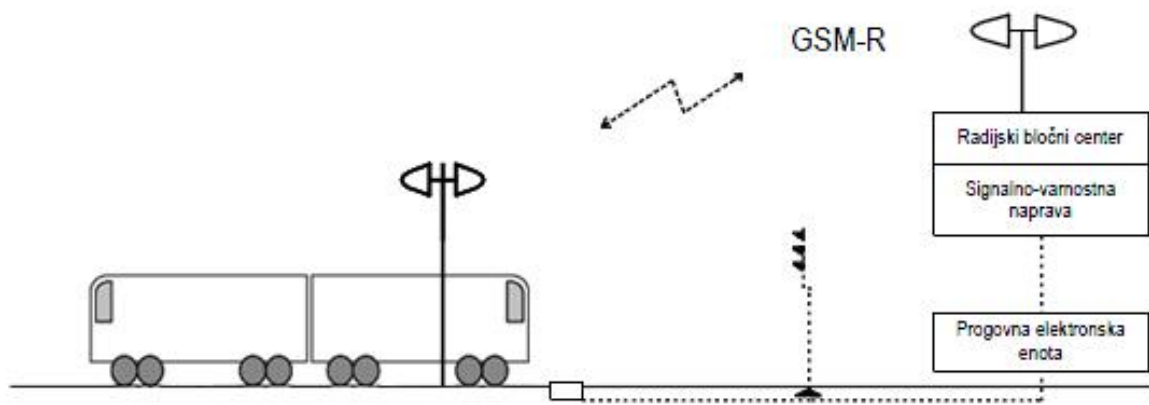
Slika 36: Baliza (ETCS, 2012)

Evrozanka je verižna zanka položena ob tir, ki lahko prenaša podatke po vsej svoji dolžini (do 1000 m), kar omogoča linijski prenos podatkov. V primerjavi z balizami se izboljša kvaliteta in natančnost podatkov. Dolžina zanke je odvisna od progovne hitrosti. Pri progovni hitrosti 180 km/h mora biti dolžina zanke vsaj 15 m, pri hitrosti 300 km/h se dolžina zanke poveča na 25 m. Delovanje evrozanke temelji na magnetnem polju, ki se aktivira, ko se ji vlak približa. Čitalec baliz zazna magnetno sevanje, sprejme podatke in jih posreduje računalniku na vlaku. Evrozanka lahko deluje tudi dvosmerno, torej lahko prenaša informacije s proge na vlak in obratno (Hernavs, Godec, 2009).



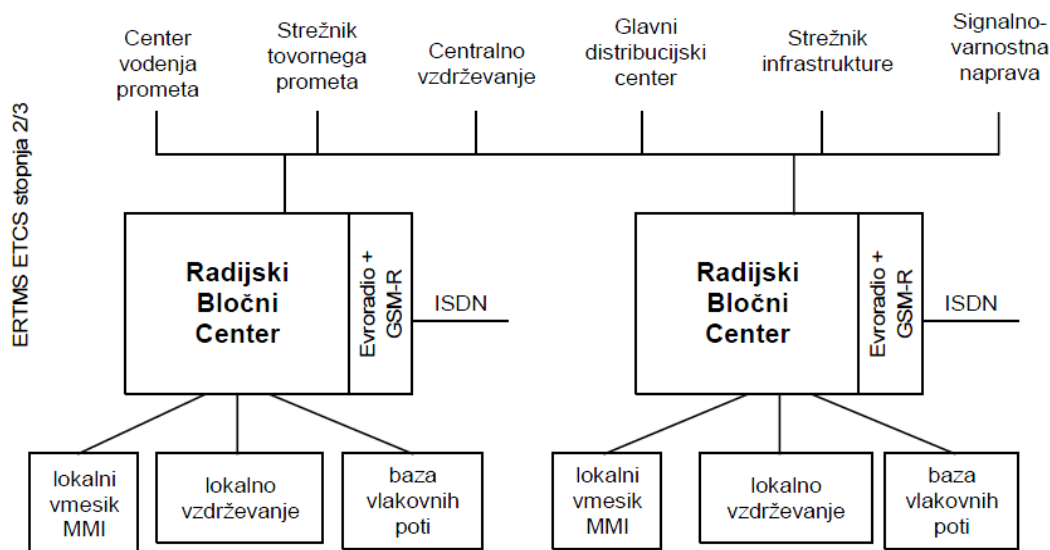
Slika 37: Evrozanka (Hernavs, Godec, 2009)

Progovna elektronska enota (LEU) je naprava, ki na podlagi prejetih podatkov iz sistemov za zavarovanje in nadzor vožnje vlakov ustvarja sporočila, ki jih nato pošilja na balize. V teh sporočilih je dovoljenje za vožnjo (ang. *Movement Authority*, v nadaljevanju MA) in ostale pomembne informacije. LEU prav tako sprejema sporočila, ki jih oddaja vlak med vožnjo preko baliz, evrozanke ali GSM-R, jih obdela in po potrebi prenese drugim napravam na progi.



**Slika 38: Delovanje progovne elektronske enote (Hernavs, Godec, 2009)**

Radijsko bločni center (RBC) je centralna nadzorna naprava za vse ETCS naprave ob progi in se nahaja v signalno kontrolnem centru. Uporablja se na nivoju 2 in 3 za nadzor sistema za zavarovanje vožnje vlakov ter za izdajanje MA. Poleg tega vsebuje tudi podatke, ki opisujejo pot vlaka in omejitve hitrosti, ter sprejema informacije z vlaka, kot so lokacija vlaka ter njegov status. RBC komunicira z vlakom preko evroradija, ki temelji na GSM-R standardu. Dolžina območja, ki ga pokriva ena RBC naprava, je odvisna od proizvajalca ter položaja na terenu. Razdalje med napravami so lahko tudi več sto metrov (ETCS handbook, 2008).



Slika 39: Shema delovanja RBC (Hernavs, Godec, 2009)

Omrežje za radijsko komunikacijo je bilo razvito na podlagi javnega omrežja GSM in prilagojeno za železnice. Uporablja se za dvosmerni prenos podatkov med vlakom in RBC ali za dopolnilno radijsko enoto ter za govorno komunikacijo med strojevodjo in osebjem na postaji.

Omrežje za radijsko komunikacijo je sestavljeno iz fiksnih povezav, baznih postaj, centralnega sistema in sistemov za upravljanje ter povezovanje z obstoječimi telekomunikacijskimi omrežji in s tujimi komunikacijskimi sistemi.

Dopolnilna radijska enota deluje samo na ETCS nivoju 1. Podobno kot evrozanka tudi dopolnilna radijska enota ne deluje točkovno ampak linijsko. Deluje tako, da vlaku na določenem odseku proge pošilja podatke, ki imajo enako strukturo kot tisti, ki so preneseni preko baliz. Podatki se pošiljajo preko GSM-R.

### 5.3 Delovanje sistema ETCS in nivoji delovanja

Tako kot pri običajnih SV sistemih prometnik najprej določi vlaku vozno pot s pomočjo postavljalne mize. Ko so vse kretnice pravilno postavljene in zaklenjene v vozni poti, ETCS oprema ob progi pošlje dovoljenje za vožnjo ETCS opremi na vlaku, ki nato vlaku dovoli vožnjo. Dovoljenje za vožnjo vsebuje maksimalno razdaljo, ki jo vlak lahko prevozi. Oprema na vozilu nato ta podatek kombinira z vlakovno hitrostjo, zavornimi zmogljivostmi vlaka in izračuna hitrostni profil, ki ga strojevodja ne sme preseči.

V primeru, da strojevodja preseže razdaljo oz. hitrost, ki mu jo zapoveduje dovoljenje za vožnjo, ETCS najprej opozori strojevodjo in kasneje avtomatsko reagira ter zmanjša hitrost vlaka. Sistem ETCS nadzoruje vožnjo vlaka in zagotavlja, da vlak ne potuje dlje, kot mu to zapoveduje dovoljenje za vožnjo. Stopnja nadzora je odvisna od nivoja uporabe in načina delovanja sistema ETCS.

Nivo delovanja ETCS je odvisen od ETCS nivoja delovanja opreme na krovu in ETCS nivoja delovanja opreme ob progi. Vlak je lahko opremljen z višjim nivojem ETCS kot oprema ob progi, vendar mora delovati na istem nivoju, kot ga ima oprema ob progi. Proga je lahko opremljena z večimi nivoji vzporedno.

ETCS ponuja 5 nivojev delovanja (ETCS handbook, 2008):

- nivo 0,
- nivo specifičnega prenosnega modula (ang. *Specific Transmission Level*, v nadaljevanju STM),
- nivo 1,
- nivo 2,
- nivo 3.

### 5.3.1 ETCS nivo 0 in STM

Železniška proga deluje na nivoju 0, ko vlak, opremljen s sistemom ETCS, vozi po progi, ki ni opremljena s sistemom ETCS ali pa je ta še v gradnji. Sistem na vlaku nadzoruje največjo hitrost vlaka in maksimalno dovoljeno hitrost na neopremljenem območju. Strojvodja mora upoštevati signalizacijo ob progi in predpisane omejitve hitrosti. Nacionalni SV sistem ob progi je v tem primeru brez nadgradnje s sistemom ETCS (RGS, 2010).

Strojvodja mora ob zagonu vlaka vnesti osnovne podatke o vlaku, kot so npr. najvišja dovoljena hitrost, zavorne zmogljivosti vlaka itd. Iz DMI dobiva strojvodja samo podatke o trenutni hitrosti.

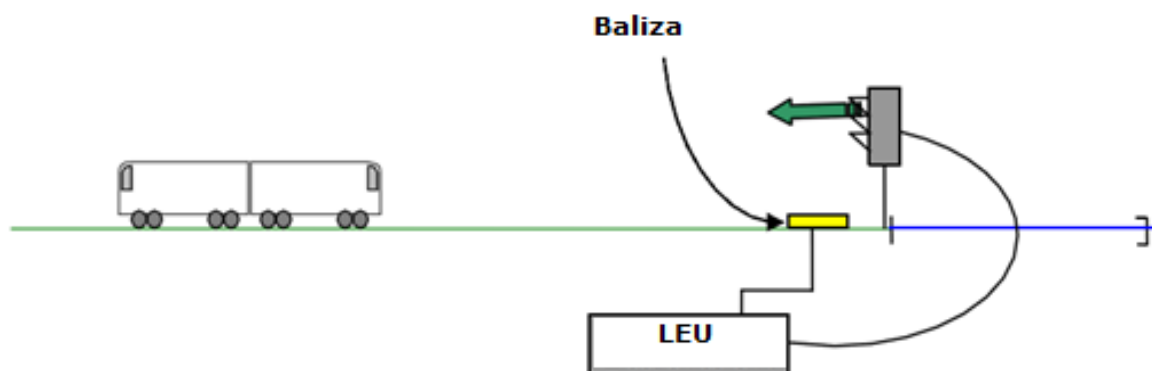
Če del proge deluje na višjem ETCS nivoju, je na mejnem območju (med nivojem 0 in višjem nivoju) baliza, ki zazna prehod vlaka na višji nivo ETCS.

Podobno kot nivo 0 se tudi nivo STM obravnava kot posebna vrsta delovanja sistema ETCS z namenom, da se zagotovi interoperabilnost omrežja. STM vmesnik na vlaku se uporablja za prenos in »prevod« podatkov z opreme ob progi iz nacionalnega SV sistema na ETCS opremo na vozilu, tako da ta lahko podatke uporabi. Pogoj za delovanje je, da je nacionalni SV sistem skladen z nacionalnimi sistemi, ki so zapisani v tehničnih specifikacijah za interoperabilnost (TSI).

### 5.3.2 ETCS nivo 1

ETCS nivo 1 omogoča nadgradnjo obstoječega SV sistema in omogoča interoperabilnost. Strojvodji ni potrebno razbrati signalov ob progi, saj se mu prikaže ustrezen ukaz na kabinskem zaslonu.

Nivo 1 omogoča obstoječemu SV sistemu, da preko baliz, evrozanke ali radijske zveze prenaša signalne informacije (dovoljenje za vožnjo) in informacije o najvišji progovni hitrosti vlaka na ETCS opremo na vlaku. Računalnik na vlaku na podlagi prejetih podatkov s proge ves čas nadzoruje in računa maksimalno hitrost ter določa zavorne krivulje (Breaking curves, 2012).



**Slika 40: Osnovno delovanje ETCS nivo 1 (RGS, 2010)**

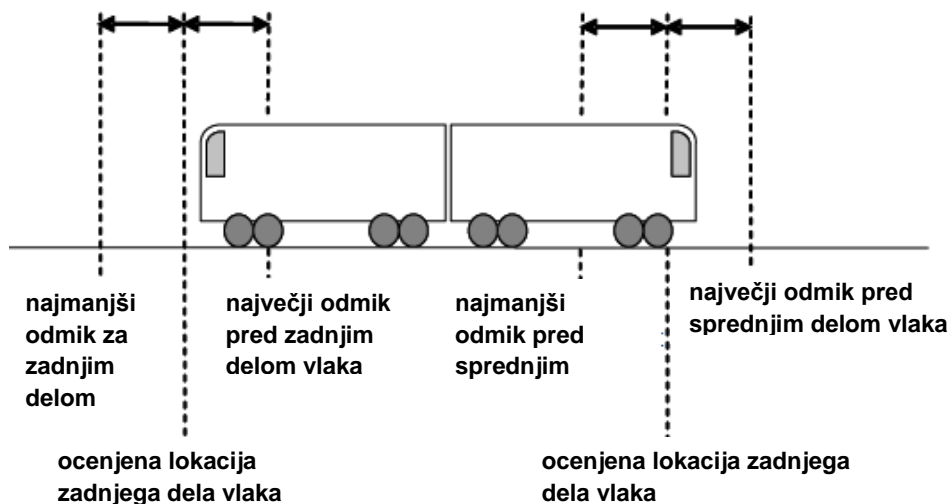
Prva možnost uporabe ETCS nivoja 1 je prenos podatkov na vlak preko baliz. V bližini vsakega signala je postavljena vsaj ena baliza. Balize so električno povezane s progovno elektronsko enoto (LEU), ki prenaša informacije o stanju signalov. Z dodajanjem baliz, ki so postavljene na daljši razdalji pred signalom, se zagotovi večjo varnost in natančnost signalnih informacij, vendar je vzdrževanje dražje. Kljub večjemu številu baliz ne moremo zagotoviti, da bo ETCS oprema na vlaku vedno dobila enak ukaz preko baliz, kot je signal na semaforju, saj se lahko ta spreminja kadarkoli.

Z balizami lahko nadzorujemo lokacijo vlaka na progi. Natančnost informacij o lokaciji vlaka je odvisna od števila baliz in od lokacije baliz na nekem odseku. Upoštevati je potrebno napake, ki se pojavijo pri oceni lokacije vlaka. Potrebno je izračunati interval zaupanja, ki se spreminja z oddaljenostjo vlaka od skupine baliz.

Na podlagi informacij o lokaciji vlaka z baliz se lahko izračuna (Theeg, Vlasenko, 2009):

- ocenjena lokacija vlaka,
- največji odmik pri lokaciji vlaka pred sprednjim delom vlaka,
- najmanjši odmik pri lokaciji vlaka pred sprednjim delom vlaka,
- najmanjši odmik pri lokaciji vlaka za zadnjim delom vlaka,
- največji odmik pri lokaciji vlaka za zadnjim delom vlaka.

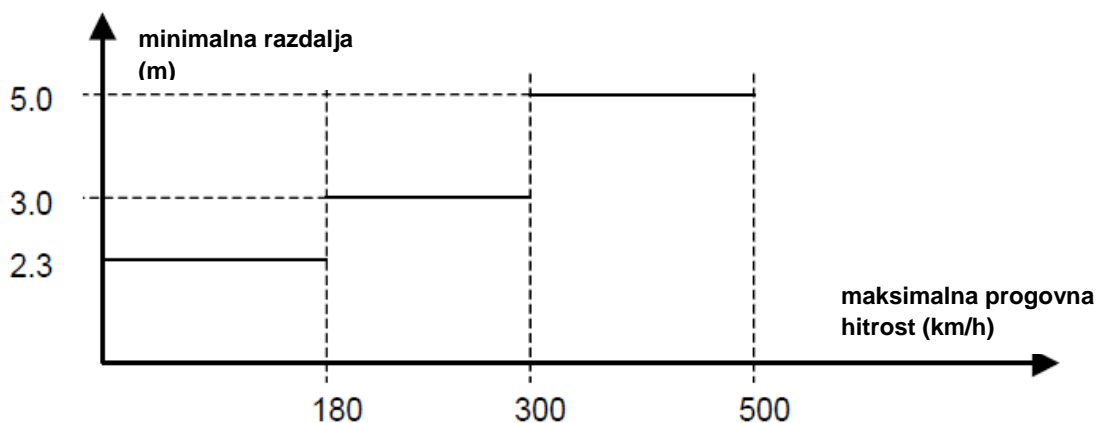




Slika 41: Največji/najmanjši odmik za zadnjim ali pred sprednjim delom vlaka (RGS, 2010)

Balize lahko postavimo pred vsak signal. Oddaljenost balize od signala je lahko najmanj 5 do 10 m in največ do zavorne razdalje vlaka, ki vozi po obravnavni progi, z najslabšimi zavornimi karakteristikami.

Druga možnost je, da postavimo na progo dodatne balize, ki omogočijo večjo natančnost signalnih informacij in v primeru izredne situacije hitrejše ukrepanje. Minimalna razdalja med sosednjimi balizami je odvisna od maksimalne progovne hitrosti. Pri hitrostih do 180 km/h mora biti 2 do 3 m (FFIS, 2007).

