

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:

Peternel, J. 2012. Analiza območij vključevanj na avtoceste in hitre ceste. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Maher, T.): 101 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:

Peternel, J. 2012. Analiza območij vključevanj na avtoceste in hitre ceste. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Maher, T.): 101 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:

JANEZ PETERNEL

**ANALIZA OBMOČIJ VKLJUČEVANJ NA AVTOCESTE
IN HITRE CESTE**

Diplomska naloga št.: 3275/PS

**MOTORWAY RAMPS AND RAMPS JUNCTIONS
ANALYSIS**

Graduation thesis No.: 3275/PS

Mentor:

doc. dr. Tomaž Maher

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Član komisije:

izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

viš. pred. dr. Peter Lipar

Ljubljana, 21. 12. 2012

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Janez Peternel izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Analiza območij vključevanj na avtoceste in hitre ceste«.

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

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

Ljubljana, 12. 12. 2012

Janez Peternel

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 656.13.004.15(497.4)(043.2)
Avtor: Janez Peternel
Mentor: doc. dr. Tomaž Maher, univ. dipl. inž. grad.
Naslov: Analiza območij vključevanj na avtoceste in hitre ceste
Tip dokumenta: diplomsko delo – univerzitetni študij
Obseg in oprema: 101 str., 23 pregl., 58 sl., 16 graf., 2 en., 3 pril.
Ključne besede: avtocesta, priključek, odsek, rampa, prepletanje, pretok, gostota, hitrost, nivo usluge

Izvleček:

Diplomska naloga obravnava obstoječe stanje priključkov in območij vključevanj na avtoceste in hitre ceste, predvsem na ljubljanskem AC in HC obroču, ki je eden najbolj obremenjenih in zahtevnih cestnih sistemov v državi. V začetnem delu naloge so opisana obravnavana območja. Natančneje so predstavljena območja ramp in območja prepletanja ter osnovni tehnični predpisi, ki so trenutno v veljavi. V empiričnem delu sledi obravnava konkretnega primera, kjer je bila spremenjena prometna ureditev in so bile izvedene določene izboljšave, ki so se izkazale za uspešne. To je potrjuje tudi podrobnejša obdelava prometnih podatkov, ki so bili pridobljeni iz avtomatskih števec in s pomočjo ročnega štetja, ter predstavitev primerjave diagramov prometnega toka pred in po spremembi prometne ureditve obravnavanega odseka. V nadaljevanju je predstavljen odsek med priključkoma Lj. Šentjakob in Lj. Sneberje, ki še čaka na takšno spremembo. Tudi na tem mestu je bilo opravljeno ročno štetje, s katerim so bili pridobljeni podatki, ki so kasneje uporabljeni v programski analizi. Ta dokazuje, da bi bilo tudi na tem odseku priporočljivo izvesti podoben ukrep. V zadnjem delu je predstavljenih še nekaj problematičnih odsekov na ljubljanski obvoznici in drugod po Sloveniji z navedenimi konkretnimi predlogi in rešitvami za odpravo nastale problematike.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 656.13.004.15(497.4)(043.2)
Author: Janez Peternel
Supervisor: assist. prof. Tomaž Maher, Ph. D. C. E.
Title: Motorway ramps and ramps junctions analysis
Document type: graduation thesis – university studies
Scope and tools: 101 p., 23 tab., 58 fig., 16 graph., 2 eq., 3 ann.
Keywords: motorway, junction, section, ramp, weaving, flow, density, speed, level of service

Abstract:

The thesis deals with the present condition of junctions and appertaining areas of freeways and motorways, especially of Ljubljana AC and HC ring, which is one of the busiest and most demanding parts of Slovenian road system. The theoretical part of the thesis discusses the teory of traffic flow, which is a basis for the understanding of subsequent subjects. The areas of ramps, weaving and basic technical regulations are dealt with in detail. The second part deals with a specific case of altered traffic arrangement with some effective improvements, proven by a detailed analysis of traffic data obtained from automatic gauges and by manual counting, as well as the comparison between the diagrams of traffic flow before and after the alteration of the road section in question. Furthermore, the section between the junctions Lj. Šentjakob and Lj. Sneberje, which is still to be altered in this way, is presented. Manual counting has been carried out here as well and the data have been used in programme analysis. It has been proven that a similar measure should be taken in this section, too. The last part presents a few other problematic section of Ljubljana ring road and elsewhere in Slovenia, suggesting measures to solve them.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem vsem, ki so kakorkoli pomagali pri nastanku pričujočega diplomskega dela. Posebna zahvala velja doc. dr. Maher Tomažu ter ostalim zaposlenim na Prometnotehniškem inštitutu. Mag. Pirc Juretu se zahvaljujem za pripravo prometnih podatkov.

Hvala moji čudoviti Jani ter sinovoma Vidu in Črtu, da so potrpeživi, ko me ni bilo, nenazadnje pa tudi mojemu očetu, ki me je vsa leta študija podpiral in mi stal ob strani.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO TABEL	X
KAZALO GRAFIKONOV	XII
KAZALO SLIK	XIII
SEZNAM PRILOG	XV
KRATICE	XVI
1 UVOD	1
1.1 Opredelitev problema	1
1.2 Splošno	1
1.3 Teoretični del	4
2 OSNOVNI AVTOCESTNI ODSEK	5
2.1 Karakteristike prometnega toka na avtocestah	5
3 VEČNIVOJSKI PRIKLJUČKI IN VOZLIŠČA	6

4 OBMOČJA RAMP	8
4.1 Osnovne lastnosti in položaji ramp	9
4.2 Minimalne razdalje med priključki in razcepi	11
4.3 Parametri in podatki, pomembni za analizo ramp	13
4.4 Območja cepljenja prometnih tokov – izvozne rampe	15
4.4.1 Izvozni pasovi na rampo	15
4.4.2 Dvopasovne izvozne rampe	17
4.4.3 Izvozne rampe z odštevanjem prometnih pasov na glavni smeri	17
4.4.4 Razcep – cepljenje glavnih prometnih tokov	18
4.5 Območja zlivanja prometnih tokov – uvozne rampe	19
4.5.1 Uvozni pasovi na glavno smer	19
4.5.2 Dvopasovne uvozne rampe z dvopasovnimi pospeševalnimi pasovi	21
4.5.3 Uvozne rampe s seštevanjem prometnih pasov na glavni smeri	21
4.5.4 Razcep – zlivanje glavnih prometnih tokov	22
4.6 Hitrost prostega prometnega toka na rampah	23
4.7 Korekcijski faktorji	23
4.7.1 Faktor urne konice	23
4.7.2 Faktor težkih tovornih vozil	23
4.7.3 Vpliv faktorja tipa voznikov	24
4.8 Izračun ekvivalentnega pretoka	25
4.9 Kapaciteta ramp	25
4.10 Določevanje nivoja uslug	26
5 OBMOČJA PREPLETANJA	28
5.1 Oblika območij prepletanja	28
5.1.1 Tip prepletanja A	28
5.1.2 Tip prepletanja B	29
5.1.3 Tip prepletanja C	30
5.2 Dolžina območij prepletanja	31

5.3 Širina območij prepletanja	31
5.4 Tip operacije	32
5.5 Analiza območij prepletanja	32
5.6 Nivoji uslug za območja prepletanja	33
5.7 Kapaciteta območij prepletanja	33
6 ODSEK LJ. BRDO–KOSEZE	34
6.1 Prometna ureditev odseka Lj. Brdo - Koseze	35
6.2 O prometnih podatkih obravnavanega odseka pred in po spremembi prometne ureditve	38
6.3 Izračun prometnih količin	40
6.4 Analiza prometnih podatkov odseka Lj. Brdo–Koseze	41
6.4.1 Ponazoritev odvisnosti med osnovnimi parametri prometnega toka	49
6.5 Analiza odseka Lj. Brdo–Koseze s programom PTV Vision – VISSIM	56
6.6 Napovedovanje ravni prometne varnosti s programom SSAM	60
6.6.1 T-test za odsek Lj. Brdo–Koseze	63
6.7 Primerjava prometnih podatkov odseka Lj. Brdo–Koseze po namestitvi dodatnega mikrovalovnega detektorja	65
6.8 Zaključne ugotovitve o obravnavanem odseku Lj. Brdo–Koseze	66
7 ODSEK LJ. ŠENTJAKOB–LJ. SNEBERJE	68
7.1 Prometna ureditev odseka Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje	68
7.2 Predlogi izboljšav	69
7.3 Ročno štetje	74
7.4 Analiza območja s programom HCS+	76
7.5 Analiza odseka Lj. Šentjakob - Lj. Sneberje s programom PTV Vision - VISSIM	79

7.6 Napovedovanje ravni prometne varnosti s programom SSAM	82
7.6.1 T-test za odsek Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje	85
8 PREGLED ŠE NEKATERIH DRUGIH ODSEKOV	88
8.1 Ljubljanska severna obvoznica H-3	88
8.2 Ljubljanska vzhodna in južna obvoznica A-1	90
8.3 Nekatera druga območja s prekratnimi zapornimi ploskvami	93
9 ZAKLJUČEK	98
VIRI	100

KAZALO TABEL

Tabela 1: Kapaciteta ramp.	25
Tabela 2: Mejne vrednosti gostot za posamezne nivoje uslug.	26
Tabela 3: Nivoji uslug za območja prepletanja.	33
Tabela 4: Izpis prometnih podatkov za merilno mesto SPIS 03L pred spremembo.	43
Tabela 5: Izpis prometnih podatkov za merilno mesto SPIS 03L po spremembi.	44
Tabela 6: Pretok vozil – števec prometa 03L na odseku AC A-2 0614 pred spremembo prometne ureditve.	45
Tabela 7: Pretok vozil – števec prometa 03L na odseku AC A-2 0614 po spremembi prometne ureditve.	46
Tabela 8: Pretok vozil – ročno štetje 17. 8. 2011. Pretok iz smeri Vič - Kozarje proti razcepu Koseze.	47
Tabela 9: Pretok vozil – ročno štetje 17. 8. 2011. Pretok iz smeri priključka Lj. Brdo proti razcepu Koseze.	47
Tabela 10: Pretok vozil – ročno štetje 17. 8. 2011. Skupni pretok iz smeri priključka Lj. Brdo proti razcepu Koseze.	47
Tabela 11: Podatki iz simulacije Lj. Brdo, staro stanje.	58
Tabela 12: Povprečne vrednosti iz simulacije Lj. Brdo, staro stanje.	58
Tabela 13: Podatki iz simulacije Lj. Brdo, novo stanje.	59
Tabela 14: Povprečne vrednosti iz simulacije Lj. Brdo, novo stanje.	59
Tabela 15: Število konfliktov na območju Lj. Brdo–Koseze, staro stanje.	60
Tabela 16: Število konfliktov na območju Lj. Brdo–Koseze, novo stanje.	62
Tabela 17: Primerjava starega in novega stanja na odseku Lj. Brdo - Koseze.	64
Tabela 18: Pretok vozil – števec prometa 03L na odseku AC A-2 0614.	66
Tabela 19: Povprečne hitrosti po posameznih prometnih pasovih.	66
Tabela 20: Pretok vozil – ročno štetje 18. 10. 2011. Pretoki na uvozni rampi priključka Lj. Šentjakob proti Ljubljani.	74
Tabela 21: Pretok vozil – ročno štetje 18. 10. 2011. Pretoki na AC A1 proti Ljubljani pred priključkom Lj. Šentjakob.	74
Tabela 22: Pretok vozil – ročno štetje 18. 10. 2011. Pretoki na AC A1 proti Ljubljani za priključkom Lj. Šentjakob.	74
Tabela 23: Pretoki vozil – ročno štetje 18. 10. 2011. Pretoki na izvozu Lj. Sneberje proti Ljubljani.	75
Tabela 24: Pretoki vozil – ročno štetje 18. 10. 2011. Pretoki na uvozu Lj. Sneberje proti Ljubljani.	75
Tabela 25: Podatki iz simulacije Lj. Šentjakob, obstoječe stanje.	80

Tabela 26: Povprečne vrednosti iz simulacije Lj. Šentjakob, obstoječe stanje.	81
Tabela 27: Podatki iz simulacije Lj. Šentjakob, novo stanje.	81
Tabela 28: Povprečne vrednosti iz simulacije Lj. Šentjakob, novo stanje.	81
Tabela 29: Število konfliktov na območju Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje, obstoječe stanje.	82
Tabela 30: Število konfliktov na območju Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje, novo stanje.	84
Tabela 31: Primerjava obstoječega in predlaganega novega stanja na odseku Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje.	86

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Prikaz pretokov vozil pred sprembo ureditve na obravnavanem odseku.	49
Grafikon 2: Prikaz pretokov vozil po spremembi ureditve na obravnavanem odseku.	49
Grafikon 3: Prikaz odvisnosti med prometnim pretokom, hitrostjo prometnega toka in gostoto.	50
Grafikon 4: Odnos pretok – gostota.	51
Grafikon 5: Odnos pretok – gostota za merilno mesto SPIS 03L v času med 5. in 9. uro pred spremembo prometne ureditve.	52
Grafikon 6: Odnos pretok – gostota za merilno mesto SPIS 03L v času med 5. in 9. uro po spremembi prometne ureditve.	52
Grafikon 7: Odnos hitrost – gostota.	53
Grafikon 8: Odnos hitrost – gostota za merilno mesto SPIS 03L v času med 5. in 9. uro pred spremembo prometne ureditve.	54
Grafikon 9: Odnos hitrost – gostota za merilno mesto SPIS 03L v času med 5. in 9. uro po spremembi prometne ureditve.	54
Grafikon 10: Odnos hitrost – pretok.	55
Grafikon 11: Odnos hitrost – pretok za merilno mesto SPIS 03L v času med 5. in 9. uro pred spremembo prometne ureditve.	56
Grafikon 12: Odnos hitrost – pretok za merilno mesto SPIS 03L v času med 5. in 9. uro po spremembi prometne ureditve.	56
Grafikon 13: Grafična primerjava povprečnih vrednosti za staro in novo stanje odseka Lj. Brdo–Koseze.	59
Grafikon 14: Primerjava posameznih tipov konfliktov med vozili za staro in novo stanje.	65
Grafikon 15: Primerjava povprečnih vrednosti za obstoječe in novo stanje odseka Lj. Šentjakob–Lj.Sneberje.	82
Grafikon 16: Primerjava posameznih tipov konfliktov med vozili za obstoječe in novo predlagano stanje.	87

KAZALO SLIK

Slika 1: Obroč obvoznih cest okoli Ljubljane.	3
Slika 2: Osnovni pojmi večnivojskega priključka ali vozlišča.	7
Slika 3: Tipi ramp.	8
Slika 4: Tipi ramp in priporočene računске hitrosti [km/h].	9
Slika 5: Medsebojni položaji ter oblike ramp.	11
Slika 6: Možne rešitve, kadar je razdalja L manjša od minimalne dopustne, tj. $600\text{ m} + l_u + l_i$.	11
Slika 7: Minimalne razdalje med razcepi in priključki.	13
Slika 8: Oštevilčenje pasov na avtocestnem odseku.	13
Slika 9: Prikaz pomembnejših parametrov za analizo ramp.	14
Slika 10: Različni tipi izvoznih pasov.	16
Slika 11: Dvopasovni izvozni rampi z dvojnimi ali enojnimi zaviralnimi pasovi.	17
Slika 12: Izvozna rampa z odševanjem prometnih pasov na glavni smeri.	18
Slika 13: Razcep – cepljenje glavnih prometnih tokov.	18
Slika 14: Sestavni deli uvoznega pasu.	19
Slika 15: Tipi uvoznih pasov na glavno smer.	20
Slika 16: Dvopasovna uvozna rampa.	21
Slika 17: Enopasovna in dvopasovna uvozna rampa s seštevanjem prometnih pasov na glavni smeri.	22
Slika 18: Razcep – zlivanje glavnih prometnih tokov.	23
Slika 19: Območje prepletanja.	28
Slika 20: Tip prepletanja A.	29
Slika 21: Tip prepletanja B.	30
Slika 22: Tip prepletanja C.	30
Slika 23: Dolžina območja prepletanja.	31
Slika 24: Ljubljanski cestni obroč.	34
Slika 25: Odsek Lj. Brdo–Koseze pred spremembo prometne ureditve.	36
Slika 26: Odsek Lj. Brdo–Koseze po spremembi prometne ureditve.	37
Slika 27: Primer mikrovalovnega detektorja.	38
Slika 28: Območje zaznavanja mikrovalovnih detektorjev.	39
Slika 29: Zaznavanje vozil, ki menjajo vozni pas.	39
Slika 30: Prikaz lokacije števnege mesta SPIS 03L.	40
Slika 31: Pretoki vozil na odseku Lj. Brdo–Koseze (ročno štetje).	48
Slika 32: Izsek iz simulacije – priključek Lj. Brdo.	57

Slika 33: Konfliktne točke območja Lj. Brdo–Koseze, staro stanje.	61
Slika 34: Konfliktne točke območja Lj. Brdo–Koseze, novo stanje.	63
Slika 35: Jutranja prometna konica – Šentjakob.	69
Slika 36: SOS telefon z nevarnim dostopom.	70
Slika 37: Ortofoto posnetek območja priključkov Lj. Šentjakob in Lj. Sneberje.	71
Slika 38: Križišče priključka Šentjakob.	72
Slika 39: Izvoz Lj. Šentjakob v času popoldanske prometne konice.	73
Slika 40: Predlog dovoljenega zavijanja desno kljub rdeči luči.	73
Slika 41: Prikaz pretokov vozil po smereh na območju priključkov Lj. Šentjakob in Lj. Sneberje.	75
Slika 42: Izsek iz simulacije – priključek Lj. Šentjakob.	80
Slika 43: Konfliktne točke območja Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje, obstoječe stanje.	83
Slika 44: Konfliktne točke območja Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje, novo stanje.	85
Slika 45: Območja prepletanja med priključki Lj. Tomačevo in Lj. Bežigrad.	89
Slika 46: Jutranja konica. Priključek Lj. Bežigrad v smeri proti razcepu Koseze.	89
Slika 47: Zaporni ploskvi med priključkoma Lj. vzhod in Lj. Bizovik.	91
Slika 48: Pokriti vkop Strmec.	92
Slika 49: Območje med razcepom Malence in priključkom Lj. jug.	92
Slika 50: Začasna rešitev za razbremenitev območja prepletanja med priključkom Lj. jug in razcepom Malence.	93
Slika 51: Zaporna ploskev med priključkom Koper - center in izvozom za bencinsko črpalko v smeri proti Izoli.	94
Slika 52: Odstranjena zaporna ploskev med priključkom Koper - center in izvozom za bencinsko črpalko v smeri proti Izoli.	94
Slika 53: Zaporna ploskev med priključkoma Dekani in Škofije.	95
Slika 54: Vožnja po odstavnem pasu.	95
Slika 55: Vožnja po odstavnem in voznem pasu.	96
Slika 56: Odstranjena zaporna ploskev med priključkoma Dekani in Škofije.	96
Slika 57: Zaporna ploskev med priključkoma počivališča Ravne in priključkom Kozina.	97
Slika 58: Odstranjena zaporna ploskev med priključkoma počivališča Ravne in priključkom Kozina.	97

SEZNAM PRILOG

Priloga A: IZPIS POROČILA HCS+ ANALIZE PRIKLJUČKA LJ. ŠENTJAKOB

Priloga B: IZPIS POROČILA HCS+ ANALIZE PREPLETANJA MED PRIKLJUČKOMA
LJ. ŠENTJAKOB – LJ. SNEBERJE

Priloga C: IZPIS PROMETNIH PODATKOV IZ AVTOMATSKEGA ŠTEVCA 03L ZA 22.
10. 2012, JUTRANJA KONICA

KRATICE

AC	Avtocesta
HC	Hitra cesta
DARS	Družba za avtoceste Republike Slovenije
DRSC	Direkcija Republike Slovenije za ceste
SNVP	Sistem za nadzor in vodenje prometa
SPIS	Spremenljiva prometno-informativna signalizacija
PTI	Prometno tehniški inštitut
HCM	Highway capacity manual
HCS	Highway capacity software
UI	Uradni list
TSC	Tehnična specifikacija za javne ceste
SPROC	Smernice za projektiranje cest
SVN	Švicarski standard
TV	Tovorno vozilo
OV	Osebno vozilo
PLDP	Povprečni letni dnevni promet
EOV	Ekvivalent osebnih vozil

1 UVOD

1.1 Opredelitev problema

Kljub nenehnemu posodabljanju cest in dograjevanju njim pripadajoče cestne infrastrukture se v današnjih časih zaradi hitrega tempa življenja in s tem posledično tudi naglega povečevanja prometa marsikje soočamo z vsakodnevnimi zastoji v prometu v času koničnih dnevnih obremenitev. V normalnih razmerah kapacitete cest sicer niso presežene in zadoščajo prometnim obremenitvam. Problematične so predvsem jutranje in popoldanske konice, ki so povezane z migriranjem ljudi na delo in nazaj domov. Težave se lahko pojavljajo tudi v času praznikov in dopustov ali pa v primeru večjih prireditev in drugih pomembnejših dogodkov. Toda zastoji niso vedno le problem preseženih kapacitet, ki jih določena območja še lahko prevzemajo. Marsikje je zaznati, da gre pogosto tudi za neustrezne rešitve in izvedbe elementov trase ter pripadajoče signalizacije na terenu. Takšne neprimerne izvedbe pridejo do izraza predvsem na območjih, kjer se vozila prepletajo, vključujejo in izključujejo iz ali v glavni prometni tok. Neustrezne rešitve lahko negativno vplivajo na odzivanje udeležencev v prometu, kar povzroča dodatne nepotrebne turbulence in zgoščitve v prometnem toku.

1.2 Splošno

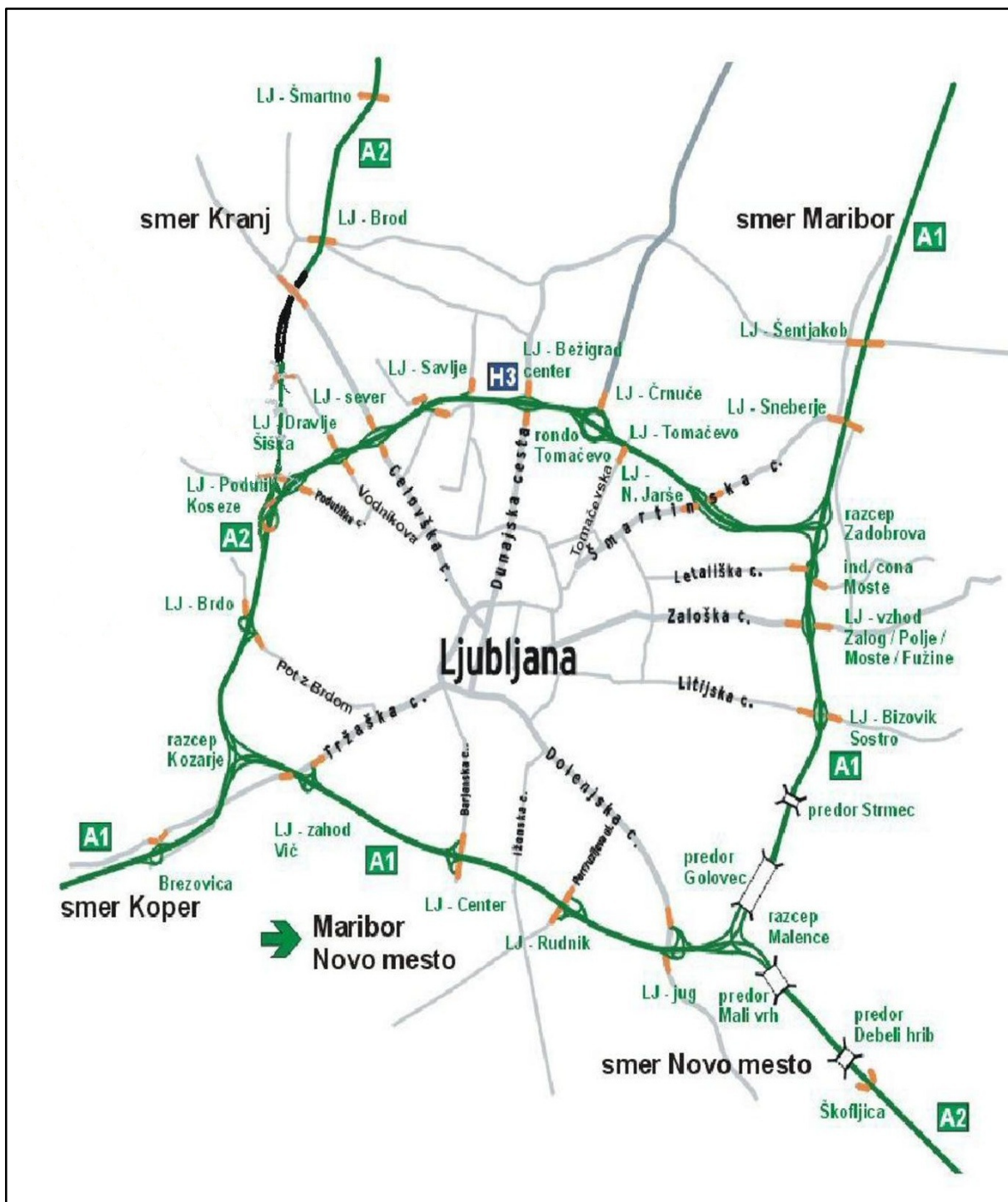
Trenutno imamo v Sloveniji 606 km avtocest in hitrih cest ter 163 km priključkov nanje. Za njihovo upravljanje in vzdrževanje skrbi DARS d.d. Poleg osnovnih kriterijev zagotavljanja prometne varnosti in prevoznosti cest morajo biti upoštevani tudi kriteriji prepustnosti v povezavi z udobnostjo potovanja ter kriteriji, povezani s stalno skrbjo za zmanjšanje negativnih vplivov prometa na okolje in urejenega videza cest (DARS).

Gradnja prve, 32 kilometrov dolge slovenske avtoceste od Vrhnike do Postojne se je začela maja leta 1970, prometu pa so jo predali dve leti kasneje. Slovenija se je z zgraditvijo te avtoceste postavila ob bok drugim dvajsetim evropskim državam, ki so že imele avtocestno omrežje v skupni dolžini preko 17.500 km (slo_AC_30_let.pdf, 21. 02. 2012). Nadaljnje odseke štiri- in dvopasovnih avtocest je Slovenija gradila postopoma – predvsem tam, kjer se je to kazalo za nujno. Tako je bilo v 24. letih zgrajenih 198,4 km avtocest.

Ljubljanski avtocestni obroč

Leta 1979 je skupščina mesta Ljubljana potrdila začetek gradnje obroča obvoznih cest okoli Ljubljane. Gre za sistem avtocest in hitre ceste okoli Ljubljane, ki predstavlja najpomembnejše križanje slovenskega avtocestnega omrežja oz. njegovih glavnih smeri: avtoceste A-1 in avtoceste A-2 oz. štajerskega in primorskega ter gorenjskega in dolenskega avtocestnega kraka. Po konceptu t. i. U-sistema ljubljanskih obvoznih cest so zahodna (A-2), južna (A-1) in vzhodna (A-1) obvoznica hkrati tudi avtocestni odseki, ki se vključujejo v slovenski avtocestni sistem, severna obvoznica (H-3) pa predstavlja mestno razbremenilno cesto.

Gre za enega najbolj zahtevnih cestnih sistemov v državi, saj se na samem obroču nahajajo štirje razcepi in petnajst priključkov. Povprečno je na 1,7 km po en priključek ali razcep, »kar presega priporočljivo gostoto priključkov ne samo za AC, temveč tudi za mestno hitro cesto« (Maher, 2008). To pomeni, da je potrebno skrbno načrtovati signalizacijo – tako horizontalno kot vertikalno. Potrebno je upoštevati tudi tehnične predpise in gostoto prometnega toka, »saj parametri prometnega toka v koničnih urah marsikje že dosegajo Nivoje Uslug F« (Maher, 2008: 3). V času koničnih dnevnih obremenitev se vsakodnevno soočamo s prometnimi zastoji. Ti pa niso zgolj posledica velikih koničnih obremenitev, temveč so delno tudi posledica neustreznih prometnih rešitev na AC-obroču, ki so načrtovano plansko dobo fizično in funkcionalno že zdavnaj presegle. Enako velja tudi za razcepe, priključke in priključna križišča obroča na primarno mestno ali državno cestno mrežo. Prav gotovo je, da je dograditev ali sprememba cestne infrastrukture nujna, žal pa ni hitro rešljiva. Da se na tem problemu že dela, vemo, opozarjamo pa, da bi bilo potrebno kar se da hitro preurediti »neustrezno horizontalno signalizacijo med zelo številnimi priključki in razcepi, ki povzročajo nepotrebne turbulence in zgostitve v prometnem toku« (Maher, 2008: 3).



Slika 1: Obroč obvoznih cest okoli Ljubljane.

Vir:

http://www.dars.si/Dokumenti/3_cestninski_sistem/Prikljucki%20na%20AC%20sistemu%20september_2009.pdf.

1.3 Teoretični del

V empiričnem delu diplomske naloge se bomo ukvarjali s preučevanjem dveh avtocestnih odsekov in priključkov nanje. A ker je problem kompleksnejši, je pred tem potrebno pojasniti teoretično ozadje ter pojme, s katerimi se bomo srečevali v nadaljevanju.

Avtocesta (AC) je namenjena prometu motornih vozil z najvišjo stopnjo varnosti in udobja, ima izvennivojska križanja z drugimi prometnicami in štiri- ali večpasovni, smerno ločeni vozišči s srednjim ločilnim pasom ter obojestranski odstavni pas. Podobno je tudi hitra cesta (HC) namenjena prometu motornih vozil z visoko stopnjo varnosti in udobja pri vožnji z večjo hitrostjo, ima izvennivojska križanja z drugimi prometnicami ter dvopasovno smerno vozišče s srednjim ločilnim in odstavnim pasom, ki se lahko zaradi strukture prometa in niveletnega poteka ceste nadomesti z odstavnimi nišami (Uradni list RS). Dostop in izstop iz obeh cest je možen le preko uvoznih in izvoznih ramp. Ker na takih cestah ni nivojskih križanj in signaliziranih križišč, le-te omogočajo neprekinjen prometni tok. Obnašanje prometnega toka je v tem primeru rezultat interakcije med vozili in vozniki ter geometrijskimi karakteristikami ceste, nenazadnje pa je odvisno tudi od stanja vozišča in trenutnih vremenskih razmer.

Seznani se moramo tudi s tem, kaj sploh je avtocestni odsek. Gre za del avtoceste, ki se začne in konča tam, kjer pride do spremembe v prometnem toku ali pa se spremenijo karakteristike avtoceste. Sestavlja ga namreč več posameznih elementov, ki skupaj tvorijo celoto. Ti elementi so: osnovni avtocestni odsek, območja ramp ter območja prepletanja. Osnovni avtocestni odsek je del avtoceste, ki se nahaja izven območij prepletanja in priključnih ramp. Priključne rampe so območja, ki služijo vključevanju in izključevanju prometnih tokov na avtocesto, območja prepletanja pa se pojavijo tam, kjer pride do križanja dveh ali več prometnih tokov. Takšna situacija nastane tam, kjer uvozni rampi sledi izvozna in sta le-ti povezani s pomožnim pasom ali pa na mestih, kjer območju priključevanja sledi območje združevanja.

Največjo pozornost bomo namenili območjem prepletanja in območjem ramp, saj prav na teh delih ponavadi prihaja do največjih zastojev in turbulenc v prometnem toku, ki pa imajo lahko vplive tudi na osnovni avtocestni odsek.

2 OSNOVNI AVTOCESTNI ODSEK

Osnovni avtocestni odsek se nahaja na odprtem delu avtoceste izven območij uvoznih in izvoznih ramp ter izven območij prepletanja. Polna kapaciteta osnovnega avtocestnega odseka se doseže pri ugodnih vremenskih pogojih, dobri vidljivosti in ob pogoju, da je tak odsek brez nesreč. Kadar ti pogoji niso izpolnjeni, se temu primerno zmanjša tudi hitrost, nivo uslug in kapaciteta. Za doseganje prostega prometnega toka 100 km/h in več morajo biti izpolnjene naslednje lastnosti osnovnega avtocestnega odseka:

- širina prometnega pasu je večja kot 3.60 m,
- minimalna razdalja med priključki je 3 km na odprti avtocesti in vsaj 1 km na mestnih avtocestah,
- navajenost uporabnikov na določen odsek,
- oddaljenost med robom krajne talne označbe in najbližjim objektom je večja od 1,80 m,
- prometni tok sestavljajo izključno osebna vozila,
- maksimalni podolžni nagib znaša 2 %.

2.1 Karakteristike prometnega toka na avtocestah

Kakšen je prometni tok na osnovnem avtocestnem odseku, je odvisno od tega, kaj se dogaja protitočno in sotočno od opazovanega odseka. Tu gre predvsem za zastoje. Do slednjega lahko pride zaradi priključne rampe, prepletanja več tokov, zmanjšanja števila pasov, rednih vzdrževalnih del, nesreč ali objektov na cesti. Prometni tok na osnovnem avtocestnem odseku se lahko razdeli v tri skupine, vsaka pa predstavlja medsebojno odvisnost med hitrostjo, tokom in gostoto:

- Nezasičen prometni tok je tok, na katerega ne vplivajo gortočne in doltočne razmere.
- Razpuščena kolona je prometni tok, ki je prišel iz območja kolone in pospešuje nazaj proti prostemu prometnemu toku.
- Zgoščen prometni tok je tok, na katerega vpliva sotočno ležeči zastoj.

Avtocesta lahko dosega kapaciteto do 2400 EO/h/pas, kadar so izpolnjeni osnovni geometrijski pogoji in pogoji prometnega toka. Takšno kapaciteto je mogoče doseči pri hitrosti prometnega toka 120 km/h ali več. Ob zmanjšanju hitrosti prometnega toka se občutno zmanjša tudi kapaciteta avtoceste.

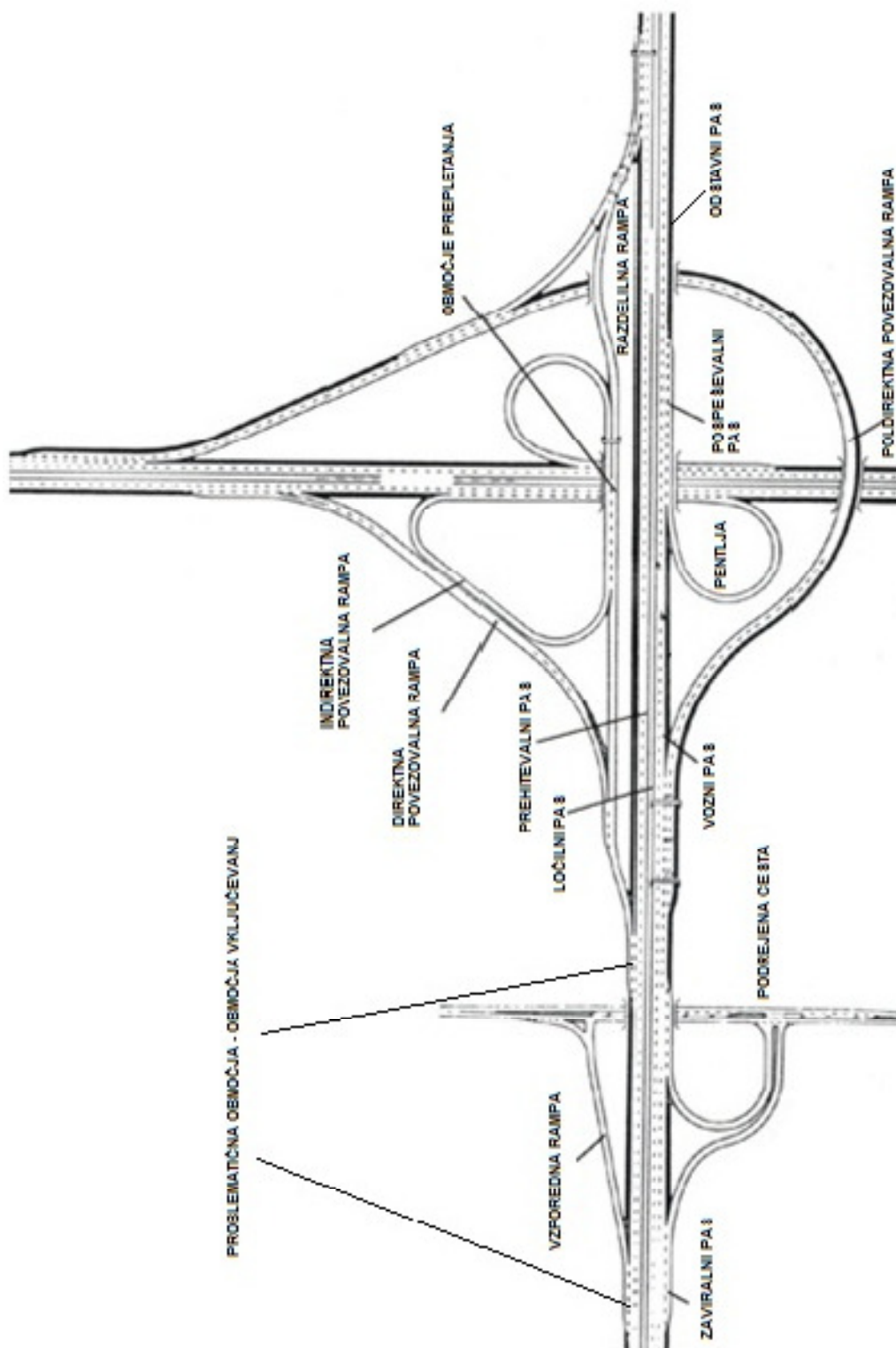
3 VEČNIVOJSKI PRIKLJUČKI IN VOZLIŠČA

Večnivojske priključke se uporablja na mestih, kjer prihaja do križanja cest istega ali različnega ranga, ki imajo približno enake načine prometnih obremenitev. To so lahko križanja dveh avtocest, avtoceste in hitre ceste ali avtoceste in glavne ceste I. reda, ki je prometno močno obremenjena. Ob velikih prometnih obremenitvah so na takih mestih nivojska križanja neuporabna. Večnivojski priključek in vozlišče sestavljajo vozišča cest, ki potekajo skozi križišče, uvozi, izvozi in povezovalne rampe (slika 2). Ločimo več vrst osnovnih tipov večnivojskih priključkov in vozlišč, ki se razlikujejo predvsem po vodenju ramp.