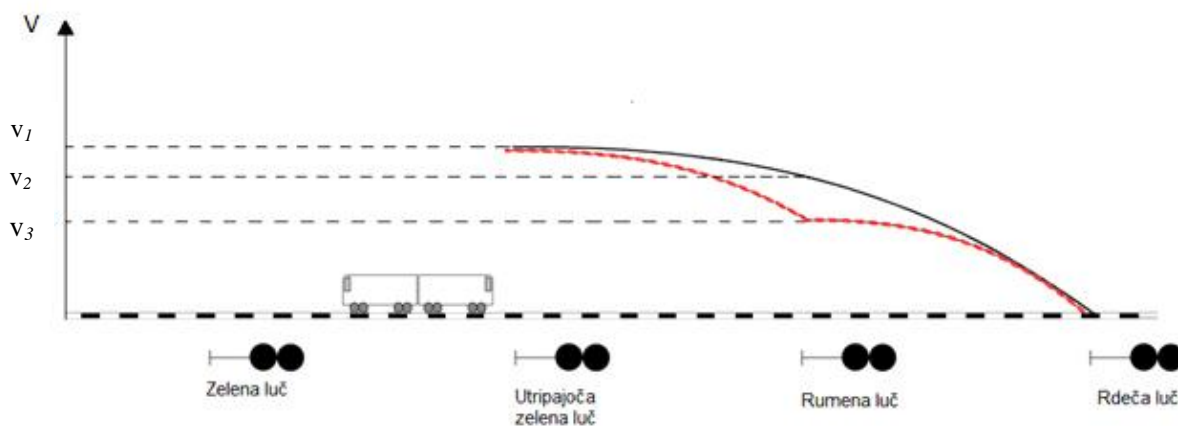


Slika 42: Spreminjanje razdalje med balizami s povečanjem hitrosti (RGS, 2010)

Druga možnost uporabe ETCS nivoja 1 je prenos podatkov poteka preko evrozanke ali radijskega prenosa. Ta način omogoča dvosmerni neprestani prenos podatkov. Evrozanka oz. radio omogočata večjo natančnost signalnih informacij ter s tem večjo varnost, podobno kot dodajanje baliz. Signalizacija ob progi ni potrebna, vendar se kljub temu v večini primerov uporablja.

### 5.3.2.1 Primerjava ETCS nivoja 1 s klasičnim SV sistemom pri zaviranju

Primer: vlak dobi prvi signal z zeleno mirno lučjo (»PROSTO«), drugega z utripajočo zeleno lučjo (»PROSTO«, pričakuj »OMEJENO HITROST«), tretji signal je utripajoča rumena luč (»PREVIDNO«, pričakuj »STOJ«) in četrti signal je rdeča luč (»STOJ«). Prvi signal pomeni, da lahko vozi naprej z redno hitrostjo. Drugi signal pomeni, da bo naslednji signal kazal znak »OMEJENA HITROST« (rumena luč) in voznik bo moral zmanjšati hitrost na  $v_2$ . Ko vlak doseže signal z rumeno lučjo, mora strojevodja uravnati vožnjo vlaka tako, da se bo pred naslednjim signalom ustavil. ETCS nivo 1 preveri, ali je omejitev hitrosti  $v_2$  pri rumeni luči potrebna, ter v primeru, da se vlak še lahko varno ustavi pred naslednjim signalom, zviša na hitrost  $v_3$ . Takšno zvišanje hitrosti omogoči mirnejšo vožnjo, zniža porabo energije ter poveča kapaciteto linije (ETCS handbook, 2008).



Slika 43: Graf zaviranja ETCS in klasičen sistem (ETCS handbook, 2008)

### 5.3.3 ETCS nivo 2

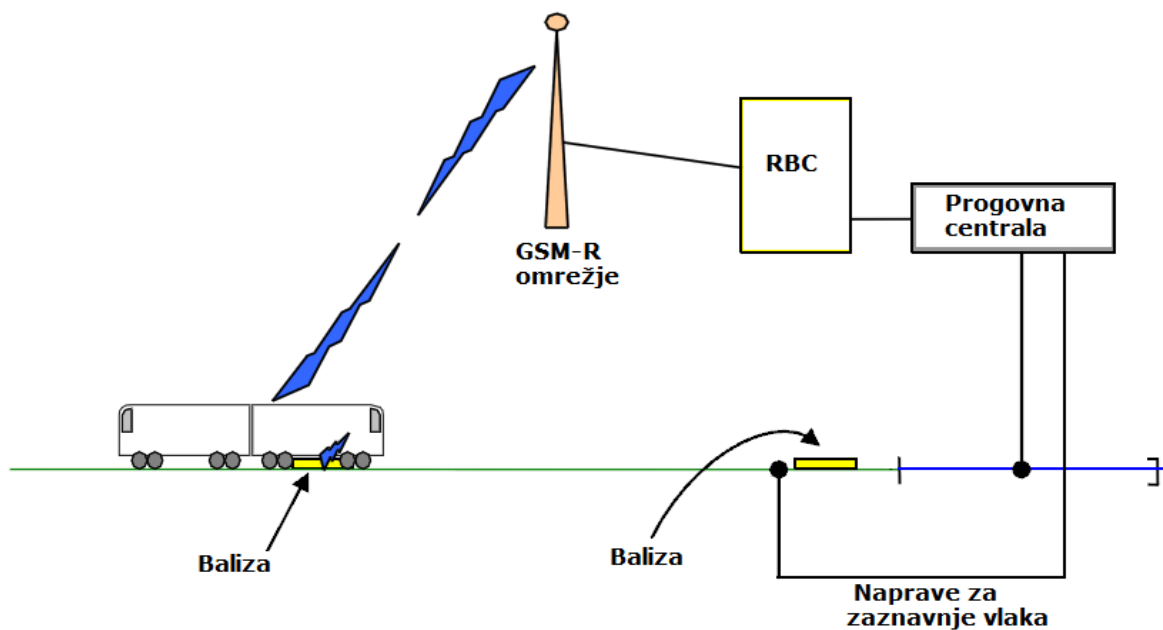
ETCS nivo 2 lahko deluje z ali brez signalov ob progi, najprimernejši pa je način brez signalov. Vse informacije (dovoljenje za vožnjo, progovna hitrost, informacije o poti) se neprestano in v obe smeri (proga–vlak in vlak–proga) prenašajo preko evroradia, kar omogoča varen nadzor hitrosti. Na tem nivoju je mogoče mesta zaustavljanj in upočasnitve vlakov predvidevati hitreje, kot je to mogoče pri standardnih progovnih SV napravah (Theeg, Vlasenko, 2009).

Centralni objekt je radijski bločni center (RBC), ki nadzoruje daljše progovne odseke, shranjuje statične podatke ter pridobiva dinamične podatke, kot je pozicija vlaka na zavarovanem postajnem območju. RBC prepozna vsak vlak posebej, saj so vsi opremljeni z lastnimi ECTS identitetami. Na podlagi teh podatkov lahko RBC vedno izračuna dovoljenje za vožnjo.

Vlak zahteva novo dovoljenje za vožnjo v rednih časovnih intervalih (ponavadi vsakih 60 sekund) ali ob posebnih dogodkih. Nivo 2 dovoljuje preklic dovoljenja za vožnjo in s tem zelo skrajša čas, ki je potreben za preklic poti vsakega vlaka. Ta funkcija se imenuje »Kooperativno skrajšanje dovoljenja za vožnjo«. RBC pošlje zahtevo za skrajšanje dovoljenja za vožnjo, medtem ko ETCS oprema na krovu preračuna, če se vlak lahko varno ustavi na novi točki, ki se imenuje konec dovoljenja za vožnjo (ang. *End Of Authority*, v nadaljevanju EOA). Vlak sprejme novo dovoljenje za vožnjo. V primeru, da se vlak ne more varno ustaviti, ETCS na krovu zavrne zahtevo za skrajšanje dovoljenja za vožnjo ter ohrani izvorno in obvesti o tem ETCS opremo ob progi.

Nivo 2 dovoljuje tudi izredno ustavitev vlaka, ki se uporablja v nevarnih situacijah. ETCS oprema lahko samodejno ustavi vlak.

Na nivoju 2 se skupine baliz uporabljajo le za določanje položaja vlaka ter za potrjevanje načrtovane poti vlaka. Zaznavanje celovitosti vlaka se opravlja zunaj obsega ETCS in sicer s števcem osi.

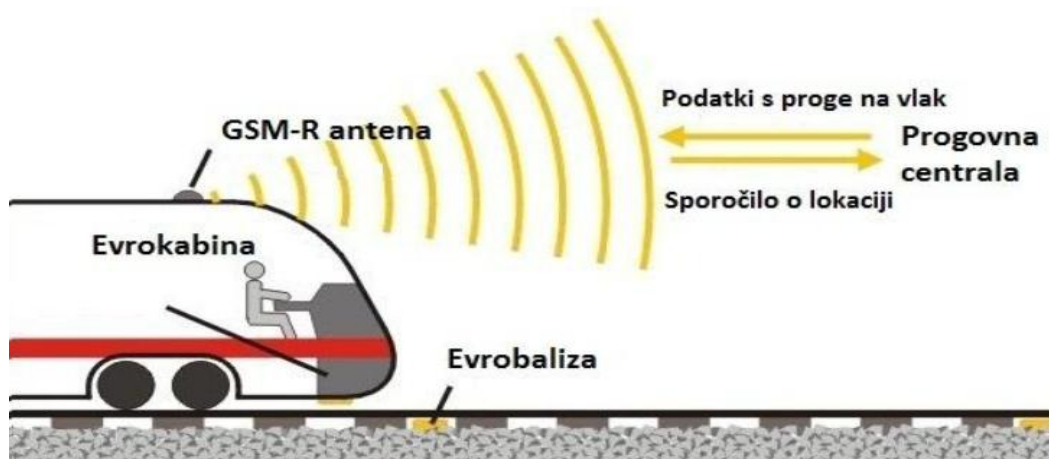


Slika 44: Delovanje ETCS nivoja 2 (RGS, 2010)

### 5.3.4 ETCS nivo 3

Sestava nivoja 3 je zelo podobna sestavi nivoja 2, le da je brez signalizacije ob progi in da pri nivoju 3 ETCS sistem na krovu nadzoruje celovitost vlaka in prenaša to informacijo RBC. Vlak samo določa položaj in deluje brez signalov s pomočjo radijskega prenosa podatkov. Ta nivo omogoča znatno povečanje količine prometa, kar prispeva k maksimalni izkoriščenosti infrastrukture. Nivo 3 potrebuje ustrezne progovne naprave, ki zagotavljajo pravilno in varno lego kretnic na postaji in na progi, ne potrebuje pa informacije o zasedenosti oziroma prostosti kretnic in tirov. To funkcijo namreč zagotavlja ustrezna naprava na vlaku. Kljub temu se za izboljšanje zmogljivosti na kretnicah in križanjih dodatno uporabljajo naprave za zaznavanje vlaka (ETCS handbook, 2008).

Balize se pri nivoju 3 uporabljajo le za prenašanje fiksnih podatkov o lokaciji vlaka. Ker nivo 3 ne uporablja fiksnega progovnega bloka, ampak principe gibljivega bloka, je razdalja med zaporednimi vlaki enaka razliki zavornih razdalj med vlaki z dodatno varnostno razdaljo.



Slika 45: Delovanje ETCS nivoja 3 (ETCS, 2012)

#### 5.4 ETCS zavorne krivulje

Zavorna krivulja pojasnjuje zmanjševanje hitrosti vlaka z razdaljo. Temelji na matematičnem modelu dinamike zaviranja vlaka ter značilnosti proge. ETCS sistem na krovu z zavornimi krivuljami nadzoruje lokacijo vlaka in njegovo hitrost ter zagotavlja, da ostaja vedno v vnaprej določenih mejah hitrosti in razdalje. S tem je ETCS sistemu na vozilu omogočeno, da preračunava zavorne razdalje v realnem času, ki omogočijo strojevodji udobno in varno vožnjo v okviru ustreznih meja.

Zavorne krivulje je vedno potrebno izračunati po najbolj neugodnih predpostavkah. Glavni vhodni podatki pri izračunu so (Breaking curves, 2012):

- fizikalni parametri: temeljijo na merjenju ETCS opreme na krovu v realnem času (trenutna lokacija vlaka, hitrost in pospešek),
- reakcijski čas voznika,
- podatki o tirih (naklon proge, trenje med tiri in kolesi).

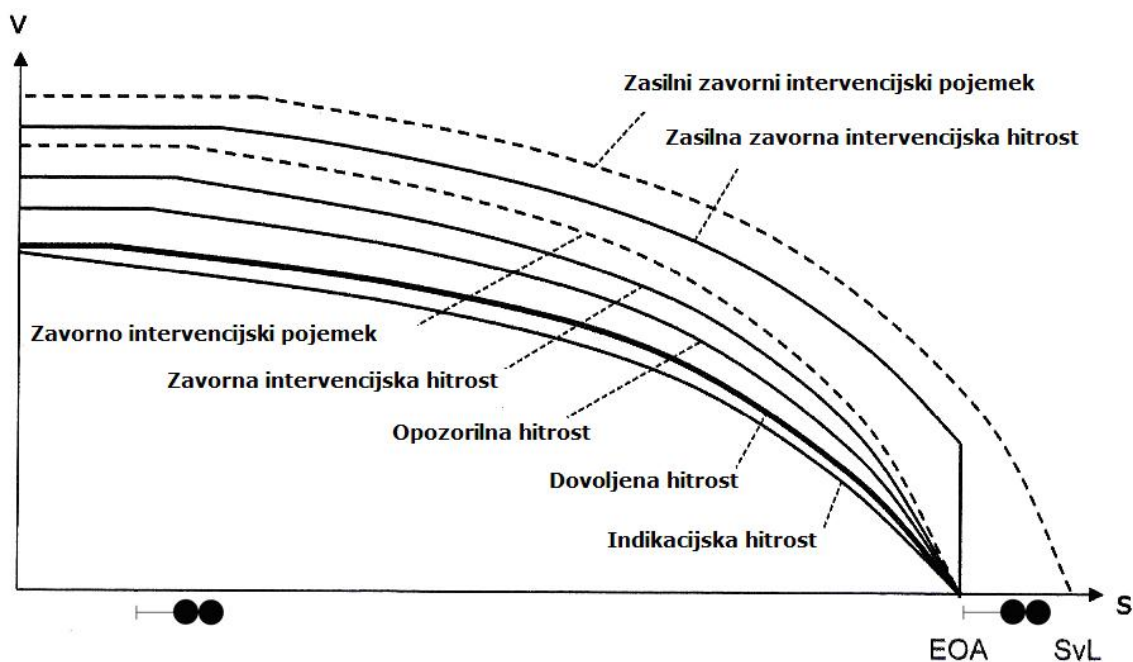
Graf z zavornimi krivuljami omejujeta dve točki na grafu, ki sta konec dovoljenja za vožnjo (EOA) in meja območja, ki ga sistem ETCS nadzoruje (ang. *Supervised Location*, v nadaljevanju SvL). Pomembno je, da je točka SvL za točko EOA, saj je s tem dosežena večja varnost v primeru zasilnega zaviranja. Pri točki SvL se zaradi doseganja večje varnosti upošteva tudi prepeljevalna pot pri zaviranju in rezerva zaradi morebitnih nevarnih mest na progi.

Zavorne krivulje temeljijo na različnih omejitvah hitrosti. Sistem ETCS deluje tako, da strojevodji zagotavlja vnaprejšnje informacije v zvezi z zaviranjem in lahko ves čas svetuje strojevodji, kako hitro

naj vozi. V primeru, da strojevodja tega ne upošteva in sistem zazna, da bi z nadaljevanjem takšne vožnje presegel vnaprej določene meje zaviranja, se avtomatsko sproži zaviranje.

Vnaprej določene meje zavornih krivulj temeljijo na naslednjih omejitvah hitrosti (Breaking Curves, 2012):

- indikacijski hitrosti (ang. *Indication Speed*, v nadaljevanju *I*) – uporablja se za opozarjanje strojevodje, da bo kmalu moral začeti zavirati,
- dovoljeni hitrosti (ang. *Permitted Speed*, v nadaljevanju *P*) – hitrost, ki jo strojevodja ne sme preseči in je vedno na zaslonu,
- opozorilni hitrosti (ang. *Warning Speed*, v nadaljevanju *W*) – če jo vlak doseže, se oglasi opozorilni ton,
- zavorni intervencijski hitrosti (ang. *Service Brake Intervention*, v nadaljevanju *SBI*) – če jo vlak preseže, se zavore avtomatsko sprožijo,
- zasilni zavorni intervencijski hitrosti (ang. *Emergency Brake Intervention*, v nadaljevanju *EBI*) – če jo vlak doseže, se zavore avtomatsko sprožijo in vlak zavira po ali pod krivuljo zasilnega zavornega intervencijskega pojemka (ang. *Emergency Brake Deceleration*, v nadaljevanju *EBD*).

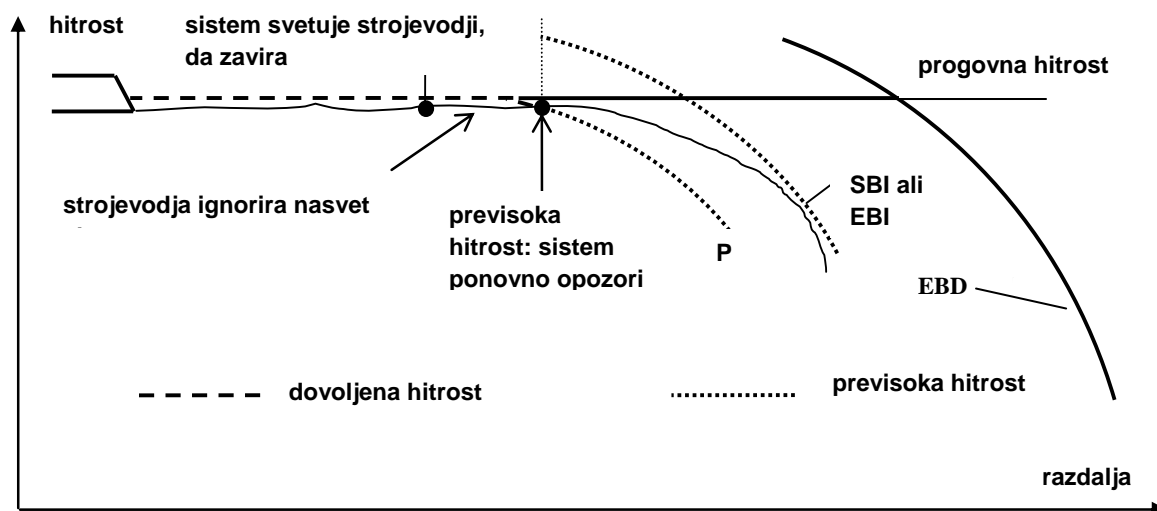


Slika 46: Zavorne krivulje sistema ETCS (Theeg, Vlasenko, 2009)

Glavni namen ETCS sistema zavornih krivulj je, da strojevodja ves čas vozi z dovoljeno hitrostjo. V primeru, da strojevodja ne upošteva te hitrosti, mu ETCS sistem ponudi ponovno možnost, da zmanjša

hitrost, ter ga opozori z zvočnim opozorilom in drugo barvo na kabinskem zaslonu. Če voznik še naprej ignorira opozorila sistema, se avtomatsko sprožijo zavore.