Večnivojski priključki in vozlišča morajo biti grajeni na tak način, da je prometni spoj prilagojen kategoriji cest v cestni mreži in da zagotavlja prometno varnost ob vseh operacijah v okolici in na samem spoju cest. Zagotoviti je potrebno takšno prepustnost posameznih elementov priključka ali vozlišča, da le-ta odgovarja prepustnosti križajočih se cest, ob vsem tem pa mora biti dosežena tudi ustrezna ekonomska upravičenost.

Varnost zagotavljamo s pravočasno razpoznavnostjo, preglednostjo in razumljivostjo posameznih elementov večnivojskega priključka ali vozlišča. Razpoznavnost dosegamo z ustrezno vertikalno in horizontalno signalizacijo, ki mora voznike pravočasno in nedvoumno voditi po cesti. Preglednost se mora zagotoviti z zadostnimi preglednimi razdaljami, razumljivost pa dosegamo s standardizirano izvedbo posameznih elementov.

Ekonomičnost lahko dosežemo z uporabo manjših elementov kot na odprti trasi, saj se prometna prepustnost praviloma ne poslabša, prometna varnost pa celo izboljša.



Slika 2: Osnovni pojmi večnivojskega priključka ali vozlišča.

Vir: Predlog tehnične specifikacije TSC 03.343 »Večnivojski priključki in vozlišča«, poglavje 1.2, str. 7.

4 OBMOČJA RAMP

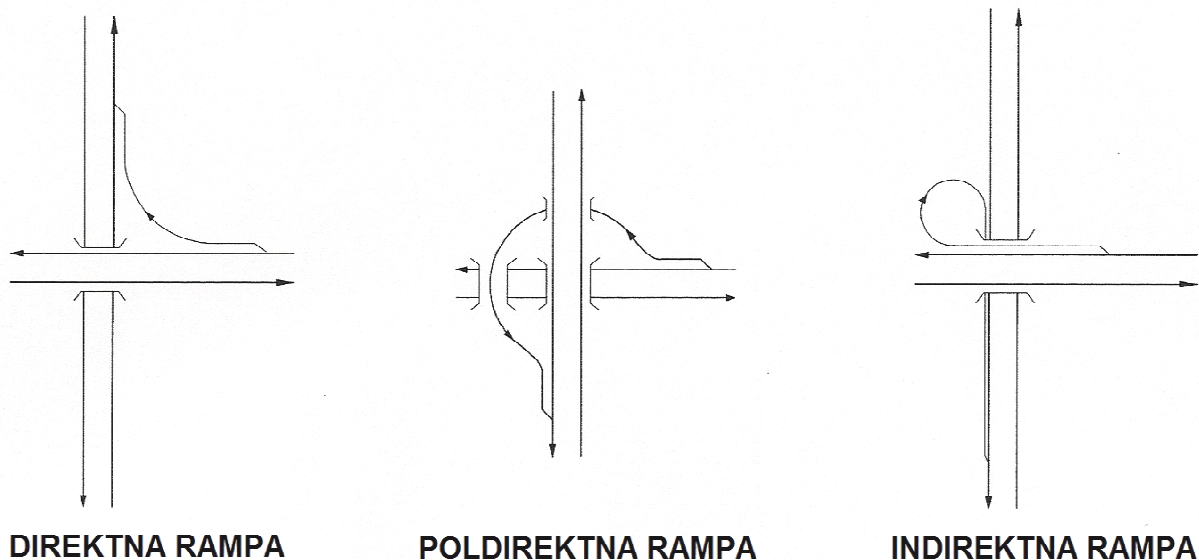
Rampe so sestavni del večnivojskih priključkov in vozlišč in so tisti del ceste, ki zagotavlja povezavo med dvema prometnima žilama, kjer zaradi velikih prometnih obremenitev nivojska križišča ne bi prišla v upoštevanje. Povezava z rampami lahko poteka med cestami, ki so enakovrednega tipa ali pa med glavnimi in podrejenimi cestami. Ločimo dve skupini ramp:

- rampe, ki povezujejo dve avtocesti ali avtocesto in hitro cesto ter
- rampe, ki povezujejo avtocesto in podrejeno cesto.

Po tipih razlikujemo tri vrste ramp:

- direktne,
- indirektne,
- poldirektne.

Glede vozne dinamike, preglednosti in prepustnosti so najboljše direktne rampe, najslabše pa indirektne.

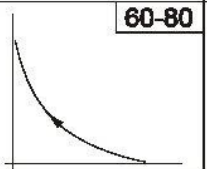
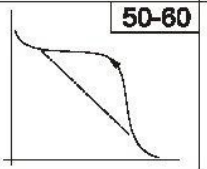
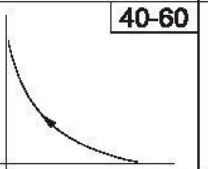
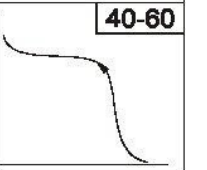
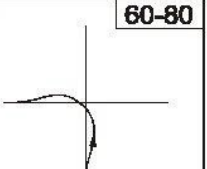
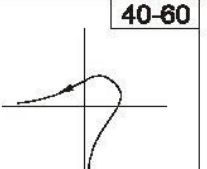
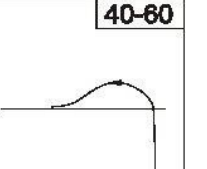
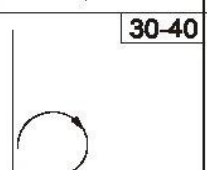
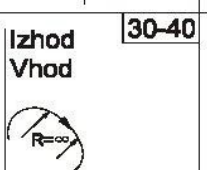
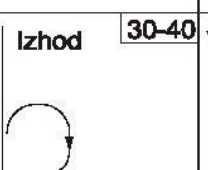
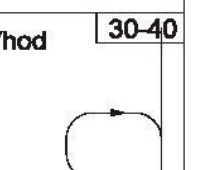
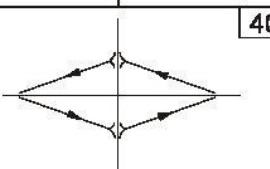


Slika 3: Tipi ramp.

Vir: Predlog tehnične specifikacije TSC 03.343 »Večnivojski priključki in vozlišča«, poglavje 4.2, str. 12.

4.1 Osnovne lastnosti in položaji ramp

Naloga ramp je omogočiti zlivanje in cepljenje prometnih tokov pri visokih hitrostih, ki pa ne smeta bistveno vplivati na hitrost glavnega prometnega toka. Ponavadi so izvedene z zmanjšanimi elementi kot ceste na odprtih trasah predvsem zato, da se umirijo prometne razmere in da se doseže večja homogenost prometnega toka. Vozniki tako lažje in varneje izvajajo potrebne prometne operacije (TSC 03.343). Območja ramp so prometno najbolj občutljivi deli cestnega omrežja in terjajo od voznikov precejšno pozornost in previdnost. Vse rampe morajo zagotavljati ustrezno preglednost vožnje, razlikujejo se lahko glede na število pasov (običajno en ali dva), dolžino, računsko hitrost in vzdolžni nagib.

Tip rampe (vodenje prometa)	Skupina ramp 1 večnivojsko - večnivojsko		Skupina ramp 2 večnivojsko - nivojsko	
	Vodenje trase			
	Neprilagojeno	Prilagojeno	Neprilagojeno	Prilagojeno
Direktno	 60-80	 50-60	 40-60	 40-60
Poldirektno	 60-80	 40-60	—	 40-60
Indirektno	 30-40	 Izhod Vhod 30-40	 Izhod 30-40	 Vhod 30-40
Direktno	Razdelilna rampa 60-80		 40-80	

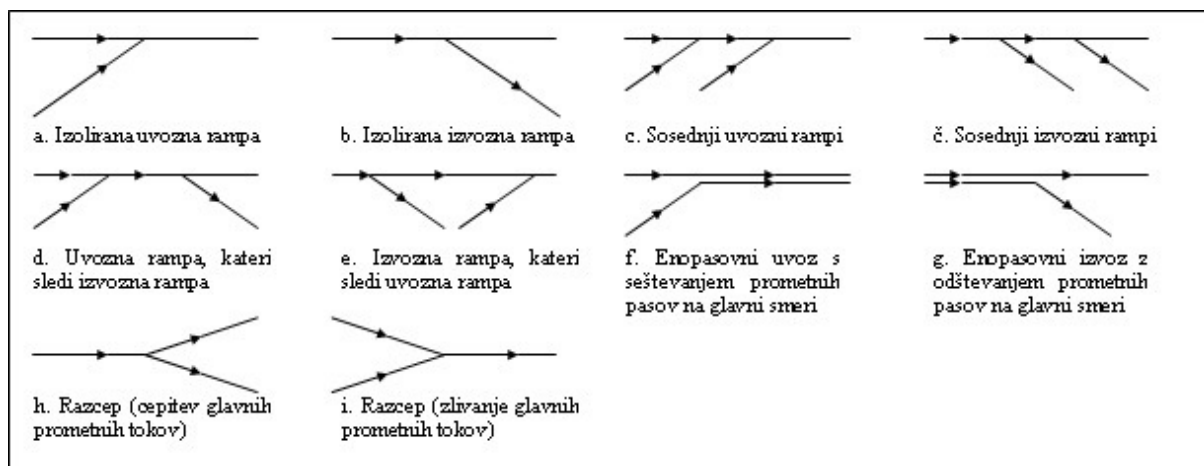
Slika 4: Tipi ramp in priporočene računске hitrosti [km/h].

Vir: Predlog tehnične specifikacije TSC 03.343 »Večnivojski priključki in vozlišča«, poglavje 4.2, str. 12.

Razlog za zastoje na izvoznih rampah, ki povezujejo avtocesto in podrejeno cesto, gre ponavadi iskati v samem prometnem dogajanju na podrejeni cesti. V času koničnih obremenitev se lahko pojavijo kolone, ki segajo na samo avtocesto in s tem vplivajo na prometno dogajanje na njej in na hitrost glavnega prometnega toka. Na slednjega vpliva tudi sosledje ramp. Namreč, pri analizi posamezne rampe je potrebno ugotoviti, kakšne so razdalje med posameznimi rampami (Maher, 2008).

V splošnem ločimo naslednje položaje ter oblike ramp:

1. **Izolirana uvozna rampa** v svoji neposredni bližini nima locirane nobene dodatne rampe, ki bi lahko vplivala na odvijanje prometa na njej. Termin »neposredna bližina« je odvisen predvsem od prometnega volumna, vendar lahko predpostavimo, da rampi, ki sta med seboj oddaljeni več kot 2000 m, ne vplivata ena na drugo (slika 5, primer a).
2. **Izolirana izvozna rampa** (slika 5, primer b).
3. **Sosednji uvozni rampi** sta med seboj oddaljeni manj kot 2000 m (slika 5, primer c).
4. **Sosednji izvozni rampi** sta med seboj oddaljeni manj kot 2000 m (slika 5, primer č).
5. **Uvozna rampa, kateri sledi izvozna rampa**. Ko uvozni rampi na kratki razdalji sledi izvozna rampa, prva vpliva na potek prometa po drugi ter obratno (slika 5, primer d). Če sta rampi med seboj povezani z dodatnim voznim pasom (t. i. pasom za prepletanje), potem tak primer obravnavamo kot območje prepletanja.
6. **Izvozna rampa, kateri sledi uvozna rampa**. V takem primeru prometni tok na izvozni rampi skoraj ne vpliva na dogajanje na uvozni, zato lahko rampi obravnavamo ločeno (slika 5, primer e).
7. **Enopasovni uvoz s seštevanjem prometnih pasov na glavni smeri** uporabimo takrat, ko zaradi velikosti prometa na glavni smeri vpletanje iz enopasovne pospeševalne rampe ni več možno (slika 5, primer f).
8. **Enopasovni izvoz z odštevanjem prometnih pasov na glavni smeri** (slika 5, primer g).
9. **Razcep (cepljenje glavnih prometnih tokov)**. V teh primerih izvedemo izvozne rampe kot eno smer avtoceste, če le-ta brez izvoza direktno prehaja v drugo smer (trikraka avtocestna vozlišča).
10. **Razcep (zlivanje glavnih prometnih tokov)**.



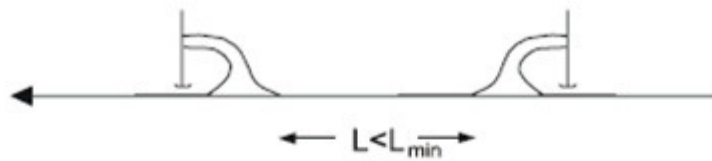
Slika 5: Medsebojni položaji ter oblike ramp.

Vir: HCM94; Transportation Research Board, National Research Council; Washington, 1994, str. 5-4.

4.2 Minimalne razdalje med priključki in razcepi

Minimalno razdaljo med dvema priključkoma ali razcepoma nam narekujejo možnosti postavitve prometne signalizacije za vodenje prometa ter kakšen nivo uslug želimo zagotoviti za obravnavani odsek. Minimalna razdalja med razcepi naj bi bila vsaj $2700\text{ m} + l_u + l_i$ (l_u in l_i sta dolžini zaviralnih in pospeševalnih pasov), med priključki pa vsaj med 2200 m in $1700\text{ m} + l_u + l_i$. Dopustna minimalna in še sprejemljiva razdalja naj bi bila $600\text{ m} + l_u + l_i$, kar pomeni da mora biti zaporna ploskev ali odstavní pas med pospeševalnimi in zaviralnimi pasovi dolga vsaj 600 m . Kjer se ne da zagotoviti niti te minimalne razdalje, bosta priključka vplivala eden na drugega tako po prometnem poteku kot tudi po ureditvi. Možna rešitev je, da se pospeševalni in zaviralni pas združi v t. i. pomožni pas in se formira območje prepletanja, ki ga je treba tudi ustrezno označiti. Na sliki 6 je tak primer podan pod zaporedno številko 2, navedeni pa so še drugi načini reševanja primerov kadar se med razcepi in priključki ne da omogočiti zadostne razdalje.

Če je $L < L_{\text{minimalno dopustno}}$



Potem:



1. Sprememba usmeritve ramp



2. Dodatna rampa za prepletanje



3. Razdelilna rampa



4. Križajoče se rampe



5. Podaljšane rampe

Slika 6: Možne rešitve, kadar je razdalja L manjša od minimalne dopustne, tj. $600 \text{ m} + l_u + l_i$.

Vir: Predlog tehnične specifikacije TSC 03.343 »Večnivojski priključki in vozlišča«, poglavje 3.4, str. 10.

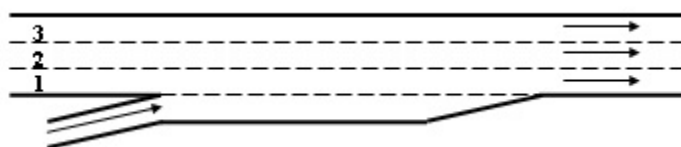
Rang večnivojskega priključka ali razcepa	Priporočljiva minimalna razdalja [m]		Minimalno dopustna razdalja z samo eno tablo za najavo [m]
	močno obremenjen odsek	manj obremenjen odsek	
	1	2	3
Razcep dveh avtocest	2700+Lu+Li *)	2700+Lu+Li	600+Lu+Li **)
Priključek	2200+Lu+Li	1700+Lu+Li	600+Lu+Li
*) Lu - dolžina pojemalnega pasu Li - dolžina pospeševalnega pasu			
**) izvedljiva samo s prometnimi tablam na portalih			

Slika 7: Minimalne razdalje med razcepi in priključki.

Vir: : Predlog tehnične specifikacije TSC 03.343 »Večnivojski priključki in vozlišča«, poglavje 3.4, str. 10.

4.3 Parametri in podatki, pomembni za analizo ramp

Prometni spoj med rampo in avtocesto mora biti zgrajen tako, da posamezni elementi spoja zagotavljajo zadostno prometno varnost, preglednost in prepustnost ter s tem v čim večji meri izničijo konfliktnosti med posameznimi vozili, do katerih bi lahko prihajalo na takem območju. Tukaj gre predvsem za vozila, ki se želijo vključiti v prometni tok voznega pasu avtoceste. Za ta manever jim je potrebno zagotoviti zadostno dolžino pospeševalnega pasu, da se lahko čimbolj približajo hitrosti, kot ga ima prometni tok na glavni smeri, in si s tem olajšajo vključevanje vanj.



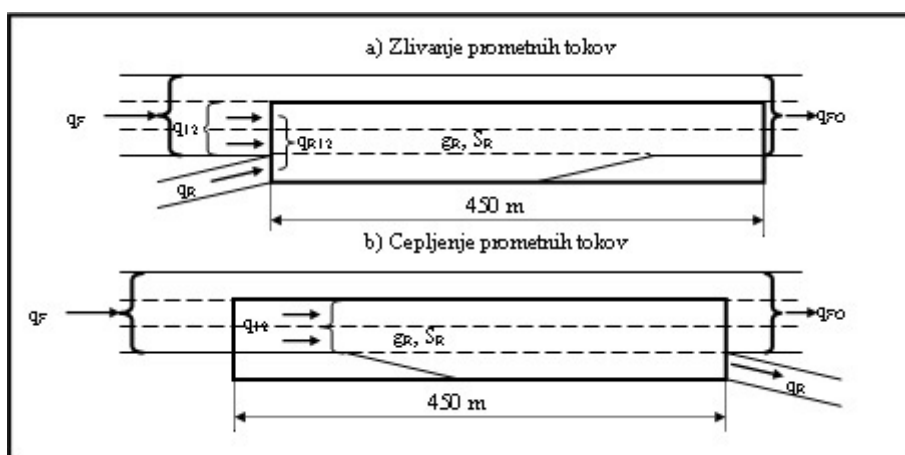
Slika 8: Oštevilčenje pasov na avtocestnem odseku.

Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council;
Washington, 2000, str. 13-21.

Vozila, ki se s pospeševalnega pasu vključujejo na avtocesto, se razvrščajo na prvi vozni pas. Enako velja tudi za vozila, ki jo želijo zapustiti. Ta se z drugih vozni pasov premikajo na prvega in potem zavijajo desno na zaviralni pas. Ti manevri so glavni vzrok za nastanek turbulenc v okolici ramp. Vozila, ki se bližajo takim območjem, se umikajo na leve vozne pasove in s tem omogočajo lažja zlivanja in cepljenja prometnih tokov z rampe na avtocesto. Študije kažejo, da vpliv zlivanja in cepljenja sega 450 m od točke zlivanja oziroma cepljenja in zajema uvozni oziroma izvozni pas ter prvi in drugi vozni pas na avtocesti.

Pretok na prvih dveh avtocestnih pasovih (q_{12}) je odvisen od:

- pretoka na rampi – q_R [EOV/h],
- pretoka na avtocesti pred območjem rampe – q_F [EOV/h],
- pretoka na protitočni oziroma sotočni rampi – q_U in q_D [EOV/h],
- oddaljenosti sosednje protitočne oziroma sotočne rampe – L_{up} in L_{down} [m],
- odstotka vozil, ki so na prvih dveh vozni pasovih tik pred območjem zlivanja – P_{FM} ,
- odstotka vozil, ki vozijo naravnost na prvih dveh vozni pasovih tik pred območjem cepljenja – P_{FD} ,
- gostote prometnega toka na območju ramp – g_R ,
- srednje prostorske hitrosti na območju ramp – S_R .



Slika 9: Prikaz pomembnejših parametrov za analizo ramp.

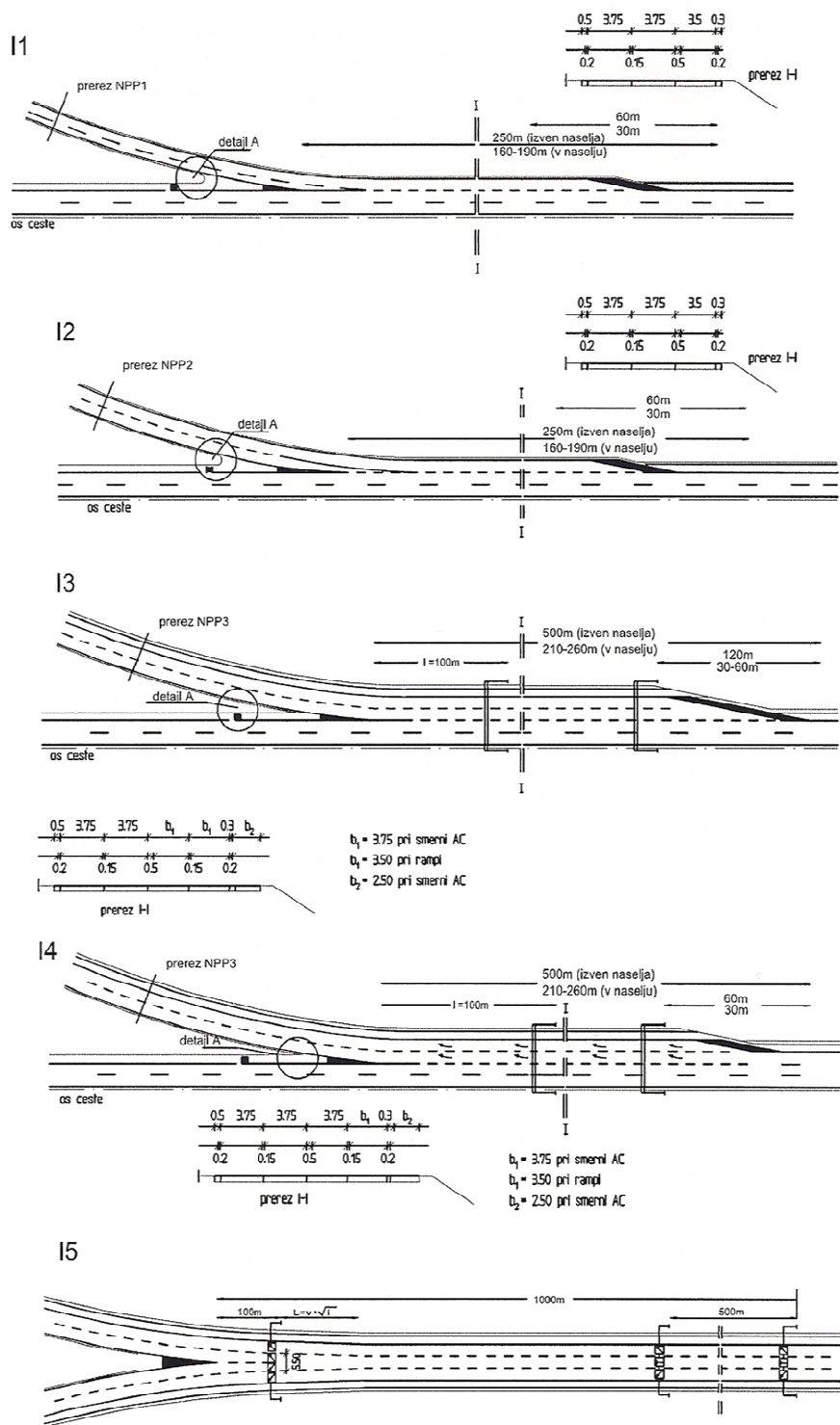
Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council;
 Washington, 2000, str. 25–2.

Pri preučevanju potrebnega števila pasov se privzame, da ima rampa le en vozni pas, razen v primerih, kadar je pričakovani prometni volumen večji od 1500 vozil/h. Kadar so rampe daljše od 500 m, moramo zagotoviti vsaj dva vozna pasova zaradi prehitevanja. Pri dodajanju ali odvzemanju prometnih pasov moramo to spremembo izvesti na primerni dolžini.

4.4 Območja cepljenja prometnih tokov – izvozne rampe

4.4.1 Izvozni pasovi na rampo

Glavna naloga izvoznih pasov je izvažanje z glavne smeri ter zmanjšanje hitrosti. Izvozi morajo biti oblikovani po standardnih tipih, ki zagotavljajo razpoznavnost in zadostno prometno prepustnost. Dolžino izvoznega pasu se meri od začetka prehodnega pasu (tj. talne označbe – široke bele diagonalne črte – točka A) do fizičnega odcepa rampe od glavne smeri (tj. začetka polne trikotne talne označbe – točka B). Izvozni pas torej sestavljata prehodni pas, ki je dolg od 30 do 60 m, odvisno od tega, ali se cesta nahaja v ali izven naselja, ter zaviralni pas, katerega dolžina je odvisna od večih parametrov. Skupna dolžina izvoznih pasov, ki so priporočene po TSC-ju, tako znaša 250 m za enopasovne in 500 m za dvopasovne izvoze. Kakšen tip izvoza bomo izbrali, je odvisno od profila izvozne rampe (slika 10).



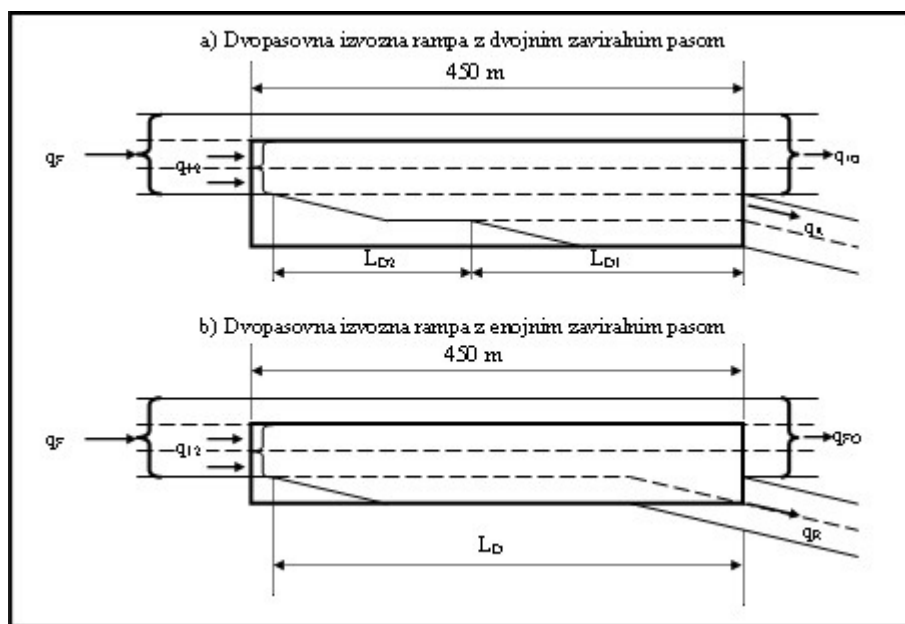
Slika 10: Različni tipi izvoznih pasov.

Vir: Predlog tehnične specifikacije TSC 03.343 »Večnivojski priključki in vozlišča«, poglavje 5.3.2.2,
 str. 26.

4.4.2 Dvopasovne izvozne rampe

V praksi se pri obravnavi dvopasovnih izvoznih ramp povečini srečujemo z naslednjima dvema oblikama (slika 11):

- Dvopasovna izvozna rampa z dvojnimi zaviralnimi pasovi se uporablja v primerih, ko je izvozni prometni tok zelo močan oziroma je le-ta močnejši od prometnega toka na glavni smeri.
- Dvopasovna izvozna rampa z enojnim zaviralnim pasom. Takšne izvedbe ramp omogočajo veliko prepustnost še posebej, kadar se na glavni smeri pravočasno ter pravilno označi dvosmerni izvoz. Ob tem je potrebno ob ustjih izvoza za dosego večje prepustnosti uporabiti dovolj velike radije krivin, saj s tem omogočimo večje hitrosti in boljšo preglednost nad cestnim dogajanjem.

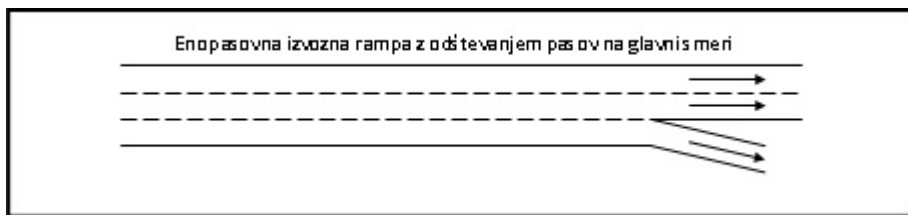


Slika 11: Dvopasovni izvozne rampe z dvojnimi ali enojnimi zaviralnimi pasovi.

Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council;
Washington, 2000, str. 25–15.

4.4.3 Izvozne rampe z odštevanjem prometnih pasov na glavni smeri

Kapaciteta izvozne rampe z odštevanjem pasov na glavni smeri je odvisna od njene oblike ter števila vozniških pasov. Sama kapaciteta območja cepljenja prometnih tokov na kapaciteto izvozne rampe nima vpliva.



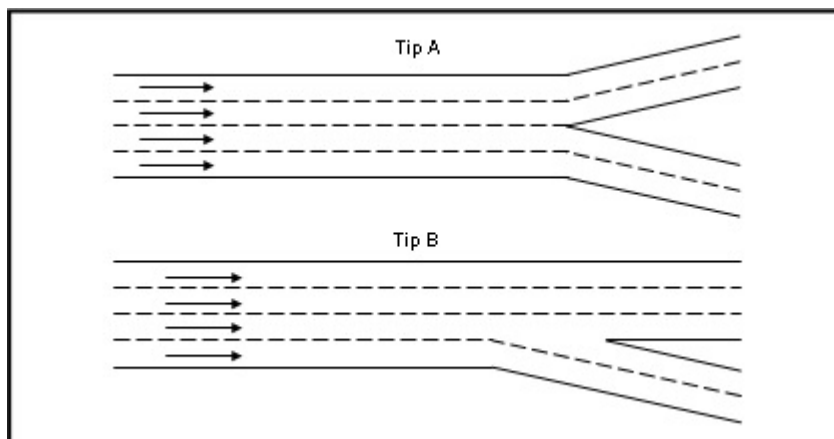
Slika 12: Izvozna rampa z odševanjem prometnih pasov na glavni smeri.

Vir: Učno gradivo za podiplomski študij – Območja ramp.

4.4.4 Razcep – cepljenje glavnih prometnih tokov

Pri cepljenju glavnih prometnih tokov v splošnem ločimo dva različna tipa izvedbe:

- V prvem primeru je število voznih pasov na glavni smeri pred območjem cepljenja enako vsoti voznih pasov na obeh krakih, ki zapuščata to območje (slika 13, Tip A).
- V drugem primeru je število pasov na glavni smeri pred območjem cepljenja za eno manjše, kot je vsota voznih pasov na obeh krakih, ki zapuščata to območje. (slika 13, Tip B).



Slika 13: Razcep – cepljenje glavnih prometnih tokov.

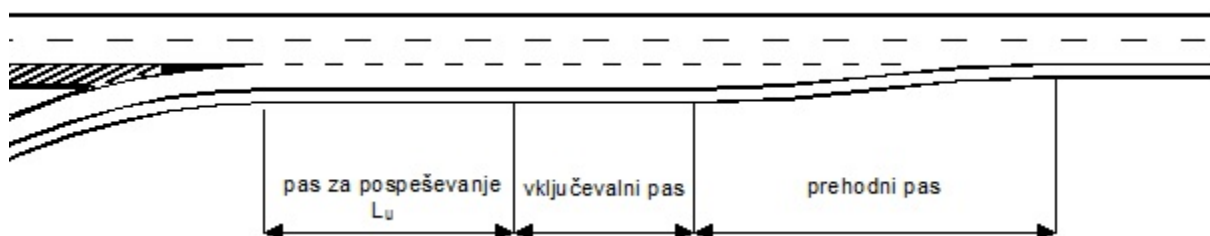
Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council;
 Washington, 2000, str. 25–16.

4.5 Območja zlivanja prometnih tokov – uvozne rampe

4.5.1 Uvozni pasovi na glavno smer

Pri oblikovanju uvozov z rampe na glavno smer je važno, da dosežemo čim manjše razlike v voznih hitostih med posameznimi vozili, saj to zelo pomembno vpliva na varnost in prepustnost. Zato moramo na vseh uvoznih pasovih predvideti tudi pospeševalne pasove. Uvozni pas je tako praviloma sestavljen iz pasu za pospeševanje, vključevalnega ter prehodnega pasu (slika 14).

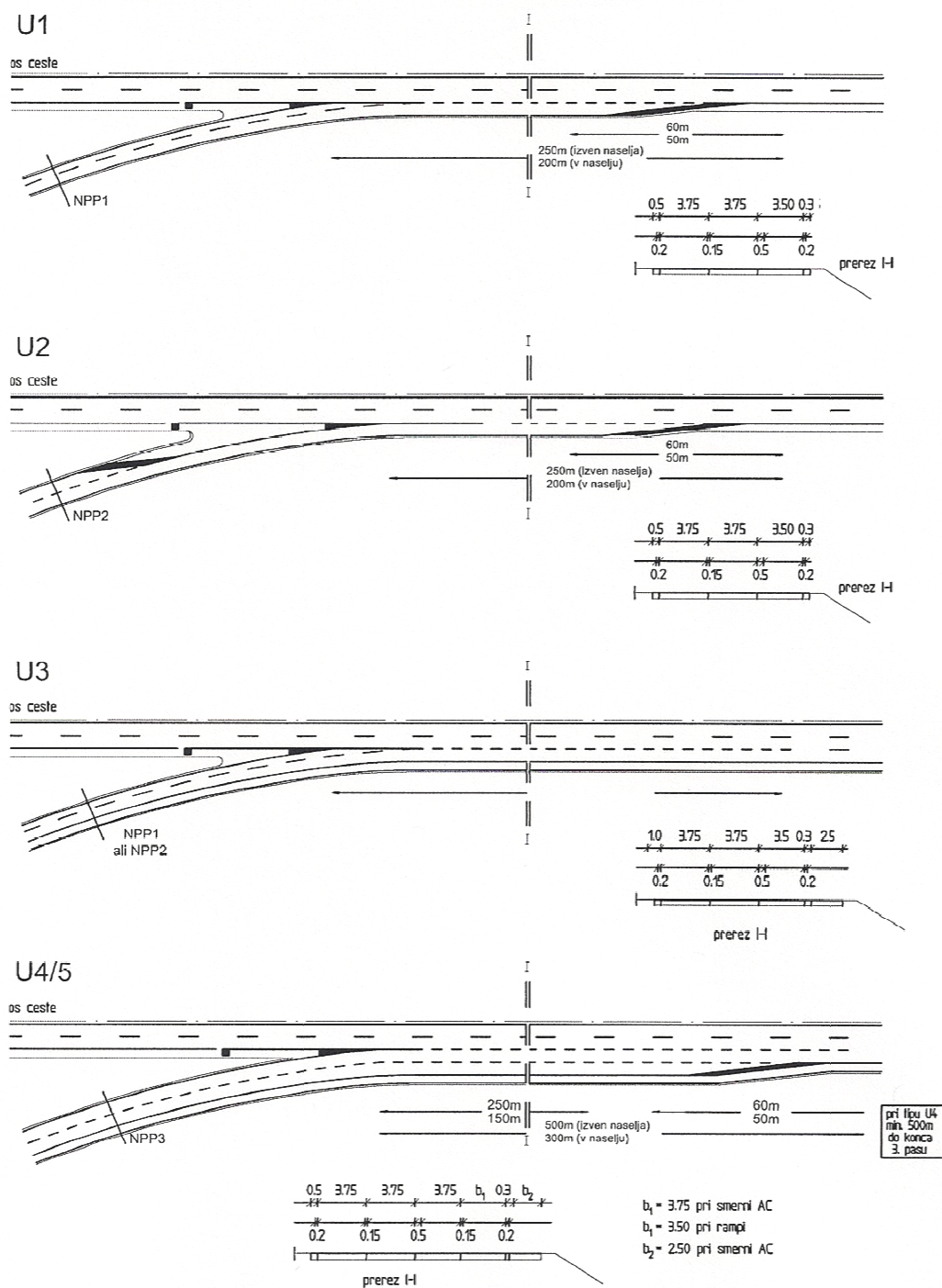
Pri uvoznih pasovih na slovenskih avtocestah se pogosto dogaja, da so le-ti prekratki. Ponavadi manjka zelo pomemben vključevalni del. Ta omogoča vozilom, da se, kadar dosežejo podobno vozno hitrost kot vozila na voznem pasu, varno vključijo nanj. Toda kadar ta vključevalni del manjka, se dogaja, da se vozila na koncu uvoznega pasu zaustavljajo ali se poskušajo na silo vrniti ali pa nadaljujejo svojo pot po odstavnem pasu do točke, kjer imajo prosto možnost vključitve v prometni tok voznega pasu. Posledica tega je lahko prometna nesreča.



Slika 14: Sestavni deli uvoznega pasu.

Vir: Švicarski standard - SVN 640 266, stran 6.

Tip uvoza na glavno smer je odvisen predvsem od normalnih profilov uvoznih ramp in normalnih profilov glavnih smeri (slika 15).