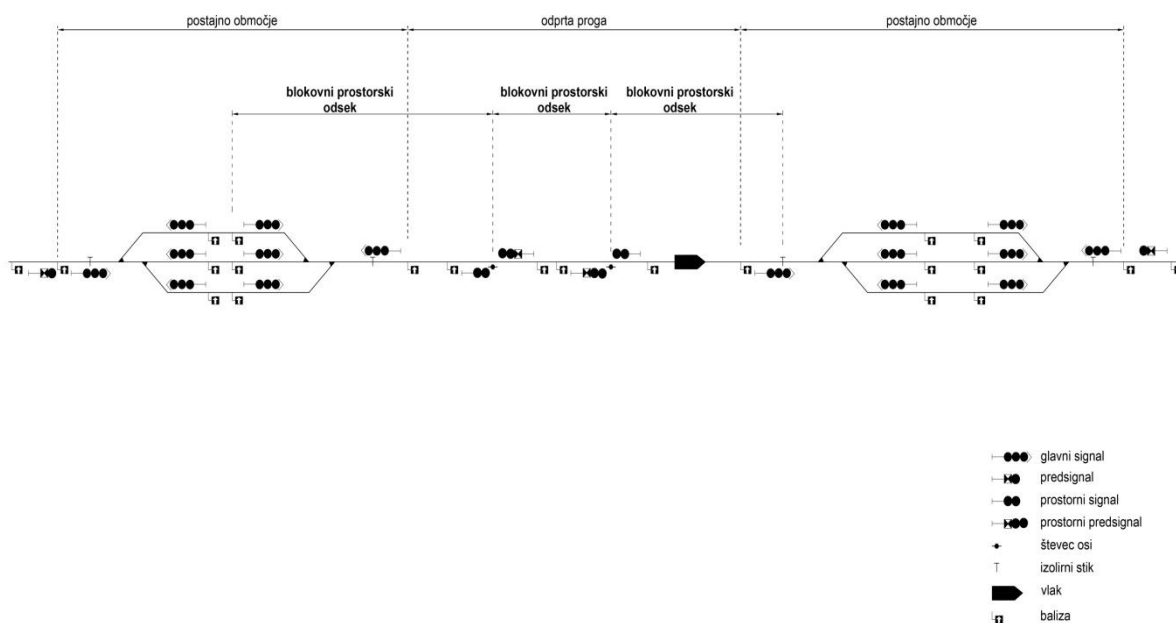
Za boljše razumevanje delovanja zavornih krivulj je na spodnjem grafu prikazan primer, kako poteka zaviranje s sistemom ETCS.



Slika 47: Potek zaviranja s sistemom ETCS (Breaking curves, 2012)

## 5.5 Vodenje prometa s pomočjo sistema ETCS

Pri sodobnem načinu vodenja prometa z sistemom ETCS strojevodji ni več potrebno razbirati signalnih znakov preko fiksnih signalov, ampak signaliziranje poteka preko kabinske signalizacije. Prenos signalnih znakov na vlak poteka preko posebnih točkovnih oz. linijskih oddajnikov. V večini primerov se promet še vedno vodi s pomočjo blokovnih progovnih odsekov, ki so lahko opremljeni s signalizacijo ob progi ali pa so brez nje (podrobneje obrazloženo v poglavju 5.3). V praktičnem delu diplome sem obravnaval nadgradnjo klasičnega SV sistema z sistemom ETCS pri katerem signalizacija ob progi ostane. Na spodnji sliki je narisano, kako nadgraditi klasičen način vodenja prometa z ETCS nivojem 1, ki za prenos signalnih znakov uporablja balize.

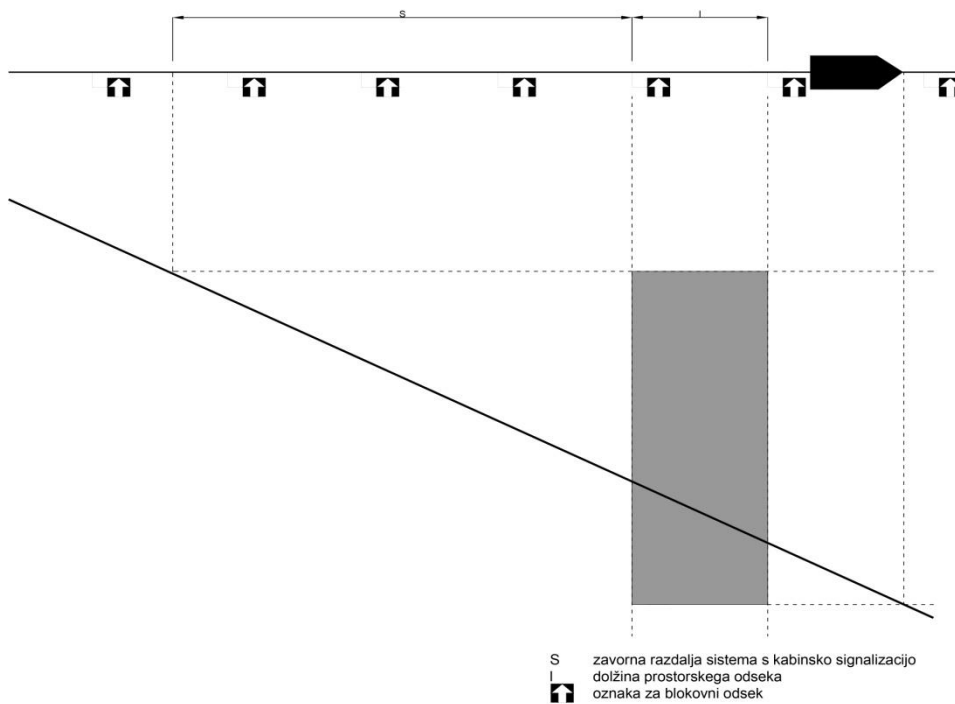


Slika 48: Sodobno vodenje prometa (Theeg, Vlasenko, 2009)

### 5.5.1 Kabinska signalizacija s fiksnim progovnim blokom

Glavna razlika med sistemom s kabinsko signalizacijo ter klasičnim SV sistemom je, da čas vožnje na zavorni razdalji ni več čas vožnje med glavnim signalom in njegovim predsignalom, ampak čas, pri katerem se upoštevajo zavorne krivulje vlaka, ki jih izračuna računalnik na vlaku v realnem času in jih primerja z nadzornimi zavornimi krivuljami (podrobneje obrazloženo v poglavju 4.4). Ostali elementi časa zasedenosti progovnega odseka se ne razlikujejo od tistih, ki sem jih že opisal pri klasičnem sistemu. Kabinska signalizacija se uporablja na progah z visoko hitrostjo ( $V > 200$  km/h), zato strojevodji ni potrebno prepoznati signalov ob progi, ampak je informacija o signalu cel čas vidna na zaslonu.

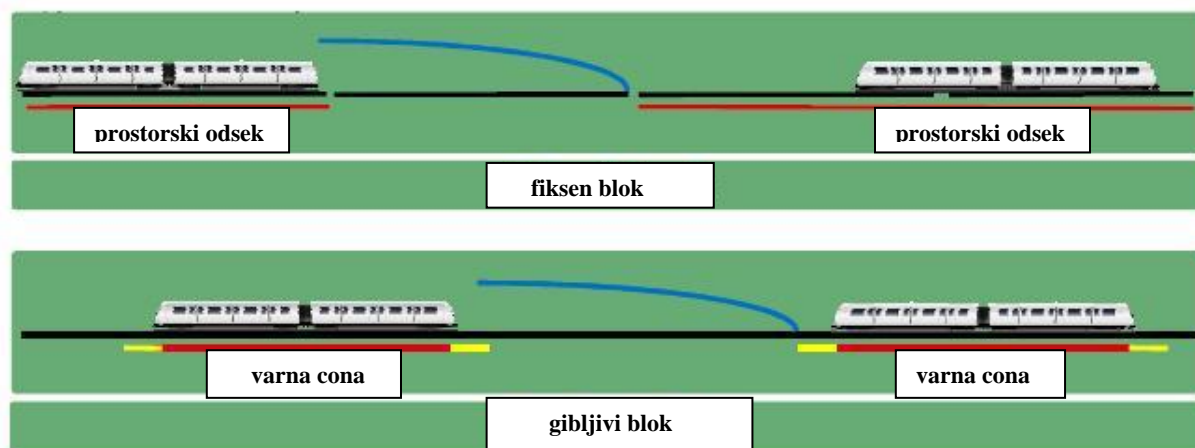




**Slika 49: Čas zasedenosti progovnega odseka pri sistemu s kabinsko signalizacijo (Theeg, Vlasenko, 2009)**

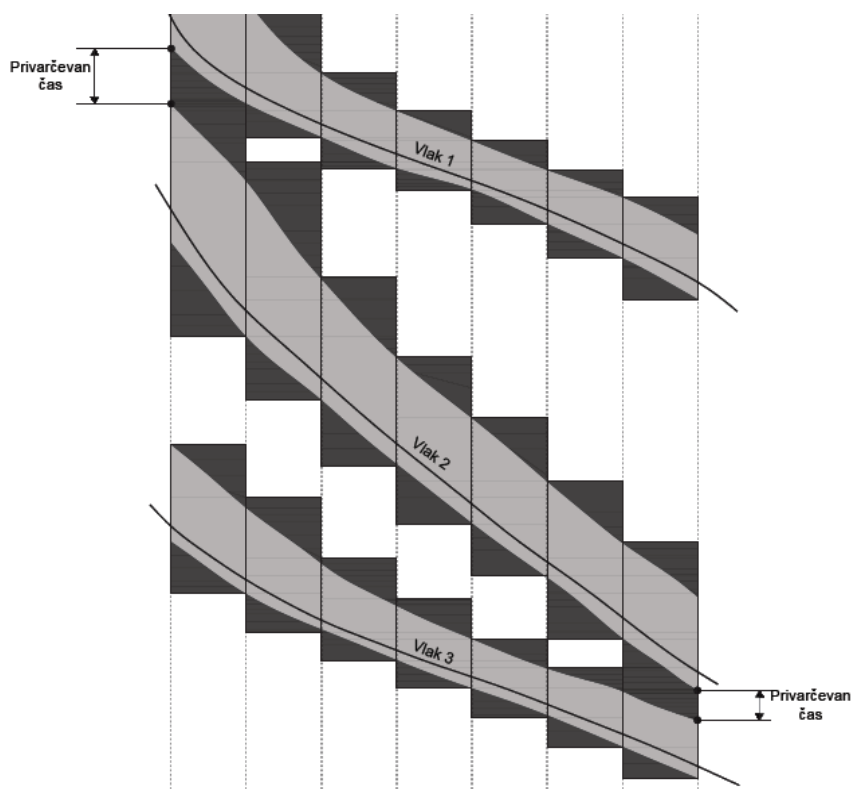
### 5.5.2 Kabinska signalizacija z gibljivim progovnim blokom

Drugi način vodenja prometa je kabinska signalizacija z gibljivim progovnim blokom. Na teh progah je dolžina progovnega odseka enaka nič. To pomeni, da je čas vožnje v prostorskem odseku odpravljen. Pri gibljivem progovnem bloku so bloki v realnem času definirani z računalniki, ki izračunajo varno cono okoli vlaka. Razdalja med zaporednimi vlaki je enaka razliki zavornih razdalj med vlaki s prišteto varnostno razdaljo. Zavorna razdalja se izračuna z zavornimi krivuljami kot funkcija hitrosti.



Slika 50: Primerjava med fiksnim in gibljivim progovnim blokom (Wikipedia, 2012)

Vrednost časa zasedenosti prostorskega odseka je podobna na progah s fiksnim in gibljivim progovnim blokom. Kljub temu da je čas vožnje v prostorskem odseku odpravljen, so vrednosti ostalih komponent časa zasedenosti prostorskega odseka tako višje, da se kapaciteta proge z gibljivim progovnim blokom le minimalno poveča v primerjavi s progo s fiksnim progovnim blokom. To velja predvsem na progah z mešanim prometom, kjer vozijo vlaki z različnimi hitrostmi. Na grafikonu zasedenosti progovnih odsekov dobimo kontinuiran časovni kanal.



Slika 51: Zasedenosti progovnega odseka pri sistemu z gibljivim prostorskim odsekom (Theeg, Vlasenko, 2009)

## 5.6 Primerjava nivojev ETCS

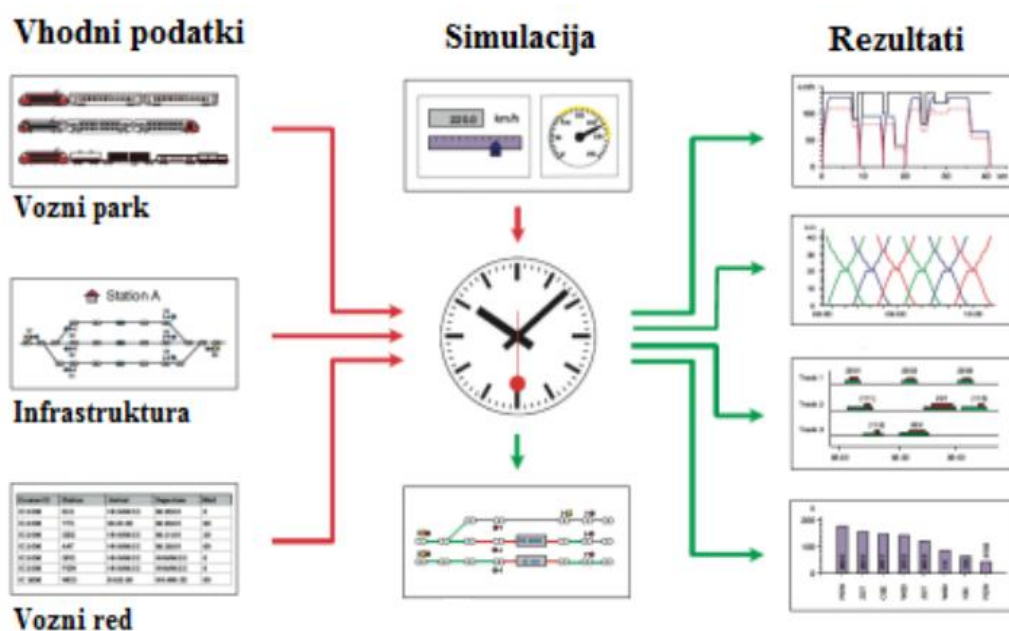
Tabela 2: Primerjava nivojev ETCS

nivo	0	STM	1	2	3
signalizacija ob progi	DA	DA	DA	ni potrebna	ni potrebna
prenos podatkov	baliza	STM baliza	baliza	baliza, radio	baliza, radio
celovitost vlaka	NE	NE	NE	NE	DA
radijsko omrežje	NE	NE	NE	DA	DA
lociranje vlaka	baliza	STM baliza	baliza	baliza	baliza
tipi baliz	fiksne	STM	fiksne	fiksne	fiksne
LEU	NE	NE	DA	NE	NE

## 6 ANALIZA VODENJA PROMETA NA PROGI LJUBLJANA–KRANJ

Pri obravnavanju proge Ljubljana–Kranj smo uporabili program OpenTrack, ki so ga razvili na švicarskem inštitutu za tehnologijo v Zürichu. OpenTrack je program, ki omogoča simulacijo delovanja železniškega omrežja. V program mora uporabnik vnesti podatke v treh modulih:

- podatki o infrastrukturi,
- podatki o voznem parku,
- podatki o obratovanju proge.



Slika 52: Osnovni elementi programa OpenTrack (Nash, Huerlimann, 2003)

Program naredi simulacijo vožnje vlaka v skladu z vnesenimi podatki. OpenTrack uporablja diskretno/kontinuirano simulacijo, ki kontinuirano preračunava diferencialne enačbe gibanja vlaka in diskretne procese pri stanju signalov ter porazdelitev zamud. Program prikaže rezultate na različne načine v obliki diagramov, voznih redov, zamud in statističnih podatkov.

Program omogoča tudi nadgradnjo klasičnega SV sistema z sistemom ETCS, ki omogoča interoperabilnost železniškega sistema. Z simulacijo je mogoče tudi preveriti, kako nadgradnja klasičnega SV sistema z sistemom ETCS nivoja 1 in nivoja 2 vpliva na spremembo progovne hitrosti in kapacitete železniškega omrežja.

## 6.1 Karakteristike proge Ljubljana–Kranj

Obravnaval sem progo Ljubljana – Jesenice, in sicer progovni odsek med postajama Ljubljana, Kranj. Obravnavana proga je enotirna in elektrificirana in sodi v skupino glavnih prog. Vse postaje so opremljene z ERSV napravami, ki se daljinsko vodijo preko telekomande, ki se nahaja na ljubljanski železniški postaji.



Slika 53: Pregledna karta (SŽ, 2012)

Proga je opremljena z napravami avtomatskega progovnega bloka (APB), ki služi za zavarovanje več zaporednih voženj vlakov v isti smeri. V ta namen je razdeljena na več blokovnih odsekov, ki so na obeh straneh zavarovani s prostorskimi signali.

Na obravnavani progi so naslednje postaje:

- Ljubljana,
- Ljubljana Šiška,
- Ljubljana Vižmarje,
- Medvode,

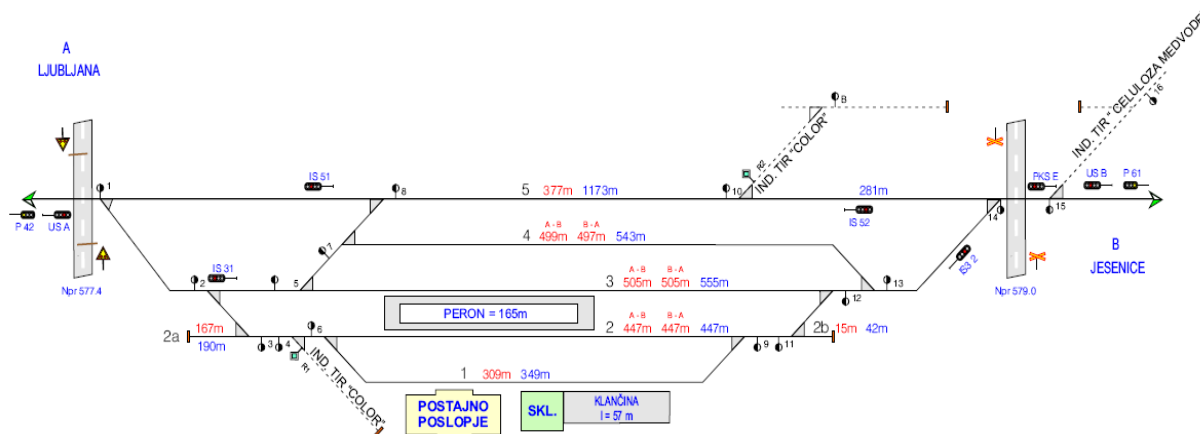
- Škofja Loka,
- Kranj.

Proga je namenjena tako potniškemu kot tovornemu prometu, zato je obratovanje heterogeno. V modelu proge se to odraža z različnimi hitrostmi, dolžinami vlakov in različnim trajanjem njihovih postankov na postajah.