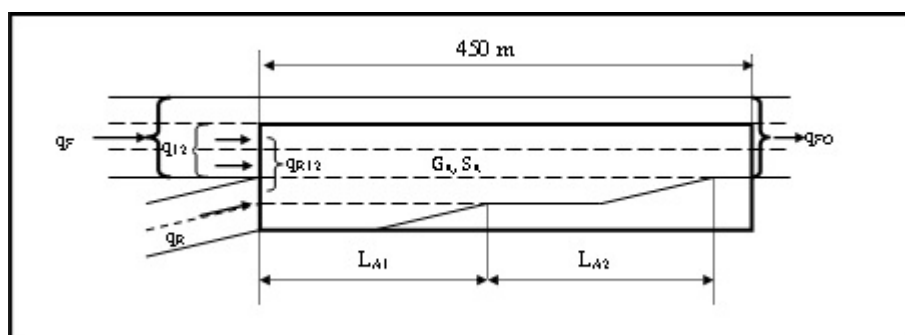
Slika 15: Tipi uvoznih pasov na glavno smer.

Vir: Predlog tehnične specifikacije TSC 03.343 »Večnivojski priključki in vozlišča«, poglavje 5.4.2.1, str. 30.

4.5.2 Dvopasovne uvozne rampe z dvopasovnimi pospeševalnimi pasovi

Obravnavanje dvopasovnih uvoznih ramp z dvopasovnimi pospeševalnimi pasovi se od enopasovnih uvoznih ramp razlikuje v dveh stvareh:

- odstotek vozil, ki ostane na prvih dveh voznih pasovih tik pred območjem dvopasovne rampe, je nekoliko večji;
- zaradi dveh pospeševalnih pasov in s tem daljše dolžine, ki omogoča vključevanje vozilom v glavni prometni tok, je gostota na območju zliivanja prometnih tokov manjša kot pri enopasovnih rampah.



Slika 16: Dvopasovna uvozna rampa.

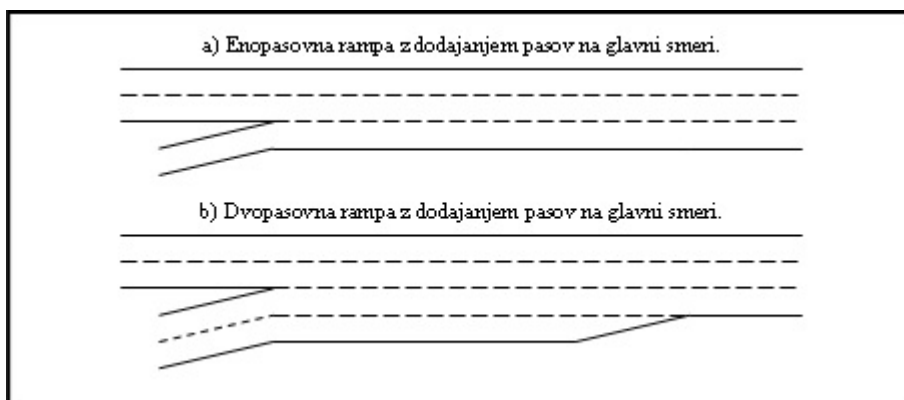
Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council;
Washington, 2000, str. 25-9.

Dvopasovne uvozne rampe z dvema pospeševalnima pasovoma nudijo višje nivoje uslug tako za glavni prometni tok kot tudi za prometni tok na rampah ob enakih količinah prometa na enopasovnih uvoznih rampah.

4.5.3 Uvozne rampe s seštevanjem prometnih pasov na glavni smeri

Uvozne rampe s seštevanjem pasov na glavni smeri uporabljamo takrat, kadar se prometni tok na glavni smeri odvija v takem obsegu, da vključevanje z uvozne rampe na glavno smer ni več mogoče.

Na sliki 17 sta prikazani enopasovna in dvopasovna rampa z dodanjem pasov na glavni smeri. Kadar trije pasovi niso potrebni, lahko tretji prišteti pas ukinemo 500 m po zaključku pospeševalnega pasu. Konec dodatnega pasu je potrebno pravočasno in pravilno označiti.



Slika 17: Enopasovna in dvopasovna uvozna rampa s seštevanjem prometnih pasov na glavni smeri.

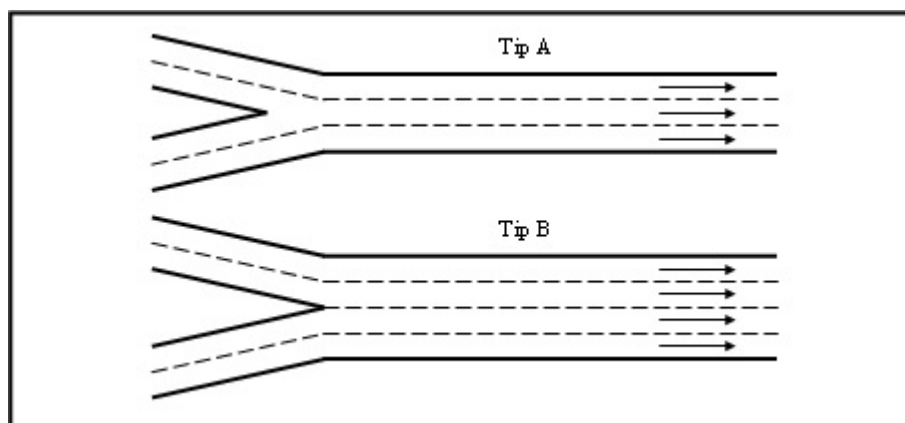
Vir: Učno gradivo za podiplomski študij – Območja ramp.

Kapaciteta takšnih ramp je odvisna od njihovih oblik ter števila voznih pasov in ne od kapacitete območja zlivanja prometnih tokov. Kapaciteto avtocestnega odseka za območjem zlivanja se v takem primeru obravnava kot osnovni odsek avtoceste, s tem da ustrezno povečamo število pasov.

4.5.4 Razcep – zlivanje glavnih prometnih tokov

Kadar imamo trikrako vozlišče avtocest (primer ko dvopasovna uvozna rampa prehaja direktno v glavno smer), izvedemo rampo kot enosmerno avtocesto. S tem spojimo dve avtocesti v eno samo. To lahko storimo na dva različna načina :

- Število voznih pasov po območju zlivanja zmanjšamo za eno, kot je vsota voznih pasov na obeh priključnih krakih. Pri tem se morajo vozila iz desnega voznega pasu levega priključnega kraka zlivati z vozili, ki prihajajo z levega voznega pasu po desnem priključnem kraku v skupni vozni pas glavne smeri (slika 18, Tip A).
- Število voznih pasov ohranimo enako, kot je vsota voznih pasov na obeh krakih, ki se združujeta. Za nemoteno odvijanje prometnega toka na obeh priključnih krakih je ta varianta boljše od prve (slika 18, Tip B).



Slika 18: Razcep – zlivanje glavnih prometnih tokov.

Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council;
Washington, 2000, str. 25–10.

4.6 Hitrost prostega prometnega toka na rampah

Hitrost prostega prometnega toka je povprečna hitrost osebnega vozila med prometnim tokom nizkega do srednjega pretoka (do 1300 EO/h/pas). Pri takšnem pretoku prostega prometnega toka so hitrosti skoraj konstantne. Na rampah so hitrosti prostega prometnega toka odvisne od naklona in tipa rampe in se gibljejo med 30 in 80 km/h. V primeru, da natančnih podatkov nimamo na voljo, lahko privzamemo vrednost 55 km/h.

4.7 Korekcijski faktorji

4.7.1 Faktor urne konice

Faktor urne konice (f_{uk}) nam pove, kako se prometni tok spreminja znotraj ure. Na avtocestah se ta faktor giblje med vrednostmi 0,80 do 0,95. Nižji faktor je značilen predvsem za ruralne avtoceste, višji pa za mestne in obmestne avtoceste.

4.7.2 Faktor težkih tovornih vozil

Odstotek težkih tovornih vozil v prometnem toku precej vpliva na pretok. Avtocestni promet in s tem tudi promet na rampah sta sestavljena iz različnih kategorij vozil, ki jih moramo

prevesti na število osebnih vozil na uro na en pas. Pretvorbo lahko izvedemo s sledečo enačbo:

$$f_{TV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)} \quad (4.1)$$

kjer je:

f_{TV} = faktor tovornih vozil,

P_T , P_R = delež kamionov, avtobusov in rekreacijskih vozil (avtodomi, osebna vozila s kamp prikolicami ...) v prometnem toku,

E_T , E_R = ekvivalent osebnih vozil za kamione, avtobuse in rekreacijska vozila v prometnem toku.

V praksi upoštevamo vpliv kamionov in avtobusov na prometni pretok kot enakovreden, saj dosedanje študije niso pokazale bistvenih razlik med njimi. V primeru, da je število rekreacijskih vozil napram tovornim vozilom vsaj petkrat manjše, lahko vpliv rekreacijskih vozil zanemarimo, saj v večini primerov tovornjaki nastopajo kot edina težka tovorna vozila.

Za izračun faktorja težkih tovornih vozil moramo najprej poznati delež vsake vrste težkih tovornih vozil P_T in P_R , nato pa za vsak kamion, avtobus in rekreacijsko vozilo določimo faktorja E_T in E_R , ki predstavljata število osebnih vozil, ki bi zasedla enak delež cestne kapacitete kot en kamion, avtobus ali rekreacijsko vozilo pod danimi cestno-prometnimi pogoji.

Vpliv težkih tovornih vozil na prometni tok je predvsem odvisen od naklona vertikalnega poteka trase in od sestave prometa (deleža težkih tovornih vozil v njem).

4.7.3 Vpliv faktorja tipa voznikov

V primeru kadar so v prometnem toku prisotni le vozniki, ki dobro poznajo obravnavani odsek in so vajeni vožnje po njem, privzamemo, da je vrednost korekcijskega faktorja glede na tip voznika f_P enak 1,00. V nasprotnem primeru, ko imamo na cesti prisotne tudi razne rekreacijske in vikend voznike (ti se na cestah pojavljajo predvsem ob vikendih in v turističnih območjih), ki vplivajo na zmanjšanje kapacitete na posameznih odsekih, pa se vrednost tega koeficienta f_P giblje med 0,85 in 0,99.

4.8 Izračun ekvivalentnega pretoka

Če želimo določiti nivo uslug za določen odsek ceste, moramo najprej vedeti, kakšen je ekvivalentni pretok vozil, izražen v enotah osebnih vozil na uro za 15-minutno urno konico. Urni pretok mora odražati vpliv težkih vozil, časovno nihanje prometnega toka znotraj ure ter značilnosti voznikov. Ko imamo vse te podatke na voljo, lahko pretvorimo pretok števila vozil na uro (voz/h) v ekvivalentni pretok osebnih vozil na uro (EOV/h). Izračunamo ga po naslednji enačbi:

$$q_{EKV} = \frac{V_i}{f_{uk} * f_{TV} * f_P} \quad (4.2)$$

kjer je:

q_{EKV} = ekvivalentni pretok osebnih vozil [EOV/h],

V_i = urni volumen (pretok) v eni smeri [vozi/h],

f_{uk} = faktor urne konice,

f_{TV} = faktor težkih vozil,

f_P = faktor tipa voznikov.

4.9 Kapaciteta ramp

Kapaciteto ramp določamo s pomočjo tabele 1.

Tabela 1: Kapaciteta ramp.

Hitrost prostega toka na rampi – S_{FR} [km/h]	Kapaciteta [EOV/h]	
	Enopasovna rampa	Dvopasovna rampa
> 80	2200	4400
> 65–80	2100	4100
> 50–65	2000	3800
≥ 30–50	1900	3500
< 30	1800	3200

Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council; Washington, 2000, str. 25–4.

Nivo usluge F nastopi, ko je izpolnjen eden izmed naslednjih pogojev:

- če je presežena kapaciteta osnovnega avtocestnega odseka pred ali po izvozni rampi,
- če je presežena kapaciteta izvozne rampe.

Kadar je pretok na prvih dveh vozniških pasovih avtoceste večji od maksimalnega želenega, kapaciteti avtocestnega odseka in rampe pa nista preseženi, lahko pride le do lokalnega povečanja gostote, promet pa se bo še vedno odvijal pod stabilnimi pogoji. Nivo uslug se v takem primeru določi glede na doseženo gostoto.

4.10 Določevanje nivoja uslug

Za določitev nivoja uslug na območjih zlivanja in cepljenja prometnih tokov se poslužujemo primerjave med izračunano gostoto prometnega toka in idealno gostoto, ki je določena za posamezni nivo usluge. Kadar povpraševanje preseže kapaciteto posameznega odseka, velja za to območje nivo usluge F. Pojavi se lahko v primerih, ko je presežena kapaciteta osnovnega odseka pred ali po območju rampe ali kadar je presežena kapaciteta same rampe.

Tabela 2: Mejne vrednosti gostot za posamezne nivoje uslug.

Nivo usluge	Gostota [EOV/km/pas]
A	≤ 6
B	$> 6-12$
C	$> 12-17$
D	$> 17-22$
E	> 22
F	Povpraševanje presega kapaciteto.

Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council; Washington, 2000, str. 25–5.

- Nivo usluge A predstavlja neoviran prometni tok. Vozila, ki zapuščajo oziroma prihajajo na glavno smer, ne vplivajo na hitrost glavnega prometnega toka, hkrati pa tudi njim samim ni potrebno bistveno spreminjati svoje hitrosti za izvedbo želenega manevra.
- Nivo usluge B. Vozila, ki želijo z uvozne rampe zapeljati na glavno prometno smer, so z gostoto prometa le delno ovirana in morajo za izvedbo tega manevra nekoliko

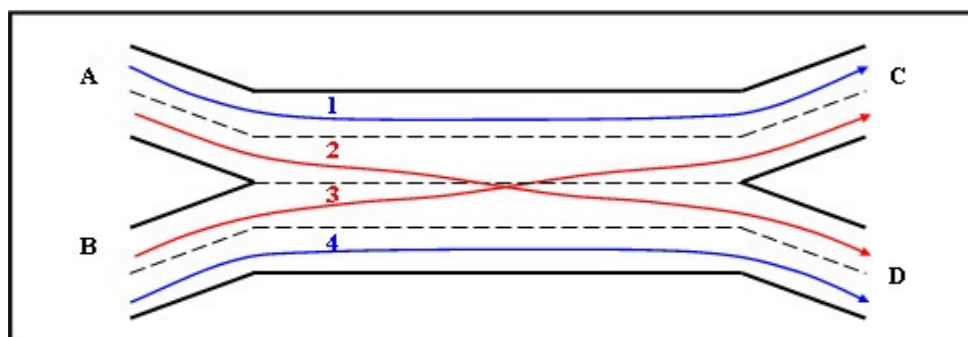
upočasniti svojo hitrost. Tista vozila, ki zapuščajo glavno smer, lahko na izvozno rampo zapeljejo, ne da bi zmanjšala hitrost vožnje. Prometno dogajanje na območju ramp ne vpliva na vozno hitrost glavnega prometnega toka.

- Nivo usluge C. Prometne operacije se odvijajo v pogojih stabilnega prometnega toka. Hitrost in možnost manevriranja je omejena s povečanim številom vozil. Na območju zlivanja prometnih tokov morajo vozila z uvozne rampe za uspešno izvedbo manevra vključevanja zmanjšati hitrost vožnje, s čimer se posledično zmanjša tudi hitrost vozil na prvih dveh voznih pasovih glavne smeri. Do zmanjšanja hitrosti lahko pride tudi na območjih cepljenja prometnih tokov.
- Nivo usluge D. Stanje prometnega toka se približuje nestabilnemu toku in hitrosti se zmanjšajo. Vozila, ki uvažajo, ter vozila na prvih dveh voznih pasovih avtoceste, morajo pogosto upočasnjevati, da se izognejo konfliktom na območju zlivanja prometnih tokov. Do občutnega upada vozne hitrosti pride tudi na območju izvoznih ramp. Vpliv prometnega dogajanja na območju ramp zajame vse vozne pasove na glavni prometni smeri.
- Nivo usluge E. Pretok doseže vrednost kapacitete. Zmanjšanje hitrosti na območju rampe ter na prvih dveh voznih pasovih glavne prometne smeri je občutno. Do nastanka kolon prihaja le na rampah, promet na glavni prometni smeri se še vedno odvija tekoče.
- Nivo usluge F. Zaradi povečanega pretoka na glavni prometni smeri se morajo vozila na pospeševalnem pasu zaustaviti, preden lahko izvedejo zeleni manever. Posledica tega so tako kolone na rampah kakor tudi občasni zastoji na glavni prometni smeri.

5 OBMOČJA PREPLETANJA

Prepletanje je definirano kot križanje dveh ali več prometnih tokov, ki se gibljejo v isti smeri na določeni razdalji L (območje prepletanja), brez uporabe svetlobno signalnih naprav. Na območju prepletanja prihaja do turbulenc v prometnem toku, zato je potrebno tem območjem nameniti posebno pozornost že v fazi načrtovanja.

Na sliki 19 je prikazano enostavno prepletanje, kjer sta tokova 2 in 3 prepletajoča, 1 in 4 pa neprepletajoča prometna tokova.



Slika 19: Območje prepletanja.

Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council; Washington, 2000, str. 13–14.

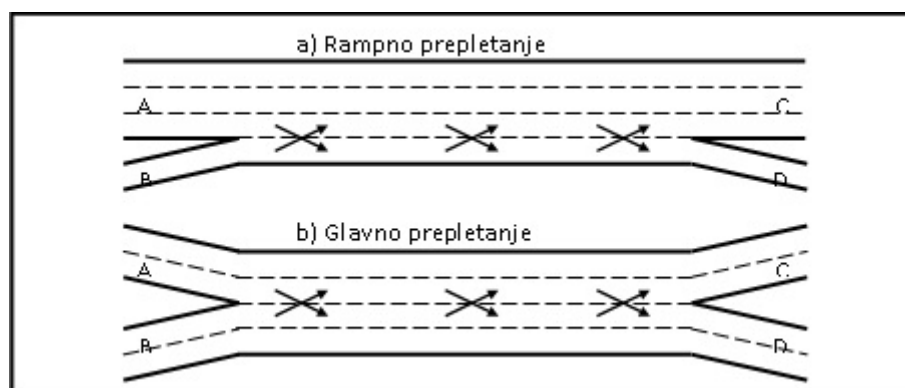
Najpomembnejše geometrijske karakteristike, ki v veliki meri vplivajo na operacijo prepletanja prometnih tokov so naslednje: oblika, širina in dolžina območij prepletanja.

5.1 Oblika območij prepletanja

Za najpomembnejšo geometrijsko karakteristiko, ki znatno vpliva na manever prepletanja, velja oblika območij prepletanja. V splošnem ločimo tri tipe prepletanja, glede na to, koliko operacij prepletanja mora opraviti vozilo, da se razvrsti na tisti vozni pas, ki ga bo odpeljal v želeno smer.

5.1.1 Tip prepletanja A

Za tip prepletanja A velja, da morajo prepletajoča vozila opraviti operacijo prepletanja enkrat. Slika 20 prikazuje dve različici takšnega prepletanja.



Slika 20: Tip prepletanja A.

Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council;
Washington, 2000, str. 13–15.

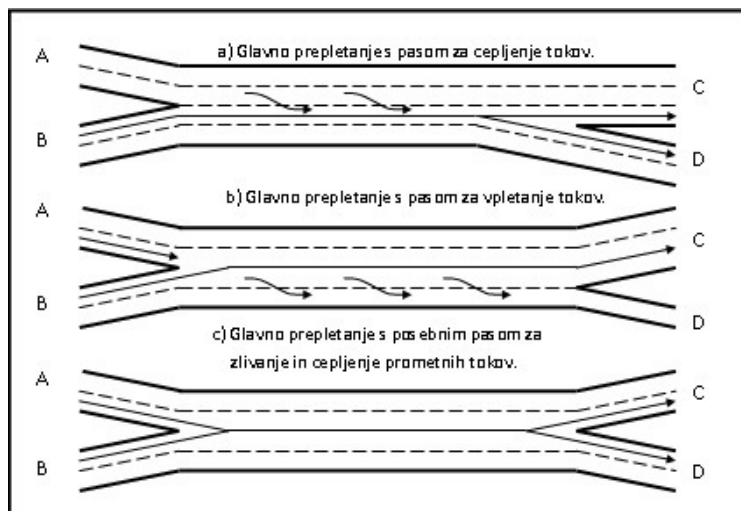
Rampno prepletanje se pojavi tam, kjer si zaporedno sledita vstopna in izstopna rampa, ki sta medsebojno povezani s pomožnim pasom. V tem primeru se morajo vstopna vozila razvrstiti s pomožnega pasu na notranji vozni pas glavne smeri, tista, ki želijo zapustiti glavno smer, pa se morajo z notranjega voznega pasu razvrstiti na pomožnega (slika 20, primer a).

O glavnem prepletanju govorimo takrat, ko so vse smeri enakovredne. Na sliki 20, primer b imamo v obeh smereh po dva vstopna in dva izstopna pasova. Tokova AD in BC sta prepletajoča, AC in BD pa neprepletajoča tokova.

V primerih rampnega prepletanja so razlike v hitrostih med prepletajočimi in neprepletajočimi vozili precej velike. Pri glavnem prepletanju te razlike niso tako izrazite, saj so večpasovni priključki kot tudi izvozne smeri projektirani za enake hitrosti, vozila pa se zlivajo in cepijo po t. i. sistemu zadrge.

5.1.2 Tip prepletanja B

Izvedba prepletanja v obliki tipa B je uporabna, kadar imamo v eni smeri močnejše prepletajoče prometne tokove. Tip prepletanja B zajema samo primere glavnega prepletanja, kjer so vstopne in izstopne smeri vedno večpasovne. Močnejšim prometnim tokovom se določi direktni pas. Vozilom v smeri BC zato ni potrebno menjavati voznega pasu, smer AD pa zahteva vsaj enkratno menjavo voznega pasu (slika 21). To sta tudi glavni razliki v primerjavi s tipom prepletanja A.

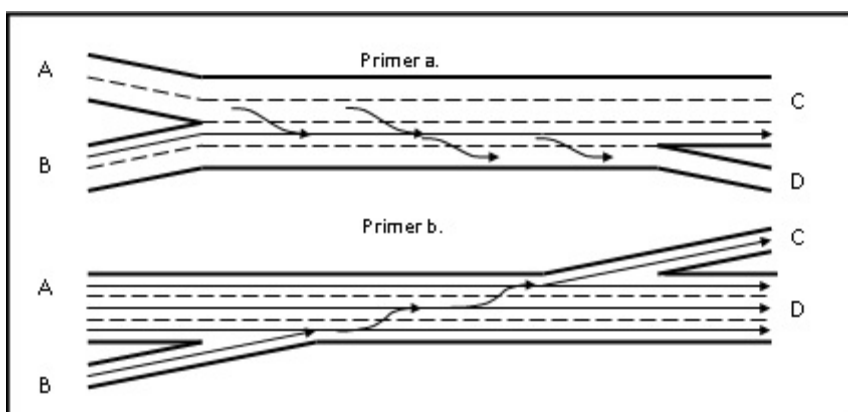


Slika 21: Tip prepletanja B.

Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council; Washington, 2000, str. 13–16.

5.1.3 Tip prepletanja C

Za tip prepletanja C je značilno, da je v eni smeri možno prepletanje brez menjave voznega pasu (smer BC, slika 22, primer a), v drugi smeri pa je potrebno ta manever izvesti vsaj dvakrat (smer AC, slika 22, primer a).



Slika 22: Tip prepletanja C.

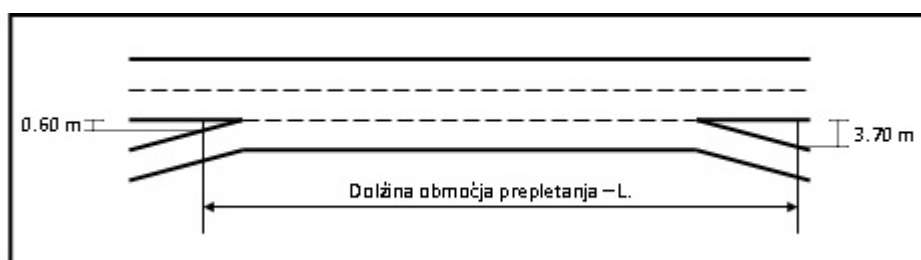
Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council; Washington, 2000, str. 13-17.

Primer a na sliki 22 je uporaben v situacijah, ko so v smeri AD šibki prepletajoči prometni tokovi, v smeri BC pa precej močni. V tem primeru ni zlivanja in cepljenja pasov, saj imamo en direkten prometni pas, ki je namenjen večjemu od obeh prepletajočih tokov.

Primer b na sliki 22 se imenuje dvostransko rampno prepletanje, čigar izvedba se v praksi odsvetuje, saj morajo prepletajoča vozila večkrat prečkati vozne pasove, s tem pa ovirajo vsa neprepletajoča vozila. To vodi do nepotrebnih turbulenc na takem območju in do potencialno nevarnih situacij.

5.2 Dolžina območij prepletanja

Dolžina območij prepletanja (L) se meri od točke zlivanja prometnih tokov, kjer sta robnika glavne in vpletajoče smeri med seboj oddaljena 0,60 m, in do točke, kjer sta robnika glavne in izpletajoče smeri med seboj oddaljena 3,70 m (slika 23). Dolžine prepletanja morajo biti dovolj velike, saj se v nasprotnem primeru pogostost menjavanja voznih pasov na dolžinsko enoto preveč poveča, kar lahko vodi do nepotrebnih turbulenc in zgostitev v prometnem toku. Prav tako pa dolžine prepletanja ne smejo biti prevelike. Pri dolžinah, večjih od 750 m pride do segregacije prometnega toka, česar pa ne upošteva nobena od predstavljenih metod prepletanja. Zato je po HCM-u za daljša območja primerneje uporabiti metodologijo, ki ločeno obravnava vstopne in izstopne rampe.



Slika 23: Dolžina območja prepletanja.

Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council;
Washington, 2000, str. 13-18.

5.3 Širina območij prepletanja

Tretja pomembna geometrijska karakteristika, ki v veliki meri vpliva na operacijo prepletanja prometnih tokov je širina območij prepletanja. Izraža se s številom voznih pasov v območju

prepletanja ter z razmerjem med količinskim izkoriščanjem teh pasov s prepletajočimi in neprepletajočimi prometnimi tokovi.

5.4 Tip operacije

Prometna operacija prepletanja je lahko omejena ali neomejena. Kadar oblika omejuje prepletajočim vozilom, da bi dosegla enako hitrost kot neprepletajoča, govorimo o prepletanju, ki je omejeno z obliko. Če oblika območja prepletanja prepletajočim vozilom ne omejuje uporabe potrebnega števila pasov za doseg uravnoteženega stanja hitrosti, pa je to neomejeno prepletanje. V tem primeru je razlika med povprečnimi voznimi hitrostmi obeh kategorij manjša od 10 km/h.

Za določitev tipa operacije moramo napraviti primerjavo naslednjih dveh parametrov:

- N_W število pasov, ki jih morajo uporabljati prepletajoča vozila, če želijo doseči uravnoteženo stanje (hitrosti prepletajočih in neprepletajočih vozil morata biti približno enaki),
- $N_{W_{max}}$ največje število pasov, ki jih še smejo uporabljati prepletajoča vozila pri določeni obliki območja prepletanja.

Posamezne vozne pasove si lahko delijo tako prepletajoča kot tudi neprepletajoča vozila.

- Kadar je $N_W \leq N_{W_{max}}$ imamo neomejeno stanje in je le-to uravnoteženo. V hitrosti med prepletajočimi in neprepletajočimi vozili ni bistvene razlike.
- V primeru ko je $N_W > N_{W_{max}}$, imamo omejeno stanje. Tu so hitrosti med prepletajočimi in neprepletajočimi vozili bistveno različne.

5.5 Analiza območij prepletanja

Za določitev urnega pretoka vozil se poslužujemo enačbe 4.2, v kateri je upoštevan vpliv težkih vozil, nihanje prometa znotraj ure ter faktor tipa voznikov. Za nadaljnjo analizo moramo določiti še tip območja prepletanja in tip prometne operacije (omejena, neomejena). Nato določimo hitrosti prepletajočih in neprepletajočih vozil, iz katerih lahko dobimo povprečno prostorsko hitrost vseh vozil na območju prepletanja. Nazadnje izračunamo še gostoto, s katero lahko določimo nivo uslug za obravnavano območje prepletanja.

5.6 Nivoji uslug za območja prepletanja

V tabeli 3 so podane vrednosti, ki jih uporabljamo za določevanje nivoja uslug na območju prepletanja.

Tabela 3: Nivoji uslug za območja prepletanja.

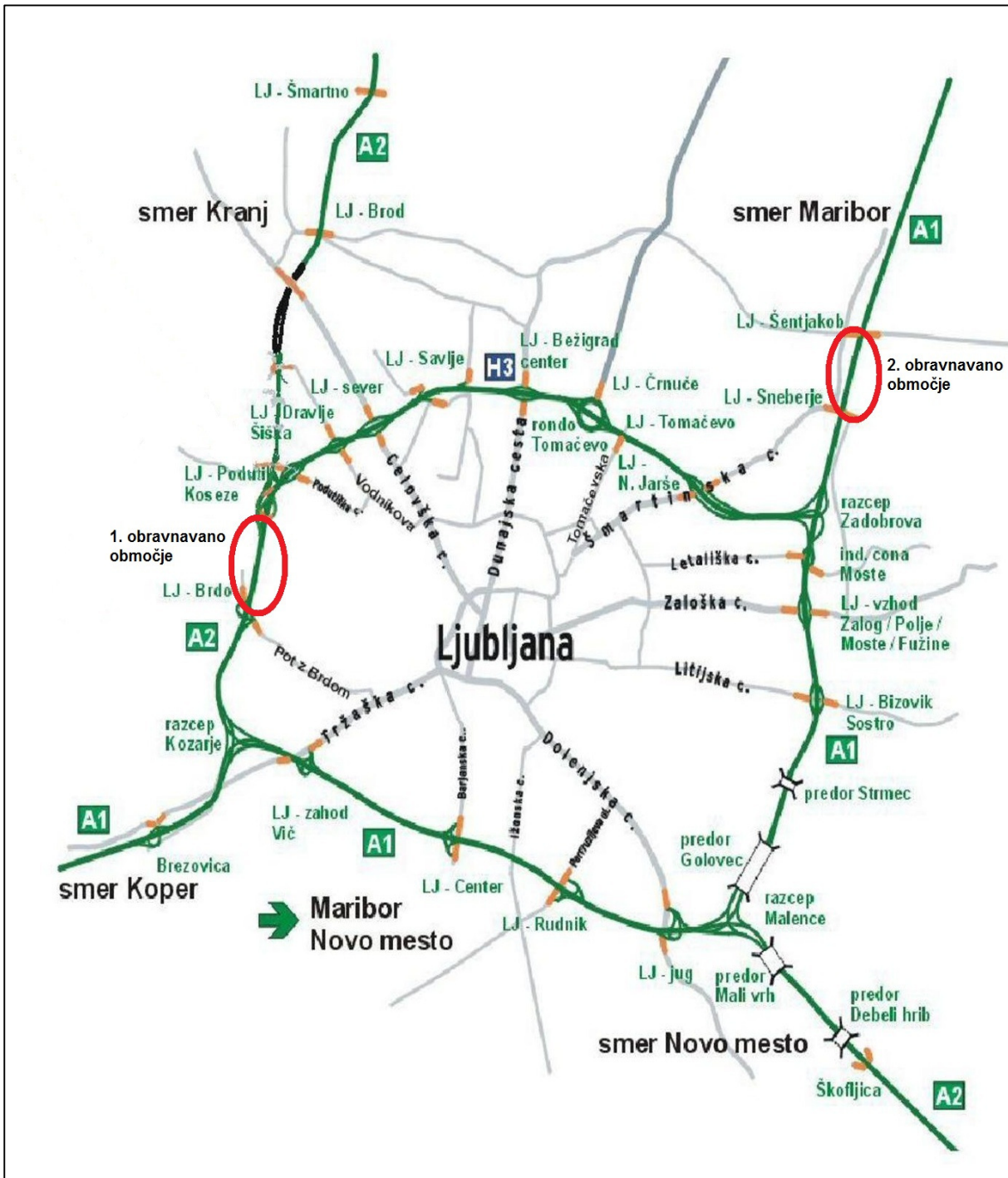
Nivo usluge	Gostota [EOV/km/pas]	
	Območje prepletanja na avtocesti	Območje prepletanja na večpasovni cesti
A	≤ 6	≤ 8
B	$> 6-12$	$> 8-15$
C	$> 12-17$	$> 15-20$
D	$> 17-22$	$> 20-23$
E	$> 22-27$	$> 23-25$
F	> 27	> 25

Vir: HCM2000; Transportation Research Board, National Research Council; Washington, 2000, str. 24-3.

5.7 Kapaciteta območij prepletanja

Kapaciteta območja prepletanja je odvisna od večih parametrov, med glavne spadajo: oblika območja prepletanja, število pasov, hitrost prostega prometnega toka, dolžina območja prepletanja, razmerje med pretokom prepletajočih vozil in skupnim pretokom. Kapaciteta posameznega območja je dosežena, ko gostota doseže vrednosti na meji med nivojema uslug E in F (tabela 3).

6 ODSEK LJ. BRDO–KOSEZE



Slika 24: Ljubljanski cestni obroč.

Vir:

http://www.dars.si/Dokumenti/3_cestninski_sistem/Prikljucki%20na%20AC%20sistemu%20september_2009.pdf

Empirični del naloge bo sestavljen iz natančnejše obravnave dveh avtocestnih odsekov ter njima pripadajočih priključkov. Gre za odseka Lj. Brdo–Koseze in Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje, ki veljata za prometno najbolj obremenjena v Republiki Sloveniji in sta zato tudi primerna za obravnavo. Na takšnih odsekih zaradi zelo velikih prometnih obremenitev rado prihaja do prometnih zastojev in navadno ni težko ugotoviti, kje so vzroki za nastanek problema. Prvi odsek smo si izbrali zato, ker so bile na tem mestu že izvedene spremembe, ki so, kot bomo videli v nadaljevanju, ugodno vplivale na odvijanje prometnega toka na tem delu avtoceste. Drugi odsek na takšne spremembe še čaka, zato bomo v praktičnem delu naloge pokazali, da bi lahko z ukrepi, ki bi bili tako finančno kot fizično minimalni, dosegli izboljšave v odvijanju prometnega toka ter s tem tudi povečanje prometne varnosti.

Prvi obravnavani odsek Lj. Brdo–Koseze se nahaja na ljubljanski zahodni obvoznici, ki se razprostira med razcepoma Kozarje in Koseze z vmesnim priključkom Brdo. Ta del avtocestne povezave ljubljanskega cestnega obroča nosi oznako A-2 in se na južnem delu v razcepu Kozarje nadaljuje v primorski avtocestni krak (A-1) ter v južno ljubljansko obvoznico (A-1). V razcepu Koseze se nadaljuje proti predoru Šentvid in naprej v gorenjski avtocestni krak (A-2) ter na severno ljubljansko obvozno pot, ki je kategorizirana kot hitra cesta (H-3).

Zahodna ljubljanska obvoznica sodi med prometno najbolj obremenjene ceste v Sloveniji, saj po podatkih DRSC-ja povprečni letni dnevni promet (PLDP) za leto 2011 v obeh smereh že krepko presega 72.000 vozil na dan. Nanjo se steka promet z obeh glavnih smeri slovenskega avtocestnega križa, ki zajema velik del tranzitnega prometa, prevzema pa tudi mestni obvozni promet. Pri tako velikih prometnih obremenitvah so zato v koničnih urah kapacitete posameznih odsekov in priključkov presežene, s tem pa se na zelo nizko raven spusti tudi stopnja prometne varnosti. Ker je načrtovana planska doba že presegla svoje okvire, v času finančne in gospodarske krize pa ni pričakovati večjih posegov, ki bi stanje izboljšali, lahko predlagamo le manjše popravke v prometni signalizaciji in dosledno spoštovanje prometnih predpisov. Ob nenehnem naraščanju prometa lahko takšne korekcije prometne signalizacije vsaj za nekaj časa izboljšajo prometno stanje na kritičnih odsekih.

6.1 Prometna ureditev odseka Lj. Brdo - Koseze

Zaradi velikih prometnih obremenitev med razcepoma Kozarje in Koseze je v območju priključka Lj. Brdo pred spremembo prometne ureditve v koničnih urah prihajalo do zastojev. Razdalje med priključkom Lj. Brdo in razcepom Koseze so bile manjše od predpisane

minimalne razdalje $600\text{m} + l_u + l_i$. Zaporna ploskev je bila dolga le 461 m, prekratek pa je bil tudi pospeševalni pas od priključka Lj. Brdo v dolžini 227 m, kar je manj od predpisanih minimalnih 250 m. Zaradi prekratke dolžine pospeševalnega pasu je v samem območju priključka prihajalo do nasilnega vrivanja številnih vozil v zelo gost prometni tok na AC A-2. To je povzročalo precejšnje zgostitve prometa na tem območju, kar je privedlo do hitrih, nenavadnih in velikih sprememb voznih hitrosti najprej na voznem pasu, nato pa še na prehitevalnem, kamor so se umikala vozila z voznega pasu. Zaradi prekratkih dolžin, ki niso omogočala varnega vključevanja vozil s priključne rampe, je prihajalo do nepotrebnih turbulenc v prometnem toku in posledično tudi do prometnih nesreč. Dogajala so se predvsem naletna trčenja med samimi vozili, nekaj pa je bilo tudi trkov v naletno varnostno ograjo vozil, ki so se poskušala umakniti vrivajočim se vozilom na prehitevalni pas.