## 6.2 Modeliranje proge Ljubljana–Kranj

### 6.2.1 Model proge s klasičnimi SV napravami

Za modeliranje proge je potrebno najprej dobiti vse podatke o železniški infrastrukturi in karakteristikah vlakovnih kompozicij. Za izdelavo tirnih shem postaj smo uporabili Program omrežja Republike Slovenije za leto 2012, za podatke o dolžinah prostorskih odsekov in lokacijah signalov na odprti progi smo uporabili intern dokument Slovenskih železnic, in sicer iz sekcije za SV naprave in telekomunikacijo.

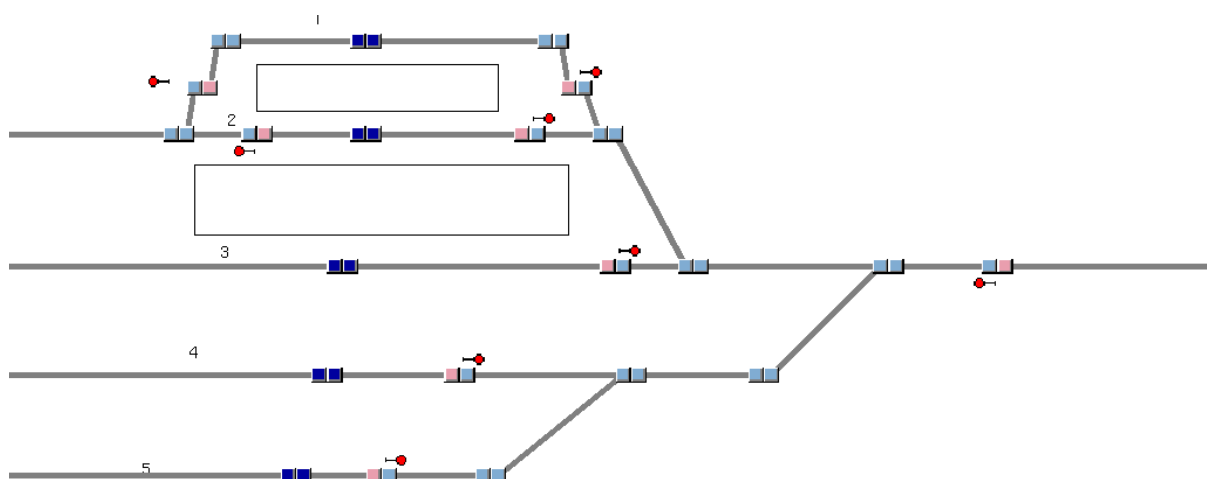


Slika 54: Tirna shema postaje Medvode (SŽ, 2012)

Model postaje je sestavljen iz množice »točk« (ang. *Vertex*), s katerimi določimo geometrijo postaje, progovno hitrost, naklon proge, lokacije signalov in kretnice. »Točke« so med seboj povezane s »segmenti proge« (ang. *Edges*), ki na dejanski postaji predstavljajo tire. Potrebno je določiti postajno območje, oštevilčiti tire in podati njihovo uporabno dolžino. Na vsaki postaji je potrebno na obeh

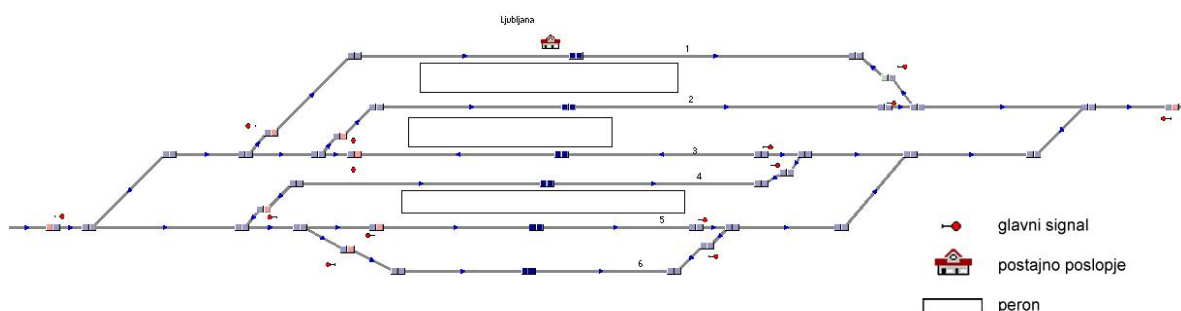
straneh postaje določiti še uvozni signal, ki dovoljuje vlaku prihod na postajo. Vsak tir potrebuje izvozni signal, da omogočimo vlaku varen izvoz s postaje.

Za vsak model postaje in za odprto progo je potrebno definirati vsako »točko« (ang. *Vertex*) s katero opišemo spremembe, ki se zgodijo na odprti progi oz. na postaji (hitrost, naklon in geometrija tirov), določimo mesto, kjer se bo nahajal signal ali pa določimo lokacijo postajnega poslopja. Za vsako različno informacijo program »točko« različno obarva. V primeru, da je »točka« obarvana svetlo modro, pomeni da smo spremenili geometrijo tirov, hitrost ali pa naklon proge. Temno modra »točka« pomeni, da smo določili lokacijo postajnega poslopja. »Točka« obarvana svetlo modro in roza pomeni, da smo določili mesto, kjer se bo nahajal signal.

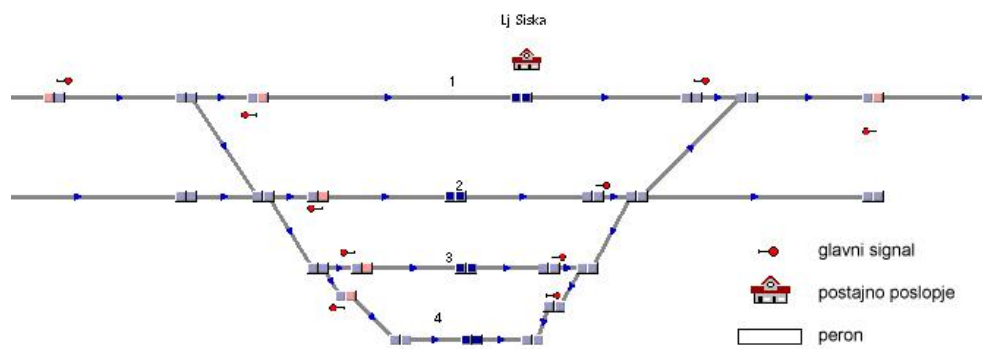


Slika 55: Primer različno obarvanih »točk«

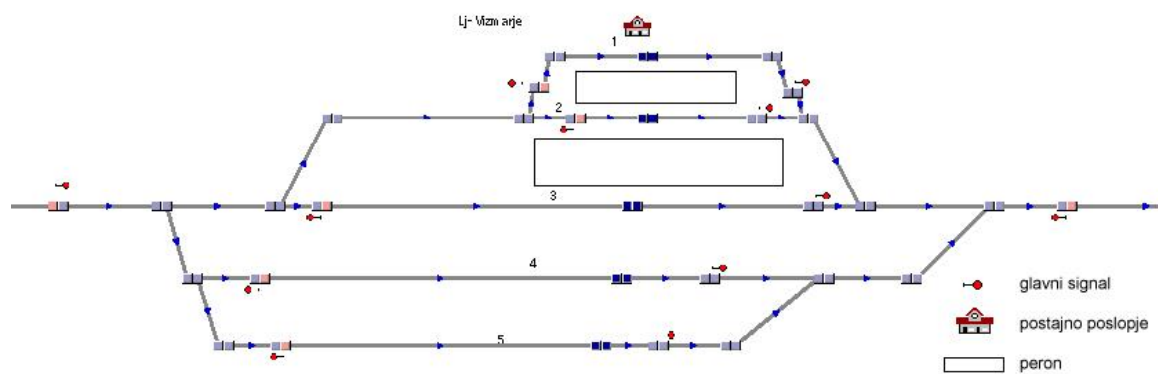
V nadaljevanju so prikazani modeli vseh postaj na progovnem odseku Ljubljana – Kranj.



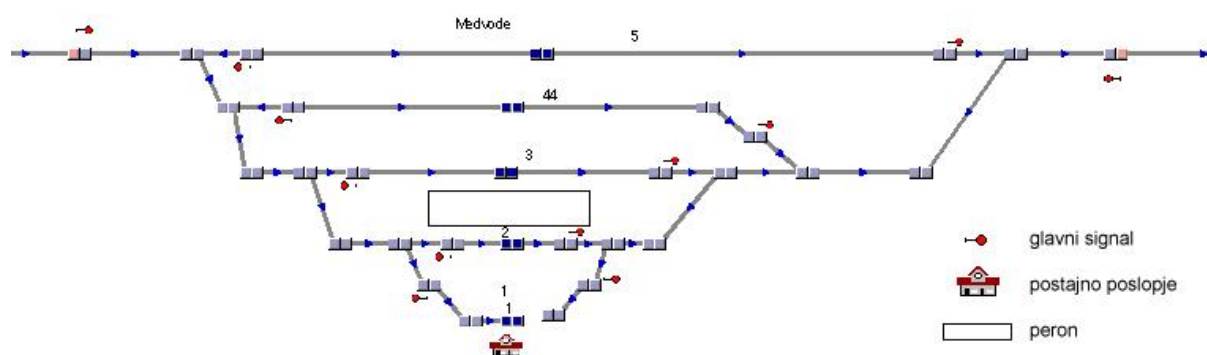
Slika 56: Postaja Ljubljana



Slika 57: Postaja Ljubljana Šiška

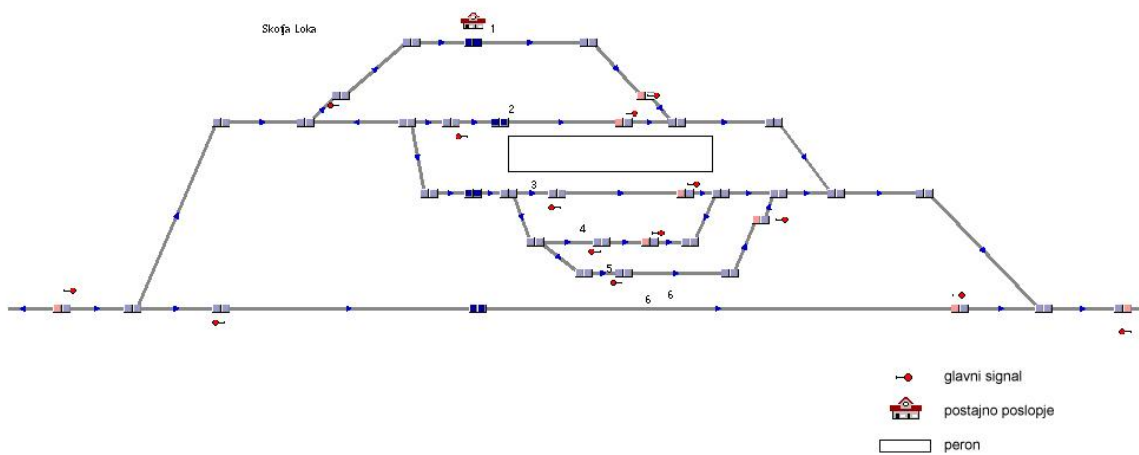


Slika 58: Postaja Ljubljana Vižmarje

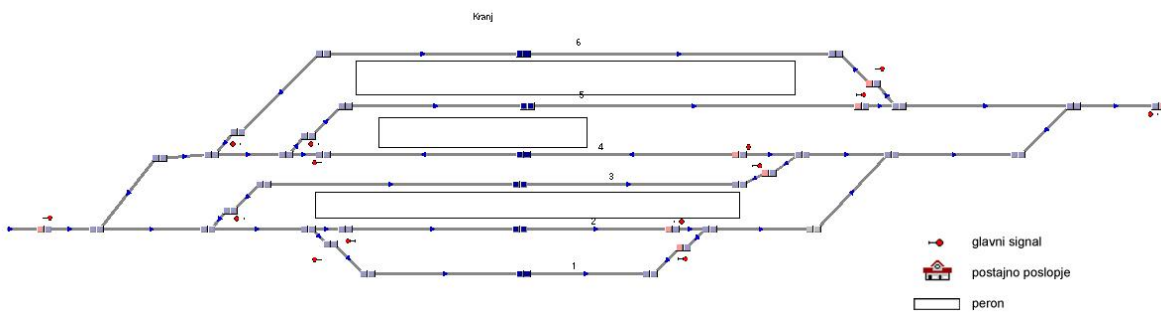


Slika 59: Postaja Medvode



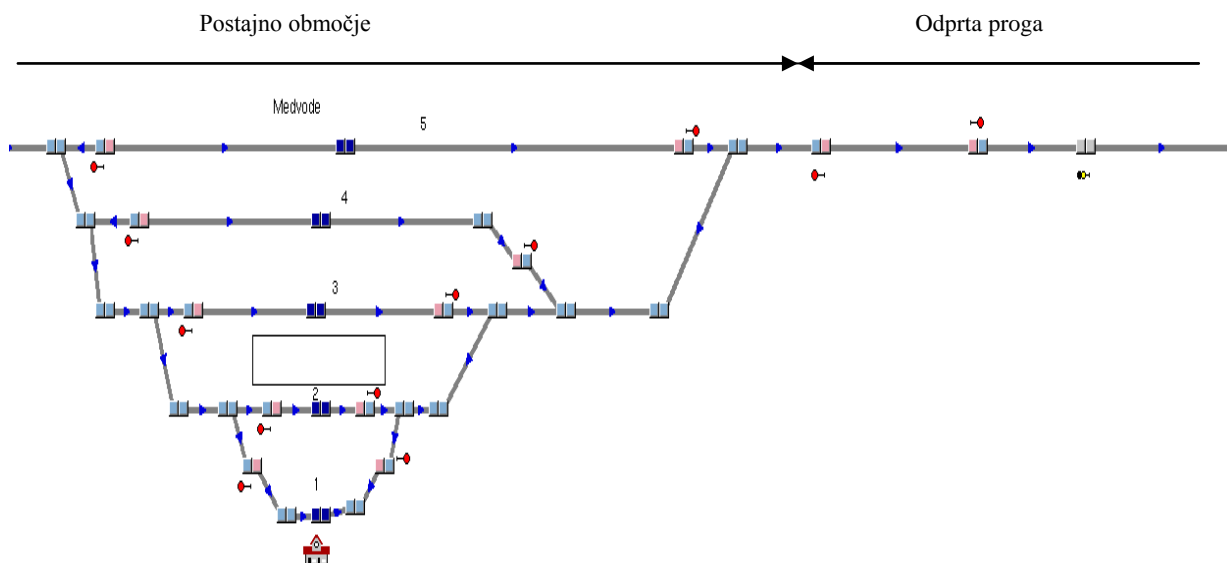


**Slika 60: Postaja Škofja Loka**



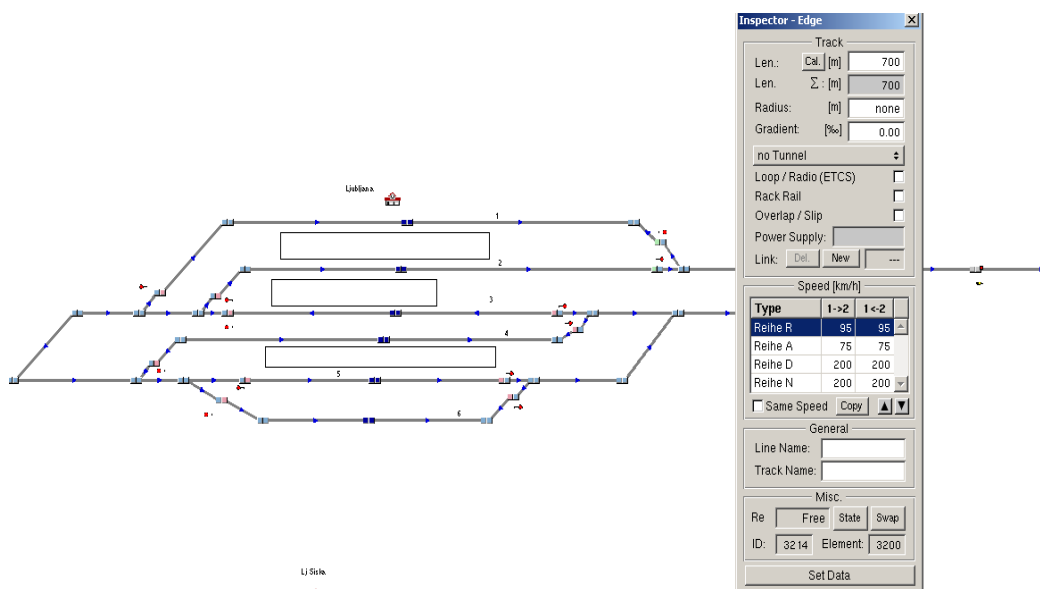
**Slika 61: Postaja Kranj**

Na odprti progi je potrebno določiti prostorske signale, ki so del avtomatskega prostorskega bloka. Nato je potrebno za posamezne odseke določiti najvišje progovne hitrosti, za kar smo uporabili dokument progovne hitrosti iz Programa omrežja RS za leto 2012.



Slika 62: Prostorni signali na odprti progi

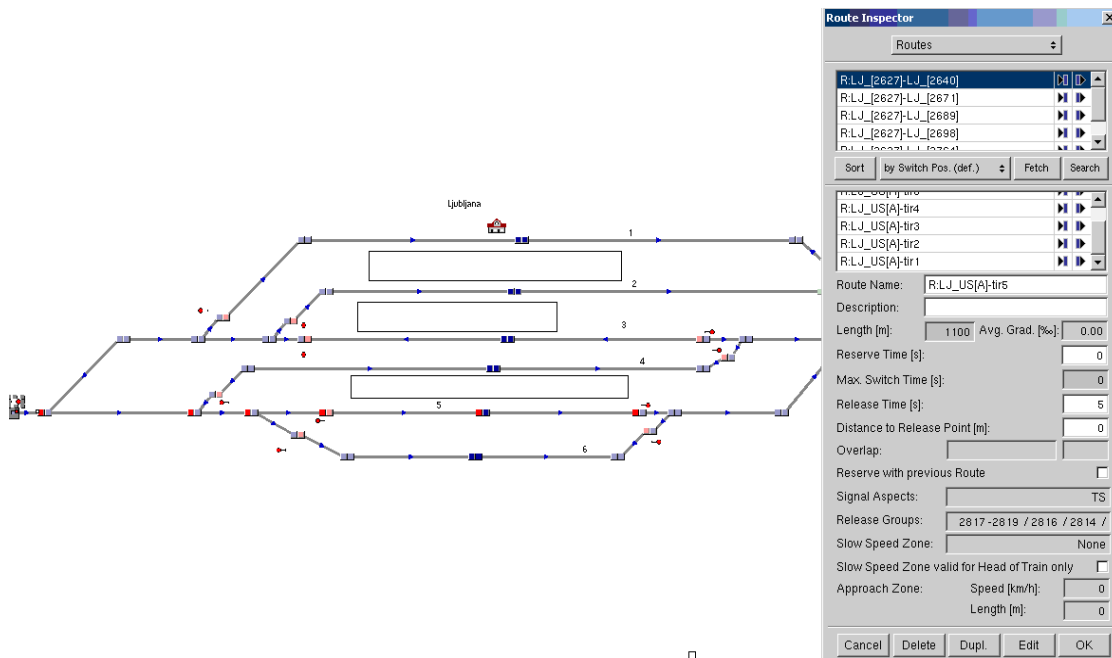
V programu OpenTrack lahko za vsak »segment proge« definiramo najvišjo dovoljeno hitrost, ločeno za potniške in tovorne vlake. Najvišjo dovoljeno hitrost za potniške vlake sem označil z Reihe R, za tovorne vlake pa z Reihe A.