Zaradi neizpolnjevanja pogojev minimalne razdalje med priključki, ki mora biti vsaj $600\text{m} + l_u + l_i$, prekratke dolžine pospeševalnega pasu in slabšanja prometnih razmer iz meseca v mesec, je bil s strani Prometno tehniškega inštituta (PTI) Fakultete za gradbeništvo in geodezijo že v začetku leta 2008 podan predlog, da se priključek Lj. Brdo in razcep Koseze poveže s t. i. pomožnim pasom. To je pomenilo, da je potrebno odstraniti zaporno ploskev v dolžini 461 m, dodatno utrditi in preplastiti obstoječi odstavni pas v celotni dolžini 461 m ter novi pomožni pas opremiti s horizontalno signalizacijo, torej ga talno obeležiti s kratko široko prekinjeno črto (V-5.1) iz 37. člena Pravilnika o prometni signalizaciji in prometni opremi na javnih cestah (Uradni list RS 46/2000). Obenem naj bi uredili odstavno nišo, ki se nahaja med priključkom Lj. Brdo in razcepom Koseze, v območje SOS in jo ustrezno označili.



Slika 25: Odsek Lj. Brdo–Koseze pred spremembo prometne ureditve.

Vir: Traffic design.

Od predloga do končne realizacije je preteklo kar nekaj časa. Tako je bil preurejeni odsek od priključka Lj. Brdo do razcepa Koseze predan v uporabo prometu šele konec leta 2010. Spremenjena je bila le horizontalna signalizacija, kjer so izbrisali obstoječo in zarisali novo, ki je bila predlagana v skladu s Pravilnikom o prometni signalizaciji in opremi na javnih cestah. Novega pomožnega pasu niso niti dodatno utrjevali niti na novo preplastili. Zato se po dobrem letu uporabe že kažejo poškodbe in neravnine na vozni površini. Odstavni pasovi so namreč projektirani za mnogo manjše prometne obremenitve in so izdelani iz tanjših nosilnih plasti. Uporabljeni so tudi cenejši materiali, ki so posledično slabše kakovosti in imajo krajšo življenjsko dobo uporabnosti. Odstavna niša je bila urejena v območje za ustavitve vozil v sili, vendar se jo s strani voznikov še vedno povečini uporablja za počivališče, kar se je dogajalo tudi že v preteklosti. Delno je to razumljivo, saj so v veliki meri kapacitete počivališč ob slovenskih avtocestah marsikje že močno presežene. Šoferjem tovornjakov tako ne preostane drugega, kot da obvezni postanek napravijo kar na odstavnih nišah. Prav zato bi morali na tem mestu postaviti še dodatno tablo, ki bi izrecno prepovedovala vsakršno ustavljanje in parkiranje, razen za vozila v okvari. Obenem bi morali poskrbeti za dovolj parkirišč na urejenih počivališčih. Tako se vozniki ne bi več mogli izgovarjati na višje sile, pristojni organi pa bi morali preverjati, ali se prometne predpise tudi dejansko upošteva.



Slika 26: Odsek Lj. Brdo–Koseze po spremembi prometne ureditve.

Vir: Lastni vir

6.2 O prometnih podatkih obravnavanega odseka pred in po spremembi prometne ureditve

Pred pričetkom dela je bilo potrebno pridobiti prometne podatke, ki so ključnega pomena za izdelavo primerjave odvijanja prometa pred in po spremembi prometne ureditve na obravnavanem odseku. Ti podatki so bili pridobljeni iz sistema za nadzor in vodenje prometa ter ročnega štetja, ki je bilo opravljeno na kraju samem.

Preko sistema za nadzor in vodenje prometa (SNVP) je mogoče pridobiti različne vrste podatkov, ki jih lahko s pridom uporabimo za nadaljnje analize. Podatki se nepretrgoma zbirajo preko mikrovalovnih detektorjev in detekcijskih kamer, ki so nameščeni na merilnih mestih oz. portalih vzdolž obravnavanega avtocestnega odseka. V primeru kritičnih situacij se lahko voznike preko portalov obvešča in vodi. S tem se zmanjša možnost nastanka zastojev, poveča pa se prometna varnost.



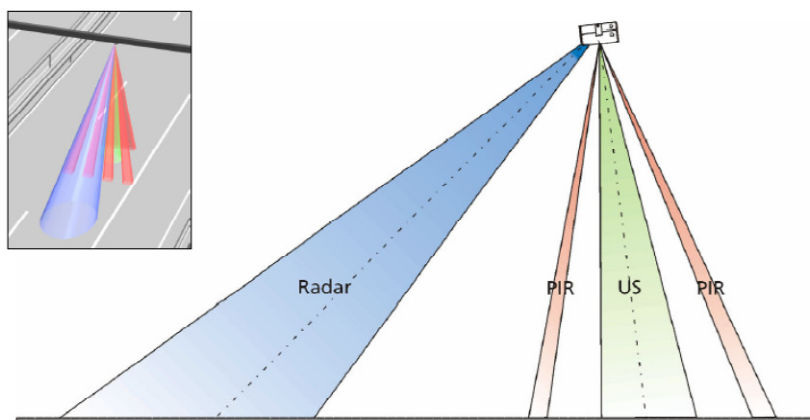
Slika 27: Primer mikrovalovnega detektorja.

Vir: Skripta – Senzorji in naprave za merjenje prometa.

Mikrovalovni detektorji, ki zbirajo prometne podatke, so sestavljeni iz treh delov, in sicer iz Dopplerjevega radarja, ultrazvočnega dela in infrardečega senzorja. S skupkom teh naprav, povezanih v mikrovalovni detektor, je omogočeno sledeče:

- klasificiranje vozil po razredih (v SNVP se ločijo vozila na dva razreda: osebna in tovorna vozila),
- štetje vozil po razredih,
- meritev hitrosti posameznih vozil,
- detekcija zaustavljenega vozila ter zasedenost vozišča,
- določitev časovnega razmaka med vozili,

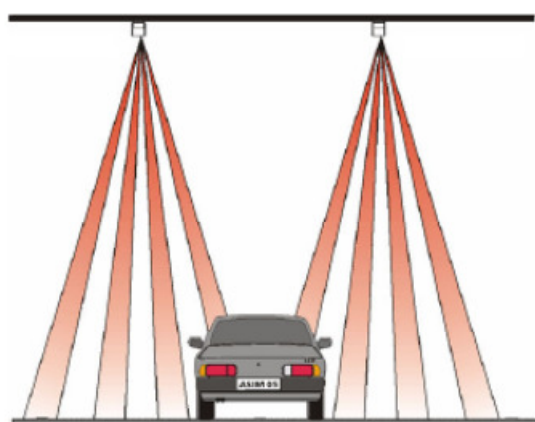
- zaznavanje vozil, ki vozijo v napačno smer.



Slika 28: Območje zaznavanja mikrovalovnih detektorjev.

Vir: Skripta – Senzorji in naprave za merjenje prometa.

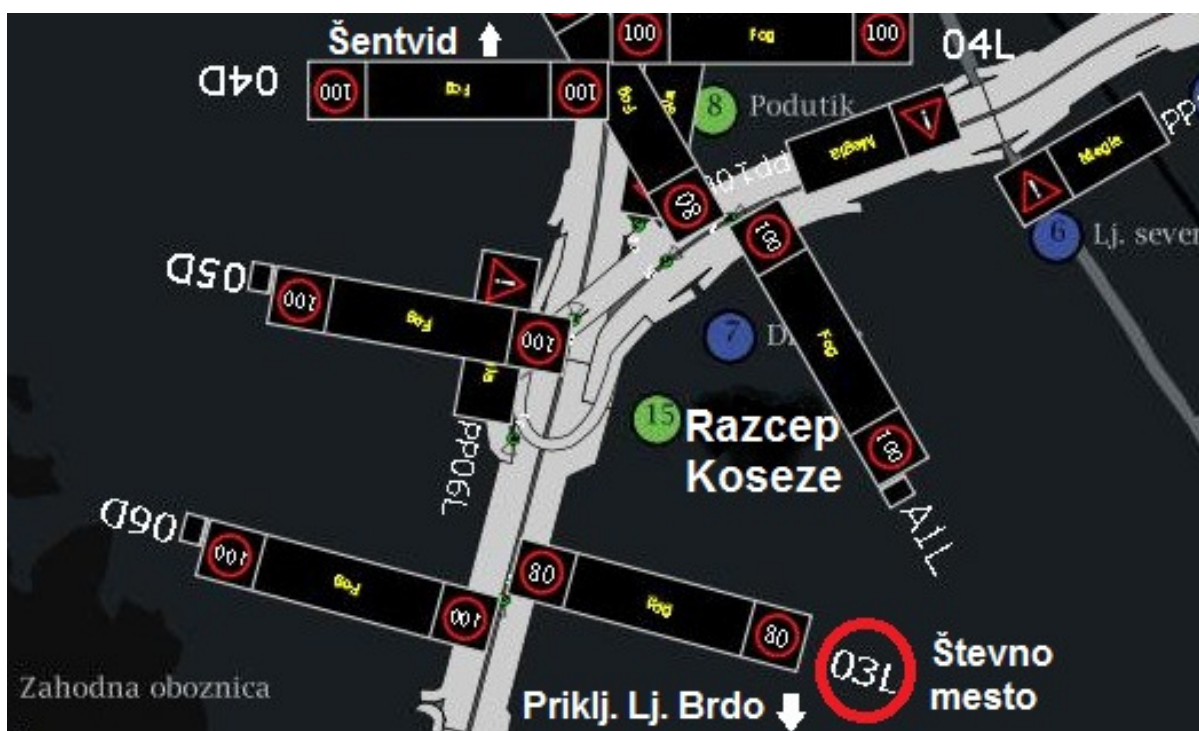
Podatki, ki so uporabljeni za potrebe diplomske naloge, so pridobljeni iz merilnega mesta 03L, na katerem je hkrati omogočena tudi spremenljiva prometno-informativna signalizacija (SPIS). SPIS omogoča prikaz programov prometnih vsebin, s katerimi se informira voznike glede na trenutno cestnoprometno situacijo. Na merilnem mestu SPIS 03L, ki se nahaja na območju med priključkom Lj. Brdo in razcepom Koseze sta bila v času izdelave diplomske naloge nameščena le dva mikrovalovna detektorja. Detektorji so medsebojno sinhronizirani in lahko pravilno zaznavajo tudi vozila, ki menjajo vozni pas. S to sinhronizacijo ne prihaja do dvojnega štetja in se posamezno vozilo pravilno prišteje le enemu merilniku nad posameznim pasom.



Slika 29: Zaznavanje vozil, ki menjajo vozni pas.

Vir: Skripta – Senzorji in naprave za merjenje prometa.

Po spremembi odstavnega pasu v t. i. pomožni pas med priključkom Lj. Brdo in razcepom Koseze so bile pristojne institucije naprošene, da bi se portalu SPIS 03L nad pomožnim pasom dodal še en mikrovalovni detektor. Projekt namestitve dodatnega mikrovalovnega detektorja je bil realiziran šele v zaključni fazi izdelave diplomskega dela, zato je bilo na tem odseku že prej opravljeno tudi fizično štetje prometa s pomočjo video detekcije. Ta je navsezadnje prinesla še nekaj drugih uporabnih podatkov, ki jih sicer iz samih merilnikov ne bi bilo moč dobiti. Ti podatki so analizirani v nadaljevanju, v poglavju 6.7 pa so navedeni izsledki ugotovitev po obdelavi podatkov, ko je bil na merilnem mestu SPIS 03L dodan še tretji mikrovalovni detektor nad pomožnim pasom.



Slika 30: Prikaz lokacije števnege mesta SPIS 03L.

Vir: Traffic design

6.3 Izračun prometnih količin

Prometni podatki so v sistemu za nadzor in vodenje prometa zbrani preko merilnikov za vsak prometni pas in za časovni interval $T = 1$ min. Nato gredo vsi, preko detektorjev avtomatsko pridobljeni prometni podatki skozi obdelavo, kjer se preveri, ali so ti podatki v mejah dopustnega merilnega območja. S podatki, ki prestanejo preizkus, se nato s pomočjo enačb izračuna še prometne količine, ki se jih z običajnimi napravami ne da izmeriti. Te so npr.

gostota prometnega toka, povprečne hitrosti vozil, standardni odklon hitrosti, delež tovornih vozil, določitev stopnje prometnega stanja itd. Prometne količine se lahko izračunavajo za posamezen prometni pas ali za posamezno merilno mesto. Podatke za merilno mesto se dobi s povprečenjem podatkov, pridobljenih iz posameznih mikrovalovnih detektorjev sosednjih prometnih pasov na lokaciji merilnega mesta.

6.4 Analiza prometnih podatkov odseka Lj. Brdo–Koseze

V sistemu za nadzor in vodenje prometa obstaja vmesnik, s katerim je mogoče izdelati prometna poročila. Ta prikazuje podatke v tabelarični obliki, lahko pa jih izpiše tudi v obliki grafikonov. Grafi poskrbijo za boljšo predstavnost in celovitejšo sliko dogajanja na obravnavanem odseku za daljše časovno obdobje.

Iz merilnega mesta SPIS 03L, ki stoji na lokaciji med priključkom Lj. Brdo in razcepom Koseze, so bili za potrebe analize pridobljeni podatki o jutranjih prometnih konicah za daljše časovno obdobje. Z analizo smo poskušali ugotoviti, ali je spremenjena prometna ureditev na obravnavanem odseku prinesla kakšne opaznejše izboljšave v odvijanju prometnega toka ali ne. V obravnavo smo vzeli en dan iz obdobja pred in en dan po spremembi prometne ureditve. Ob tem smo pazili, da sta si bila primerjalna dneva čimbolj podobna oz. da so bili pogoji odvijanja prometnega toka v obeh primerjalnih dnevih podobni. To pomeni, da gre v obeh primerih za isti dan v tednu s podobnimi cestnimi, prometnimi in vremenskimi pogoji ter da na obravnavanem območju ali njegovi okolici ni bilo prometnih nesreč. Tako smo si izbrali dva dneva, ki najbolj reprezentativno odražata spremembo prometne ureditve na obravnavanem odseku.

Prometni podatki, ki smo jih pridobili v nadaljnje analiziranje, so v tabelarični obliki. Izbrano časovno obdobje je od 5-ih do 9-ih zjutraj. V tem času je zajeta tudi jutranja prometna konica, ki traja od 7. do 8. ure. Časovni interval izpisa prometnih parametrov je minutni.

V poročilu (tabeli 4 in 5) so prikazani sledeči prometni podatki za merilno mesto SPIS 03L:

- Q_O: osebna vozila – števec prevozov (voz/h),
- Q_TV: tovorna vozila – števec prevozov (voz/h),
- Q_S: skupni prometni pretok (voz/h),
- V_O: osebna vozila – povprečna hitrost (km/h),
- V_TV: tovorna vozila – povprečna hitrost (km/h),

-
- V_SK: vsa vozila – povprečna hitrost (km/h),
 - Z: časovna zasedenost merilnega območja (s),
 - T_V: povprečni časovni razmak med vozili (s),
 - D_TV: delež tovornih vozil (%),
 - O_S: standardni odklon hitrosti,
 - G: gostota prometnega toka (EOV/km),
 - Q_E: ekvivalentni prometni pretok (EOV/h),
 - PS: stopnja prometnega stanja,
 - VDT: velik delež tovornih vozil ob velikih prometnih obremenitvah.

Tabela 4: Izpis prometnih podatkov za merilno mesto SPIS 03L pred spremembo.

Merilno mesto		SPIS-03L													
Časovno obdobje	Aktivna	Q_O	Q_T V	Q_S	V_O	V_T V	V_S K	Z	T_V	D_T V	O_S	G	Q_E	PS	VDT
25.10.2010 07.00	DA	4.500	180	4.680	81	72	81	10	2	4	7	67	5.280	PS1	NE
25.10.2010 07.01	DA	2.640	240	2.880	92	87	91	6	2	9	7	37	3.300	PS1	NE
25.10.2010 07.02	DA	3.540	60	3.600	89	73	89	7	2	2	14	47	4.020	PS1	NE
25.10.2010 07.03	DA	2.520	60	2.580	89	73	89	5	2	3	8	34	2.880	PS1	NE
25.10.2010 07.04	DA	3.360	120	3.480	79	60	79	8	2	4	9	51	3.900	PS1	NE
25.10.2010 07.05	DA	3.960	120	4.080	72	73	72	10	2	3	8	68	4.560	PS1	NE
25.10.2010 07.06	DA	4.500	240	4.740	64	52	64	13	1	6	15	87	5.340	PS2	NE
25.10.2010 07.07	DA	3.480	240	3.720	67	52	67	11	2	7	10	69	4.260	PS2	NE
25.10.2010 07.08	DA	4.200	60	4.260	80	77	80	9	2	2	7	61	4.800	PS2	NE
25.10.2010 07.09	DA	3.000	240	3.240	83	69	83	8	2	8	10	47	3.720	PS1	NE
25.10.2010 07.10	DA	2.820	360	3.180	80	71	80	9	2	12	10	49	3.720	PS1	NE
25.10.2010 07.11	DA	2.820	120	2.940	89	73	88	6	2	5	8	39	3.300	PS1	NE
25.10.2010 07.12	DA	2.580	300	2.880	92	75	91	6	2	11	9	38	3.360	PS1	NE
25.10.2010 07.13	DA	2.040	300	2.340	90	72	90	6	2	13	11	33	2.760	PS0	NE
25.10.2010 07.14	DA	2.820	180	3.000	94	84	94	6	2	6	9	38	3.420	PS0	NE
25.10.2010 07.15	DA	3.840	180	4.020	76	77	76	10	2	5	8	62	4.560	PS1	NE
25.10.2010 07.16	DA	3.660	120	3.780	68	55	67	10	2	4	7	64	4.200	PS1	NE
25.10.2010 07.17	DA	3.660	420	4.080	76	65	75	11	2	11	8	65	4.740	PS1	NE
25.10.2010 07.18	DA	3.600	120	3.720	85	68	85	8	2	4	8	50	4.140	PS1	NE
25.10.2010 07.19	DA	3.420	180	3.600	87	70	87	7	2	5	14	49	4.080	PS1	NE
25.10.2010 07.20	DA	2.880	180	3.060	91	71	90	7	2	6	15	40	3.480	PS1	NE
25.10.2010 07.21	DA	2.700	240	2.940	87	69	86	7	2	9	16	41	3.360	PS1	NE
25.10.2010 07.22	DA	3.540	120	3.660	85	75	85	7	2	4	8	50	4.140	PS1	NE
25.10.2010 07.23	DA	2.700	300	3.000	85	71	85	7	2	10	9	43	3.480	PS1	NE
25.10.2010 07.24	DA	4.440	240	4.680	78	63	78	12	2	6	14	70	5.340	PS1	NE
25.10.2010 07.25	DA	3.540	60	3.600	88	68	88	7	2	2	16	47	4.020	PS1	NE
25.10.2010 07.26	DA	3.480	60	3.540	93	78	93	6	2	2	10	44	3.960	PS1	NE
25.10.2010 07.27	DA	2.940	60	3.000	100	82	99	6	2	2	27	36	3.360	PS1	NE
25.10.2010 07.28	DA	3.000	120	3.120	89	81	89	7	2	4	16	41	3.480	PS0	NE
25.10.2010 07.29	DA	3.720	240	3.960	66	61	66	12	2	7	11	74	4.560	PS1	NE
25.10.2010 07.30	DA	3.720	120	3.840	62	45	62	10	2	4	11	75	4.320	PS2	NE
25.10.2010 07.31	DA	4.080	0	4.080	57	0	57	11	2	0	7	81	4.500	PS2	NE
25.10.2010 07.32	DA	4.260	60	4.320	62	57	62	11	2	2	9	82	4.860	PS2	NE
25.10.2010 07.33	DA	3.180	180	3.360	71	55	70	9	2	6	10	56	3.780	PS2	NE
25.10.2010 07.34	DA	4.200	180	4.380	68	63	68	11	2	5	14	74	4.920	PS2	NE
25.10.2010 07.35	DA	4.260	240	4.500	61	47	61	14	2	6	16	87	5.100	PS2	NE
25.10.2010 07.36	DA	3.720	120	3.840	63	45	62	12	2	4	18	73	4.320	PS3	NE
25.10.2010 07.37	DA	3.540	300	3.840	76	65	75	10	2	8	16	60	4.440	PS2	NE
25.10.2010 07.38	DA	4.260	240	4.500	64	58	64	12	2	6	13	81	5.100	PS2	NE
25.10.2010 07.39	DA	4.080	180	4.260	68	70	68	11	2	5	8	74	4.800	PS2	NE
25.10.2010 07.40	DA	3.900	360	4.260	83	72	82	10	2	9	14	62	4.920	PS2	NE
25.10.2010 07.41	DA	3.720	360	4.080	68	50	66	12	2	9	14	73	4.740	PS2	NE
25.10.2010 07.42	DA	3.960	120	4.080	56	52	56	14	2	3	15	83	4.620	PS2	NE
25.10.2010 07.43	DA	4.200	120	4.320	54	45	54	13	2	3	7	93	4.860	PS3	NE
25.10.2010 07.44	DA	3.900	420	4.320	56	43	56	15	2	10	8	91	4.980	PS3	NE
25.10.2010 07.45	DA	3.840	60	3.900	62	46	62	11	2	2	10	76	4.380	PS3	NE
25.10.2010 07.46	DA	3.720	180	3.900	66	52	66	11	2	5	17	71	4.440	PS3	NE
25.10.2010 07.47	DA	3.780	180	3.960	57	39	56	13	2	5	11	85	4.500	PS3	NE
25.10.2010 07.48	DA	3.720	240	3.960	62	51	62	12	2	7	15	74	4.500	PS3	NE
25.10.2010 07.49	DA	3.360	60	3.420	65	42	65	9	2	2	18	60	3.780	PS2	NE
25.10.2010 07.50	DA	3.120	60	3.180	64	47	64	9	2	2	26	62	3.600	PS2	NE
25.10.2010 07.51	DA	4.140	120	4.260	65	55	65	11	2	3	7	77	4.800	PS2	NE
25.10.2010 07.52	DA	3.900	180	4.080	74	66	73	10	2	5	17	69	4.620	PS2	NE
25.10.2010 07.53	DA	3.120	120	3.240	93	77	93	6	2	4	9	41	3.660	PS1	NE
25.10.2010 07.54	DA	4.560	180	4.740	82	81	82	10	1	4	6	67	5.400	PS1	NE
25.10.2010 07.55	DA	3.000	0	3.000	96	0	96	5	2	0	10	36	3.300	PS1	NE
25.10.2010 07.56	DA	3.900	240	4.140	90	74	90	9	2	6	15	54	4.680	PS1	NE
25.10.2010 07.57	DA	3.300	120	3.420	95	81	94	7	2	4	10	42	3.840	PS1	NE
25.10.2010 07.58	DA	3.720	180	3.900	91	67	90	8	2	5	15	51	4.440	PS1	NE
25.10.2010 07.59	DA	2.580	60	2.640	96	79	96	5	2	3	12	33	2.940	PS0	NE

Vir: Traffic design.

Tabela 5: Izpis prometnih podatkov za merilno mesto SPIS 03L po spremembi.

Merilno mesto		SPIS-03L													
Časovno obdobje	Aktivna	Q_O	Q_T V	Q_S	V_O	V_T V	V_S K	Z	T_V	D_T V	O_S	G	Q_E	PS	VDT
29.11.2010 07.00	DA	2.700	0	2.700	88	0	88	5	2	0	22	35	3.000	PS0	NE
29.11.2010 07.01	DA	2.940	120	3.060	86	74	86	7	2	4	10	41	3.480	PS0	NE
29.11.2010 07.02	DA	2.640	0	2.640	87	0	87	5	2	0	8	34	2.880	PS0	NE
29.11.2010 07.03	DA	3.180	120	3.300	88	74	88	7	2	4	9	43	3.720	PS0	NE
29.11.2010 07.04	DA	2.580	60	2.640	104	78	103	5	2	3	30	29	2.940	PS0	NE
29.11.2010 07.05	DA	1.980	60	2.040	90	67	90	4	3	3	9	26	2.280	PS0	NE
29.11.2010 07.06	DA	1.800	120	1.920	89	84	89	4	3	7	9	26	2.160	PS0	NE
29.11.2010 07.07	DA	3.420	0	3.420	93	0	93	7	2	0	22	41	3.780	PS0	NE
29.11.2010 07.08	DA	2.880	300	3.180	85	68	83	8	2	10	20	45	3.660	PS0	NE
29.11.2010 07.09	DA	2.940	180	3.120	87	75	87	7	2	6	16	43	3.600	PS0	NE
29.11.2010 07.10	DA	2.340	60	2.400	82	79	83	5	2	3	9	33	2.700	PS0	NE
29.11.2010 07.11	DA	2.640	120	2.760	96	78	95	5	2	5	16	34	3.120	PS0	NE
29.11.2010 07.12	DA	2.280	120	2.400	89	71	89	5	2	5	8	31	2.700	PS0	NE
29.11.2010 07.13	DA	3.300	120	3.420	91	83	91	7	2	4	22	43	3.840	PS0	NE
29.11.2010 07.14	DA	3.660	120	3.780	89	70	89	8	2	4	17	48	4.200	PS1	NE
29.11.2010 07.15	DA	2.760	0	2.760	92	0	92	5	2	0	21	34	3.060	PS0	NE
29.11.2010 07.16	DA	1.680	120	1.800	102	75	101	4	3	7	18	22	2.040	PS0	NE
29.11.2010 07.17	DA	1.920	60	1.980	94	77	94	4	3	4	10	25	2.220	PS0	NE
29.11.2010 07.18	DA	3.300	120	3.420	84	69	84	7	2	4	9	49	3.900	PS0	NE
29.11.2010 07.19	DA	2.280	0	2.280	96	0	96	4	3	0	17	27	2.520	PS0	NE
29.11.2010 07.20	DA	2.280	120	2.400	96	78	96	5	2	5	20	29	2.700	PS0	NE
29.11.2010 07.21	DA	3.180	240	3.420	91	78	91	7	2	8	8	45	3.900	PS0	NE
29.11.2010 07.22	DA	2.640	60	2.700	98	76	98	5	2	3	15	33	3.000	PS0	NE
29.11.2010 07.23	DA	2.160	120	2.280	93	79	92	4	3	6	8	29	2.580	PS0	NE
29.11.2010 07.24	DA	2.760	120	2.880	90	78	89	6	2	5	8	37	3.240	PS0	NE
29.11.2010 07.25	DA	3.180	60	3.240	93	84	93	6	2	2	8	41	3.660	PS0	NE
29.11.2010 07.26	DA	3.000	60	3.060	99	67	98	6	2	2	21	36	3.420	PS0	NE
29.11.2010 07.27	DA	2.520	540	3.060	93	86	91	8	2	18	15	41	3.660	PS0	NE
29.11.2010 07.28	DA	2.700	0	2.700	86	0	86	6	2	0	7	35	3.000	PS0	NE
29.11.2010 07.29	DA	2.220	300	2.520	90	82	88	6	2	12	16	35	3.000	PS0	NE
29.11.2010 07.30	DA	2.760	60	2.820	87	86	87	5	2	3	9	39	3.180	PS0	NE
29.11.2010 07.31	DA	3.300	180	3.480	89	69	89	8	2	6	16	46	3.960	PS1	NE
29.11.2010 07.32	DA	3.360	180	3.540	86	79	86	8	2	6	15	48	4.020	PS1	NE
29.11.2010 07.33	DA	3.480	180	3.660	85	80	85	8	2	5	15	50	4.140	PS1	NE
29.11.2010 07.34	DA	2.580	120	2.700	95	85	94	5	2	5	15	33	3.060	PS1	NE
29.11.2010 07.35	DA	2.700	0	2.700	103	0	103	5	2	0	27	30	3.000	PS0	NE
29.11.2010 07.36	DA	3.180	120	3.300	92	77	92	7	2	4	15	41	3.720	PS0	NE
29.11.2010 07.37	DA	2.580	120	2.700	100	76	99	5	2	5	16	32	3.060	PS0	NE
29.11.2010 07.38	DA	2.640	240	2.880	101	76	99	6	2	9	20	34	3.300	PS0	NE
29.11.2010 07.39	DA	2.040	120	2.160	92	85	92	5	3	6	7	28	2.460	PS0	NE
29.11.2010 07.40	DA	1.860	240	2.100	101	79	99	5	3	12	20	26	2.460	PS0	NE
29.11.2010 07.41	DA	2.700	300	3.000	94	73	92	7	2	10	17	40	3.540	PS0	NE
29.11.2010 07.42	DA	2.820	60	2.880	109	81	108	5	2	3	24	30	3.180	PS0	NE
29.11.2010 07.43	DA	3.420	60	3.480	91	72	91	7	2	2	10	43	3.900	PS0	NE
29.11.2010 07.44	DA	2.100	60	2.160	105	75	104	4	3	3	25	24	2.400	PS0	NE
29.11.2010 07.45	DA	3.780	60	3.840	98	80	97	7	2	2	21	44	4.260	PS0	NE
29.11.2010 07.46	DA	3.240	0	3.240	96	0	96	6	2	0	15	38	3.540	PS0	NE
29.11.2010 07.47	DA	3.360	240	3.600	93	80	93	7	2	7	9	45	4.140	PS0	NE
29.11.2010 07.48	DA	1.320	0	1.320	107	0	107	2	4	0	9	15	1.500	PS0	NE
29.11.2010 07.49	DA	1.620	240	1.860	103	84	102	5	3	13	19	22	2.220	PS0	NE
29.11.2010 07.50	DA	2.400	60	2.460	97	76	97	5	2	3	18	29	2.760	PS0	NE
29.11.2010 07.51	DA	2.400	0	2.400	109	0	109	4	2	0	28	25	2.640	PS0	NE
29.11.2010 07.52	DA	2.400	0	2.400	107	0	107	4	2	0	24	25	2.640	PS0	NE
29.11.2010 07.53	DA	2.400	60	2.460	89	84	89	5	2	3	9	32	2.760	PS0	NE
29.11.2010 07.54	DA	1.860	180	2.040	95	87	94	5	3	9	7	26	2.400	PS0	NE
29.11.2010 07.55	DA	2.160	120	2.280	102	82	102	4	3	6	17	27	2.640	PS0	NE
29.11.2010 07.56	DA	2.640	120	2.760	102	84	101	5	2	5	19	32	3.120	PS0	NE
29.11.2010 07.57	DA	1.740	60	1.800	107	86	106	4	3	4	25	20	2.040	PS0	NE
29.11.2010 07.58	DA	2.280	0	2.280	98	0	98	4	3	0	9	27	2.520	PS0	NE
29.11.2010 07.59	DA	1.080	60	1.140	119	81	118	3	5	6	23	12	1.320	PS0	NE

Vir: Traffic design.

Za analizo smo si na odseku Lj. Brdo–Koseze izbrali jutranjo urno konico med 7. in 8. uro. Prometna obremenitev v času urne konice ni konstantna, ampak se stalno spreminja. Za ljubljansko zahodno obvoznico velja, pa tudi na splošno za ljubljanski avtocestni obroč, da prihaja do največjih prometnih obremenitev nekje med 6:30 in 8:30. Operativno gledano je to obdobje najbolj kritično, saj so zahteve po servisiranju prometnega toka v tem času največje.

Za konkretni primer se je po ročnem štetju ter pregledu izpisov prometnih podatkov iz merilnikov izkazalo, da je za izbrane datume prihajalo do največjih prometnih obremenitev prav med sedmo in osmo uro zjutraj. Pred spremembo odstavnega pasu v pomožni pas je bil skupni pretok vseh vozil na voznem in prehitevalnem pasu 3718 vozil/h (tabela 6). Ta vrednost je nato prevedena še na ekvivalent prometnega pretoka. Ob izračunu se upoštevajo parametri, ki so kot začetne vrednosti nastavljene v sistemu za nadzor in vodenje prometa. Za faktor urne konice in faktor tipa voznikov je privzeta vrednost 0,95. Faktor vpliva tovornih vozil se izračuna po enačbi, v kateri je upoštevan ekvivalent osebnih vozil za tovorna vozila (E_{TV}), katerega vrednost za ravninski avtocestni odsek do naklona vozišča 3 % znaša 1,5. V izpisu prometnih podatkov so ekvivalenti prometnega pretoka že izračunani. Potrebno je le še izračunati povprečje za izbrano časovno obdobje. Tako dobimo, da je ekvivalent prometnega pretoka v našem primeru pred spremembo ureditve na obravnavanem območju znašal 4211 EOV/h.

Tabela 6: Pretok vozil – števec prometa 03L na odseku AC A-2 0614 pred spremembo prometne ureditve.

Ura	OV	TV	Skupaj (voz/h)
7:00–7:15	813	47	860
7:15–7:30	852	44	896
7:30–7:45	983	50	1033
7:45–8:00	896	33	929
Skupaj (voz/h)	3544	174	3718

$$q_{EKV} = 4211 \text{ EOV/h}$$

Podoben izračun smo nato napravili še s podatki, ki so jih merilniki zabeležili na obravnavanem odseku po spremembi ureditve. Skupni pretok na voznem in prehitevalnem pasu je v tem primeru znašal 2712 vozil/h, ekvivalentni prometni pretok pa 3064 EOV/h (tabela 7).

Tabela 7: Pretok vozil – števec prometa 03L na odseku AC A-2 0614 po spremembi prometne ureditve.

Ura	OV	TV	Skupaj
7:00–7:15	688	25	713
7:15–7:30	643	32	675
7:30–7:45	692	34	726
7:45–8:00	578	20	598
Skupaj (voz/h)	2601	111	2712

$$q_{EKV} = 3064 \text{ EOV/h}$$

Razlika v številu vozil, ki so prevozila obravnavani odsek pred in po spremembi, je seveda precejšnja. Razlog je, da po spremembi odstavnega pasu v pomožnega na tem merilnem mestu ni bil nameščen še en dodatni mikrovalovni detektor, ki bi štel vozila, katera se odločijo voziti po novem pomožnem pasu. Dejansko število prešteti vozil je zato toliko manjše, saj tista, ki vozijo po pomožnem pasu, ostajajo neprešteta. Primerjava obeh izračunov kaže, da je že kmalu po predaji pomožnega pasu v uporabo, začelo le-tega za vožnjo uporabljati že okrog 1000 vozil v jutranji konici. To lahko mirno trdimo, saj so bili pogoji odvijanja prometnega toka zelo podobni v obeh obravnavanih dneh. Posledično je bilo tudi število vozil, ki so prevozila ta odsek, podobno v obeh primerih.

Da bi naše trditve lahko potrdili, smo se odločili, da bomo na obravnavanem odseku opravili še ročno štetje prometa. Želeli smo izvedeti, kako se vozila iz priključka Lj. Brdo vključujejo v prometni tok na avtocesti ter kakšno je njihovo nadaljnje prepletanje na območju med priključkom in razcepom. V ta namen smo celotno območje v času jutranje prometne konice posneli s kamero visoke ločljivosti. Za obdelavo v analizi je bil za štetje prometa zopet izbran običajen dan jutranje konice s podobnimi pogoji odvijanja prometnega toka. Iz pridobljenih posnetkov smo lahko pozneje napravili natančnejšo analizo.

Ročno štetje je potrdilo naša predvidevanja. Presek pomožnega pasu je na mestu, kjer sta nameščena mikrovalovna detektorja, v času jutranje prometne konice prevozilo 951 vozil/h. Skupni pretok vseh vozil na vseh treh pasovih je znašal 3655 vozil/h (tabela 10). Za izračun ekvivalenta prometnega pretoka smo uporabili enake začetne vrednosti ekvivalenta osebnih vozil za tovorna vozila, faktorja urne konice ter faktorja tipa voznikov kot pri prejšnjih dveh izračunih. Ekvivalent prometnega pretoka je tako v primeru ročnega štetja za obravnavani presek znašal 4160 EOV/h.

Tabela 8: Pretok vozil – ročno štetje 17. 8. 2011. Pretok iz smeri Vič - Kozarje proti razcepu Koseze.

Ura	OV	TV	Skupaj
7:00–7:15	714	38	752
7:15–7:30	761	38	799
7:30–7:45	772	40	812
7:45–8:00	738	56	794
Skupaj (voz/h)	2985	172	3157

Tabela 9: Pretok vozil – ročno štetje 17. 8. 2011. Pretok iz smeri priključka Lj. Brdo proti razcepu Koseze.

Ura	OV	TV	Skupaj
7:00–7:15	102	1	103
7:15–7:30	126	6	132
7:30–7:45	123	4	127
7:45–8:00	130	6	136
Skupaj (voz/h)	481	17	498

Tabela 10: Pretok vozil – ročno štetje 17. 8. 2011. Skupni pretok iz smeri priključka Lj. Brdo proti razcepu Koseze.

Ura	OV	TV	Skupaj
7:00–7:15	816	39	855
7:15–7:30	887	44	931
7:30–7:45	895	44	939
7:45–8:00	868	62	930
Skupaj (voz/h)	3466	189	3655

Izračun ekvivalentnega pretoka osebnih vozil:

Faktor urne konice: $f_{uk} = 0,95$ (privzeta vrednost)

Faktor tipa voznikov: $f_p = 0,95$ (privzeta vrednost)

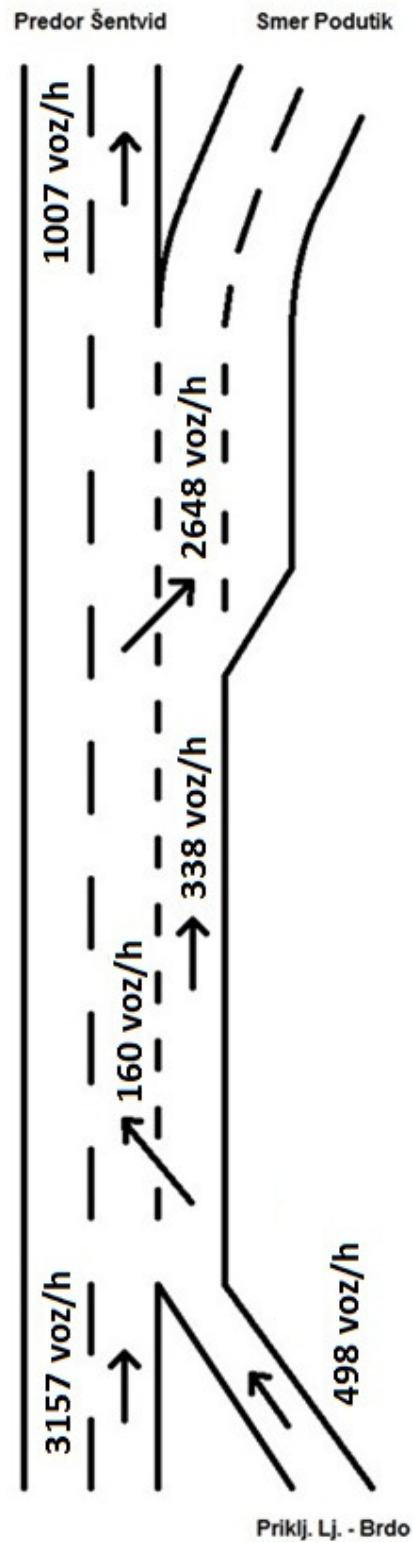
Ekvivalent osebnih vozil za tovorna vozila:

$e_{TV} = 1,5$ (vrednost za ravninski avtocestni odsek)

Delež tovornih vozil: $D_{TV} = 0,05$

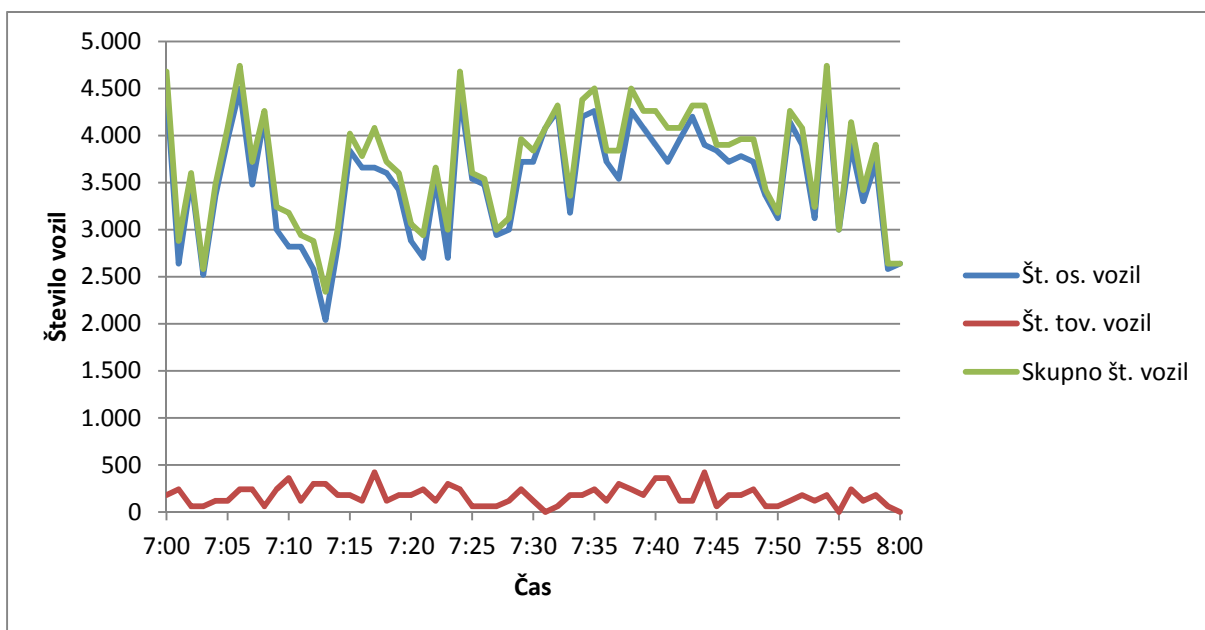
Faktor tovornih vozil: $f_{TV} = \frac{1}{[1+D_{TV}(e_{TV}-1)]} = \frac{1}{[1+0,05(1,5-1)]} = 0,97$

Ekvivalentni prometni pretok: $q_{EKV} = \frac{q_{OV}+q_{TV}}{f_{UK}*f_{TV}*f_p} = \frac{3466+189}{0,95*0,97*0,95} = \underline{4160 \text{ EO/h}}$

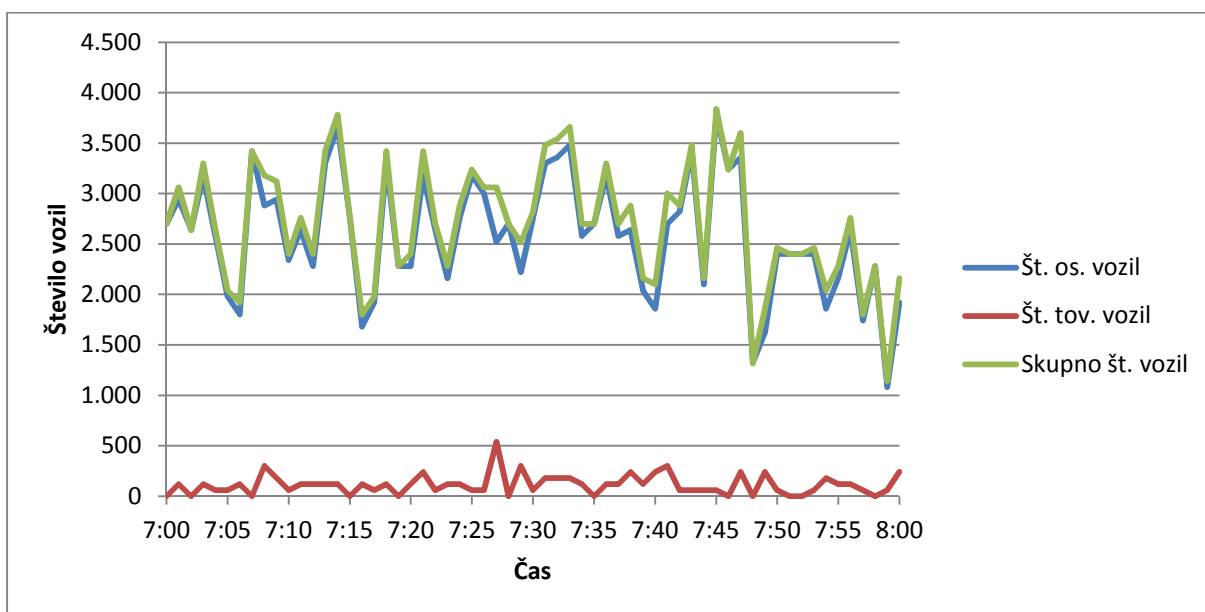


Slika 31: Pretoki vozil na odseku Lj. Brdo–Koseze (ročno štetje).

Vir: Lastni vir.



Grafikon 1: Prikaz pretokov vozil pred spremembo ureditve na obravnavanem odseku.

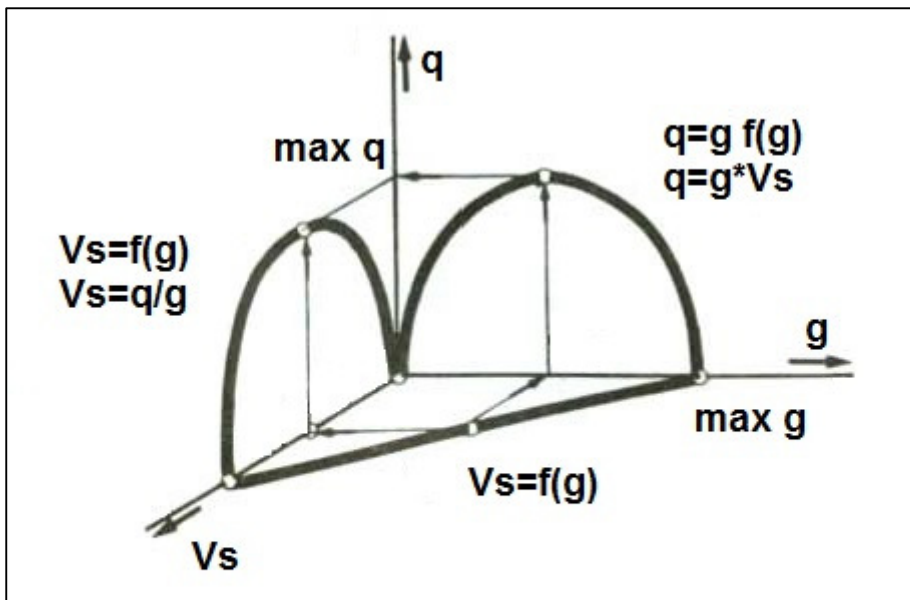


Grafikon 2: Prikaz pretokov vozil po spremembi ureditve na obravnavanem odseku.

6.4.1 Ponazoritev odvisnosti med osnovnimi parametri prometnega toka

Z diagrami prometnega toka lahko grafično prikažemo odnose med pretokom in gostoto, gostoto in hitrostjo ter med hitrostjo in pretokom. Ti diagrami predstavljajo pomemben element pri določevanju kapacitete avtocestnega omrežja, določevanju nivoja uslug in

hitrostnih omejitev. Medsebojna odvisnost med posameznimi parametri prometnega toka je prikazana na grafikonu 3.



Grafikon 3: Prikaz odvisnosti med prometnim pretokom, hitrostjo prometnega toka in gostoto.

V nadaljevanju smo pripravili grafično primerjavo vseh treh glavnih odvisnosti med osnovnimi parametri prometnega toka za odsek Lj. Brdo–Koseze pred in po spremembi prometne ureditve.

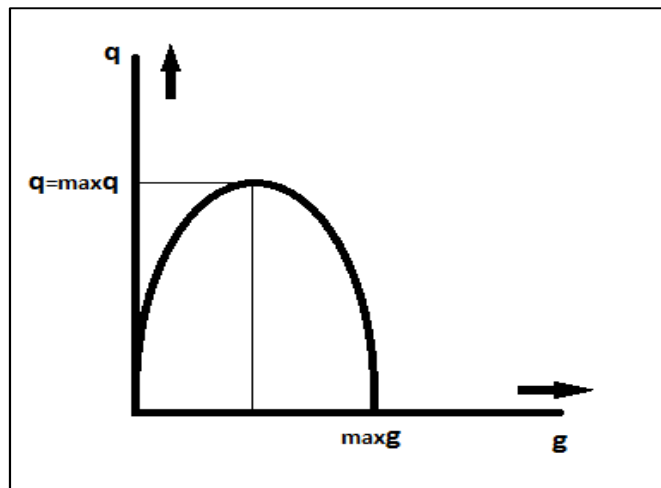
I. Odnos pretok – gostota

Pri idealnem prometnem toku naj bi bili vsi pogoji vožnje idealni, toda tega v praksi ni mogoče doseči, zato govorimo le o teoretičnih odvisnostih. Pretok in gostota prometnega toka se spreminjata glede na čas in lokacijo.

Osnovne značilnosti idealnega odnosa med pretokom in gostoto so:

- Kadar je pretok prometnega toka nič, pomeni, da na odseku ni nobenega vozila. Takrat je tudi gostota prometnega toka enaka nič.
- Če se povečuje število vozil na odseku, se povečujeta tudi pretok in gostota prometnega toka.
- Kritična gostota je vrednost gostote med nič in maksimalno gostoto, kjer prometni pretok doseže maksimalno vrednost (grafikon 4).

- V primeru da se število vozil na odseku poveča do nivoja, pri katerem se vozila ne morejo več premikati, pride do t. i. gostote zastoja.

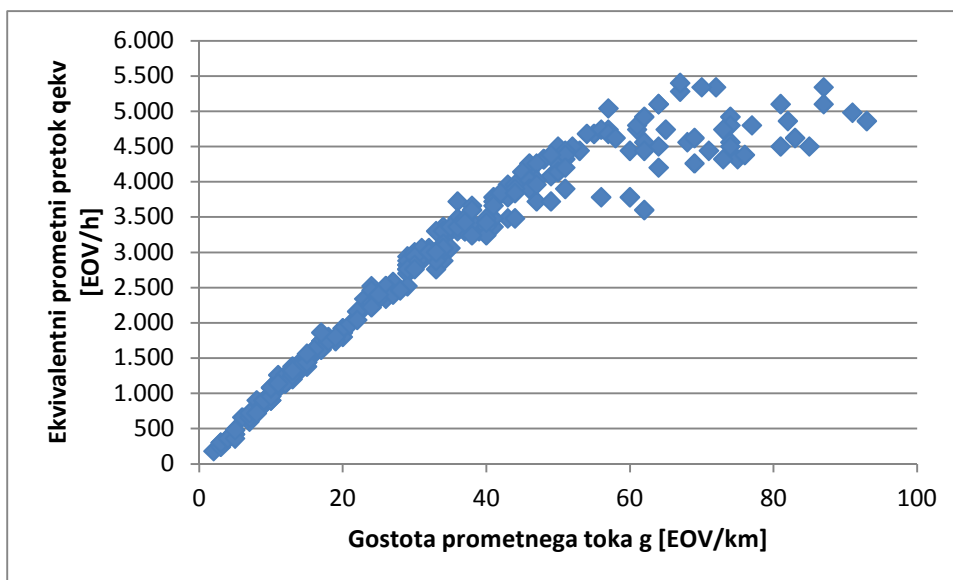


Grafikon 4: Odnos pretok – gostota.

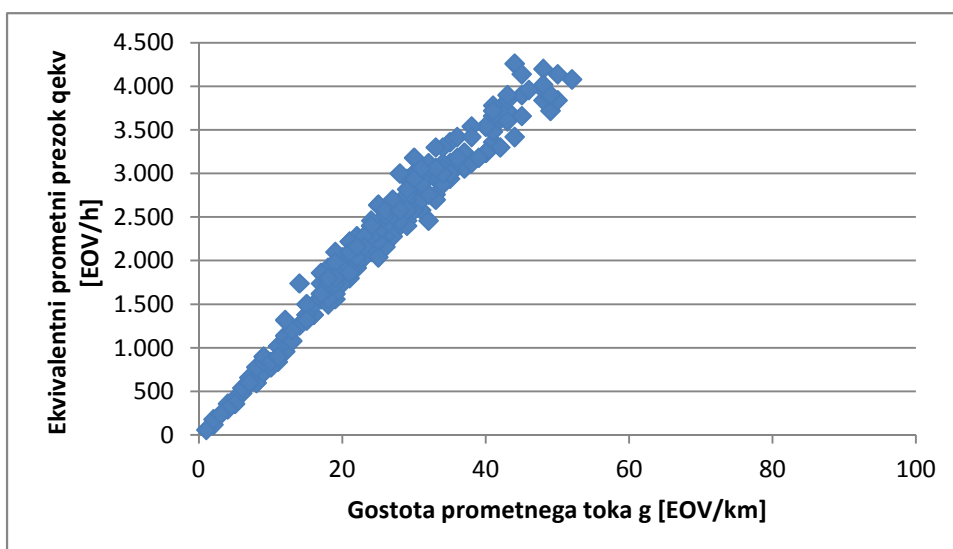
Gostota je vrednost, ki najbolje oceni nivo usluge posameznega odseka na avtocesti. V našem primeru so bile pred spremembo prometne ureditve gostote na odseku po priključku Lj. Brdo zelo visoke, kar je razvidno iz grafikona 5. Povprečna gostota prometnega toka v času jutranje prometne konice je znašala 30 EOv/pas/km. To je po HCM-u (2000) že vrednost, ko povpraševanje presega kapaciteto. Nivo usluge ob takšni vrednosti gostote prometnega toka pade v najnižji možni razred F. To pomeni, da so se morala vozila ob povečanem pretoku na glavni smeri zaustavljati na pospeševalnem pasu ali nadaljevati pot po odstavnemu, dokler se v prometnem toku na glavni smeri ni pojavila vrzel, ki bi tem vozilom omogočila varno vključitev na vozni pas avtoceste. Posledica tega so bile kolone na priključni rampi Lj. Brdo kakor tudi zastoji na AC A-2.

Po spremembi odstavnega pasu v pomožni pas se je prometno stanje na obravnavanem odseku precej izboljšalo. Vozilom, ki prihajajo po rampi iz smeri priključka Lj. Brdo in želijo svojo pot nadaljevati naprej proti Podutiku, se ni več potrebno vključevati na glavno prometno smer. S tem se je promet na glavni smeri precej razbremenil. Gostota na tem odseku se je na voznem in prehitvalnem pasu v primerjavi s prej znatno zmanjšala, in sicer za polovico na 15 vozil EOv/pas/km. S tem se je izboljšal tudi nivo usluge. Podatek je presenetljiv, vendar smo po opravljenem ročnem štetju prometa ugotovili, da kar 68 % vozil (383 EOv/h), ki pridejo po priključni rampi iz smeri LJ. Brdo, odpelje naravnost proti Podutiku. Tem vozilom se že pred merilnim mestom SPIS 03L na pomožnem pasu pridruži še 699 EOv/h, ki pripeljejo iz smeri razcepa Kozarje. Skupaj je to 1082 EOv/h na pomožnem

pasu, kar pomeni veliko razbremenitev tako za vozni kot prehitevalni pas, posledično pa tudi občutno zmanjšanje gostote na teh dveh pasovih. Na priključni rampi prav tako ne prihaja več do zastojev. Tisti, ki želijo svojo pot nadaljevati proti predoru Šentvid, se zaradi daljšega pospeševalnega pasu lažje in varneje vključijo na glavno prometno smer, kar pomeni tudi manjše oviranje vozil na glavni prometni smeri.



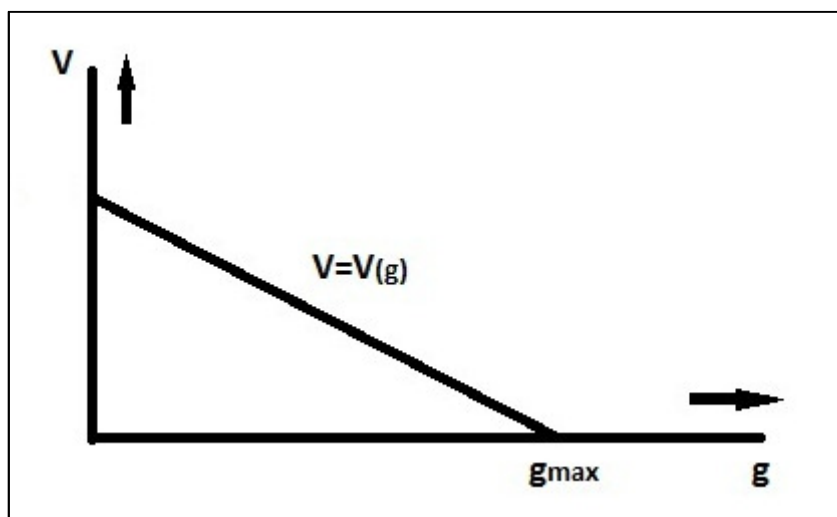
Grafikon 5: Odnos pretok – gostota za merilno mesto SPIS 03L v času med 5. in 9. uro pred spremembo prometne ureditve.



Grafikon 6: Odnos pretok – gostota za merilno mesto SPIS 03L v času med 5. in 9. uro po spremembi prometne ureditve.

II. Odnos hitrost – gostota

Za neoviran prometni tok velja, da je največja hitrost dosežena pri najmanjši gostoti. Kadar hitrost vozil začne upadati in gostota narašča preko optimalne vrednosti vse do maksimalne, nastane zastoj in hitrost prometnega toka pade na vrednost nič.



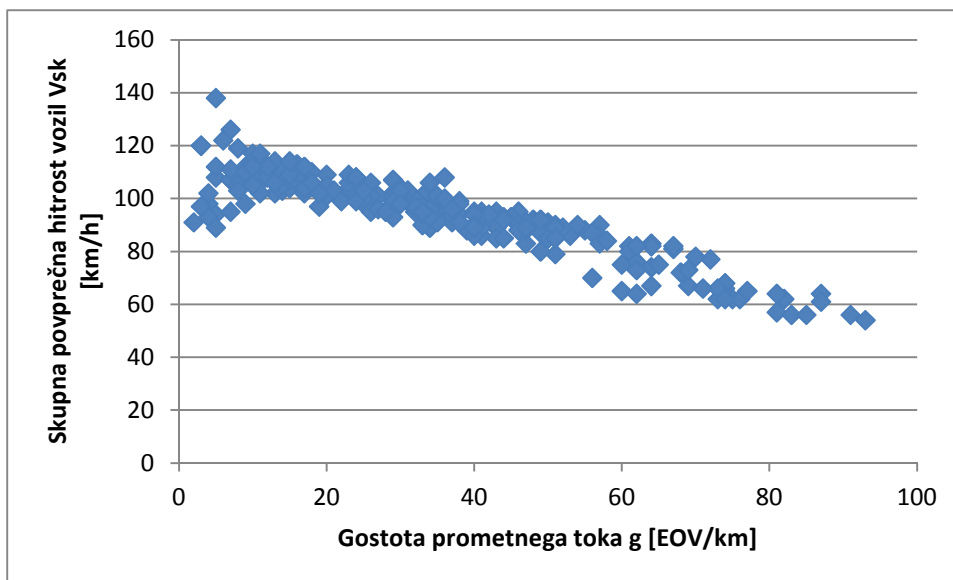
Grafikon 7: Odnos hitrost – gostota.

Primerjava med grafikonoma 8 in 9 pokaže, da kakor hitro gostota prometnega toka naraste preko optimalne vrednosti, začnejo povprečne hitrosti padati. Seveda velja tudi obratno; če začne hitrost prometnega toka padati, se razdalje med posameznimi vozili zmanjšujejo in se poveča gostota.

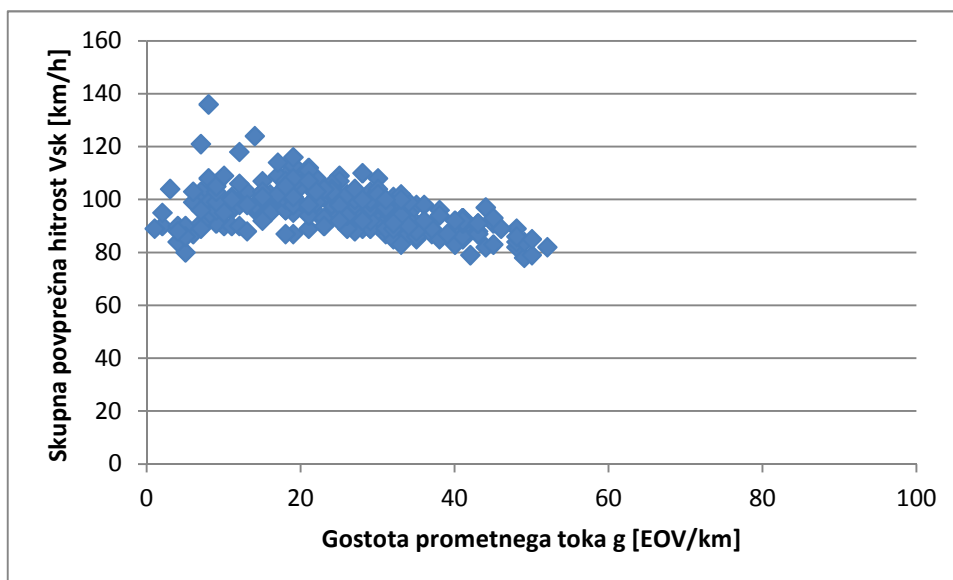
Zaradi vključevanja večjega števila vozil s priključka Lj. Brdo so vozila na glavni smeri začela zmanjševati svojo hitrost. Gostota se je povečala in zaradi zaviranja vozil v okolici priključka je na glavni smeri začelo prihajati do zastoja v protitočni smeri. Obstajala je velika nevarnost naleta. Ko se je vozilom s priključka Lj. Brdo enkrat uspelo vključiti na avtocesto, so lahko ponovno začela pospeševati proti razcepu Koseze. Povprečne hitrosti vozil so zato na območju merilnega mesta SPIS 03L, kjer potekajo meritve, že nekoliko višje.

Povprečna hitrost vseh vozil na voznem in prehitevalnem pasu je pred odprtjem pomožnega pasu v jutranji konici znašala 77 km/h. Po ureditvi pomožnega pasu se je povprečna hitrost na voznem in prehitevalnem pasu dvignila na 94 km/h. Ta povprečna hitrost seveda ni popolnoma točen odraz dejanskega stanja, saj tu niso upoštevane hitrosti vozil, ki vozijo po novem pomožnem pasu. Na ta pas se razvrščajo vozila, ki vozijo nekoliko počasneje in tudi sama širina pomožnega pasu ne dovoljuje tako visokih hitrostih. Vozila, ki vozijo po

prehitevalnem in voznem pasu imajo sedaj več prostora in lahko zaradi tega vozijo hitreje. Razlika v povprečni hitrosti pred in po spremembi ureditve je kljub temu še vedno precejšnja. Enako velja tudi za izboljšanje prometnega stanja v primerjavi s časom pred odprtjem pomožnega pasu.



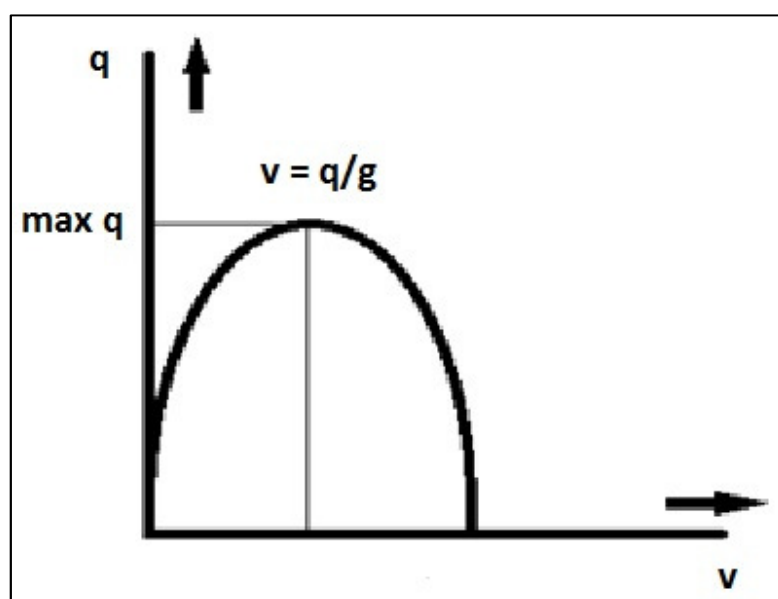
Grafikon 8: Odnos hitrost – gostota za merilno mesto SPIS 03L v času med 5. in 9. uro pred spremembo prometne ureditve.



Grafikon 9: Odnos hitrost – gostota za merilno mesto SPIS 03L v času med 5. in 9. uro po spremembi prometne ureditve.

III. Odnos hitrost – pretok

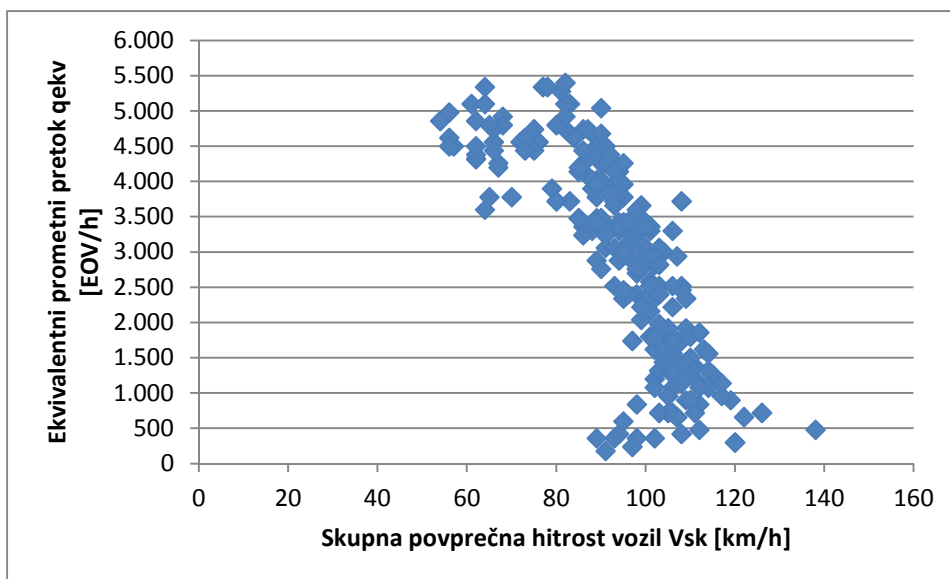
Odnos med hitrostjo in pretokom je predstavljen na grafikonu 10. Prometni tok je enak nič, kadar na obravnavanem odseku ni vozil oziroma v primeru, ko je na odseku preveliko število vozil in se le-ta ne morejo več premikati. Pri maksimalnem pretoku zavzema hitrost srednjo vrednost med nič in hitrostjo prostega prometnega toka. Optimalna hitrost, pri kateri dosežemo največji pretok, lahko za dani odsek zavzema različne vrednosti in je odvisna od večih dejavnikov.



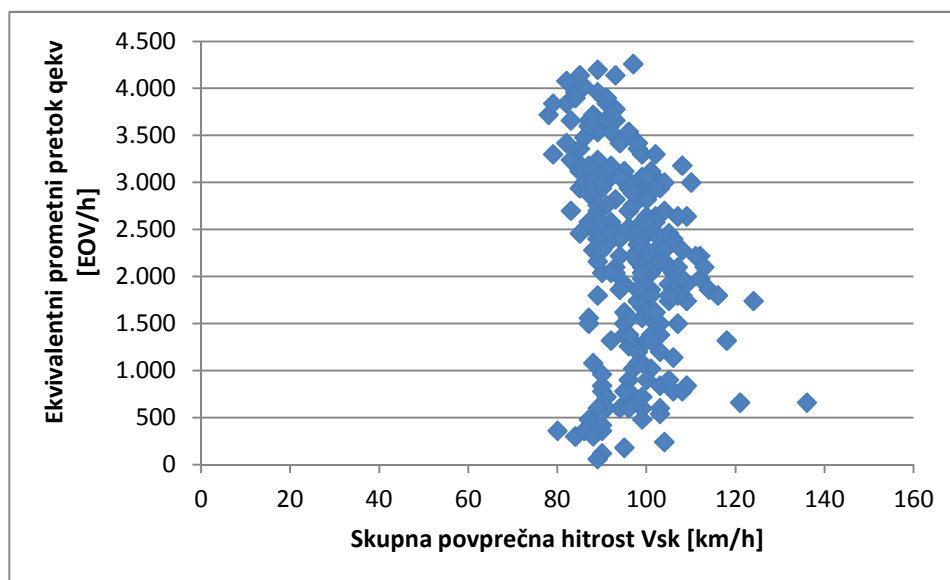
Grafikon 10: Odnos hitrost – pretok.

Iz grafikona 11 je lepo razvidno, da ko se število vozil na odseku preveč poveča, začne povprečna hitrost vozil padati. Povpraševanje je na obravnavanem preseku avtoceste preseglo kapaciteto in tako pretok kot tudi hitrost začneta upadati. Dani presek avtoceste, ki predstavlja ozko grlo, ni sposoben prevzemati takšnih prometnih obremenitev in zato prihaja do zastojev.

Po predaji pomožnega pasu v uporabo prometu se to ozko grlo odpravi. Presek, ki ga lahko uporabljajo vozila za vožnjo, je povečan za en pas in s tem je omogočen večji prometni pretok. Prometni tokovi se odvijajo tekoče. Prav tako ne prihaja več do padcev hitrosti zaradi prezasičenosti odseka. To se odraža na grafikonu 12.



Grafikon 11: Odnos hitrost – pretok za merilno mesto SPIS 03L v času med 5. in 9. uro pred spremembo prometne ureditve.



Grafikon 12: Odnos hitrost – pretok za merilno mesto SPIS 03L v času med 5. in 9. uro po spremembi prometne ureditve.

6.5 Analiza odseka Lj. Brdo–Koseze s programom PTV Vision – VISSIM

S pomočjo programske opreme PTV Vision – Vissim sta bila za obravnavano območje izdelani tudi simulaciji starega in dejanskega obstoječega stanja. Vissim je eden vodilnih mikroskopskih simulacijskih programov, s katerim je mogoče napraviti precej realne

simulacije odvijanja prometa na avtocestah, mestnih cestah ali kolesarskih stezah. Z omenjenim programom pridobimo vrsto podatkov, ki jih lahko uporabimo tudi v nadaljnjih analizah.

V obeh primerih izdelave simulacije so bili za njuno medsebojno primerjavo uporabljeni isti podatki prometnih obremenitev, pridobljeni iz ročnega štetja v jutranji konici. Še enkrat več nas je zanimalo, kakšne rezultate da sprememba odstavnega pasu na območju med priključkom Lj. Brdo in razcepom Koseze v pomožni pas ter v kakšni meri se ti rezultati ujemajo s podatki, pridobljenimi iz avtomatskih števec. Za vsak posamezni primer je bilo narejenih 10 iteracij simulacije s časovno dolžino 3600 sekund na iteracijo. Program za vsako od njih ustvari datoteko s končnico .trj. Te datoteke lahko izvozimo v samostojno aplikacijo SSAM, s katero je mogoče napovedovati raven prometne varnosti za obravnavano območje.



Slika 32: Izsek iz simulacije – priključek Lj. Brdo.

Vir: Lastni vir.

Rezultati povprečnih potovalnih hitrosti za celoten odsek, pridobljenih iz simulacije za staro stanje, se ujemajo s podatki o povprečnih hitrostih vozil, izmerjenih na območju portala SPIS 03L. Ta povprečna hitrost znaša 77 km/h. Sicer pa odvijanje prometa v sami simulaciji poteka mnogo bolje, kot se je odvijal v realnem stanju. Možen razlog je, da je bilo nihanje

prometa v jutranji prometni konici v realnem stanju mnogo bolj izrazito, medtem ko program razvršča vozila v mrežo bolj enakomerno in zato ne prihaja do večjih zastojev.

V tabeli 11 so prikazane vrednosti, izračunane za posamezno iteracijo, v tabeli 12 pa so prikazane vrednosti, dobljene na povprečju 10. iteracij.

Tabela 11: Podatki iz simulacije Lj. Brdo, staro stanje.

Iteracija št.	Povprečna zamuda na vozilo [s]	Povprečna hitrost vozil [km/h]	Skupna zamuda vseh vozil [h]
1	13,566	76,795	13,773
2	13,786	76,673	13,997
3	13,908	76,948	14,120
4	13,687	76,846	13,896
5	13,893	76,833	14,105
6	13,463	77,454	13,669
7	13,634	77,105	13,842
8	14,388	75,814	14,608
9	14,069	76,705	14,284
10	13,242	77,868	13,444

Tabela 12: Povprečne vrednosti iz simulacije Lj. Brdo, staro stanje.

Število vozil na obravnavanem odseku	3655
Povprečna zamuda na posamezno vozilo [s]	13,764
Povprečna hitrost za posamezno vozilo [km/h]	76,904
Povprečna skupna zamuda vseh vozil [h]	13,974

Z istimi vhodnimi podatki o številu vozil na obravnavanem odseku smo v Vissimu izdelali simulacijo še za novo obstoječe stanje. Odstavni pas na odseku med priključkom Lj. Brdo in razcepom Koseze smo spremenili v pomožni pas ter zopet pognali 10 iteracij simulacije. Tudi v tem primeru se rezultati o povprečnih hitrostih na obravnavanem odseku niso bistveno razlikovali. Po podatkih števca prometa SPIS 03L je bila zabeležena povprečna hitrost vseh vozil v jutranji konici 94 km/h, povprečna hitrost na podlagi 10. iteracij simulacije pa znaša 95 km/h. Samo odvijanje prometa v simulaciji je tako kot v realnem stanju tekoče in brez posebnosti. Povprečne hitrosti vozil v primerjavi s starim stanjem so se bistveno povečale, zastoji pa so popolnoma odpravljene. Ugotovitve kažejo na to, da se je minimalni poseg v prometno ureditev na tem območju izplačal.

Tabela 13 prikazuje vrednosti po posameznih iteracijah simulacije za novo stanje odseka Lj. Brdo–Koseze, tabela 14 pa povprečje teh vrednosti.

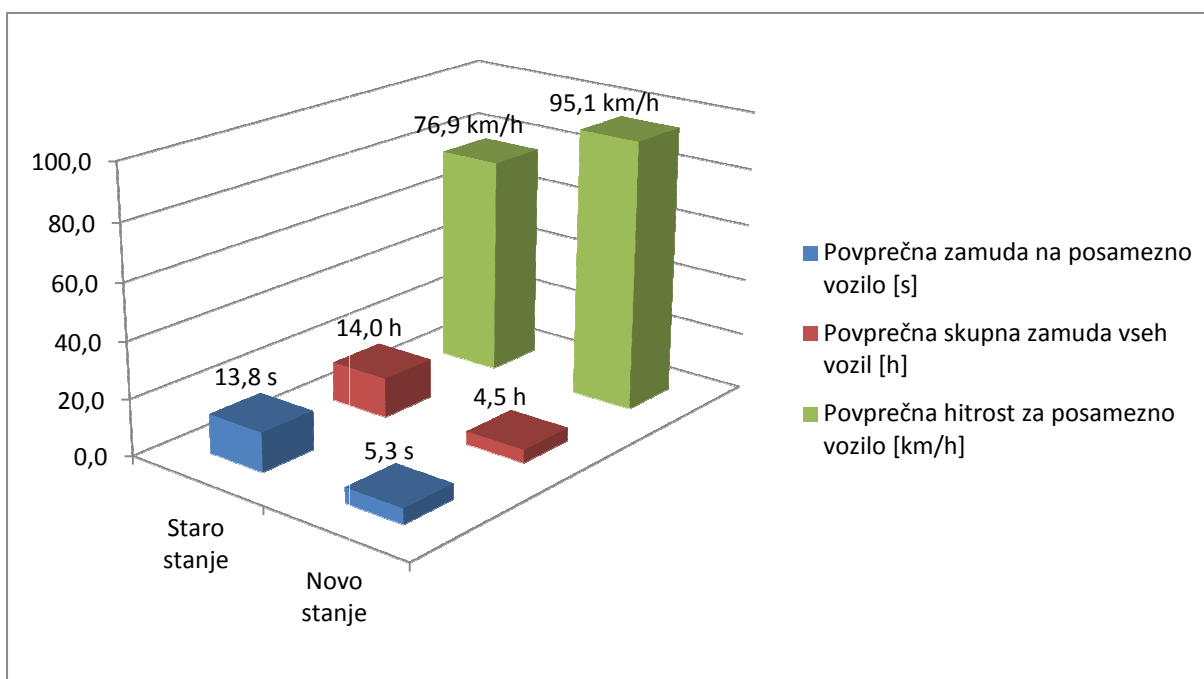
Tabela 13: Podatki iz simulacije Lj. Brdo, novo stanje.