Slika 63: Definiranje največje dovoljene hitrosti na segmentu proge

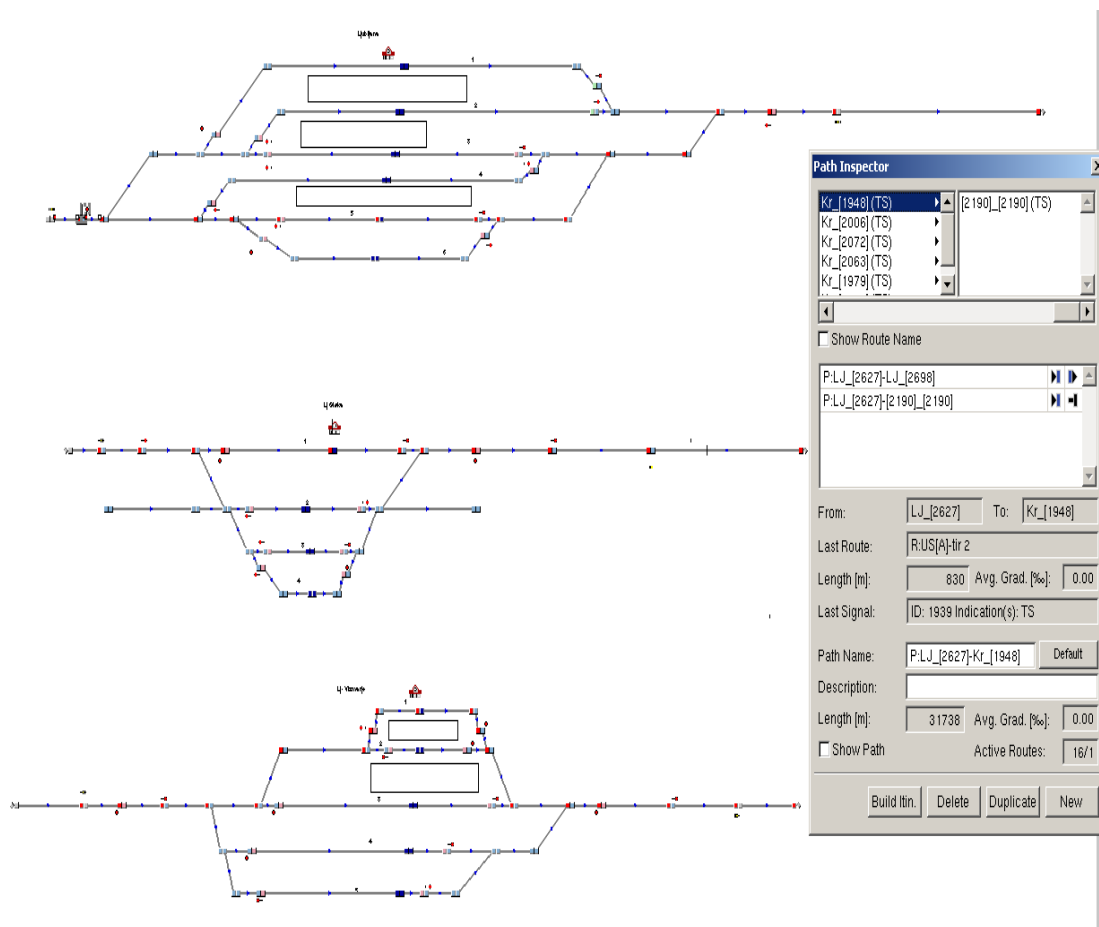
Naslednja faza modeliranja je vnos podatkov o obratovanju proge. Prvi nivo podatkov je prostorski odsek (ang. *routes*), ki je na obeh straneh zaščiten z glavnim signalom ter velja za eno smer potovanja

vlak. V programu Opentrack to napravimo tako, da se postavimo na glavni signal. Z ukazom »routes« nam program avtomatično prikaže vse možne prostorske odseke za določeno smer.



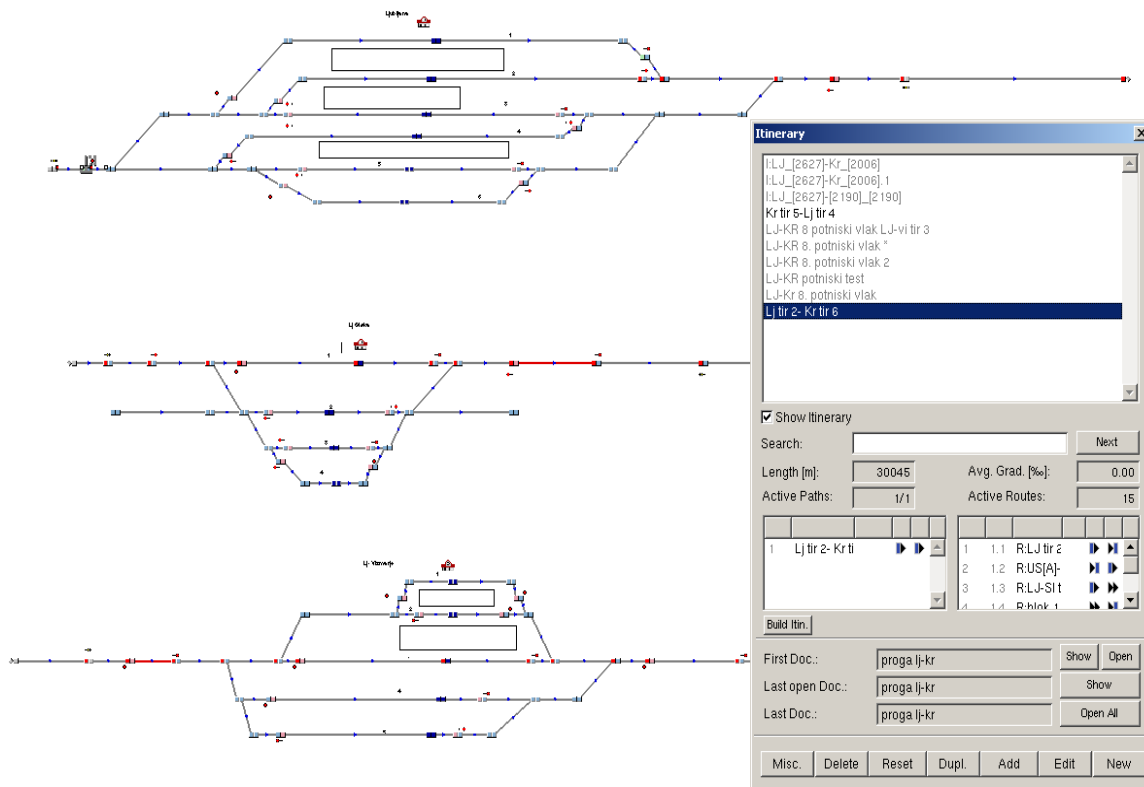
**Slika 64: Prostorski odsek**

Drugi nivo podatkov je vozna pot vlaka (ang. *path*). Vozna pot vlaka je sestavljena iz enega ali več prostorskih odsekov. V tem primeru se vozna pot vlaka začne pri izvoznem signalu na postaji v Ljubljani in konča pri izvoznem signalu na postaji v Kranju. Potrebno je določiti tudi vozno pot v smeri Kranj–Ljubljana.



**Slika 65: Vozna pot**

Tretji nivo podatkov je relacija vlaka (ang. *itinerary*), ki je sestavljen iz ene ali več voznih poti vlaka. Na tem nivoju ni nujno, da potekajo vse vozne poti vlaka v isti smeri, vendar so v tem modelu vlakovne poti (določene so samo za eno smer) enake relacijam vlaka.



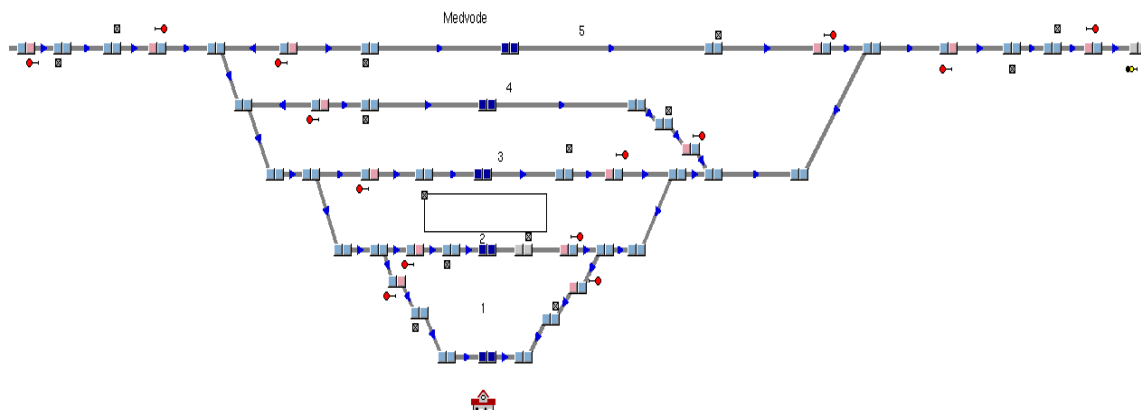
Slika 66: Relacija vlaka

## 6.2.2 Model proge nadgrajen z ETCS nivojem 1

Osnova za vpeljavo nivoja ETCS ostaja star SV sistem. Kot sem omenil že v 4. poglavju, sistem ETCS pomeni le nadgradnjo SV sistema, kar pomeni, da signalizacija ob progi ostane.

V programu OpenTrack se to naredi tako, da v sistem vstavimo balize in z ukazom »update possible only at balises« zagotovimo, da vlak dobi informacijo o signalnem znaku z balize.

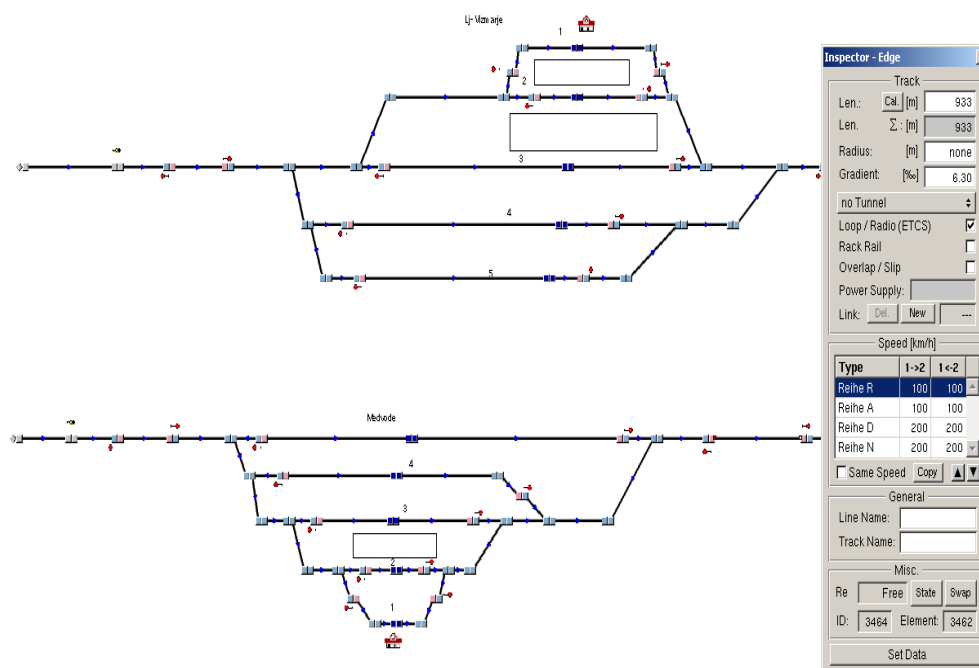
Pri lociranju baliz lahko poskusimo več različnih variant. Odločil sem se, da bom pred vsak prostorni signal postavil eno balizo na razdalji 400 m (zavorna razdalja) in v bližini vsakega predsignala. Prav tako je potrebno postaviti balize pred vsak izvozni signal, saj postaja deluje kot en prostorni odsek. Vsi podatki, ki sem jih omenil v prejšnjem poglavju (ang. *rout*, *path*, *itinerary*), ostanejo isti.



Slika 67: ETCS nivo 1

### 6.2.3 Model proge nadgrajen z ETCS nivojem 2

Pri vpeljavi sistema ETCS nivoja 2 imamo več različnih možnosti. Kot sem že omenil v 4. poglavju, lahko nivo 2 deluje s signalizacijo ob progi ali brez nje. V tem primeru sem modeliral nivo 2 s signalizacijo ob progi. V programu OpenTrack se nivo 2 naredi tako, da vsak »segment proge« označimo in izberemo ukaz »Loop/Radius (ETCS)«. S tem omogočimo, da vlak dobi informacije o signalnem znaku kjerkoli na progi (ne samo v bližini balize oz. signala).



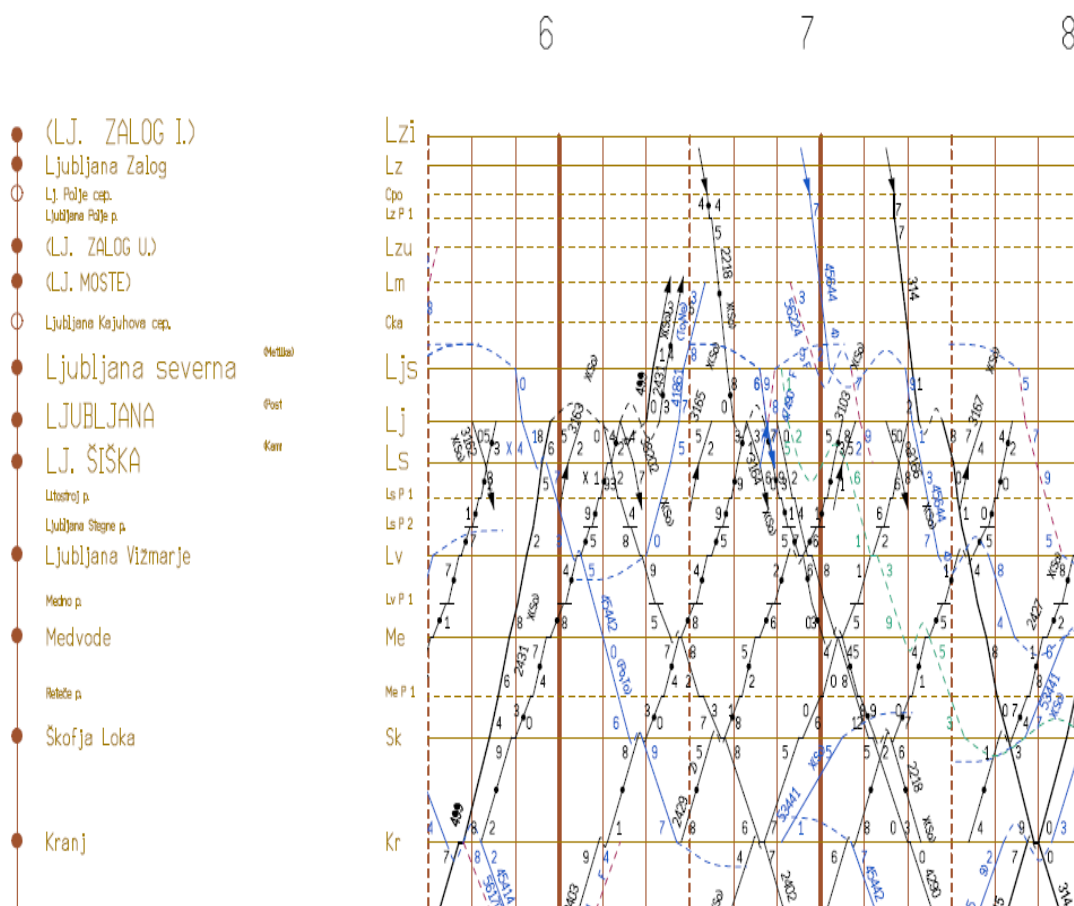
Slika 68: ETCS nivo 2

### 6.3 Vozni red

Vozni red je temeljni tehnološki dokument v železniškem prometu, ki poleg časovnega zaporedja voženj vlakov in njihovih postankov vključuje podatke o vseh materialnih in kadrovskih zmogljivostih, ki so potrebne za njegovo dosledno izvajanje (Zgonc, 2003).

Grafikon prometa vlakov vsebuje grafičen prikaz posameznih vlakovnih poti, v katerem je na abscisi prikazan čas, na ordinati pa pot s prometnimi mesti. V mreži grafikona so vrisane trase vlakov, s katerih lahko s pomočjo njihovega nagiba razberemo hitrost vlaka.

Vlakovne poti potniških vlakov so označene s črno barvo, vlakovne poti tovornih pa z modro. V primeru, da je vlakovna pot označena s črtkasto črto, predstavlja posebne vlake ali vlake, ki vozijo po potrebi.



Slika 69: Vozni red (SŽ, 2012)

## 6.4 Simulacija

Simulacijo sem izvedel v jutranji konici od 5.30 do 7.30. Na podlagi podatkov z voznega reda sem vnesel v program 9 potniških in 1 tovorni vlak. V primeru, da je model pravilen, simulacija poteka brez konfliktov med vlaki.

**Preglednica 2: Vlaki v smeri Ljubljana–Kranj**

Poimenovanje vlaka v modelu	Odhod (postaja Ljubljana)	Prihod (postaja Kranj)
1. tovorni vlak	5.51	6.27
3. potniški vlak	6.10	6.46
6. potniški vlak	6.47	7.24
9. potniški vlak	7.28	7.49

**Preglednica 3: Vlaki v smeri Kranj–Ljubljana**

Poimenovanje vlaka v modelu	Odhod (postaja Kranj)	Prihod (postaja Ljubljana)
1. potniški vlak	5.37	5.58
2. potniški vlak	5.42	6.14
4. potniški vlak	6.11	6.43
5. potniški vlak	6.28	7.05
7. potniški vlak	6.47	7.20
8. potniški vlak	7.08	7.44



Simulacije sem izvedel za vsak primer posebej za klasičen SV sistem, ETCS nivo 1 in ETCS nivo 2. Program v procesu simulacije se računa dejanski položaj vlaka na progi, hitrost in pospešek za vsak čas. Vozna pot vlaka se rezervira avtomatsko, in dokler ne pride do konflikta z ostalimi voznimi potmi, je vlaku dovoljena vožnja. V primeru, da vozna pot ne more biti rezervirana (tir je zaseden z drugim vlakom), vlak začne zavirati in se ustavi pred glavnim signalom.

## **6.5 Analiza rezultatov**

Pri analizi rezultatov sem med seboj primerjal diagram hitrosti in poti pri klasičnem SV sistemu, ETCS nivo 1 in ETCS nivo 2. V vseh treh primer sem opazoval 3. potniški vlak. Kot sem že omenil v 4. poglavju, bi se morala pri ETCS nivoju 1 in nivoju 2 točka zaviranja za potniške vlake spremeniti in posledično povečati hitrost, saj je pri klasičnem SV sistemu točka zaviranja (glavni signal) enaka za potniške in tovarne vlake.

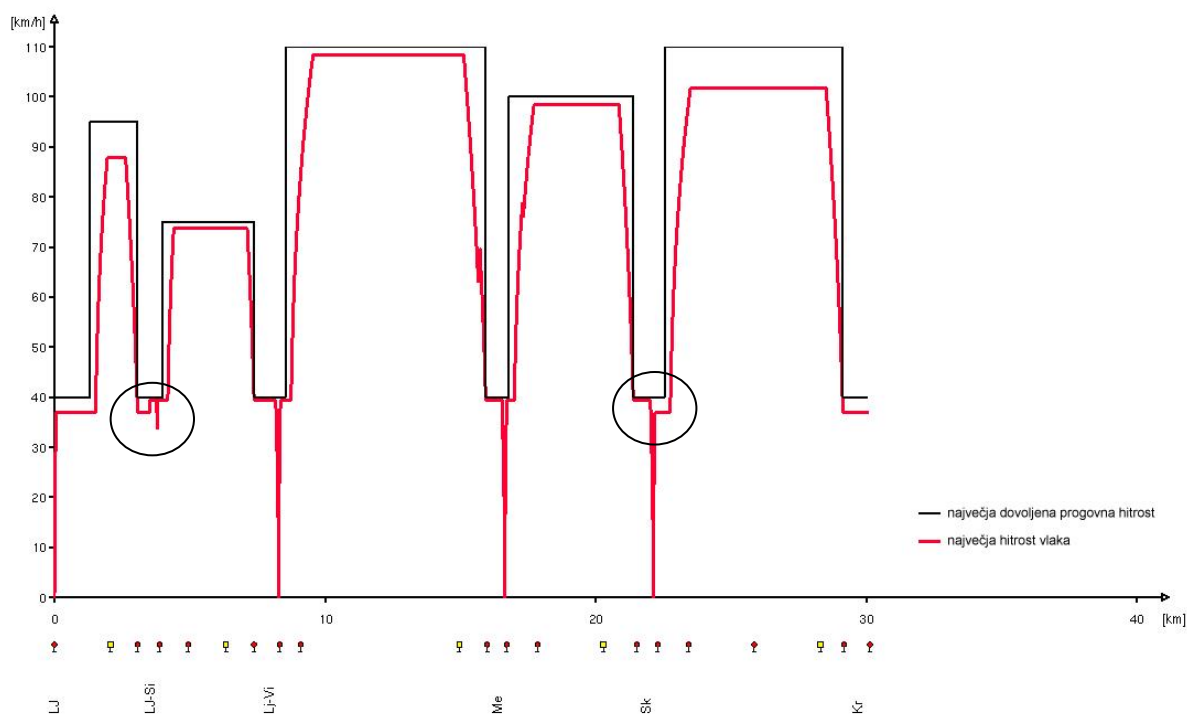
Nato sem na podlagi grafikonov voznega reda, ki mi jih je izrisal program zgostil vozni red ter izračunal izkoriščenost kapacitete za primer s klasičnim SV sistemom, ETCS nivojem 1 ter ETCS nivojem 2. Izkoriščenost kapacitete sem izračunal po metodi UIC 406, ki sem jo podrobneje opisal v poglavju 3.2.3. Za primerjavo izkoriščenosti kapacitete sem izbral progovni odsek med postajama Ljubljana Šiška in Ljubljana Vižmarje, saj so v tem odseku vlakovne poti vlakov najbolj zgoščene. Za časovni interval sem si izbral konično uro med 6.00 in 7.00.

### **6.5.1 Diagram hitrosti in poti pri klasičnem SV sistemu**

Na progi, opremljeni s klasičnim SV sistemom, mora imeti vlak svojo zavorno pot krajšo oz. enako, kot je razdalja med dvema prostornima signaloma oz. med predsignalom in prostornim signalom. Iz tega lahko zaključimo, da je maksimalna hitrost vlaka v primeru, da je proga opremljena s klasičnim SV sistemom, določena prav z njegovo zavorno potjo. To pomeni, če je proga ravna, ustrezno urejena v gradbenem smislu in pravilno vzdrževana, obstaja omejitev najvišje hitrosti zaradi obstoječih SV naprav. V našem primeru bomo predpostavili, da je proga ustrezno urejena in pravilno vzdrževana.

Na naslednji sliki je prikazan diagram hitrosti in poti potniškega vlak na progi s klasičnim SV sistemom. Črna barva na diagramu prikazuje največjo dovoljeno progovno hitrost, rdeča barva pa največjo hitrost, ki jo vlak doseže na progi. Največja progovna hitrost je največja dovoljena hitrost na progi ali delih proge, odvisna od tehničnega stanja proge, njene opremljenosti in tehničnih značilnosti vlaka; določena je s signalnimi znaki za progovno hitrost. Največja hitrost vlaka, je hitrost predpisana

z voznim redom za posamezni vlak. Na diagramu je vidno, da vlak ne doseže maksimalne progovne hitrosti in da na nekaterih mestih diagram ni gladek (označeni s krogom na diagramu), saj je moral vlak zavirati, ker vozna pot ni bila pravočasno vzpostavljena.

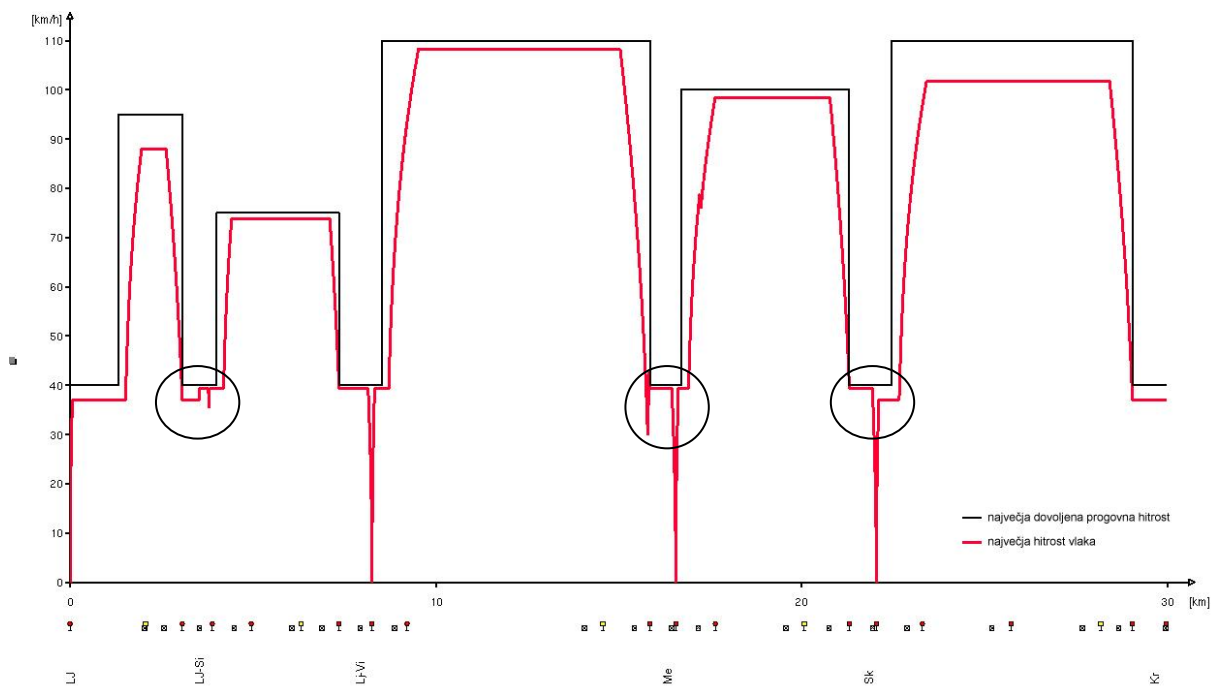


**Slika 70: Diagram hitrosti in poti pri klasičnem SV sistemu**

### 6.5.2 Diagram hitrosti in poti pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 1

Proga, opremljena s sistemom ETCS 1, pomeni nadgradnjo obstoječih naprav klasičnega SV sistema z enakimi dolžinami progovnih odsekov. V tem primeru maksimalno hitrost vlaka določajo ETCS zavorne krivulje, vendar ker temelji sistem na istih dolžinah progovnih odsekov kot pri klasičnem SV sistemu, se maksimalna hitrost vlaka ne spremeni.

Na naslednji sliki je prikazan diagram hitrosti in poti potniškega vlaka na progi nadgrajeni z ETCS nivojem 1. Črna barva na diagramu prikazuje največjo dovoljeno progovno hitrost, rdeča barva pa največjo hitrost, ki jo vlak doseže na progi. Na diagramu ni mogoče opaziti vidnega povečanja dejanske hitrosti vlaka. Točke, pri katerih začne vlak zavirati, ostajajo enake kot pri klasičnem SV sistemu. Tudi v tem primeru je vidno, da diagram ni gladek (označeno s krogom na diagramu), saj vozna pot v nekaterih primerih ni bila pravočasno rezervirana. V primerjavi z diagramom pri klasičnem SV sistemu je teh neravnin celo več. Na podlagi zgornjih ugotovitev lahko zaključim, da nadgradnja z nivojem 1 ne prinaša izboljšav.

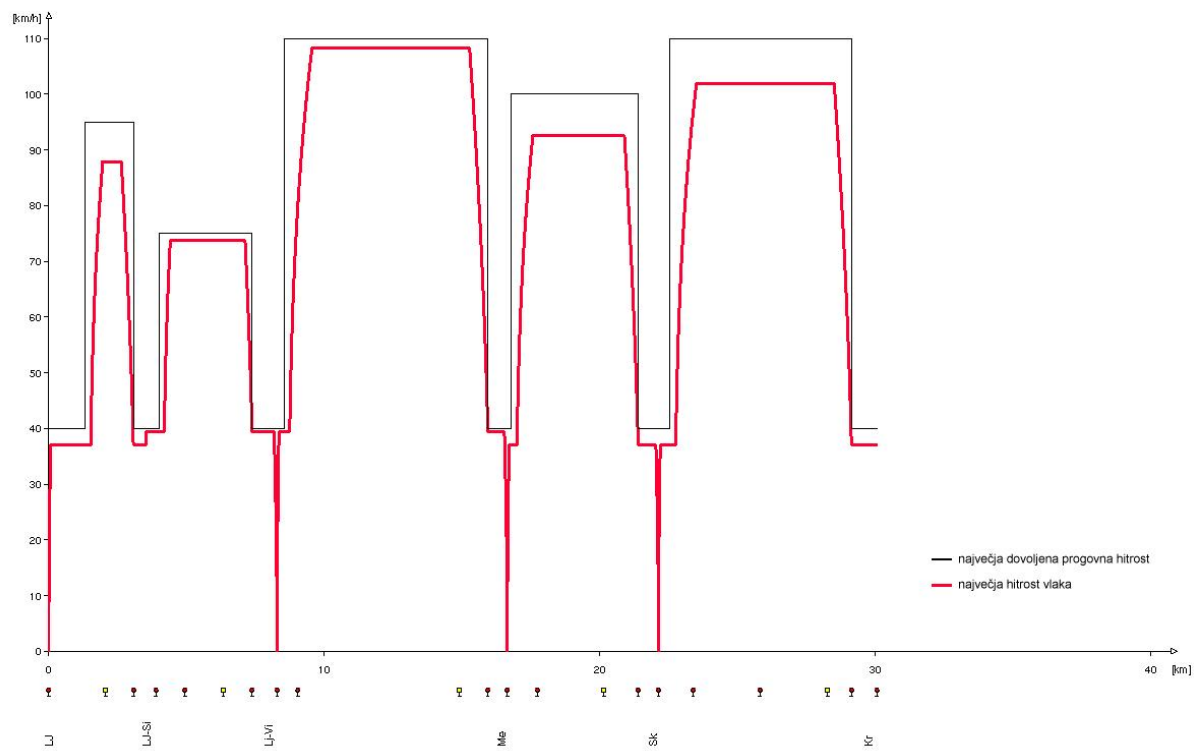


Slika 71: Diagram hitrosti in pot pri nadgradnji s sistemom ETCS nivojem 1

### 6.5.3 Diagram hitrosti in poti pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 2

Proga opremljena s sistemom ETCS nivoja 2 pomeni nadgradnjo obstoječega SV sistema, v našem primeru z enakimi dolžinami progovnih odsekov. Prav tako kot pri sistemu ETCS nivoja 1 tudi tu maksimalno hitrost vlaka določajo ETCS zavorne krivulje. Vendar glavna razlika v primerjavi z ETCS nivojem 1 je, da lahko zavorna razdalja v tem primeru seže preko več prostornih odsekov (največ dva), saj vlak neprekinjeno dobiva informacije o signalnem znaku. Kljub temu se maksimalna hitrost vlaka v primerjavi s prejšnjima sistemoma ne spremeni.

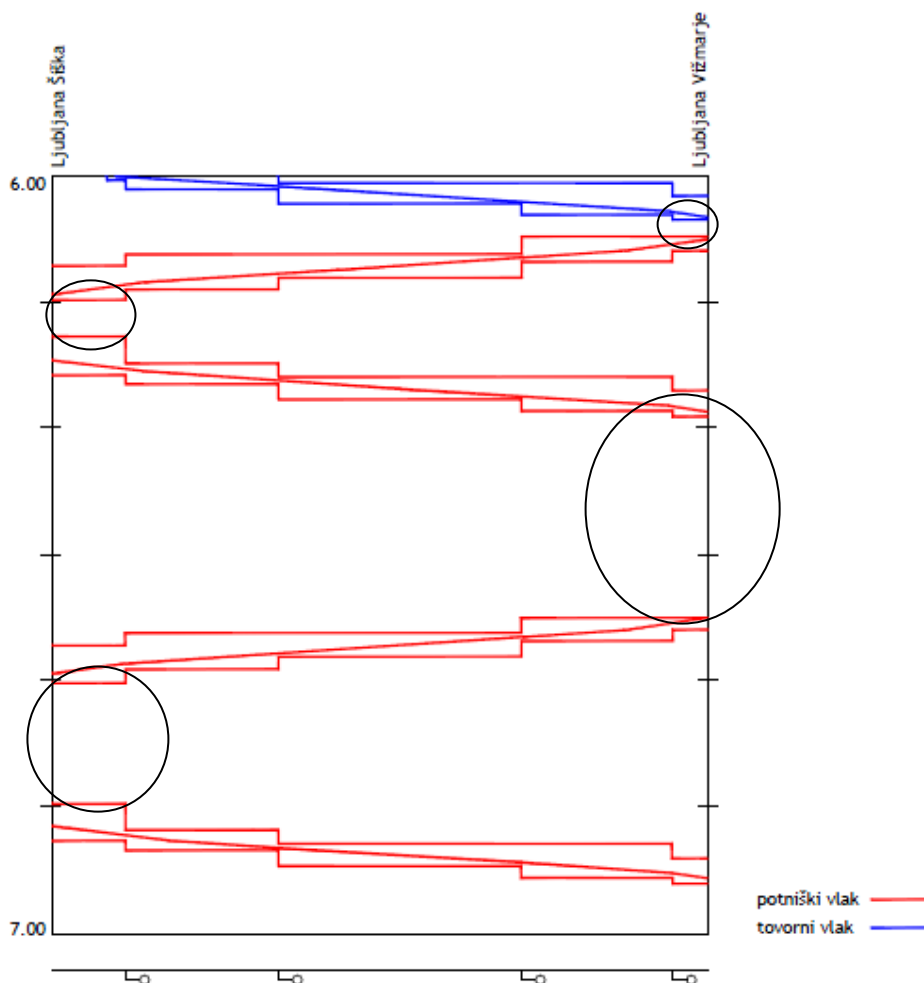
Na naslednji sliki je prikazan diagram hitrosti in poti potniškega vlaka na progi nadgrajeni z ETCS nivojem 2. Na diagramu ni mogoče opaziti vidnega povečanja hitrosti in točke, pri katerih začne vlak zavirati, ostajajo enake kot pri prejšnjih dveh primerih. V tem primeru je diagram bolj gladek, vozna pot se vedno pravočasno rezervira, kar je posledica kontinuiranega prenosa informacij (dovoljenje za vožnjo, progovna hitrost, informacije o poti) preko evroradija. Na podlagi zgornjih ugotovitev lahko zaključim, da izboljšave v primerjavi s prejšnjima primeroma so, vendar ne tako velike kot sem jih opisal v 5. poglavju.