Iteracija št.	Povprečna zamuda na vozilo [s]	Povprečna hitrost vozil [km/h]	Skupna zamuda vseh vozil [h]
1	5,166	94,843	4,280
2	5,572	94,258	4,883
3	5,355	95,533	4,522
4	5,001	95,510	5,100
5	5,590	94,795	4,931
6	5,262	95,536	4,239
7	5,371	95,131	4,212
8	5,333	94,522	4,466
9	5,187	95,710	4,118
10	5,386	95,536	4,417

Tabela 14: Povprečne vrednosti iz simulacije Lj. Brdo, novo stanje.

Število vozil na obravnavanem odseku	3655
Povprečna zamuda na posamezno vozilo [s]	5,322
Povprečna hitrost za posamezno vozilo [km/h]	95,137
Povprečna skupna zamuda vseh vozil [h]	4,517

Primerjava povprečnih skupnih zamud vseh vozil med starim in novim stanjem pokaže, da vozila sedaj porabijo trikrat manj časa kot nekoč za isto pot.



Grafikon 13: Grafična primerjava povprečnih vrednosti za staro in novo stanje odseka Lj. Brdo–Koseze.

6.6 Napovedovanje ravni prometne varnosti s programom SSAM

Programska oprema SSAM nam omogoča, da za posamezne mikroskopske simulacije prometa napovemo število konfliktov med posameznimi vozili in s tem možnost potencialne nevarnosti za nastanek nesreč na obravnavanem območju. Simulacijska orodja so primerna za ocenjevanje relativne uspešnosti enega modela v primerjavi z drugim. To lahko s pridom izkoristimo tudi tu, kjer bomo za odsek Lj. Brdo–Koseze preverili, če se je s spremembo prometne ureditve spremenilo tudi število konfliktnih situacij.

S podatki o trajektorijah vozil za posamezno simulacijo ustvarimo s programom Vissim datoteke .trj. Te datoteke nato uvozimo v programsko opremo SSAM, ki procesira ugotovljene konflikte. Programska oprema uporablja dve mejni vrednosti za varnostne meritve, ki interakcijo med dvema voziloma definira kot konflikt. To sta:

- čas do trka (TTC) in
- priključni čas (PET).

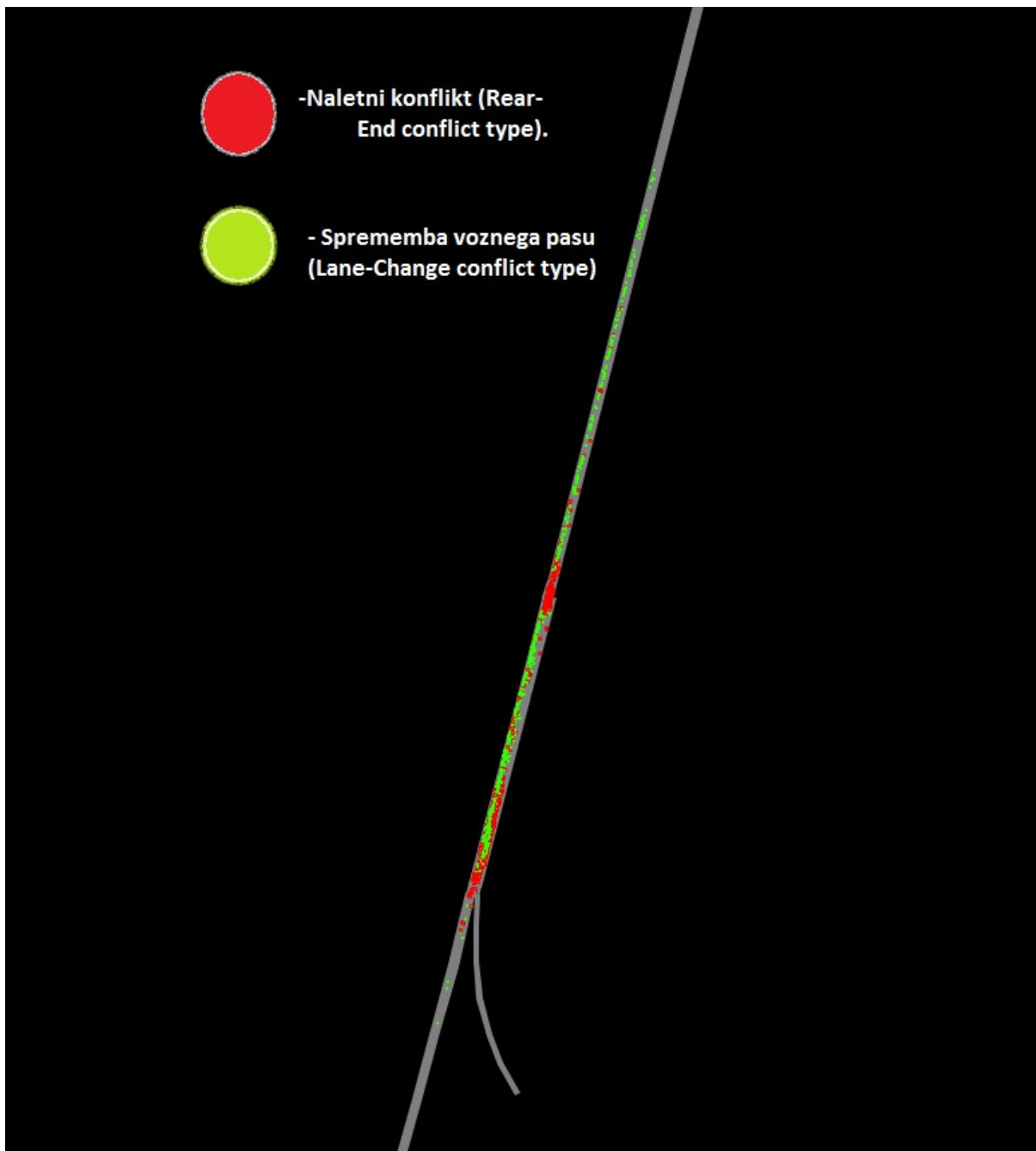
Rezultati, ki nam jih vrne programska oprema SSAM za staro stanje območja Lj. Brdo–Koseze po obdelavi 10. iteracij, so sledeči (tabela 15):

Tabela 15: Število konfliktov na območju Lj. Brdo–Koseze, staro stanje.

Območje Lj. Brdo - Koseze staro stanje	Nerazvrščeni konflikti	Križanje	Naletni konflikti	Spremembe voznega pasu	Skupno št. konfliktov
D:\Janez\Vissim Brdo Staro\staro_01.trj	0	0	137	173	310
D:\Janez\Vissim Brdo Staro\staro_02.trj	0	0	144	150	294
D:\Janez\Vissim Brdo Staro\staro_03.trj	0	0	152	137	289
D:\Janez\Vissim Brdo Staro\staro_04.trj	0	0	161	164	325
D:\Janez\Vissim Brdo Staro\staro_05.trj	0	0	100	143	243
D:\Janez\Vissim Brdo Staro\staro_06.trj	0	0	146	150	296
D:\Janez\Vissim Brdo Staro\staro_07.trj	0	0	162	150	312
D:\Janez\Vissim Brdo Staro\staro_08.trj	0	0	142	135	277
D:\Janez\Vissim Brdo Staro\staro_09.trj	0	0	147	154	301
D:\Janez\Vissim Brdo Staro\staro_10.trj	0	0	113	112	225
SKUPAJ	0	0	1404	1468	2872

Posamezne tipe konfliktov in njihove lokacije je v SSAM-u mogoče prikazati tudi na zemljevidu. Kot lahko razberemo s slike 33, prevladujejo konflikti naletnega tipa predvsem na območju, kjer se pripoji priključek Lj. Brdo ter na območju, kjer se konča pospeševalni pas. Največ konfliktnih tipov spremembe voznega pasu nastaja po celotni dolžini kjer, se nahaja pospeševalni pas. Na tem mestu se vozila, ki prihajajo po avtocesti razvrščajo, na

prehitevalni pas, vozila, ki prihajajo s priključka Lj. Brdo, pa se poskušajo vključiti na vozni pas avtoceste.



Slika 33: Konfliktne točke območja Lj. Brdo–Koseze, staro stanje.

Vir: Lastni vir.

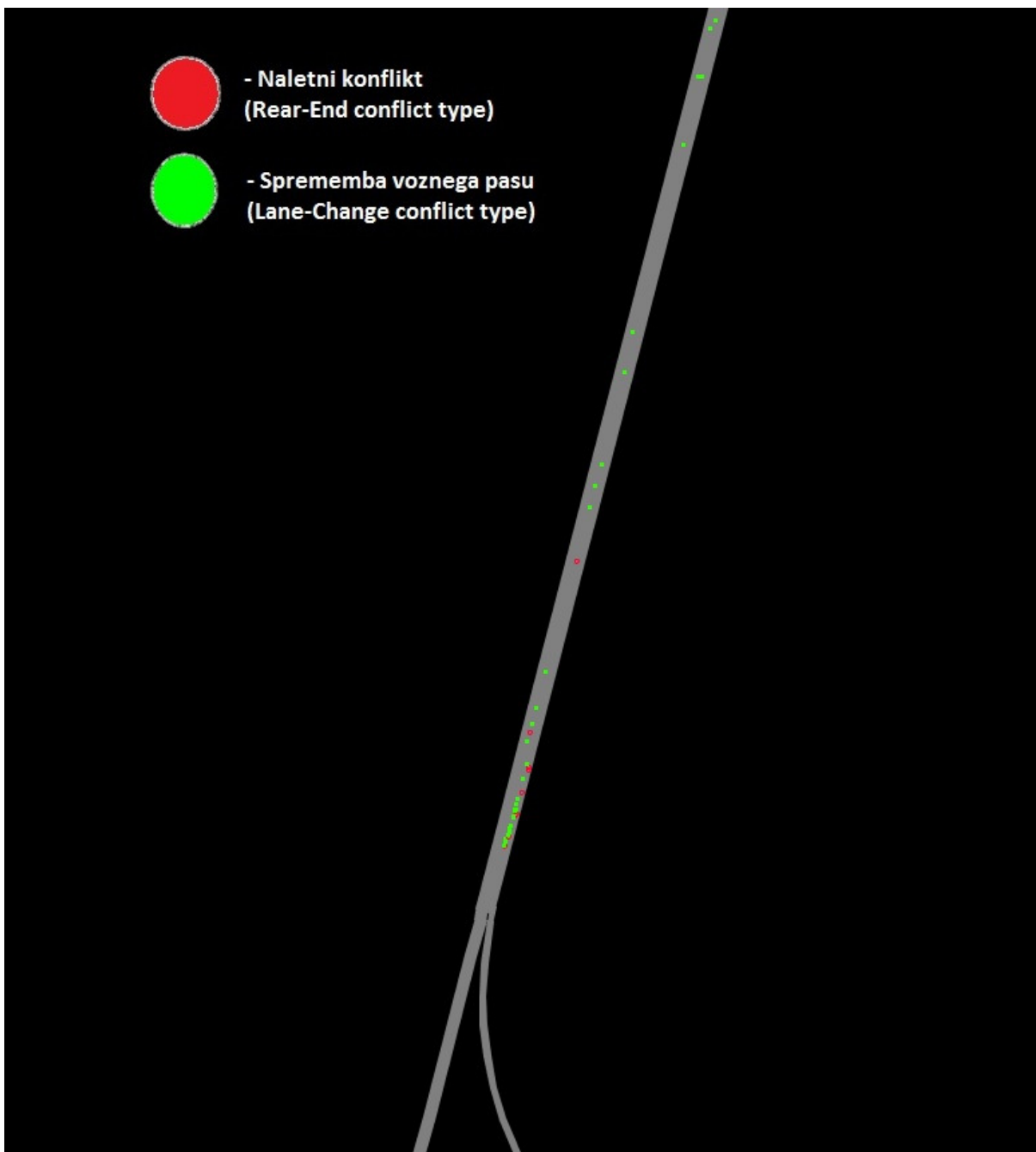
Enako obdelavo .trj datotek v SSAM-u smo napravili še za novo obstoječe stanje na območju Lj. Brdo–Koseze. Rezultati so sledeči (tabela 16):

Tabela 16: Število konfliktov na območju Lj. Brdo–Koseze, novo stanje.

Območje Lj. Brdo - Koseze novo stanje	Nerazvrščeni konflikti	Križanje	Naletni konflikti	Spremembe voznega pasu	Skupno št. konfliktov
D:\Janez\Vissim Brdo Novo\Novo_01.trj	0	0	0	18	18
D:\Janez\Vissim Brdo Novo\Novo_02.trj	0	0	0	18	18
D:\Janez\Vissim Brdo Novo\Novo_03.trj	0	0	0	12	12
D:\Janez\Vissim Brdo Novo\Novo_04.trj	0	0	1	15	16
D:\Janez\Vissim Brdo Novo\Novo_05.trj	0	0	3	12	15
D:\Janez\Vissim Brdo Novo\Novo_06.trj	0	0	2	20	22
D:\Janez\Vissim Brdo Novo\Novo_07.trj	0	0	2	9	11
D:\Janez\Vissim Brdo Novo\Novo_08.trj	0	0	0	9	9
D:\Janez\Vissim Brdo Novo\Novo_09.trj	0	0	1	12	13
D:\Janez\Vissim Brdo Novo\Novo_10.trj	0	0	1	16	17
SKUPAJ	0	0	10	141	151

Iz tabele 16 je moč razbrati, da se po spremembi odstavnega pasu v pomožni pas naletni konflikti praktično izničijo oz. se zmanjšajo na povprečno en naletni konflikt na iteracijo. To pomeni, da ni več sledu o zastojih, promet se odvija tekoče tako kot v realnem stanju na kraju samem. Zaradi velikega števila vozil, ki se prepletajo, ostaja le še konfliktni tip zaradi spremembe voznega pasu. Toda tudi ta se je v primerjavi s starim stanjem zmanjšal za več kot 10-krat.

Na sliki 34 prevladuje konfliktni tip zaradi spremembe voznega pasu. Ti konflikti se v največji meri pojavljajo kmalu po pripojitvi priključka Lj. Brdo k avtocesti A2. Nastanejo predvsem zato, ker se nekatera vozila s priključka Lj. Brdo želijo takoj vključiti na AC A2. To lahko povzroči, da nastane še nekaj konfliktov naletnega tipa, ko se vozila iz pospeševalnega pasu prehitro vključijo na vozni pas, medtem ko še ne dosežejo zadostne hitrosti prometnega toka na AC. V primeru da se vozilo, ki prihaja po voznem pasu, nima možnosti umakniti na prehitevalni pas, ker je le-ta zaseden, lahko to privede do naletnega trčenja od zadaj.



Slika 34: Konfliktne točke območja Lj. Brdo–Koseze, novo stanje.

Vir: Lastni vir.

6.6.1 T-test za odsek Lj. Brdo–Koseze

Za dodatno analizo več različnih prometnih ureditev ponuja program SSAM tudi primerjavo rezultatov s pomočjo T-testa. V našem primeru je bila narejena primerjava med starim in novim obstoječim stanjem za odsek Lj. Brdo–Koseze. Vrednost α T-testa smo nastavili na

0,05, kar pomeni, da lahko s 95 % gotovostjo trdimo, da so rezultati pravilni. S pomočjo statistične značilnosti (Significant) lahko statistično vrednost sprejmemo ali zavrnilo. V kolikor je rezultat statistične značilnosti YES, pomeni, da imamo 95 % verjetnost da obstaja bistvena statistična razlika med primerjanima vrednostima.

Tabela 17: Primerjava starega in novega stanja na odseku Lj. Brdo - Koseze.

SSAM Measures	Mean (Brdo Staro)	Variance (Brdo Staro)	Replications (Brdo Staro)	Mean (Brdo Novo)	Variance (Brdo Novo)	Replications (Brdo Novo)	t value	t critical	Significant	Mean Difference
TTC	0,369	0,304	2.872	0,285	0,246	151	2,011	1,660	YES	0,084
PET	0,221	0,179	2.872	0,106	0,037	151	6,565	1,660	YES	0,115
MaxS	26,484	24,716	2.872	32,438	21,140	151	-15,45	1,66	YES	-5,954
DeltaS	11,186	39,000	2.872	7,248	19,732	151	10,368	1,660	YES	3,938
DR	-2,662	6,588	2.872	-4,800	5,180	151	11,173	1,660	YES	2,138
MaxD	-4,198	10,379	2.872	-6,141	1,995	151	14,985	1,660	YES	1,944
MaxDeltaV	6,238	12,252	2.872	3,728	5,254	151	12,700	1,660	YES	2,510
Conflict Types	Mean (Brdo Staro)	Variance (Brdo Staro)	Replications (Brdo Staro)	Mean (Brdo Novo)	Variance (Brdo Novo)	Replications (Brdo Novo)	t value	t critical	Significant	Mean Difference
Crossing	0,000	0,000	10	0,000	0,000	10	0,000	1,734	NO	0,000
Rear-end	140,400	390,044	10	1,000	1,111	10	22,289	1,734	YES	139,400
Lane changing	146,800	280,622	10	14,100	14,989	10	24,407	1,734	YES	132,700
Total	287,200	978,622	10	15,100	15,211	10	27,294	1,734	YES	272,100

... kjer je:

TTC = čas do trka

PET = priključni čas

MaxS = največja hitrost obeh vozil

DeltaS = razlika v hitrosti vozila

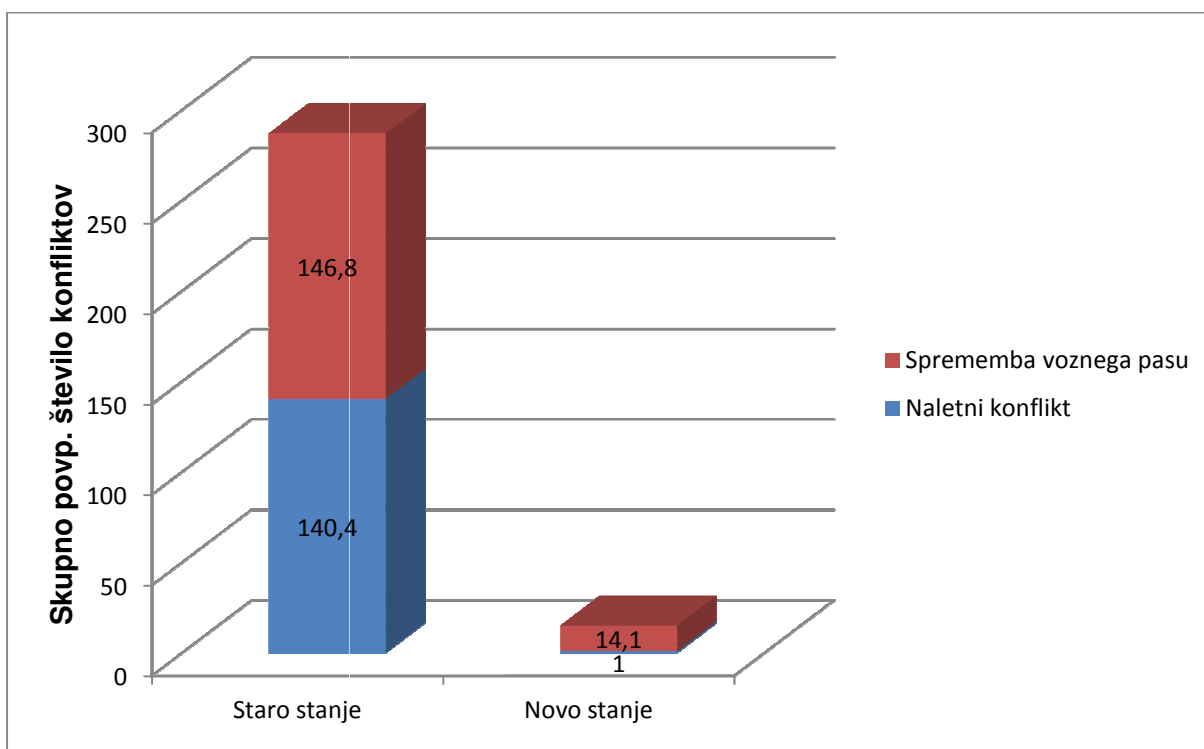
DR = pojemek vozila

MaxD = največji pojemek drugega vozila

MaxDeltaV = največja vrednost DeltaV (sprememba med konfliktno hitrostjo in hitrostjo po trku obeh vozil) v konfliktu.

V tabeli 17 so prikazani rezultati T-testa primerjave med starim in novim izboljšanim stanjem prometne ureditve na odseku Lj. Brdo–Koseze. Rezultati kažejo, da se statistične vrednosti v obeh variantah razlikujejo. V predzadnjem stolpcu Significant - statistična značilnost so v vseh kolonah potrjene razlike v statističnih vrednostih (YES). Le v vrstici Crossing (križanje) je statistična vrednost enaka. Tako je tudi prav, saj v nobenem primeru nismo imeli križanja,

ker se to na avtocesti ne pojavlja. Rdeče in zeleno obarvani polji predstavljata srednji vrednosti (Mean) za posamezni obravnavan primer. Vrednosti konfliktnih tipov (Conflict Types) so pri starem stanju odseka Lj. Brdo–Koseze mnogo višje kot pri novem obstoječem stanju. Glede na skupno število vseh konfliktov lahko s 95 % verjetnostjo trdimo, da je nova ureditev odseka Lj. Brdo–Koseze prometno varnejša od stare.



Grafikon 14: Primerjava posameznih tipov konfliktov med vozili za staro in novo stanje.

6.7 Primerjava prometnih podatkov odseka Lj. Brdo–Koseze po namestitvi dodatnega mikrovalovnega detektorja

Proti koncu izdelave diplomske naloge je bil na merilnem mestu SPIS 03L postavljen še dodatni mikrovalovni detektor nad pomožnim pasom. Zato smo pridobili še najnovejše podatke ter preverili, kako se promet odvija sedaj, po dveh letih od odprtja pomožnega pasu. V tabeli 18 so prikazani pretoki vozil po posameznih pasovih za čas jutranje konice med 7. in 8. uro. Ekvivalent prometnega pretoka znaša 3514 EO/h. Celotna tabela števnih podatkov za jutranjo konico 22. 10. 2012 je podana v prilogi C.

Tabela 18: Pretok vozil – števec prometa 03L na odseku AC A-2 0614.

Prometni pas	OV	TV	Skupaj (voz/h)
Prehitevalni	1345	3	1348
Vozni	470	73	543
Pomožni	1140	71	1211
Skupaj (voz/h)	2955	147	3102

$$q_{EKV} = 3514 \text{ EOV/h}$$

Če naredimo primerjavo s podatki, pridobljenimi z ročnim štetjem, opravljenim pred dobrim letom dni, ugotovimo, da se je skupni prometni pretok v tem času znatno zmanjšal. Pred letom dni je znašal 3655 vozil/h, sedaj le še 3102 voz/h. Kljub temu se je uporaba pomožnega pasu povečala. Iz 951 voz/h se je število uporabnikov, ki se na pomožni pas razvrstijo že pred števničnim mestom SPIS 03L, povečalo na 1211 voz/h. To pomeni porast uporabe v enem letu za več kot 20 %. Zaradi manjšega pretoka vozil se je nekoliko zmanjšala tudi gostota. Iz prejšnjega povprečja 15 vozil EOV/pas/km v jutranji konici je sedaj padla na 12 vozil EOV/pas/km. Kljub temu nivo usluge po HCM2000 še vedno ostaja v razredu C. Nekoliko so se povečale tudi povprečne hitrosti iz 94 km/h na 99 km/h (tabela 19).

Tabela 19: Povprečne hitrosti po posameznih prometnih pasovih.

Prometni pas	Povprečne hitrosti (km/h)
Prehitevalni	109
Vozni	101
Pomožni	87
Povprečje skupaj (km/h)	99

6.8 Zaključne ugotovitve o obravnavanem odseku Lj. Brdo–Koseze

Pregled prometnih podatkov za obravnavni odsek pokaže, da so prometne obremenitve v času konic na tem delu ljubljanskega avtocestnega obroča res izjemno velike. Kapacitete odsekov v krajših časovnih obdobjih, preračunane na celo uro, so nemalokrat presežene. Ameriške smernice za projektiranje avtocest HCM navajajo za kapaciteto dvopasovne avtoceste 4800 EOV/h pri hitrosti prostega prometnega toka 120 km/h (2000). Kot lahko vidimo iz tabele 5 so bili marsikdaj ti pretoki še mnogo višji pri podobnih hitrostih, večja je bila

tudi gostota prometnega toka. To pomeni, da so časovni razmaki med posameznimi vozili manjši, kar lahko pomembno vpliva na prometno varnost, saj je v primeru prekratkih varnostnih razdalj možnost naletov mnogo večja.

Iz primerjave podatkov avtomatskega štetja ter podatkov, pridobljenih na terenu, lahko ugotovimo, da se je sprememba odstavnega pasu v pomožnega na odseku Lj. Brdo–Koseze vsekakor izplačala. Za doseg očitne izboljšave je bil poseg na terenu minimalen. Izbrisati je bilo potrebno le talno označbo, ki je ločevala odstavnici in vozni pas, ter jo nadomestiti z novo prekinjeno črto, ki sedaj ločuje vozni in pomožni pas. Ob tem se je postavilo še dve prometni tabli, ki označujeta območje SOS na tem območju. V prihodnosti bo potrebno dodatno utrditi tudi nekdanji odstavnici pas, saj ni bil načrtovan za tako velike prometne obremenitve. Sedaj ga predvsem težki kamioni hitro načenjajo. V primeru, da se dela nekoliko večji poseg, bi lahko pas še nekoliko razširili in s tem dodatno prispevali k boljši pretočnosti prometnega toka.

7 ODSEK LJ. ŠENTJAKOB–LJ. SNEBERJE

Odsek Šentjakob–Sneberje je del odseka Šentjakob–Malence, ki meri v dolžino 10,7 km. Predstavlja vzhodni del ljubljanske avtocestne obvoznice. Odsek se začne na meji z občino Domžale, kjer se navezuje na štajerski avtocestni krak (avtocestni odsek Blagovica–Šentjakob). Preko razcepa Zadobrova se nanj navezuje severna obvozna HC Ljubljana. Zaključni se v razcepu Malence, kjer se naveže na južni del ljubljanske avtocestne obvoznice in avtocesto proti Dolenjski. V okviru analize tega območja bosta pomembna predvsem dva priključka avtocestnega odseka Šentjakob–Malence, in sicer priključek Ljubljana Šentjakob in priključek Ljubljana Sneberje. Priključek Lj. Šentjakob se v odsek vključi prvi in nam s križanjem z Zasavsko cesto da obliko diamanta, ki premosti potok Stokalca in reko Savo. Drugi priključek Lj. Sneberje nam pri križanju z Agrokombinatsko cesto da obliko polovične deteljice, ki na avtocesto veže še cesti Šmartinska in Zadobrovska.

7.1 Prometna ureditev odseka Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje

Priključek Lj. Šentjakob spada med bolj obremenjene priključke na ljubljanskem obroču. V času jutranje konice je zelo obremenjena priključna rampa proti Ljubljani, v času popoldanske pa prevzema velike obremenitve izvozna rampa proti Litiji in Šentjakobu. Razdalje med priključkoma Lj. Šentjakob in Lj. Sneberje so na obeh straneh avtoceste manjše od predpisanih $600 + I_u + I_i$. V smeri proti Ljubljani je med koncem pospeševalnega pasu na priključku Lj. Šentjakob, ki je dolg 289 m, in začetkom zaviralnega pasu na izvozni rampi Lj. Sneberje, ki je dolga le 238 m, zaporna ploskev dolga 354 m, kar je precej manj od minimalno predpisanih 600 m. V smeri proti Mariboru je od priključka Lj. Sneberje do izvoza Lj. Šentjakob razdalja med koncem pospeševalnega in začetkom zaviralnega pasu (zaporna ploskev) dolga samo 221 m (Maher, 2008: 24).

Zaradi velikih prometnih obremenitev tako na rampah kot tudi na avtocesti A1 so dolžine pospeševalnih in zaviralnih pasov prekratke. To se najbolj odraža v času jutranje konice, ko se vozila iz smeri Litije in Šentjakoba v strnjeni koloni na priključku preko rampe vključujejo na avtocesto. Vozila na avtocesti se iz voznega pasu umikajo na prehitevalni, kar povzroča velike turbulence na obeh voznih pasovih. Promet na tem odseku se nenadoma zgosti, hitrosti pa hipno padejo. Zaradi tega nastane udarni val, ki se pomika protitočno in lahko povzroča zastoje daleč nazaj proti Domžalam.



Slika 35: Jutranja prometna konica – Šentjakob.

Vir: Lastni vir.

7.2 Predlogi izboljšav

Zaradi neizpolnjevanja pogoja minimalne razdalje med priključki, ki mora biti večja od $600\text{ m} + l_u + l_i$, predlagamo, da se zaporna ploskev v dolžini 354 m med priključkoma Lj. Šentjakob in Lj. Sneberje odstrani, priključka pa se poveže s t. i. pomožnim pasom, ki se ga obeleži s kratko široko prekinjeno črto (V-5.1) iz 37. člena Pravilnika o prometni signalizaciji in prometni opremljenosti na javnih cestah (Uradni list RS 46/2000). Pred omenjenim bi morali dodatno utrditi in na novo preplastiti 158 m odstavnega pasu. Odstraniti bi bilo potrebno tudi SOS telefon, ki se nahaja za zaščitno ograjo v območju zaporne ploskve (slika 36), ker bi bilo ustavljanje na tem delu po spremembi ureditve onemogočeno. Dostop do telefona je že zdaj slabo urejen. Do njega se praktično dostopa iz začetka zaviralnega pasu za izvoz Lj. Sneberje, kar pa lahko predstavlja veliko nevarnost za nekoga, ki bi želel priti do tega telefona.

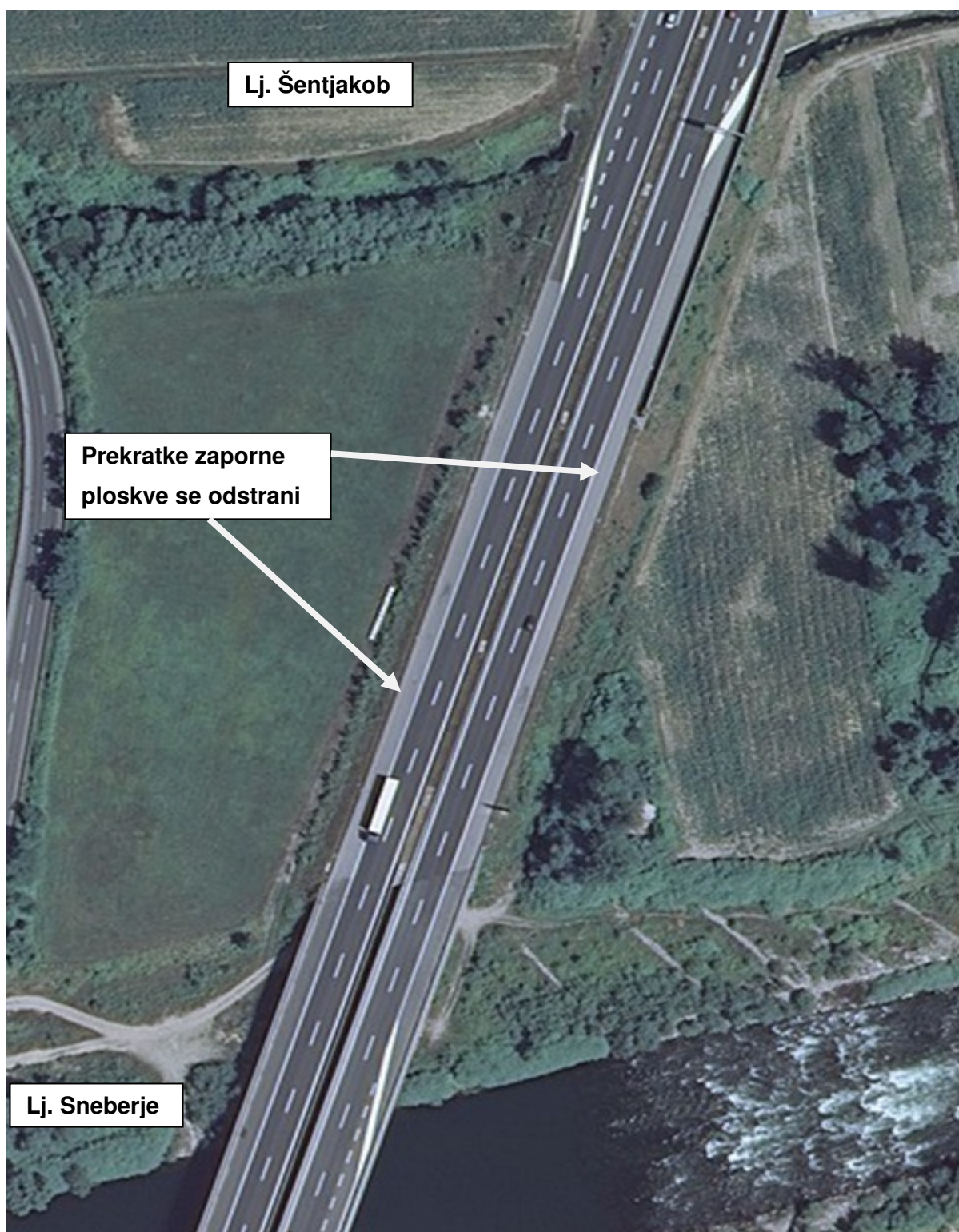


Slika 36: SOS telefon z nevarnim dostopom.

Vir: Lastni vir.

Izvedba takšnega ukrepa, ki se je kot primer dobre prakse izkazal na odseku Lj. Brdo - Koseze, bi lahko tudi tukaj nekoliko omilila prometne težave, ki nastajajo ob jutranjih konicah. Podaljšanje pospeševalnega pasu bi vozilom iz priključne rampe Lj. Šentjakob omogočilo lažje doseganje hitrosti prometnega toka, kakršna obstaja na avtocesti, s tem pa bi se vozilom olajšalo tudi vključevanje v glavni prometni tok. Nekatera vozila bi lahko svojo pot nemoteno nadaljevala iz uvoza Lj. Šentjakob neposredno na izvoz Lj. Sneberje in se jim za ta manever ne bi bilo potrebno vključevati na avtocesto. Tudi to bi doprineslo k zmanjšanju turbulenc v okolici rampe.

Problematično je tudi diamantno križišče. Na Zasavski cesti iz smeri Šentjakob bi bilo potrebno v križišču bolje urediti pas za desne zavijalce, ki želijo priti na avtocesto za smer Ljubljana. Sedaj se ta pas odcepi desno od pasu, ki vodi naravnost proti Litiji, tik pred križiščem. Kakor hitro so pred semaforjem štiri vozila, včasih tudi manj, naslednje v vrsti ne more več zaviti desno na priključno rampo za avtocesto (slika 38). Vozila morajo zato brez potrebe čakati na zeleno luč z ostalimi, ki želijo naravnost.



Slika 37: Ortofoto posnetek območja priključkov Lj. Šentjakob in Lj. Sneberje.

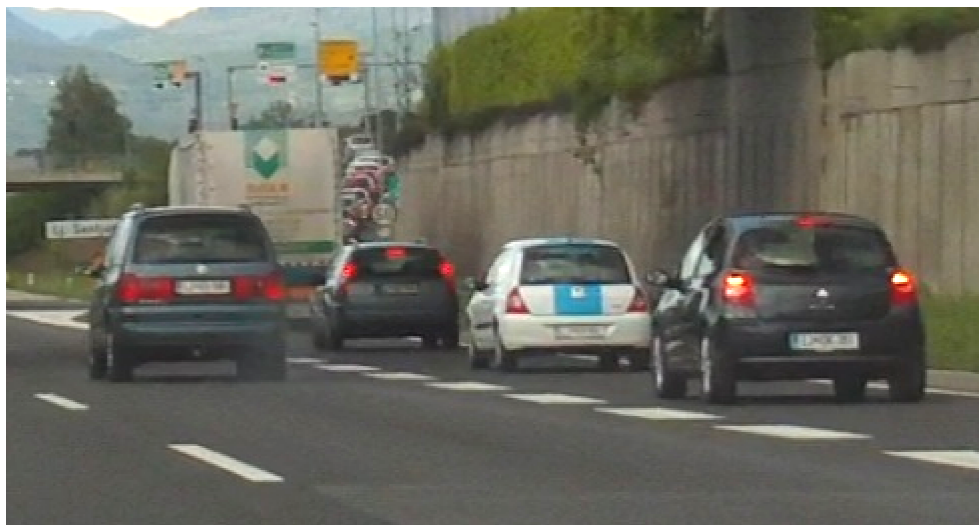
Vir: <http://www.geopedia.si>.



Slika 38: Križišče priključka Šentjakob.

Vir: www.najdi.si/zemljevid.