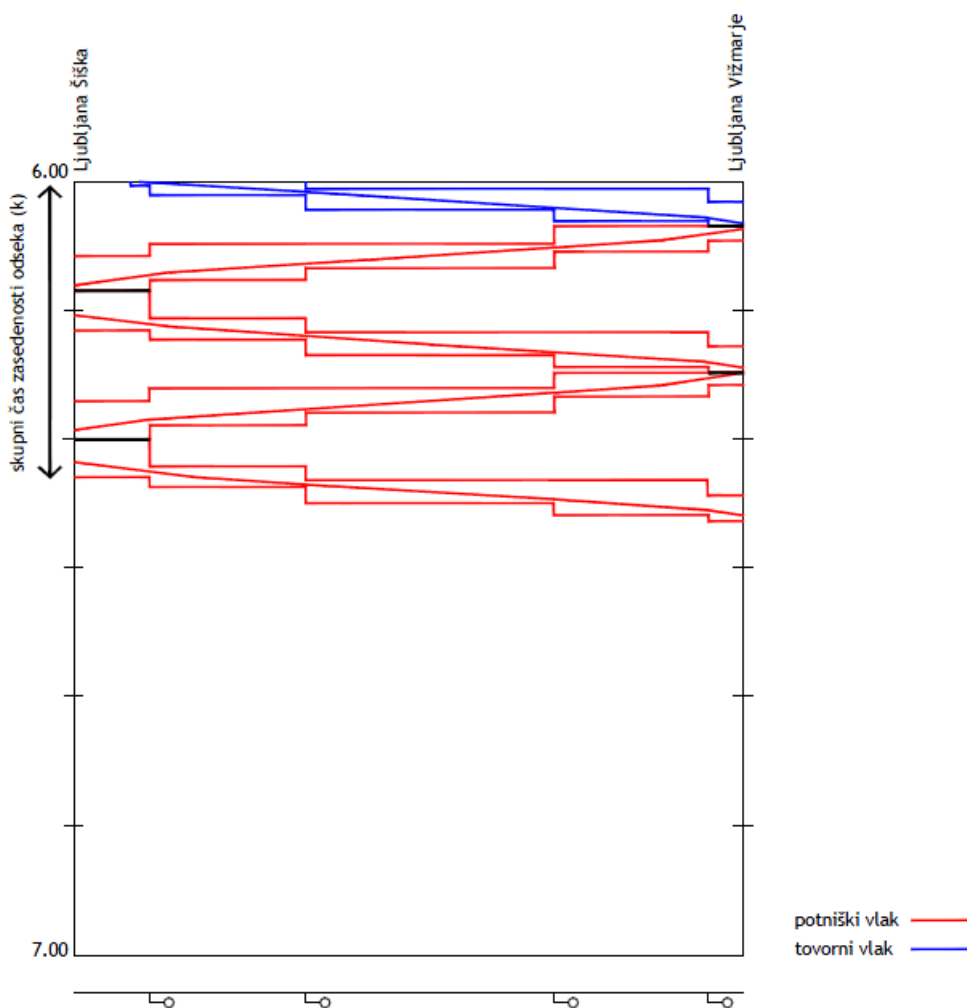
**Slika 72: Diagram hitrosti in pot pri nadgradnji s sistemom ETCS nivojem 2**

#### 6.5.4 Izkoriščenost kapacitete pri klasičnem SV sistemu

Na obravnavanem progovnem odseku Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje, v časovnem intervalu med 6.00 in 7.00, smo najprej označili kritične prostorske odseke (označeno s krogom na diagramu) in nato pričeli z zgoščanjem voznega reda. V procesu zgoščevanja najprej določimo kritičen prostorski odsek, iz katerega razberemo tamponski čas. Kot sem že omenil, mora biti tamponski čas po zgoščevanju enak nič. Na naslednjih dveh slikah je naprej prikazan nezgoščen in nato zgoščen vozni red na obravnavanem progovnem odseku.



Slika 73: Nezgoščen vozni red Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje pri klasičnem SV sistemu

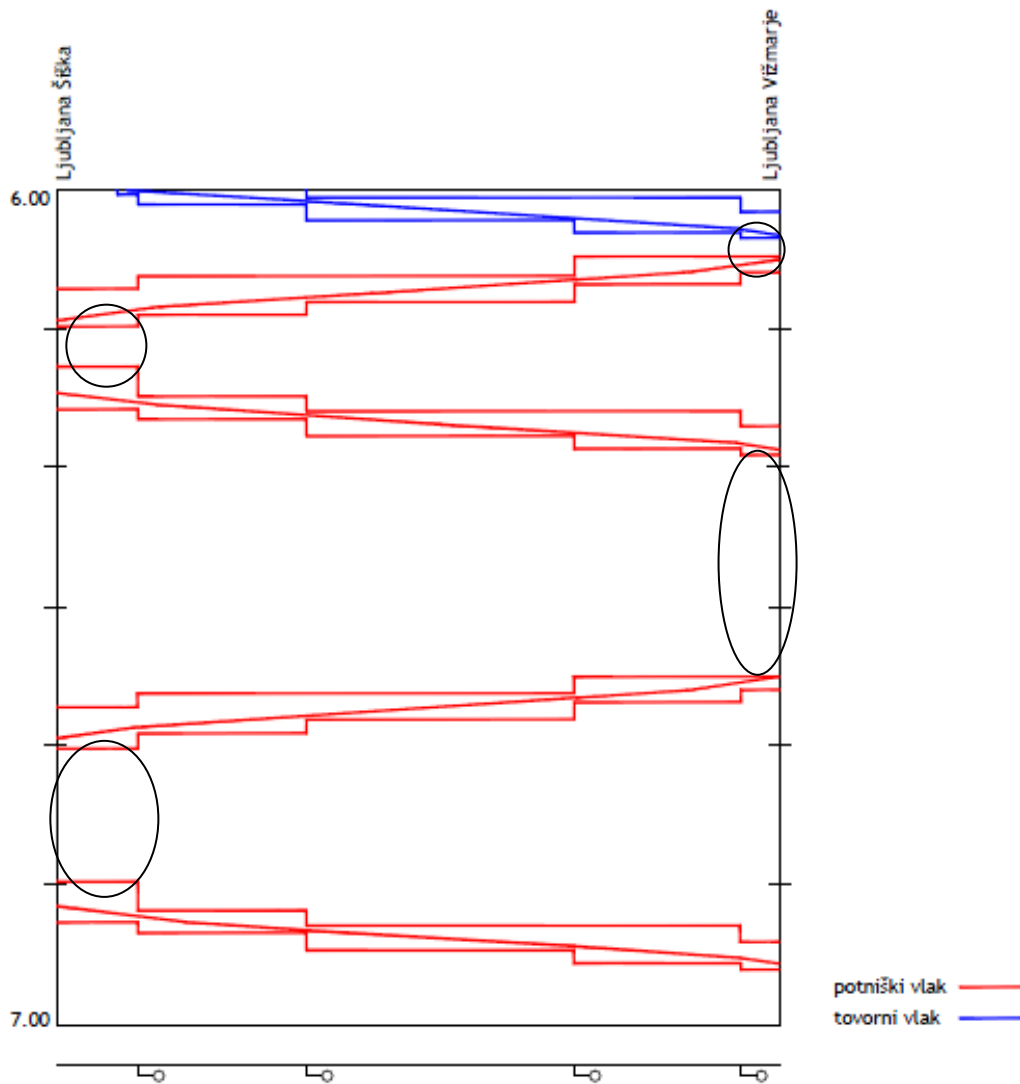


Slika 74: Zgoščen vozni red Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje pri klasičnem SV sistemu

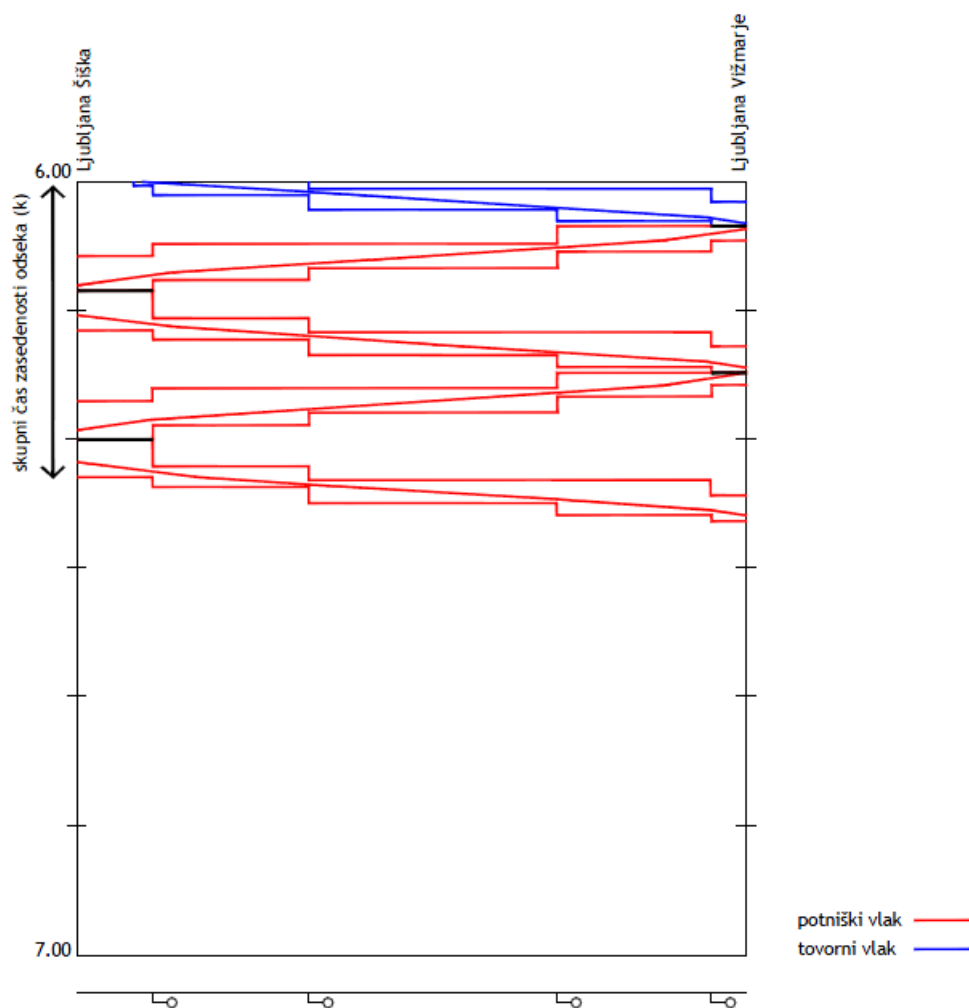
Skupni čas zasedenosti odseka (k), ki ga razberemo na zgoščenem voznem redu, znaša 23 min. Izkoriščenost kapacitete (K) znaša 38,1 %.

### 6.5.5 Izkoriščenost kapacitete pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 1

Tudi pri nadgradnji s sistemom ETCS nivoja 1 smo na obravnavanem progovnem odseku, v časovnem intervalu med 6.00 in 7.00, najprej označili kritične prostorske odseke (označeno s krogom na diagramu) in nato pričeli z zgoščanjem voznega reda. Na naslednjih dveh slikah je najprej prikazan nezgoščen in nato zgoščen vozni red na obravnavanem prostorskem odseku.



Slika 75: Nezgoščen vozni red Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 1



**Slika 76: Zgoščen vozni red Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 1**

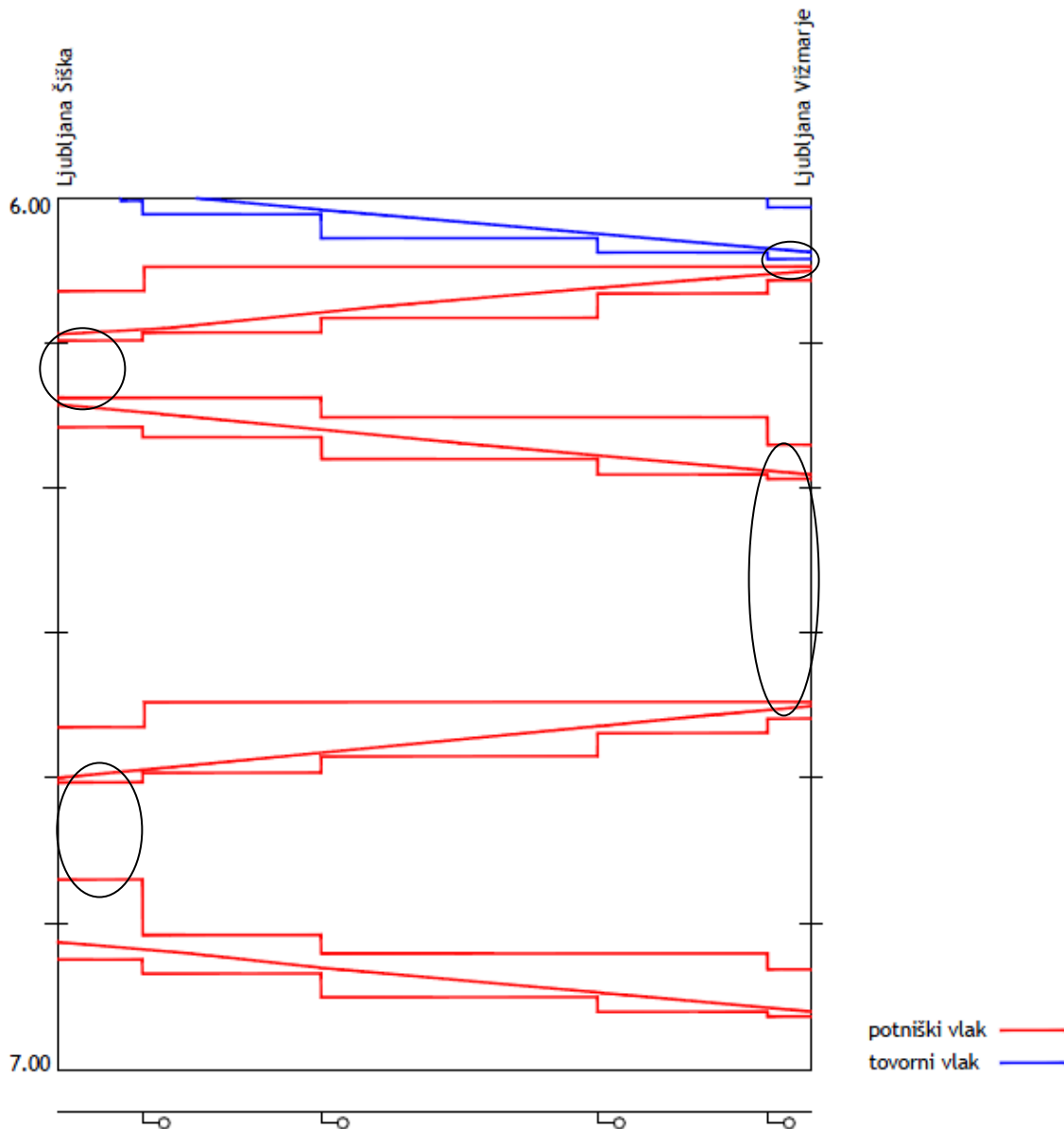
Skupni čas zasedenosti odseka ( $k$ ), ki ga razberemo na zgoščenem voznem redu se v primerjavi s klasičnim SV sistemom ni spremenil in znaša 23 min. Prav tako se ni spremenila vrednost izkoriščenosti kapacitete ( $K$ ), ki znaša 38,1 %, kar je v nasprotju s tezo, da se bo kapaciteta po nadgradnji s sistemom ETCS nivo 1 povečala (poglavje 5.3.2).

Enaka vrednost izkoriščenosti kapacitete kot pri klasičnem sistemu je posledica tudi tega, da so v mojem modelu eurobalize na progi postavljene na podobni lokaciji (poglavje 6.2.2), kot so klasične balize avtopostop naprav sistema INDUSI 60 (podrobneje opisano v poglavju 3.3), ki se uporabljajo na progi Ljubljana–Kranj.

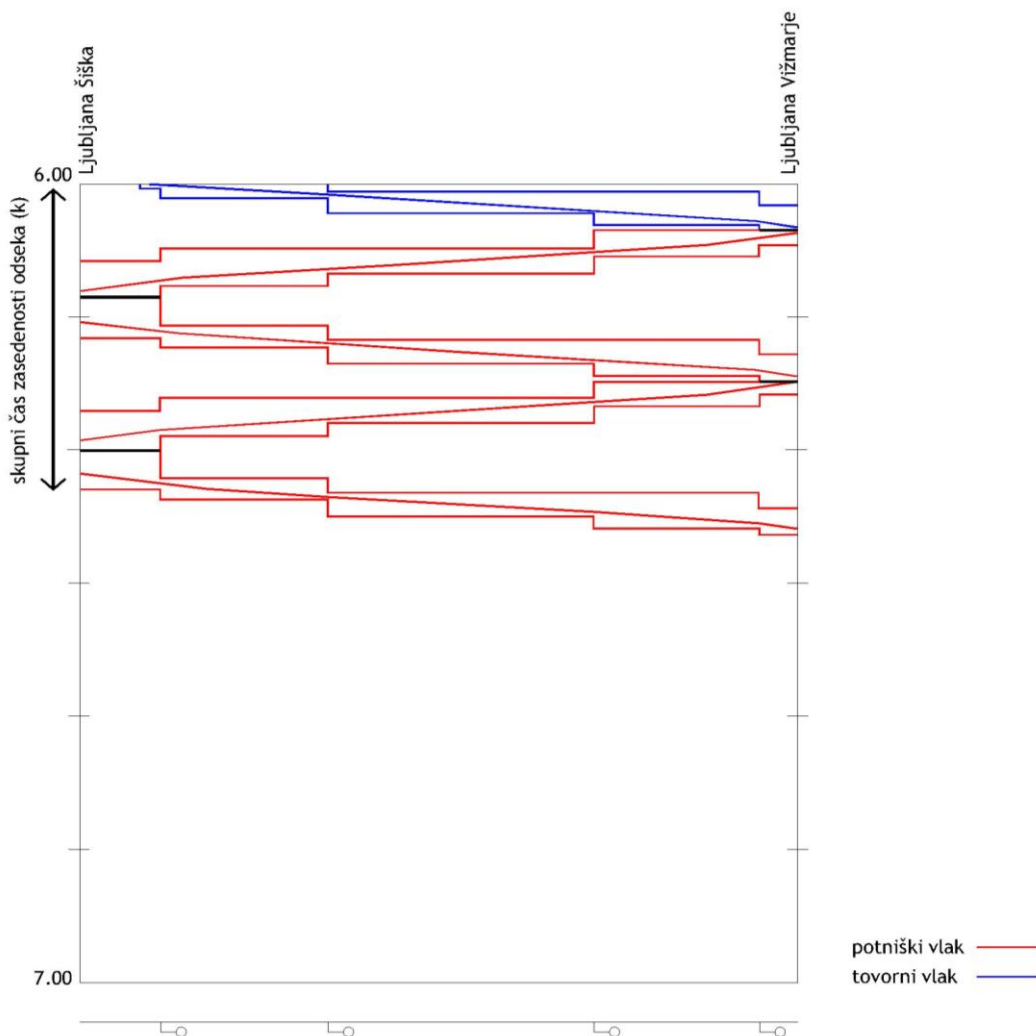


### 6.5.6 Izkoriščenost kapacitete pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 2

Tudi pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 2 smo po istem postopku kot v prejšnjih dveh primerih zgostili vozni red na istem progovnem odseku ter v istem časovnem intervalu. Na naslednjih dveh slikah je naprej prikazan nezgoščen in nato zgoščen vozni red na obravnavanem prostorskem odseku.