Podobno stanje je tudi na nasprotni strani avtoceste v obratni smeri med priključkoma Lj. Sneberje in Lj. Šentjakob. Tu bi bilo potrebno zaradi prekratke dolžine odstraniti zaporno ploskev, dolgo 221 m in dodatno utrditi 200 m odstavnega pasu ter s kratko, široko prekinjeno črto v skladu z že omenjenim pravilnikom vzpostaviti pomožni pas. Enako bi bilo potrebno odstraniti tudi SOS telefon, ki stoji na tem območju in nosi oznako E43. Problematika se tukaj pojavlja v času popoldanske prometne konice. Prometni tok je močno povečan iz smeri Ljubljane proti Litiji. Zaradi semaforja v križišču nastajajo kolone, ki segajo nazaj na avtocesto in včasih se morajo vozila ustavljati že na odstavnem pasu (slika 39). Zaradi tega bi bilo potrebno v križišču urediti pas za desne zavijalce z rumeno utripajočo lučjo. S tem bi bil problem rešen. Smer od Šentjakoba proti Litiji je večino časa prazna, tako da vozila, ki želijo zaviti proti Litiji, ne čakajo nikogar drugega kot le zeleno luč na semaforju.



Slika 39: Izvoz Lj. Šentjakob v času popoldanske prometne konice.

Vir: Lastni vir.

Še lažje bi bilo, če bi se v Sloveniji dovoljevalo zavijanje desno kljub rdeči luči, kot je to v nekaterih državah že dolgo časa povsem običajna praksa. Ob semaforju bi morali le dodati tablo z zeleno puščico in obrazložitvijo, ki bi to dovoljevala (slika 40). Toda tega pri nas še ne gre pričakovati, zato pride prej v poštev prva, dražja rešitev.



Slika 40: Predlog dovoljenega zavijanja desno kljub rdeči luči.

Vir: Žurnal24.si

7.3 Ročno štetje

Za boljše razumevanje prometne situacije in za potrebo analize, s katero bomo ugotovili, ali bi predlagan ukrep odprave zapornih ploskev tudi v resnici prinesel izboljšave na odseku Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje, smo opravili ročno štetje prometa v času jutranje urne konice med 7. in 8. uro. Prešteli smo vozila na obeh priključkih ter glavni smeri proti Ljubljani. Podatki so zbrani v spodnjih tabelah.

Tabela 20: Pretok vozil – ročno štetje 18. 10. 2011. Pretoki na uvozni rampi priključka Lj. Šentjakob proti Ljubljani.

Ura	OV	TV	Skupaj
7:00–7:15	234	6	240
7:15–7:30	246	6	252
7:30–7:45	258	11	269
7:45–8:00	220	11	231
Skupaj (voz/h)	958	34	992

Tabela 21: Pretok vozil – ročno štetje 18. 10. 2011. Pretoki na AC A1 proti Ljubljani pred priključkom Lj. Šentjakob.

Ura	OV	TV	Skupaj
7:00–7:15	763	63	826
7:15–7:30	752	73	825
7:30–7:45	721	75	796
7:45–8:00	693	66	759
Skupaj (voz/h)	2929	277	3206

Tabela 22: Pretok vozil – ročno štetje 18. 10. 2011. Pretoki na AC A1 proti Ljubljani za priključkom Lj. Šentjakob.

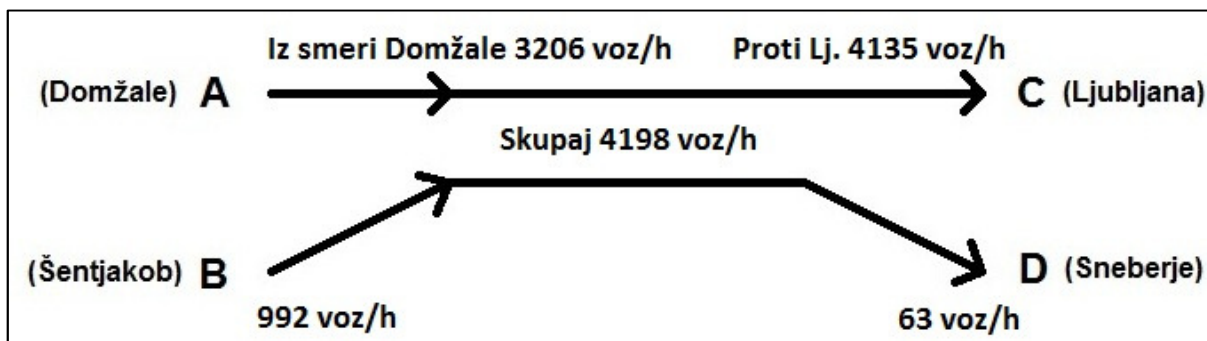
Ura	OV	TV	Skupaj
7:00–7:15	997	69	1066
7:15–7:30	998	79	1077
7:30–7:45	979	86	1065
7:45–8:00	913	77	990
Skupaj (voz/h)	3887	311	4198

Tabela 23: Pretoki vozil – ročno štetje 18. 10. 2011. Pretoki na izvozu Lj. Sneberje proti Ljubljani.

Ura	OV	TV	Skupaj
7:00–7:15	19	0	19
7:15–7:30	15	0	15
7:30–7:45	16	0	16
7:45–8:00	13	0	13
Skupaj (voz/h)	63	0	63

Tabela 24: Pretoki vozil – ročno štetje 18. 10. 2011. Pretoki na uvozu Lj. Sneberje proti Ljubljani.

Ura	OV	TV	Skupaj
7:00–7:15	97	0	97
7:15–7:30	79	3	82
7:30–7:45	95	1	96
7:45–8:00	78	3	81
Skupaj (voz/h)	349	7	356



Slika 41: Prikaz pretokov vozil po smereh na območju priključkov Lj. Šentjakob in Lj. Sneberje.

Vir: Lastni vir.

7.4 Analiza območja s programom HCS+

HCS+ (Highway Capacity Software) je programska oprema, ki je neposredno podprta s priročnikom HCM (Highway Capacity Manual). Ta program omogoča signalizacijsko optimizacijo križišč, prometnic in prometnega omrežja. Z njim lahko določamo nivoje uslug za posamezne obravnavane odseke različnih vrst cest in križišč ter za določevanje nivoja uslug območij prepletanja, območij priključnih ramp in osnovnih avtocestnih odsekov.

Za obravnavani odsek med priključkoma Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje smo v programu HCS+ napravili primerjalno analizo med obstoječim stanjem ter stanjem za primer po odstranitvi zaporne ploskve in ureditvi območja prepletanja. Za obravnavo podatkov obstoječe ureditve smo v programu HCS+ uporabili aplikacijo priključnih ramp (ang. Ramps), za analiziranje podatkov po vzpostavitvi pomožnega pasu pa aplikacijo prepletanja (ang. Weaving).

Program HCS+ se za izračunavanje nivoja uslug poslužuje enačb, kakršne so navedene v priročniku HCM. V program je potrebno vnesti zahtevane prometne podatke, katere se lahko pridobi z ročnim štetjem ali avtomatskimi števci, fizične značilnosti obravnavanega odseka, ter hitrosti, ki veljajo za prosti prometni tok.

7.4.1 Določevanje nivoja uslug obstoječega stanja s programom HCS+

Za analizo obstoječega stanja smo se poslužili podatkov, ki smo jih pridobili s pomočjo ročnega štetja. V program je bilo potrebno vnesti podatke o pretoku na glavni smeri in priključni rampi Lj. Šentjakob ter podatke o pretoku na izvozni rampi Lj. Sneberje, ker je njuna medsebojna oddaljenost precej kratka in s tem vplivata ena na drugo.

Na začetku se v program vnese nekaj splošnih podatkov o analizi, v nadaljevanju pa je za izračun potrebno vnesti naslednje podatke:

- Podatke o avtocesti:
 - tip rampe: uvozna,
 - št. pasov na avtocesti: 2,
 - hitrost prostega prometnega toka na avtocesti: 120 km/h,
 - pretok vozil na avtocesti: 3206 voz/h.

- Podatke o priključni rampi:
 - uvozna rampa na desni strani avtoceste,

- št. pasov na rampi: 1,
 - hitrost prostega prometnega toka na rampi: 40 km/h,
 - pretok vozil na rampi: 992 voz/h,
 - dolžina pospeševalnega pasu: 289 m.
- Podatke o sosednji rampi:
 - ali obstaja: da,
 - pretok na sosednji rampi: 63 voz/h,
 - položaj sosednje rampe: sotočno,
 - tip rampe: izvozna,
 - razdalja do sosednje rampe: 354 m.

V nadaljevanju je v program potrebno vnesti še faktorje urnih konic, deleže tovornih vozil, avtobusov in rekreacijskih vozil, tip in naklon terena ter faktorje tipa voznikov za avtocesto in obe rampi. Po enačbah, ki so navedene v priročniku HCM, program izračuna ekvivalentni pretok vozil in gostoto prometnega toka na območju zlivanja. Na podlagi vseh vnešenih in izračunanih podatkov program nato določi nivo uslug za obravnavano območje. Vsota pretoka na avtocesti pred območjem rampe in pretoka, ki na glavno smer prihaja iz rampe, ne sme preseči kapacitete osnovnega avtocestnega odseka, ki po HCM znaša 4800 EO/h pri hitrosti prostega prometnega toka 120 km/h. V primeru presežene kapacitete odseka za območjem rampe program določi nivo usluge F. V našem primeru je ta mejna vrednost presežena in s 4811 EO/h program za obravnavani odsek določi nivo usluge F (glej prilogo A). Povpraševanje presega kapaciteto avtocestnega odseka. Definicija nivoja usluge F pravi, da se morajo vozila na pospeševalnem pasu zaustaviti, preden lahko izvedejo želeno operacijo vključevanja. To povzroča kolone na rampi kakor tudi občasne zastoje na glavni prometni smeri. Vpliv prometnega dogajanja na območju ramp tako zajame vse vozne pasove na glavni prometni smeri. V jutranji konici je dejansko stanje zelo podobno temu, kot je opisano v definiciji. Hitrosti se zmanjšujejo, ko se na avtocesto vključuje strnjena kolona, ki prihaja po priključni rampi. To povzroči udarni val v protitočni smeri, ki lahko sega vse do Domžal. Nato na rampi nekaj časa ni nobenih vozil. Takrat se stanje zopet izboljšuje in hitrosti vozil na avtocesti začnejo naraščati, vse dokler po priključni rampi ne pride nova pošiljka vozil. Takrat se vse skupaj ponovi in traja dokler ne mine jutranja prometna konica.

7.4.2 Določevanje nivoja uslug po spremembi ureditve s programom HCS+

Program HCS+ omogoča določitev nivoja uslug tudi za območja prepletanja. S to analizo smo želeli izvedeti, ali bi sprememba obravnavanega odseka v območje prepletanja pripomogla k izboljšanju prometnega stanja na tem delu avtoceste. V ta namen smo za primerjavo vzeli enake podatke, kot smo jih uporabili za določitev nivoja uslug obstoječega stanja. Manjkala sta nam le točna podatka o številu vozil, ki z avtoceste zapeljejo na izvoz priključka Lj. Sneberje, ter številu vozil, ki pridejo iz priključka Lj. Šentjakob in avtocesto zapustijo na izvozu Lj. Sneberje. Zaradi velike gostote vozil in obsežnega območja proučevanja teh podatkov nismo mogli ročno določiti, oprema, ki bi nam to omogočala, pa ni bila na voljo. Zato smo vozila, ki zapustijo avtocesto na izvozu Lj. Sneberje, določili glede na število vozil na avtocesti in glede na število vozil, ki se pripeljejo po rampi priključka Lj. Šentjakob v razmerju 4 : 1. Ker je število vozil, ki zapustijo avtocesto na izvozu Lj. Sneberje zelo majhno, le 1,5 % glede na vsa vozila, ta ali katera koli druga izbira bistveno ne vpliva na končni rezultat analize.

V program smo za potrebe izračuna vnesli sledeče podatke:

- Osnovne podatke:
 - hitrost prostega prometnega toka na avtocesti: 120 km/h,
 - število pasov prepletanja: 3,
 - dolžina prepletanja: 750 m,
 - tip terena: ravninski,
 - tip prepletanja: A.

- Podatke, potrebne za izračun EO/h:
 - pretoki vozil po posameznih smereh:
 - Domžale–Ljubljana (A–C): 3159 voz/h,
 - Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje (B–D): 16 voz/h,
 - Domžale–Lj. Sneberje (A–D): 47 voz/h,
 - Lj. Šentjakob–Ljubljana (B–C): 976 voz/h,
 - faktorji urnih konic za posamezne smeri,
 - delež tovornih vozil,
 - faktor tipa voznikov.

Program na podlagi teh podatkov določi ekvivalent osebnih vozil, hitrosti prepletajočih in neprepletajočih vozil ter nivo usluge za območje prepletanja (glej prilogo B). Izkazalo se je,

da smo s spremembo obravnavanega odseka v območje prepletanja dosegli višji nivo usluge – ta se spremeni za en razred, v nivo usluge C. Zaradi daljšega območja, ki ga imajo vozila na voljo za prepletanje, se zmanjša gostota vozil, ki znaša 15,46 EOv/km/pas. Nekoliko višja je tudi povprečna hitrost vseh vozil, ki se je s prejšnjih 80,0 km/h dvignila na 98,6 km/h. Nivo usluge C pomeni, da se prometne operacije odvijajo v pogojih stabilnega prometnega toka.

Izdelana primerjalna analiza obravnavanega odseka je tako potrdila naša pričakovanja. Z ureditvijo območja prepletanja med priključkoma Lj. Šentjakob in Lj. Sneberje lahko dosežemo boljše pogoje odvijanja prometnega toka. Zaradi hitrosti, ki v območju priključka Lj. Šentjakob skokovito padejo, prihaja na tem delu avtoceste dnevno do naleta vozil, zato s spremembo prometne ureditve na tem območju ne gre več odlašati.

7.5 Analiza odseka Lj. Šentjakob - Lj. Sneberje s programom PTV Vision - VISSIM

V primeru odseka Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje imamo danes tako stanje prometne ureditve, kot je bilo nekoč na območju odseka Lj. Brdo–Koseze. Na voljo imamo simulacijsko orodje Vissim, s katerim lahko napovemo učinke spremembe prometne ureditve na območju Šentjakoba, še preden bo ta zaživela v realnem svetu. S programsko opremo Vissim smo naredili simulacijski primerjavi sedanjega obstoječega stanja ter predloga nove prometne ureditve. Za obe varianti so uporabljeni isti podatki iz ročnega štetja v jutranji konici. Iz tega pridobimo rezultate neposredne primerjave odseka pri istih vhodnih podatkih ob spremenjenih pogojih odvijanja prometnega toka.

Za vsak posamezni primer je bilo narejenih 10 iteracij simulacije s časovno dolžino 3600 sekund na iteracijo. Program nam za vsako iteracijo v datoteko izpiše podatke, ki jih potrebujemo za primerjavo med posameznima modeloma. Ustvari tudi datoteke s končnico .trj, ki pri nadaljnji obdelavi s programom SSAM služijo za napovedovanje prometne varnosti starega stanja in nove predlagane rešitve.



Slika 42: Izsek iz simulacije – priključek Lj. Šentjakob.

Vir: Lastni vir.

Promet v sami simulaciji za obstoječe stanje se odvija nekoliko bolje, kot je dejansko stanje. Razlog je v tem, da so vozniki, ki pripeljejo po priključku Lj. Šentjakob, agresivnejši in se na silo vrivajo na vozni pas avtoceste. To povzroča protitočne zastoje na avtocesti. V simulaciji je stanje ravno obrnjeno. Tukaj nastaja nekaj več kolon na pospeševalnem pasu, saj se vozniki ne vključijo na AC dokler se med vozili na voznem pasu ne pojavi zadostna vrzel, kot je predpisana v samem programu. Povprečna hitrost vseh vozil za obravnavani odsek znaša 56,95 km/h. Vrednost, ki smo jo pridobili s pomočjo programa HCS+, znaša točno 80 km/h, ob tem da je nivo uslug enak F. Povprečna zamuda za posamezno vozilo znaša 37,5 sek. (tabela 26).

Tabela 25: Podatki iz simulacije Lj. Šentjakob, obstoječe stanje.

Iteracija št.	Povprečna zamuda na vozilo [s]	Povprečna hitrost vozil [km/h]	Skupna zamuda vseh vozil [h]
1	38,188	56,401	44,531
2	38,371	56,064	44,745
3	37,520	56,579	43,752
4	29,759	62,153	34,702
5	55,367	47,122	64,564
6	37,811	56,307	44,092
7	29,298	62,420	34,165
8	32,232	60,157	37,586
9	38,301	56,016	44,663
10	38,043	56,261	44,362

Tabela 26: Povprečne vrednosti iz simulacije Lj. Šentjakob, obstoječe stanje.

Število vozil na obravnavanem odseku	4198
Povprečna zamuda na posamezno vozilo [s]	37,489
Povprečna hitrost za posamezno vozilo [km/h]	56,948
Povprečna skupna zamuda vseh vozil [h]	43,716

Z istimi vhodnimi podatki o številu vozil na obravnavanem odseku smo v Vissimu izdelali simulacijo še za idejo nove prometne ureditve. Odstavni pas na odseku med priključkoma Lj. Šentjakob in Lj. Sneberje smo spremenili v pomožnega. Vozilom smo omogočili daljšo pot za vključevanje na avtocesto ter večje območje za prepletanje. Na novo smo pognali 10 iteracij simulacije in takoj se je videlo, da se promet lepše odvija. To potrjujejo tudi rezultati. Povprečne hitrosti so se zvišale iz prejšnjih 56,95 km/h na 95,82 km/h. Tudi zamude so se zmanjšale za več kot štirikrat. Promet se odvija tekoče, brez zastojev, podobno kot se z novo ureditvijo odvija tudi na odseku Lj. Brdo–Koseze.

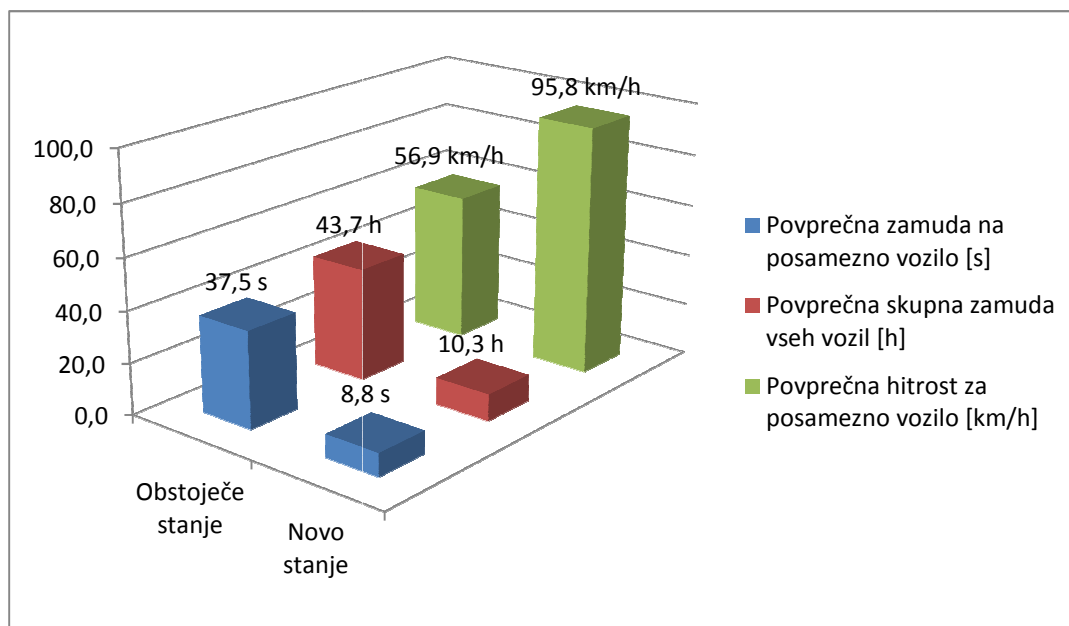
Tabela 27 prikazuje vrednosti po posameznih iteracijah simulacije za novo stanje odseka Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje, tabela 28 pa povprečje teh vrednosti.

Tabela 27: Podatki iz simulacije Lj. Šentjakob, novo stanje.

Iteracija št.	Povprečna zamuda na vozilo [s]	Povprečna hitrost vozil [km/h]	Skupna zamuda vseh vozil [h]
1	9,325	95,166	10,874
2	8,837	95,623	10,305
3	9,851	94,212	11,487
4	9,008	95,805	10,504
5	8,475	96,435	9,883
6	8,597	96,266	10,025
7	8,540	96,259	9,959
8	8,387	96,624	9,780
9	8,810	95,766	10,273
10	8,637	96,064	10,072

Tabela 28: Povprečne vrednosti iz simulacije Lj. Šentjakob, novo stanje.

Število vozil na obravnavanem odseku	4198
Povprečna zamuda na posamezno vozilo [s]	8,847
Povprečna hitrost za posamezno vozilo [km/h]	95,822
Povprečna skupna zamuda vseh vozil [h]	10,316



Grafikon 15: Primerjava povprečnih vrednosti za obstoječe in novo stanje odseka Lj. Šentjakob–Lj.Sneberje.

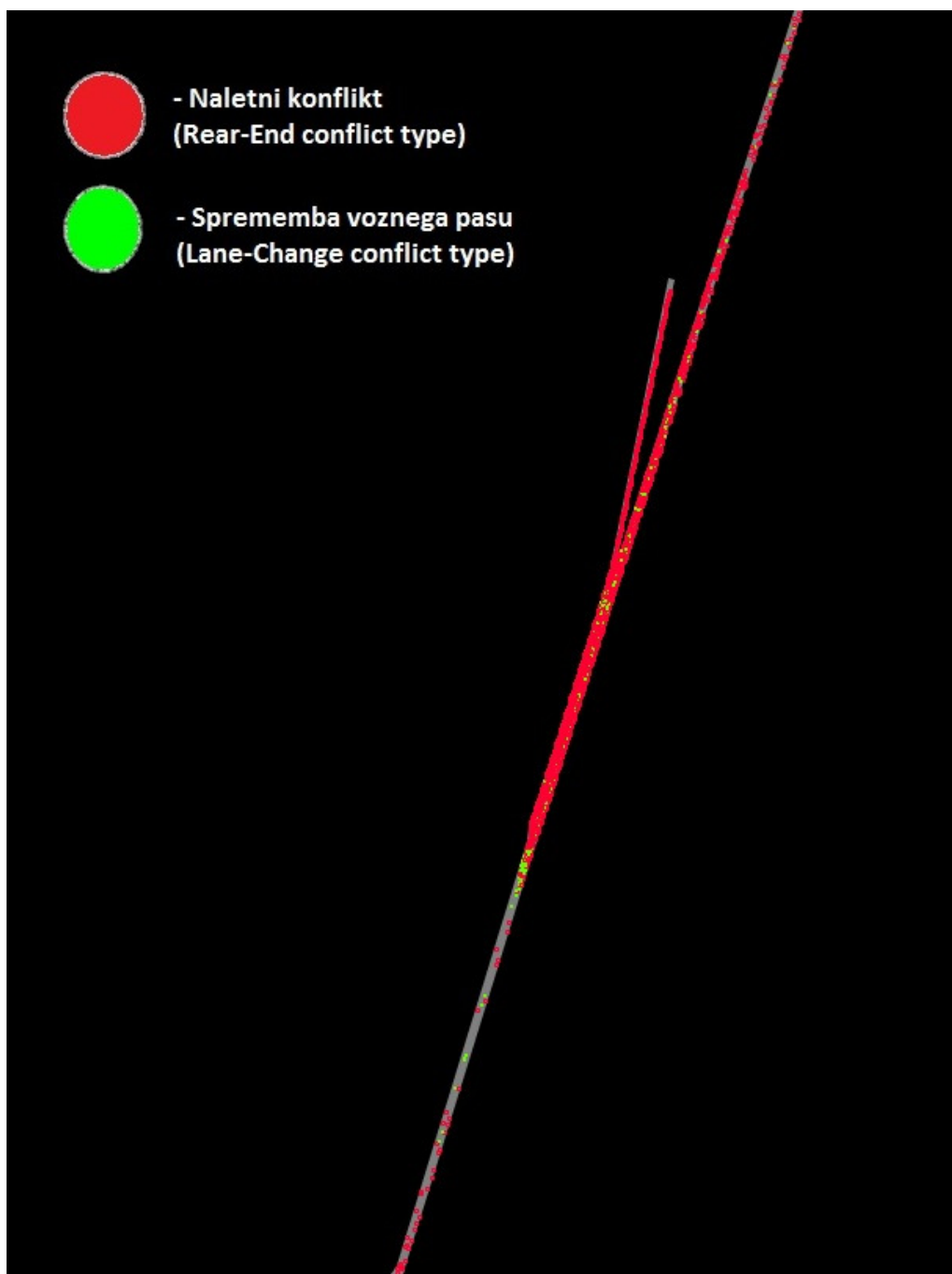
7.6 Napovedovanje ravni prometne varnosti s programom SSAM

Za primer odseka Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje smo uporabili nadomestno metodo za oceno in primerjavo prometne varnosti med obstoječim in novim predlaganim stanjem. Iz simulacijskega programa Vissim smo pridobili podatke o trajektorijah vozil v obliki .trj datotek za posamezne iteracije. Datoteke se nato uvozijo v program SSAM, s katerim je mogoče obdelati podatke in identificirati konflikte. Rezultati, ki nam jih vrne program SSAM za obstoječe stanje po obdelavi 10. iteracij, so sledeči (tabela 29):

Tabela 29: Število konfliktov na območju Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje, obstoječe stanje.

Območje Lj. Šentjakob - Lj.Sneberje staro stanje	Nerazvrščeni konflikti	Križanje	Naletni konflikti	Spremembe voznega pasu	Skupno št. konfliktov
D:\Janez\staro_sentjakob_01.trj	0	0	829	126	955
D:\Janez\staro_sentjakob_02.trj	0	0	814	201	1015
D:\Janez\staro_sentjakob_03.trj	0	0	790	139	929
D:\Janez\staro_sentjakob_04.trj	0	0	657	153	810
D:\Janez\staro_sentjakob_05.trj	0	0	1111	117	1228
D:\Janez\staro_sentjakob_06.trj	0	0	741	140	881
D:\Janez\staro_sentjakob_07.trj	0	0	636	175	811
D:\Janez\staro_sentjakob_08.trj	0	0	687	142	829
D:\Janez\staro_sentjakob_09.trj	0	0	806	152	958
D:\Janez\staro_sentjakob_10.trj	0	0	761	135	896
SKUPAJ	0	0	7832	1480	9312

Tako iz tabele 29 kot tudi iz slike 43 je razvidno, da prevladujejo predvsem naletni tipi konfliktov. Glavnina naletnih konfliktov se dogaja od konca pospeševalnega pasu in nazaj protitočno po avtocesti. V našem primeru program Vissim omogoča le obravnavo odsekov do dolžine 1500 m. Naletnih konfliktov je ob nastanku udarnega vala z zastoji lahko še bistveno več. V tem primeru lahko sega kolona vozil na avtocesti vse do Domžal.



Slika 43: Konfliktne točke območja Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje, obstoječe stanje.

Vir: Lastni vir.

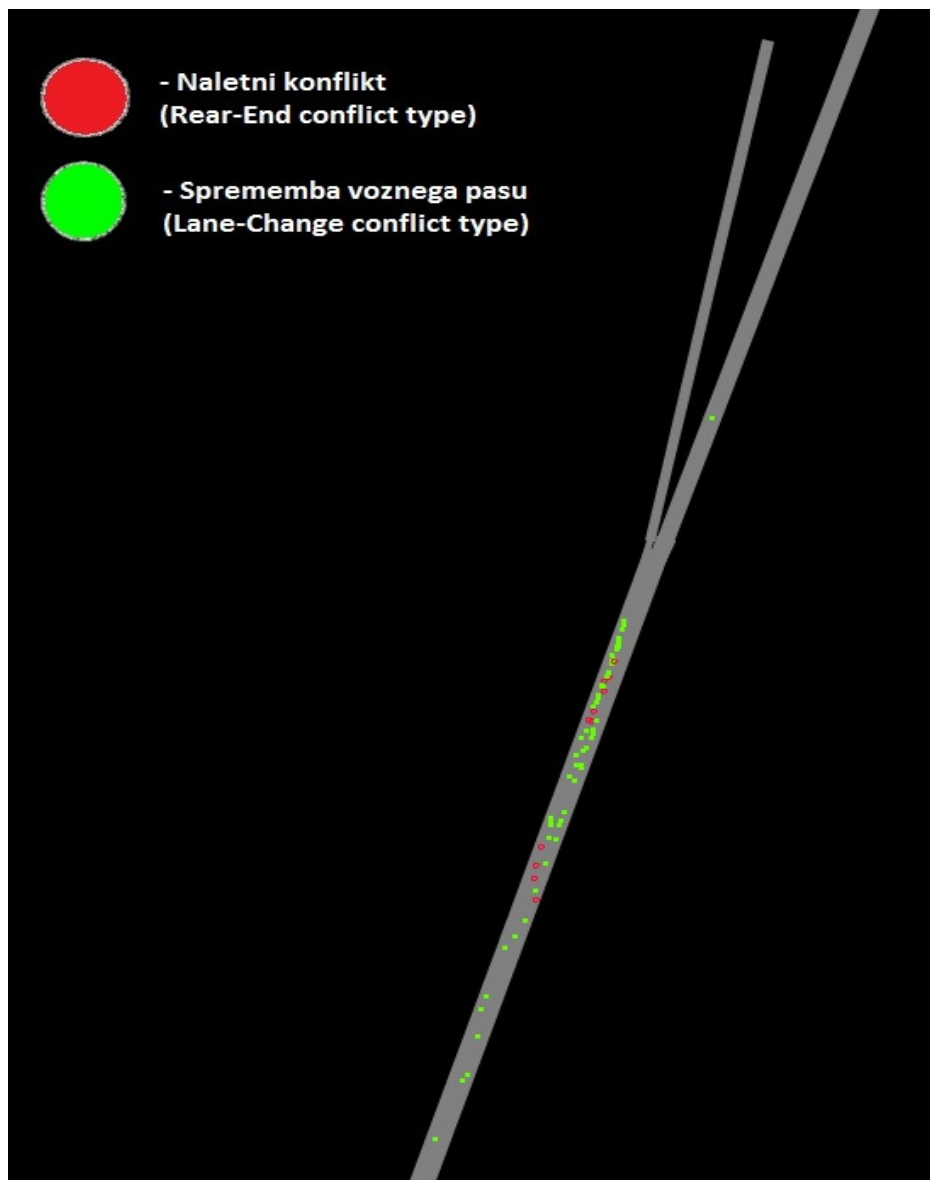
Enako obdelavo .trj datotek v SSAM-u smo naredili še za nov predlog prometne ureditve na območju Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje. Rezultati so sledeči (tabela 30):

Tabela 30: Število konfliktov na območju Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje, novo stanje.

Območje Lj. Šentjakob - Lj.Sneberje novo stanje	Nerazvrščeni konflikti	Križanje	Naletni konflikti	Spremembe voznega pasu	Skupno št. konfliktov
D:\Janez\novo_sentjakob_01.trj	0	0	8	22	30
D:\Janez\novo_sentjakob_02.trj	0	0	6	10	16
D:\Janez\novo_sentjakob_03.trj	0	0	14	19	33
D:\Janez\novo_sentjakob_04.trj	0	0	8	17	25
D:\Janez\novo_sentjakob_05.trj	0	0	12	16	28
D:\Janez\novo_sentjakob_06.trj	0	0	2	18	20
D:\Janez\novo_sentjakob_07.trj	0	0	1	14	15
D:\Janez\novo_sentjakob_08.trj	0	0	3	19	22
D:\Janez\novo_sentjakob_09.trj	0	0	3	8	11
D:\Janez\novo_sentjakob_10.trj	0	0	2	19	21
SKUPAJ	0	0	59	162	221

Iz tabele 30 vidimo, da bi se v primeru nove prometne ureditve tako naleti kot tudi konflikti zaradi spremembe voznega pasu bistveno zmanjšali. To pomeni mnogo boljše odvijanje prometnega toka, kljub temu da bo ob nadaljnji rasti prometa na tem odseku že kmalu presežena kapaciteta ceste. Z novo prometno ureditvijo bi tako lahko v dobršnji meri zmanjšali potencialno nevarnost za nastanek prometnih nesreč.

Na sliki 44 prevladuje konfliktni tip zaradi spremembe voznega pasu. Ti konflikti se v največji meri pojavljajo kmalu po pripojitvi priključka Lj. Šentjakob k avtocesti A1. Nastanejo predvsem zato, ker se nekatera vozila s priključka Lj. Šentjakob želijo prehitro vključiti na AC A1. To lahko povzroči, da nastane še nekaj konfliktov naletnega tipa, ko se vozila iz pospeševalnega pasu vključijo na vozni pas, medtem ko še ne dosežejo zadostne hitrosti prometnega toka na AC. V primeru da se vozilo, ki prihaja po voznem pasu, nima možnosti umakniti na prehitevalni pas, ker je le-ta zaseden, lahko to privede do naletnega trčenja od zadaj.



Slika 44: Konfliktne točke območja Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje, novo stanje.

Vir: Lastni vir.

7.6.1 T-test za odsek Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje

Za oceno ali sprememba prometne ureditve na določenem odseku bistveno vpliva na stopnjo prometne varnosti, ponuja program SSAM tudi primerjavo rezultatov konfliktnih tipov s pomočjo T-testa. Naredili smo primerjavo med sedanjim obstoječim stanjem ter predlogom nove prometne ureditve za odsek Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje. Vrednost α T-testa smo nastavili na 0,05, za 95 % verjetnost pravilnosti dobljenih rezultatov. S pomočjo statistične

značilnosti (Significant) lahko statistično vrednost sprejmemo ali zavrnamo. V kolikor je rezultat statistične značilnosti YES, pomeni, da obstaja neka bistvena razlika v stopnji prometne varnosti med obema primerjanima variantama.

Tabela 31: Primerjava obstoječega in predlaganega novega stanja na odseku Lj. Šentjakob–Lj.Sneberje.

SSAM Measures Šentjakob	Mean Obstoječe	Variance Obstoječe	Replications Obstoječe	Mean Novo	Variance Novo	Replications Novo	t value	t critical	Sigfinicant	Mean Difference
TTC	0,994	0,273	9312	0,504	0,348	221	12,237	1,660	YES	0,490
PET	1,932	1,606	9312	0,478	0,921	221	22,083	1,660	YES	1,455
MaxS	9,793	56,955	9312	27,775	68,367	221	-32,01	1,660	YES	-17,981
DeltaS	5,181	35,540	9312	10,098	43,898	221	-10,93	1,660	YES	-4,917
DR	-1,909	4,385	9312	-4,662	4,582	221	18,904	1,660	YES	2,753
MaxD	-4,256	5,377	9312	-6,170	1,905	221	19,949	1,660	YES	1,913
MaxDeltaV	2,744	10,019	9312	5,424	13,478	221	10,757	1,660	YES	-2,680
Conflict Types	Mean Obstoječe	Variance Obstoječe	Replications Obstoječe	Mean Novo	Variance Novo	Replications Novo	t value	t critical	Sigfinicant	Mean Difference
Crossing	0,000	0,000	10	0,000	0,000	10	0,000	1,734	NO	0,000
Rear-end	783,200	17.798,62	10	5,900	20,322	10	18,414	1,734	YES	777,300
Lane changing	148,000	597,111	10	16,200	19,067	10	16,790	1,734	YES	131,800
Total	931,200	15.527,07	10	22,100	48,989	10	23,035	1,734	YES	909,100

... kjer je:

TTC = čas do trka

PET = priključni čas

MaxS = največja hitrost obeh vozil

DeltaS = razlika v hitrosti vozila

DR = pojemek vozila

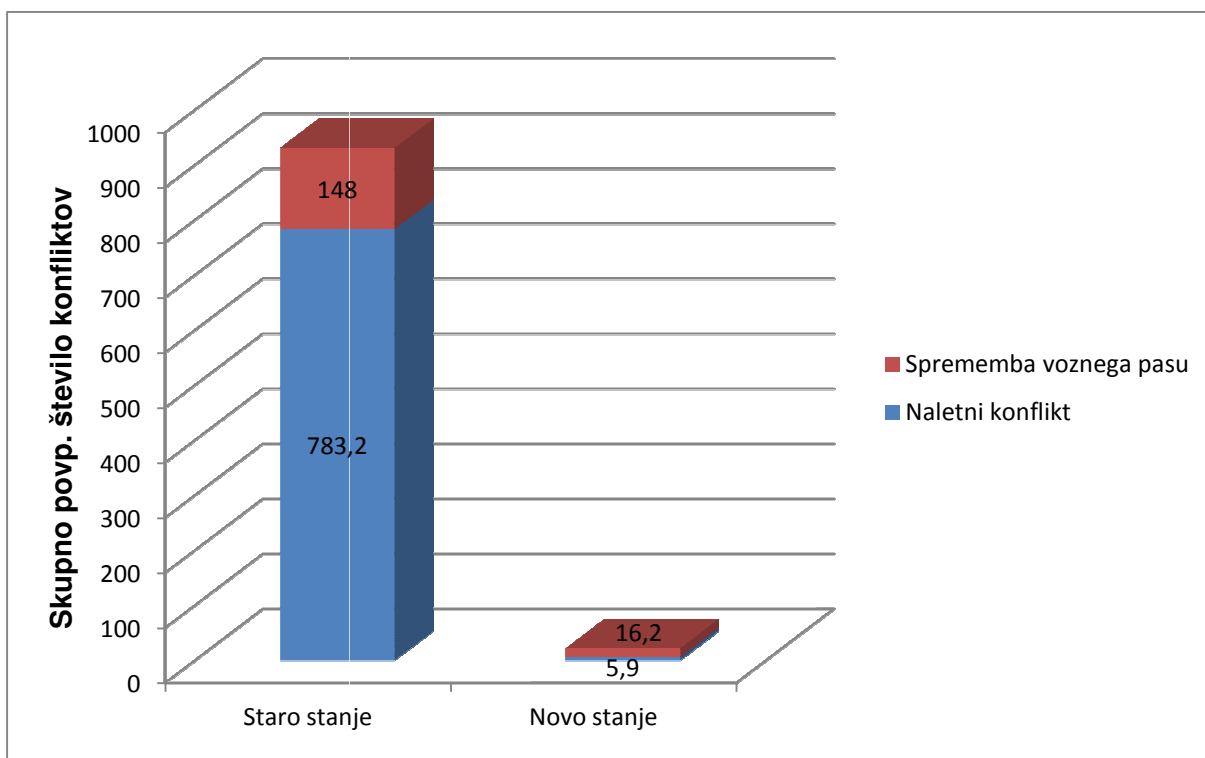
MaxD = največji pojemek drugega vozila

MaxDeltaV = največja vrednost DeltaV (sprememba med konfliktno hitrostjo in hitrostjo po trku obeh vozil) v konfliktu.