Slika 77: Nezgoščen vozni red Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 2



**Slika 78: Zgoščen vozni red Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 2**

Skupni čas zasedenosti odseka (k), ki ga razberemo na zgoščenem voznem redu, se je v primerjavi s klasičnim SV sistemom in nadgradnjo s sistemom ETCS nivo 1 spremenil in znaša 26 min. Prav tako se je spremenila vrednost kapacitete (K), ki znaša 43,3 %. V tem primeru lahko zaključim, da se pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 2 poveča izkoriščenost kapacitete, kot sem to opisal v poglavju 5.

## 7 ZAKLJUČEK

V diplomu sem opisal štiri klasične načine vodenja vlakov na enotirnih progah, in sicer z dogovarjanjem prometnikov sosednjih postaj, medpostajno odvisnostjo, avtomatskim progovnim blokom, telekomando ter možnost nadgradnje teh sistemov s sistemom ETCS, ki omogoča sodobno vodenje prometa. Klasični sistemi vodenja omogočajo različno izkoriščenost železniške infrastrukture, vendar se vožnja vlakov pri vseh načinih zavaruje na enak način, in sicer z zagotavljanjem prostorskega razmika med vlaki in z zavarovanjem vlakovnih vozni poti na prometnih mestih.

V primeru vodenja vlakov s pomočjo medpostajne odvisnosti je med dvema sosednjima postajama samo en prostorski odsek, kar pomeni, da se lahko v tem prostorskem odseku nahaja samo en vlak. Takšen način vodenja prometa ne omogoča dobre izkoriščenosti železniške infrastrukture. Pri avtomatskem progovnem bloku je med sosednjima postajama več prostorskih odsekov, kar omogoča več zaporednih vlakov, ki se istočasno nahajajo na medpostajnem odseku. Izkoriščenost železniške infrastrukture je seveda v primeru vodenja vlakov z avtomatskim progovnim blokom veliko boljša kot pri medpostajni odvisnosti. Vodenje prometa s pomočjo telekomande pomeni nadgradnjo avtomatskega progovnega bloka, bistvena izboljšava se kaže v nadzorovanju in vodenju prometa večih postaj iz enotnega centralnega mesta.

Vodenje prometa na progi Ljubljana–Jesenice, del katere obravnavam v praktičnem delu diplomske naloge (odsek Ljubljana–Kranj), poteka preko telekomande, ki se nahaja v Ljubljani.

Omenjena proga Ljubljana–Jesenice je del X. panevropskega koridorja, ki zajema tako ceste kot železnice. Evropska unija si je s projektom ERMTS (ang. *European Railway Traffic Management System*) zastavila cilj, da se na progah, ki so del pomembnih evropskih koridorjev, poenotijo sistemi za vodenje in nadzor prometa, kar omogoča čezmejno interoperabilnost. Najpomembnejši del projekta ERMTS je interoperabilni sistem ETCS (ang. *European Train Control System*).

Pri vodenju prometa s sistemom ETCS komunikacija med prometnim osebjem in strojevodjo ne poteka več preko signalov (klasičen način vodenja prometa), ampak preko kabinskega signalnega zaslona. S pomočjo kabinskega zaslona se strojevodji prikažejo bistveni parametri za vožnjo, med drugim tudi ciljna hitrost in razdalja do točke, pri kateri mora začeti zavirati.

Na progah s signalizacijo ob progi je mesto, kjer mora vlak začeti zavirati, točno določeno in je enako za tovrne in potniške vlake. Če progo nadgradimo s sistemom ETCS, se lahko mesto zaviranja vlaka spreminja z upoštevanjem zavornih zmogljivosti vlakov, kar lahko omogoča višjo hitrost potniških vlakov. Takšno zvišanje hitrosti omogoča mirnejšo vožnjo in lahko poveča kapaciteto železniške proge.

V praktičnem delu diplome smo obravnavali progo Ljubljana–Kranj in preverjali, ali se spremeni lokacija zaviranja vlaka na progi ter izkoriščenost kapacitete v primeru nadgradnje obstoječega klasičnega vodenja prometa s sistemom ETCS nivoja 1 in ETCS nivoja 2.

Na podlagi diagrama hitrosti in poti, ki ga je izrisal program OpenTrack, smo ugotovili, da nadgradnja klasičnega sistema vodenja prometa s sistemom ETCS nivoja 1 ne prinaša izboljšav v smislu povišanja maksimalne hitrosti in krajšega časa vožnje. Mesta, pri katerih začne vlak zavirati, ostajajo enaka kot pri klasičnem vodenju prometa. Na diagramu hitrosti in poti ETCS nivoja 1 se pojavlja tudi več neravnin (hitro pospeševanje ali zaviranje vlaka) kot pri diagramu klasičnega vodenja prometa, kar ima negativen vpliv na mirnost vožnje in porabo energije.

Pri nadgradnji s sistemom ETCS nivoja 2 tudi ni mogoče opaziti vidnega povečanja hitrosti in točke na diagramu hitrosti in poti, pri katerih začne vlak zavirati, ostajajo enake kot pri klasičnem vodenju prometa. Vendar je v primeru nadgradnje s sistemom ETCS nivo 2 diagram bolj gladek, kar pomeni, da je vožnja bolj mirna kot pri klasičnem vodenju prometa.

Na podlagi grafikonov voznega reda, ki mi jih je izrisal program OpenTrack, smo zgostili vozni red na progovnem odseku Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje in izračunali izkoriščenost kapacitete po metodi UIC 406 za vse tri primere.

Vrednosti izkoriščenosti kapacitete na odseku Ljubljana Šiška–Ljubljana Vižmarje znašajo: 38,1 % pri klasičnem sistemu vodenja, 38,1 % pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 1 in 43,3 % pri nadgradnji s sistemom ETCS nivo 2. Prišli smo do zaključka, da nadgradnja klasičnega sistema s sistemom ETCS nivoja 2 prinaša izboljšave, vendar ne tako velike, kot smo pričakovali.

Kljub temu da izboljšave v smislu povečanja maksimalne hitrosti vlaka in povečanja kapacitete pri nadgradnji s sistemom ETCS niso tako izrazite, se je potrebno zavedati, da ima nadgradnja svoje prednosti. S sistemom ETCS vlak razume informacije, ki mu jih oddajo eurobalize, in s pomočjo kabinskega zaslona vse te informacije na razumljiv način prikaže strojevodji, kar seveda bistveno poveča varnost. Najpomembnejša izboljšava pa je, da sistem ETCS omogoča neovirano vožnjo vlakov v mednarodnem prometu in omogoča interoperabilnost železniškega prometa.

## VIRI

Breaking curves. 2012. Introduction to ETCS Braking Curves.

<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/Braking-curves---Introduction.aspx>

(Pridobljeno 10. 11. 2012)

Cikajlo, L. 2010. Railway Operation with Dynamic Rescheduling. Msc thesis. Copenhagen: Technical University of Denmark, Department of Transport (L. Cikajlo): 30-65 str

ETCS handbook. 2008. ETCS Impletation Handbook.

[http://www.uic.org/IMG/pdf/etcs\\_handbookf.pdf](http://www.uic.org/IMG/pdf/etcs_handbookf.pdf) (Pridobljeno 5. 4. 2012)

FFIS. 2007. FFIS for Eurobalise.

<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/UNISIGSUBSET-036.aspx>

(Pridobljeno 10. 11. 2012)

Jontes, J. 1989. Železniške Signalnovarnostne naprave. Ljubljana, Železniško gospodarstvo Ljubljana, Služba za izobraževanje: str. 33–43, 50–54, 92–95.

Jontes, J. 1999. Uporaba železniških signalnovarnostnih naprav. Ljubljana, Slovenske železnice d. d.: str. 17–20, 23–32, 38–43, 60–65.

Landex, A. 2008. Methods to estimate railway capacity and passengers delays. PhD thesis. Copenhagen: Technical University of Denmark, Department of Transport (A. Landex): str. 130-150

Lavrič, T. 2011. Kapaciteta proge. Diplomaska naloga. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Lavrič): str. 60-95

Nash, A., Huerlimann D. 2003. OpenTrack – Simulation of Railway Network. User manual for the version 1.3. of OpenTrack. Zürich: Swiss Federal Institute of Technology, Institute for Transportation Planning and System: str. 10-30

Nova proga. 2005. [http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/NovaProga Januar 2005.pdf](http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/NovaProga%20Januar%202005.pdf)  
(Pridobljeno 22.12.2012)

Pachl, J., White, T. 2004. Analytical capacity management with blocking times. Braunschweig: Technical University Braunschweig, Institute of Railway Systems Engineering and Traffic Safety: str. 1–10.

Pravilnik o železniških signalnovarnostnih napravah. 2010. Ur. l. RS, št. 80/2010

RGS. 2010. ETCS System Description..

[http://www.rgsonline.co.uk/Railway\\_Group\\_Standards/Control%20Command%20and%20Signalling/Guidance%20Notes/GEGN8605%20Iss%201.pdf](http://www.rgsonline.co.uk/Railway_Group_Standards/Control%20Command%20and%20Signalling/Guidance%20Notes/GEGN8605%20Iss%201.pdf) (Pridobljeno 10. 11. 2012)

Romanešen, M. 2011. Gradivo za strokovno usposabljanje prometnikov. Ljubljana, Slovenske železnice d.d.: str. 10–12, 23–36.

Schobel, A., Pisek M., Karner J. 2006. Hot box detection systems as a part of automated train observation in Austria. Wien, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, TU Wien: 5 str.

Signalni pravilnik. 2007. Ljubljana: Ur. l. RS, št.123/2007

SŽ. 2012. SŽ program omrežja.

[http://www.slozeleznice.si/uploads/SZ/Program\\_omrezja\\_2012\\_4/PO\\_2012\\_Priloga\\_3\\_2\\_Pregledne\\_karte\\_4.pdf](http://www.slozeleznice.si/uploads/SZ/Program_omrezja_2012_4/PO_2012_Priloga_3_2_Pregledne_karte_4.pdf) (Pridobljeno 10. 11. 2012)

Theeg, G. (ur.), Vlasenko, S. (ur.) 2009. Railway Signalling & Interlocking – International Compendium. Hamburg, DVV Media Group: str. 42–128, 179–188, 240–276, 280–285.

UIC CODE 406R. 2004. 1st edition.

Wikipedia. 2012. The Free Encyclopedia. <http://en.wikipedia.org> (Pridobljeno 10.11.2012)

Zgonc, B. 2003. Železniški promet. Portorož, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet: str. 133–145.

Žagavec, D. 2001. Zagotavljanje prometne varnosti s pomočjo izoliranega odseka. Seminarska naloga. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za prometne znanosti (samozaložba D. Žagavec): str. 18

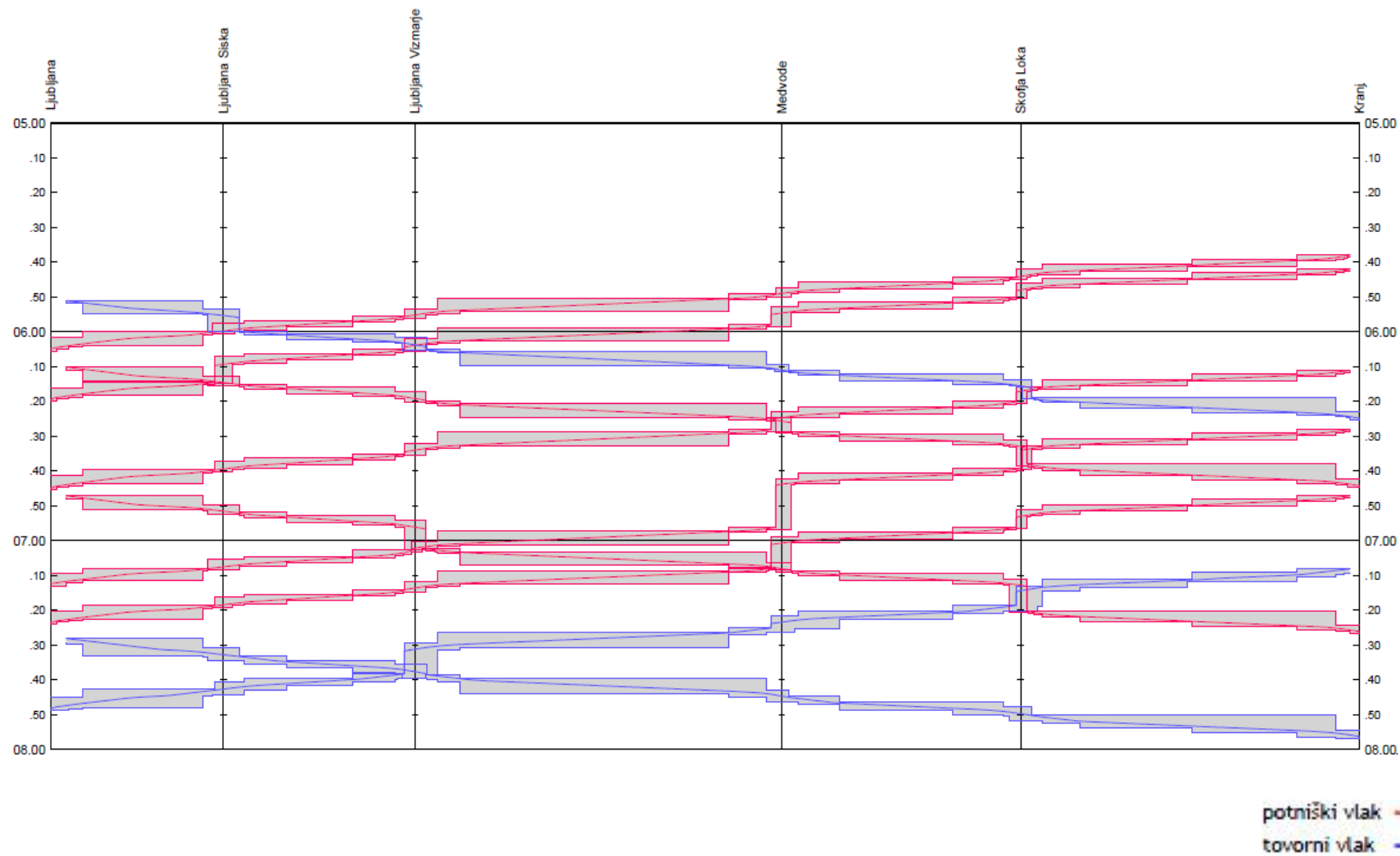
## **SEZNAM PRILOG**

Priloga A: VOZNI RED LJUBLJANA–KRANJ (KLASIČEN SISTEM VODENJA)

Priloga B: VOZNI RED LJUBLJANA–KRANJ (ETCS NIVO 1)

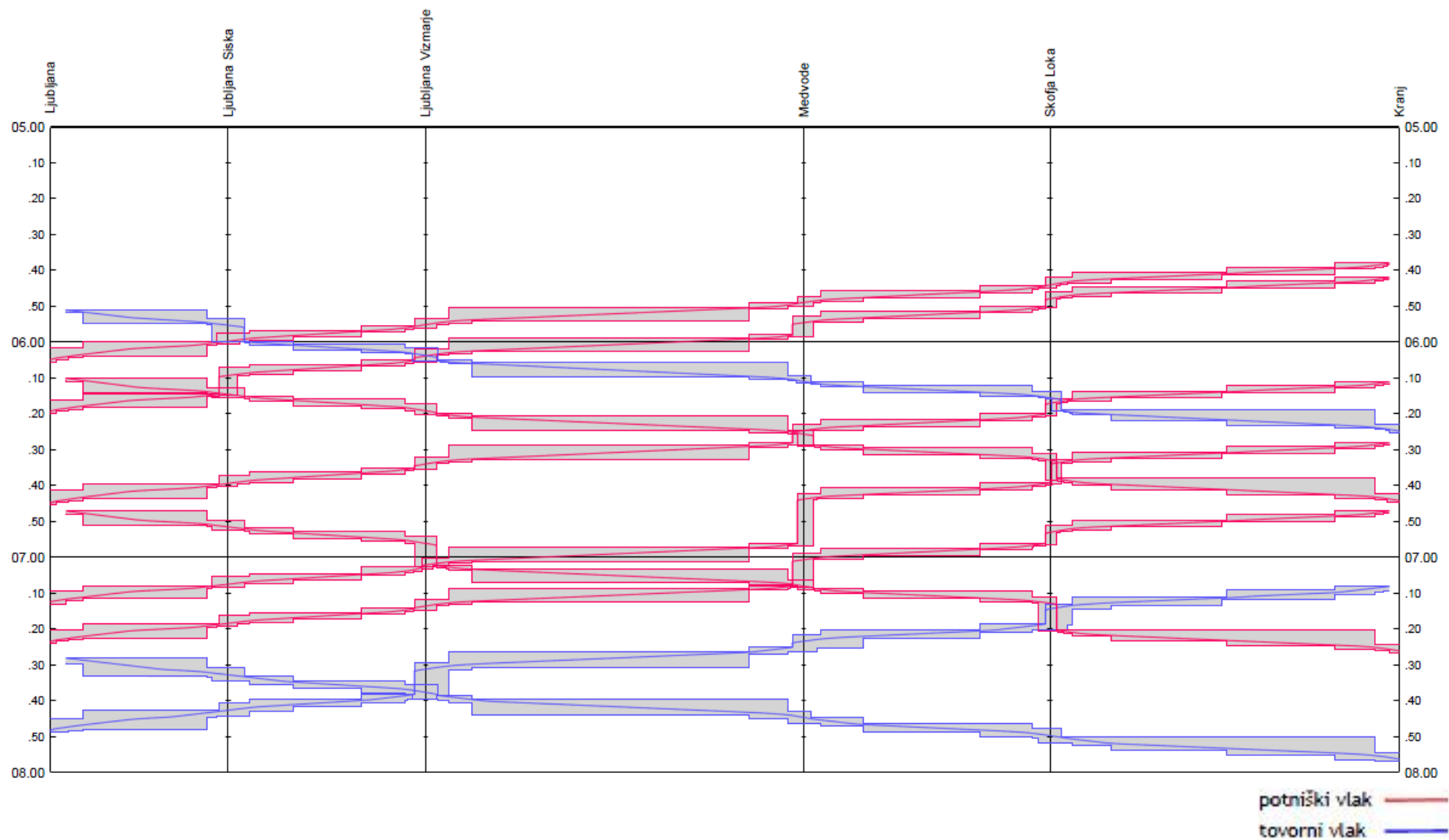
Priloga C: VOZNI RED LJUBLJANA–KRANJ (ETCS NIVO 2)

## PRILOGA A: VOZNI RED LJUBLJANA–KRANJ (KLASIČEN SISTEM VODENJA)





## PRILOGA B: VOZNI RED LJUBLJANA–KRANJ (ETCS NIVO 1)



## PRILOGA C: VOZNI RED LJUBLJANA–KRANJ (ETCS NIVO 2)