V tabeli 31 so prikazani rezultati T-testa primerjave med obstoječim in predlaganim novim stanjem prometne ureditve na odseku Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje. Rezultati kažejo, da se statistične vrednosti v obeh variantah razlikujejo. V predzadnjem stolpcu Significant (statistična značilnost) so v vseh kolonah potrjene bistvene razlike v statističnih vrednostih (YES), le v vrstici Crossing (križanje) je statistična vrednost enaka. Tako je tudi prav, saj v nobenem primeru nismo imeli križanja. Rdeče in zeleno obarvani polji predstavljata srednji vrednosti (Mean) za posamezni obravnavan primer. Vrednosti konfliktnih tipov (Conflict

Types) so pri sedanjem stanju odseka Lj. Šentjakob–Lj. Sneberje mnogo višje kot pri predlogu nove prometne ureditve. Glede na razliko v skupnem številu vseh konfliktov lahko s 95 % gotovostjo trdimo, da bi bila nova prometna ureditev obravnavanega odseka bistveno varnejša od sedanje.

Grafikon 16 prikazuje primerjavo srednje vrednosti posameznih tipov konfliktov med vozili na podlagi 10. iteracij simulacije za obstoječe stanje ter novo predlagano rešitev.



Grafikon 16: Primerjava posameznih tipov konfliktov med vozili za obstoječe in novo predlagano stanje.

8 PREGLED ŠE NEKATERIH DRUGIH ODSEKOV

8.1 Ljubljanska severna obvoznica H-3

Na ljubljanski severni obvoznici H-3 je zaradi majhnih razdalj med posameznimi priključki in velike gostote prometa precej kritičnih območij. Ti si sledijo eno za drugim v obeh smereh hitre ceste. Nekaj stvari je bilo že popravljenih. Tak primer je odstranjena zaporna ploskev med priključkom Lj. Jarše in razcepom Zadobrova. Ta razmeroma enostaven poseg je znatno zmanjšal turbulence in nevarne situacije, do katerih je prihajalo na tem območju. Prej je priključni rampi s pospeševalnim pasom v dolžini 269 m sledila zaporna ploskev, dolga le 161 m, ki se je nadaljevala v izvozni pas proti razcepu Zadobrova. Na H-3 iz smeri Šiška je bila na območju pospeševalnega pasu postavljena tudi tabla, ki je voznike obveščala, da se morajo razporediti na desni vozni pas, smer Novo mesto. Vozniki, ki so pogosto spregledali, da morajo to storiti šele čez 250 m, so se razporejali na pospeševalni pas priključka Lj. Jarše. Ta pas se je nato nenadoma končal. Zopet so se morali vključiti na vozni pas, po 161 m pa še enkrat nazaj na izvozni pas, od koder so lahko nemoteno nadaljevali pot proti Novemu mestu. Po ureditvi tega odseka se je stanje bistveno izboljšalo; promet se sedaj v času konic odvija tekoče in brez posebnosti.

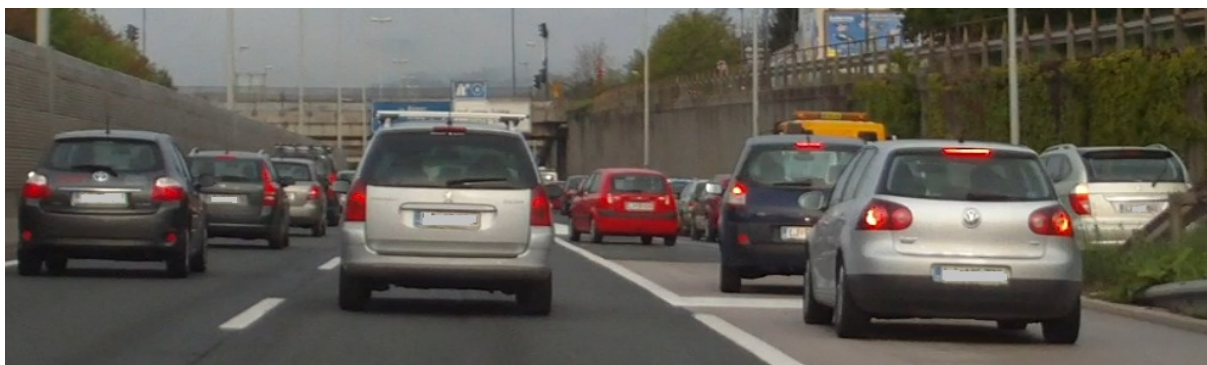
Naslednji priključki si sledijo po vrsti, če gremo od razcepa Zadobrova proti razcepu Koseze, katerih medsebojne minimalne razdalje so manjše od $600 \text{ m} + l_u + l_i$. Gre za razdalje med priključki Lj. Tomačevo–Lj. Bežigrad, Lj. Bežigrad–Lj. Savlje, Industrijska cona Šiška–Lj. sever ter Lj. Dravljje–Lj. Podutik. Območja med temi priključki so označena kot območja prepletanja, vendar so na obeh straneh H-3 ta območja prekratka oz. so krajša od predpisanih minimalnih 300 m.

Najslabše razmere od razcepa Zadobrova proti Kosezam so v jutranjih konicah med priključkoma Lj. Bežigrad in Lj. Savlje. Razdalja med njima je manjša od predpisane minimalne $600 \text{ m} + l_u + l_i$. Po priključni rampi prihaja iz Bežigrada precej vozil, ki nadaljujejo svojo pot naravnost na izvoz Lj. Savlje. Tem se pridružijo še vozila iz H-3 in ker so zeleni časi v izvennivojskem križišču z Verovškovo cesto prekratki, se območje prepletanja popolnoma zasede. Ob polni zasedenosti morajo nova vozila, ki pridejo po H-3, čakati na vozni pasu, prav tako pa se na avtocesto ne morejo vključiti tisti, ki pridejo po priključni rampi iz smeri Lj. Bežigrad. To povzroča zastoje tako na H-3 kot na priključni rampi Lj. Bežigrad. Ker se vozila poskušajo na vse možne načine prebiti do mest, ki jih vodijo v zeleno smer, obstaja velika nevarnost za nastanek prometnih nesreč (slika 46).



Slika 45: Območja prepletanja med priključki Lj. Tomačevo in Lj. Bežigrad.

Vir: www.najdi.si/zemljevidi



Slika 46: Jutranja konica. Priključek Lj. Bežigrad v smeri proti razcepu Koseze.

Vir: Lastni vir.

S spreminjanjem zelenih časov v križišču problema ne bi rešili, saj bi zastoje le preselili na druge smeri. Dejstvo je, da so razdalje med posameznimi priključki prekratke in samo z manjšimi posegi v cestno infrastrukturo se prometne situacije v tem primeru ne da bistveno izboljšati. Zato bi za celovito tehnično rešitev bilo potrebno spremeniti način priključevanja, kar prinese velike stroške. Edino, kar se lahko trenutno stori in je tudi potrebno, je, da se hitrost pred omenjenimi priključki, med katerimi so prekratka območja za prepletanje, omeji

na 80 km/h ter se s tem poskuša nekoliko upočasniti promet in zmanjšati možnost naleta vozil.

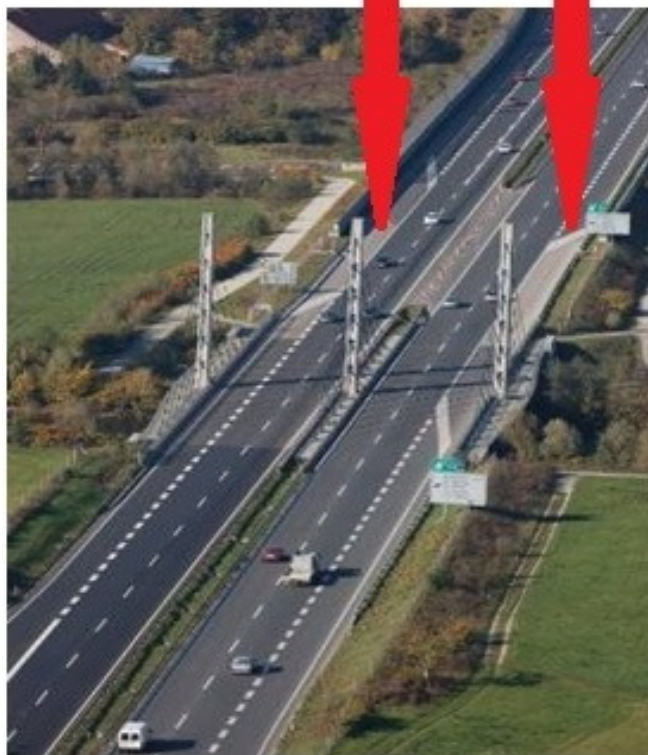
V nasprotni smeri od razcepa Koseze proti razcepu Zadobrova se ob jutranji konici pojavlja problem pred priključkom Lj. Podutik, iz katerega se vozila po priključni rampi v strnjeni koloni vključujejo na H-3. Ker je tudi število vozil iz smeri Koseze veliko, prihaja na tem območju do takšnih zgostitev v prometnem toku, da se v času največjih obremenitev lahko pojavi udarni val, ki povzroči zastoje, segajoče vse nazaj do A-2. Podobno kot zgoraj tudi v tem primeru ni preproste rešitve, kjer bi lahko z manjšo korekcijo zagotovili ustrezne kapacitete. Družba DARS je že pred leti naročila študijo razširitve ljubljanskega AC in HC obroča za dodaten pas (na 6 pasovnico) skupaj s preureditvijo priključnih krakov. Zaradi negotove gospodarsko-finančne situacije v državi zaenkrat še ne gre pričakovati, da bi bila ideja v bližnji prihodnosti realizirana. Na tem delu bo tako še naprej prihajalo do zastojev, prometna situacija pa se bo v primeru povečevanja prometa v prihodnosti le še slabšala.

8.2 Ljubljanska vzhodna in južna obvoznica A-1

Na odseku med razcepom Zadobrova in priključkom Lj. vzhod so razdalje med posameznimi priključnimi in izvoznimi rampami zelo kratke v obeh smereh. Hitrost je na tem delu omejena na 100 km/h, kar je pravilno, saj zaporedno izključevanje in priključevanje priključkov povzroča velike motnje v prometnem toku. Za ureditev optimalne rešitve bo v prihodnosti potrebno izvesti celovite spremembe, ki pa ne bodo enostavne, predvsem zaradi prostorskih omejitev in zahtevnih objektov, ki se nahajajo na tem območju.

Med priključkoma Lj. vzhod in Lj. Bizovik so razdalje prav tako manjše od predpisanih $600 \text{ m} + l_u + l_i$. V smeri proti razcepu Malence je zaporna ploskev dolga 103 m, v nasprotni smeri pa 126 m. Kljub temu, da so prepletajoči prometni tokovi med priključkoma majhni, zaporne ploskve vseeno povzročajo, da se morajo ti tokovi vpletati in izpletati v oz. iz glavnega prometnega toka na A-1, kar ustvarja nepotrebne turbulence. V preteklosti je bil predlog za odstranitev zapornih ploskev že podan, vendar se to zaenkrat še ni zgodilo. Problem je najbrž v tem, ker sta tukaj stacionirana tudi telefona za klic v sili in bi jih bilo v tem primeru potrebno odstraniti ali premestiti na primernejšo lokacijo (slika 47).

Prekratke zaporne ploskve se odstrani.



Slika 47: Zaporni ploskvi med priključkoma Lj. vzhod in Lj. Bizovik.

Vir: www.dars.si

V smeri proti razcepu Malence je problematičen tudi odsek na območju pokritega vkopa Strmec. Tukaj se morajo vozila, ki vozijo po pasu za počasna vozila, pred pokritim vkopom razvrstiti na vozni pas (slika 48). Zaradi velike gostote prometnega toka to povzroča precejšnje turbulence in nevarne situacije, saj so razlike v hitrostih med vozili, ki pripeljejo po voznem pasu in tistimi, ki prihajajo iz počasnega pasu, precejšnje. Zato bi bilo pametno, v kolikor svetli profil pokritega vkopa to omogoča, odstraniti zaporno ploskev in povezati počasni pas, ki se za vkopom nadaljuje naprej proti predoru Golovec. Ob tem bi bilo potrebno dodatno utrditi še 690 m odstavnega pasu in novi pas obeležiti s kratko, široko prekinjeno črto (V-5.1) iz 37. člena Pravilnika o prometni signalizaciji in prometni opremi na javnih cestah (Uradni list RS 46/2000).



Slika 48: Pokriti vkop Strmec.

Vir: Lastni vir.

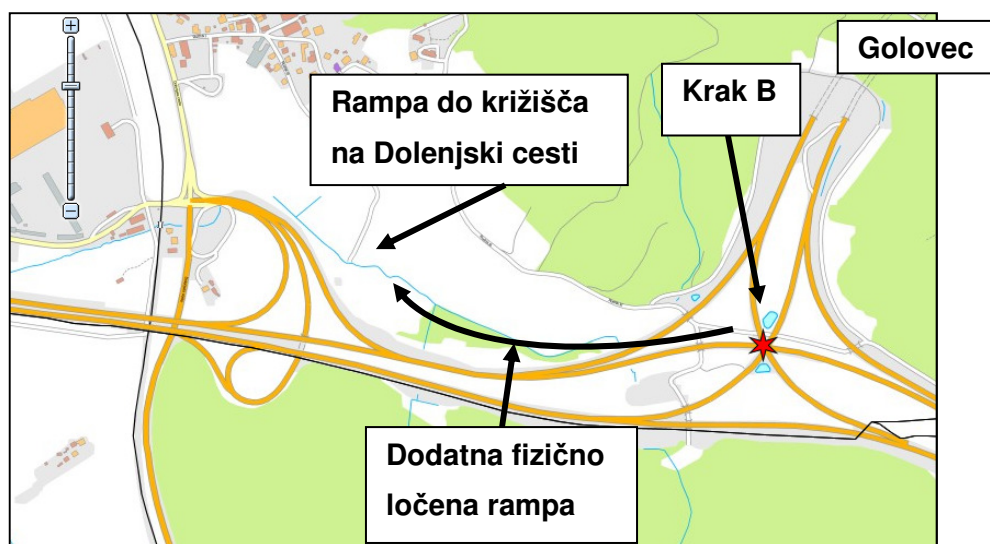
Če pot nadaljujemo naprej po A-1 proti jugu, naletimo v času prometnih konic na zastoje, ko pridemo iz predora Golovec v smeri proti južnemu delu ljubljanskega avtocestnega obroča. Razdalja za prepletanje vozil med razcepom Malence in priključkom Lj. jug je absolutno prekratka, zaradi česar je operacija prepletanja zelo zahtevna in nevarna.



Slika 49: Območje med razcepom Malence in priključkom Lj. jug.

Vir: www.najdi.si/zemljevidi

Vozila, ki prihajajo iz smeri predora Golovec, se morajo vplesti v prometni tok, ki po A-2 prihaja iz smeri Novega mesta. Precejšen del vozil, ki prihaja iz smeri Golovec, zavije po pomožnem pasu na izvoz Lj. jug. Ker fizično podaljšanje dolžine prepletanja ni mogoče, se predlaga rešitev, ki bi zmanjšala število prepletanj na samem območju. Na kraku B razcepa Malence bi bilo potrebno dograditi poseben pas za vozila, ki iz smeri Golovec zavijejo neposredno na izvoz Lj. jug. Ta pas bi se v nadaljevanju priključeval na izvozno rampo proti semaforiziranemu križišču z Dolenjsko cesto kot dodatni pas (slika 50). S tem ukrepom bi se število prepletanj na območju med razcepom Malence in izvozom Lj. jug toliko zmanjšalo, da bi se promet v času konic zopet odvijal tekoče. Ob nenehnem povečevanju prometnega toka je seveda tudi to le kratkoročen ukrep.



Slika 50: Začasna rešitev za razbremenitev območja prepletanja med priključkom Lj. jug in razcepom Malence.

Vir: www.najdi.si/zemljevidi

8.3 Nekatera druga območja s prekratki zapornimi ploskvami

Nekaj primerov, kjer niso upoštevane predpisane minimalne razdalje med priključki, smo lahko do pred časom zasledili tudi na primorski avtocesti A-1 in hitri cesti H-5. Na hitri cesti H-5 so bili trije taki primeri. V smeri proti Izoli se za priključkom Koper - center nahaja bencinska črpalka. Med pospeševalnim pasom od priključka Koper - center in zaviralnim pasom za izvoz na črpalko je bila zarisana zelo kratka zaporna ploskev, ki ni ustrezala nobenemu predpisu (slika 51). To zaporno ploskev so odstranili in omenjeni odsek spremenili v območje prepletanja, vendar še ne dokončno. Manjka še en del kratke, široke

prekinjene črte. Zaenkrat še ni jasno, če ne gre tukaj le za manjšo korekturo v horizontalni signalizaciji. Podoben primer je namreč tudi na hitri cesti H-4 pred izvozom Vogrsko v smeri proti Novi Gorici in na nasprotni strani proti Ljubljani. Na obeh straneh so bile zarisane prekratke zaporne ploskve, ki so jih pred kratkim odstranili. Kmalu za tem so na istem mestu zarisali novo horizontalno signalizacijo, ki je le nekoliko ožja od svoje predhodnice.



Slika 51: Zaporna ploskev med priključkom Koper - center in izvozom za bencinsko črpalko v smeri proti Izoli.

Vir: Lastni vir.



Slika 52: Odstranjena zaporna ploskev med priključkom Koper - center in izvozom za bencinsko črpalko v smeri proti Izoli.

Vir: Lastni vir.

Najbolj zanimiv primer se je nahajal na hitri cesti H-5 med priključkoma Dekani in Škofije. Na tem mestu sta bili široki poševni črti, ki sta služili za zapiranje pospeševalnega pasu (V-11) in odpiranje zaviralnega (V-12), zarisani popolnoma ena ob drugi brez vmesne robne črte (V-1.1). Poševni črti sta bili celo tako prirejeni in zarisani, da sta namesto običajne trapezne oblike odstavega pasu, dali obliko trikotnika (slika 53).



Slika 53: Zaporna ploskev med priključkoma Dekani in Škofije.

Vir: Lastni vir.

Pri opazovanju odvijanja prometa na tem delu smo ugotovili, da se vozniki na takšen zaris horizontalne signalizacije odzivajo zelo različno. Nekateri poskušajo voziti v skladu s prometnimi predpisi in se s pospeševalnega vključijo na vozni pas in nato takoj na zaviralnega. Žal ni nikomur od opazovanih uspelo pravilno nakazati obeh sprememb smeri s smernim kazalcem zaradi prekratkih razdalj in prehitre vožnje za izvedbo takega manevra. Drugi, ki so že seznanjeni s tem odsekom, se za te označbe ne menijo in zapeljejo čeznje, kakor da jih ni (slika 54). Nekatere pa takšna prometna ureditev zmede in ne vedo točno, kaj bi storili, zato uberejo srednjo pot – malo po voznem in malo po odstavnem pasu (slika 55).



Slika 54: Vožnja po odstavnem pasu.

Vir: Lastni vir.



Slika 55: Vožnja po odstavnem in voznem pasu.

Vir: Lastni vir.

K sreči so to že odstranili in ne bo več begalo voznikov. Zarisali so kratko, široko prekinjeno črto (V-5.1) iz 37. člena Pravilnika o prometni signalizaciji in prometni opremi na javnih cestah (Uradni list RS 46/2000) in območje uredili v območje prepletanja.



Slika 56: Odstranjena zaporna ploskev med priključkoma Dekani in Škofije.

Vir: Lastni vir.

Še ena zaporna ploskev, ki je vodila vozila v nepotrebno vpletanje v glavni prometni tok in takoj zatem v izpletanje na zaviralni pas, je bila locirana med priključkom počivališča Ravne in priključkom Kozina v smeri proti Ljubljani. Tudi tukaj so bile razdalje krajše od predpisanih $600\text{ m} + l_u + l_i$. Zato so zaporno ploskev odstranili in odsek uredili v območje prepletanja. To območje je sedaj daljše od 300 m in ustreza predpisom (sliki 57 in 58).



Slika 58: Zaporna ploskev med priključkoma počivališča Ravne in priključkom Kozina.

Vir: Lastni vir.



Slika 57: Odstranjena zaporna ploskev med priključkoma počivališča Ravne in priključkom Kozina.

Vir: Lastni vir.

9 ZAKLJUČEK

Pri preučevanju območij vključevanj na avtoceste in hitre ceste, smo ugotovili, da razlogi za nastanek težav v času prometnih konic tičijo predvsem v prekratkih dolžinah pospeševalnih in zaviralnih pasov ter v prekratkih razdaljah med posameznimi priključki. Minimalna razdalja med njimi bi morala biti vsaj $600 \text{ m} + l_u + l_i$. Kjer te razdalje ni mogoče zagotoviti, se pospeševalni in zaviralni pas združi v t. i. pomožni pas. Na takem odseku se uredi območje prepletanja, ki ne sme biti krajše od 300 m, opremiti pa ga je potrebno z ustrežno prometno signalizacijo.

Neustrezne rešitve, izvedbe elementov trase ter pripadajoče prometne signalizacije povzročajo nepotrebne turbulence in zgostitve v prometnem toku, ki so lahko zelo nevarne. Pričujoča naloga obravnava obstoječe stanje priključkov in območij vključevanj na avtoceste in hitre ceste. Glavnina naloge je usmerjena na ljubljanski AC in HC obroč, natančneje pa sta analizirana odseka med priključkom Lj. Brdo in razcepom Koseze ter priključkoma Lj. Šentjakob in Lj. Sneberje. Primer preureditve odseka med priključkom Lj. Brdo in razcepom Koseze, ki se je izkazal kot primer dobre prakse, kaže na to, da se na nekaterih delih da že z minimalnimi posegi v cestno infrastrukturo doseči občutne izboljšave v odvijanju prometnega toka. Storjena sprememba prometne ureditve je doprinesla k boljši izkoriščenosti tega odseka, zmanjšali so se potovalni časi in zamude, manjša pa je tudi nevarnost nastanka prometnih nesreč. Na drugem obravnavanem odseku prihaja do podobnih situacij, kar nas je spodbudilo k iskanju ustrezne rešitve. Opravljeno je bilo ročno štetje prometa, s tem pa so bili pridobljeni podatki, pomembni za nadaljnjo analizo. Znano je, da na tem odseku vsakodnevno prihaja do naletov zaradi nenadnih padcev hitrosti. Sama analiza je pokazala, da bi bila najustreznejša rešitev ureditev območja prepletanja med priključkoma Lj. Šentjakob in Lj. Sneberje, s čimer bi prispevali k boljši pretočnosti prometnega toka na tem odseku.

Pri obravnavi severne ljubljanske obvoznice H-3 smo ugotovili, da obstoječa cestna infrastruktura ni več sposobna prevzemati vseh prometnih obremenitev, ki se stekajo nanjo. Povpraševanje je na tem mestu že davno preseгло kapaciteto predvsem v času prometnih konic. Problem predstavlja veliko število priključnih in izvoznih ramp, lociranih na zelo kratkem območju. Rešitev problema v tem primeru ni enostavna in možnih je več različnih variant. Potrebna bi bila razširitev ljubljanskega AC in HC obroča za dodaten pas v vsaki smeri (na 6 pasovnico), obenem pa napraviti celovito preureditev priključnih krakov. Mesto Ljubljana sicer že prerašča svojo obvozno cesto in morda bi veljalo razmisliti o izgraditvi povsem nove obvoznice, katere oddaljenost od središča bi bila večja od zdajšnje. Veliko

rezerve ostaja še na področju javnega prometa, ki bi moral predstavljati vsaj enakovredno alternativo osebnemu prevozu. S preusmeritvijo potnikov na javni promet bi lahko obstoječe ceste občutno razbremenili. Kaj več bi bilo potrebno storiti na decentralizaciji države, s čimer bi se zmanjšale vsakodnevne migracije v glavno mesto. Še ena možnost je izgraditev direktne povezave v smeri Koper–Maribor (AC A-1) z dodatnim priključkom za smer Kranj, na katero bi preusmerili tranzitni promet, ki sedaj obremenjuje zahodno A-2 in severno ljubljansko obvoznico H-3. Uresničitev kateregakoli od teh predlogov seveda predstavlja ogromen finančni zalogaj. Zato smo se v diplomskem delu omejili zgolj na preproste rešitve, ki se jih lahko izvede takoj in so finančno sprejemljive.

V izogib izdelavam neustreznih prometnih rešitev v prihodnje svetujemo, da se uredijo tudi enotni predpisi, ki bi celovito urejali to področje.

VIRI

Ašanin Gole, P., Polenšek, T. 2002. *Slovenske avtoceste: trideset let avtocest v Sloveniji*. Celje, DARS: 42 str.

DARS, Upravljanje in vzdrževanje AC in HC. 2012.

http://www.dars.si/Dokumenti/O_avtocestah/Vzdrzevanje_AC_in_HC/Vzdrzevanje_449.aspx
(Pridobljeno 20. 2. 2012.)

Direkcija RS za ceste. 2010.

http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/Stetje_prometa/Prometne_obremenitve_2010_splet.xls (Pridobljeno 30. 4. 2012.)

HCM 2000, Highway Capacity Manual 2000. Washington, D.C., Transportation Research Board, National Research Council: loč. pag.

Maher, T. 2006. Osnove teorije prometnega toka in kapaciteta prometnih objektov.

Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer: loč. pag.

Maher, T. 2008. Sprememba signalizacije na AC in HC obroču okoli Ljubljane. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Prometno-tehniški inštitut: 59 f.

Maher, T. 1994. Teorija prometnega toka. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer: loč. pag.

Najdi.si. 2012. Zemljevid.

<http://zemljevid.najdi.si/> (Pridobljeno 15. 5. 2012.)

Geopedia.si. 2012.

<http://geopedia.si> (Pridobljeno 28. 6. 2012.)

Pirc, J. 2008. Evalvacija prometnega modela sistema za nadzor in vodenje prometa.

Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer (samozaložba J. Pirc): str. 37-67.

TSC 03.343 - Večnivojski priključki in vozlišča. Republika Slovenija, Ministrstvo za promet.

Uradni list RS št. 91/2005.

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200591&stevilka=3896> (Pridobljeno 20. 2. 2012.)

Žurnal24. V rdečo. 2012.

<http://www.zurnal24.si/v-rdeco-slovenci-se-ne-smemo-zavijati-clanek-153452> (Pridobljeno 21. 5. 2012.)

PRILOGA A: IZPIS POROČILA HCS+ ANALIZE PRIKLJUČKA LJ. ŠENTJAKOB

Freeway Data				
Type of analysis	Merge			
Number of lanes in freeway	2			
Free-flow speed on freeway	120.0		km/h	
Volume on freeway	3206		vph	
On Ramp Data				
Side of freeway	Right			
Number of lanes in ramp	1			
Free-flow speed on ramp	40.0		km/h	
Volume on ramp	992		vph	
Length of first accel/decel lane	289		m	
Length of second accel/decel lane			m	
Adjacent Ramp Data (if one exists)				
Does adjacent ramp exist?	Yes			
Volume on adjacent Ramp	63		vph	
Position of adjacent Ramp	Downstream			
Type of adjacent Ramp	off			
Distance to adjacent Ramp	354		m	
Conversion to pc/h Under Base Conditions				
Junction Components	Freeway	Ramp	Adjacent Ramp	
Volume, v (vph)	3206	992	63	vph
Peak-hour factor, PHF	0.97	0.92	0.83	
Peak 15-min volume, v ₁₅	826	270	19	v
Trucks and buses	10	4	0	%
Recreational vehicles	0	0	0	%
Terrain type:	Level	Level	Level	
Grade	%	%	%	%
Length	km	km	km	km
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5	1.5	
Recreational vehicle PCE, ER	1.2	1.2	1.2	
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.952	0.980	1.000	
Driver population factor, fP	0.95	0.95	0.95	
Flow rate, vp	3653	1158	80	pcph
Estimation of v ₁₂ Merge Areas				
L =	(Equation 25-2 or 25-3)			
EQ				
P =	1.000	Using Equation 0		
FM				
v ₁₂ = v _F (P _{FM}) =	3653	pcph		
Capacity Checks				
	Actual	Maximum	LOS F?	
v _{FO}	4811	4800	Yes	
v _{R12}	4811	4600	Yes	
Level of Service Determination (if not F)				
Density, D =	$3.402 + 0.00456 v_R$	$+ 0.0048 v_{12}$	$- 0.01278 L_A$	= 22.5 pc/km/ln
Level of service for ramp-freeway junction areas of influence	F			
Speed Estimation				
Intermediate speed variable,	M = 0.754			
Space mean speed in ramp influence area,	S ^S = 80.0 km/h			
space mean speed in outer lanes,	S ^R = N/A km/h			
space mean speed for all vehicles,	S ^O = 80.0 km/h			

PRILOGA B: IZPIS POROČILA HCS+ ANALIZE PREPLETANJA MED PRIKLJUČKOMA LJ. ŠENTJAKOB–LJ. SNEBERJE

Inputs					
Freeway free-flow speed, SFF	120				km/h
weaving number of lanes, N	3				
weaving segment length, L	750				m
Terrain type	Level				
Grade					%
Length					km
weaving type	A				
Volume ratio, VR	0.25				
weaving ratio, R	0.05				
Conversion to pc/h Under Base Conditions					
	Non-weaving		weaving		
	V	V	V	V	
	A-C	B-D	A-D	B-C	
Volume, V	3159	16	47	976	veh/h
Peak-hour factor, PHF	0.97	0.80	0.84	0.92	
Peak 15-min volume, v15	814	5	14	265	v
Trucks and buses	10	0	0	4	%
Recreational vehicles	0	0	0	0	%
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5	1.5	1.5	
Recreational vehicle PCE, ER	1.2	1.2	1.2	1.2	
Heavy vehicle adjustment, fhv	0.952	1.000	1.000	0.980	
Driver population factor, fp	0.95	0.95	0.95	0.95	
Flow rate, v	3599	21	58	1139	pc/h
weaving and Non-weaving Speeds					
	weaving		Non-weaving		
a (Exhibit 24-6)	0.15		0.00		
b (Exhibit 24-6)	2.20		4.00		
c (Exhibit 24-6)	0.97		1.30		
d (Exhibit 24-6)	0.80		0.75		
weaving intensity factor, wi	0.61		0.36		
weaving and non-weaving speeds, si	88.62		100.59		
Number of lanes required for unconstrained operation, Nw (Exhibit 24-7)			1.08		
Maximum number of lanes, Nw (max) (Exhibit 24-7)			1.40		
Type of operation is			Unconstrained		
weaving Segment Speed, Density, Level of service and Capacity					
weaving segment speed, S	97.32		km/h		
weaving segment density, D	16.50		pc/km/ln		
Level of service, LOS	C				
Capacity of base condition, cb	7021		pc/h		
Capacity as a 15-minute flow rate, c	6352		pc/h		
Capacity as a full-hour volume, ch	6074		pc/h		
Limitations on weaving Segments					
	Analyzed		If Max Exceeded	See Note	
weaving flow rate, vw	1197		Maximum	Note	
Average flow rate (pc/h/ln)	1605		2800	a	
Volume ratio, VR	0.25		2400	b	
weaving ratio, R	0.05		0.45	c	
weaving length (m)	750		N/A	d	
			750	e	
Notes:					
a. weaving segments longer than 750 m. are treated as isolated merge and diverge areas using the procedures of Chapter 25, "Ramps and Ramp Junctions".					
b. Capacity constrained by basic freeway capacity.					
c. Capacity occurs under constrained operating conditions.					
d. Three-lane Type A segments do not operate well at volume ratios greater than 0.45. Poor operations and some local queuing are expected in such cases.					
e. Four-lane Type A segments do not operate well at volume ratios greater than 0.35. Poor operations and some local queuing are expected in such cases.					
f. Capacity constrained by maximum allowable weaving flow rate: 2,800 pc/h (Type A), 4,000 (Type B), 3,500 (Type C).					

**PRILOGA C: IZPIS PROMETNIH PODATKOV IZ AVTOMATSKEGA ŠTEVCA 03L ZA 22.
 10. 2012, JUTRANJA KONICA**

ČAS	ID_PAS	Q_OV	Q_TV	Q_EKV	V_SK	V_OV	V_TV	Z	T_V	G	D_TV	O_SK	Q_SK	PS
7:00:00	PP	23	0	25	115	115	0	58	2.480	13	0	15	23	
7:00:00	PPV	17	2	22	91	91	90	73	2.975	15	11	7	19	
7:00:00	VP	6	0	7	87	87	0	17	8.629	5	0	6	6	PS0
7:01:00	PP	28	0	31	104	104	0	68	2.070	18	0	11	28	
7:01:00	PPV	17	0	19	88	88	0	65	3.340	13	0	9	17	
7:01:00	VP	7	1	9	89	90	86	36	6.576	6	13	9	8	PS0
7:02:00	PP	27	0	30	105	105	0	74	2.145	17	0	25	27	
7:02:00	PPV	11	0	12	86	86	0	39	5.000	8	0	9	11	
7:02:00	VP	13	2	18	95	97	83	61	3.758	11	13	56	15	PS0
7:03:00	PP	25	1	29	108	109	89	71	2.213	16	4	34	26	
7:03:00	PPV	17	0	19	90	90	0	59	3.320	13	0	6	17	
7:03:00	VP	9	0	10	86	86	0	29	5.976	7	0	8	9	PS0
7:04:00	PP	19	0	21	112	112	0	47	3.030	11	0	25	19	
7:04:00	PPV	16	1	19	91	92	86	65	3.319	13	6	12	17	
7:04:00	VP	7	0	8	124	124	0	19	7.578	4	0	21	7	PS0
7:05:00	PP	15	1	18	104	105	87	48	3.518	10	6	9	16	
7:05:00	PPV	15	3	22	85	87	80	94	3.196	16	17	17	18	
7:05:00	VP	14	2	19	100	102	84	67	3.520	11	13	54	16	PS0
7:06:00	PP	16	0	18	102	102	0	45	3.514	11	0	12	16	
7:06:00	PPV	18	0	20	93	93	0	56	3.143	13	0	7	18	
7:06:00	VP	7	0	8	110	110	0	27	7.468	4	0	10	7	PS0
7:07:00	PP	18	0	20	124	124	0	40	3.175	10	0	35	18	
7:07:00	PPV	13	0	14	96	96	0	43	4.247	9	0	14	13	
7:07:00	VP	3	0	3	101	101	0	7	15.080	2	0	3	3	PS0
7:08:00	PP	17	0	19	108	108	0	46	3.294	11	0	10	17	
7:08:00	PPV	13	0	14	95	95	0	41	4.294	9	0	12	13	
7:08:00	VP	8	4	16	101	109	86	62	4.628	10	33	45	12	PS0
7:09:00	PP	21	0	23	114	114	0	50	2.742	12	0	12	21	
7:09:00	PPV	16	0	18	93	93	0	49	3.548	12	0	18	16	
7:09:00	VP	7	0	8	120	120	0	20	7.433	4	0	44	7	PS0
7:10:00	PP	16	0	18	112	112	0	40	3.514	10	0	13	16	
7:10:00	PPV	16	3	23	96	97	89	83	2.985	14	16	12	19	
7:10:00	VP	7	1	9	92	93	86	30	6.636	6	13	9	8	PS0
7:11:00	PP	14	0	16	121	121	0	37	3.992	8	0	32	14	
7:11:00	PPV	14	0	16	92	92	0	48	3.993	10	0	19	14	
7:11:00	VP	4	1	6	84	84	86	19	10.130	4	20	8	5	PS0
7:12:00	PP	23	0	25	115	115	0	55	2.522	13	0	35	23	
7:12:00	PPV	19	0	21	90	90	0	68	3.025	14	0	9	19	
7:12:00	VP	8	0	9	90	90	0	29	6.622	6	0	15	8	PS0
7:13:00	PP	13	0	14	112	112	0	32	4.243	8	0	46	13	
7:13:00	PPV	20	4	29	81	81	83	121	2.375	21	17	63	24	
7:13:00	VP	5	0	6	159	159	0	13	10.060	2	0	75	5	PS0
7:14:00	PP	24	0	27	107	107	0	62	2.422	15	0	17	24	
7:14:00	PPV	23	1	27	87	86	91	96	2.421	19	4	19	24	
7:14:00	VP	9	0	10	100	100	0	31	5.960	6	0	50	9	PS0
7:15:00	PP	28	1	33	100	99	110	92	1.997	20	3	13	29	

ČAS	ID_PAS	Q_OV	Q_TV	Q_EKV	V_SK	V_OV	V_TV	Z	T_V	G	D_TV	O_SK	Q_SK	PS
7:15:00	PPV	22	0	24	86	86	0	93	2.605	17	0	19	22	
7:15:00	VP	12	0	13	112	112	0	43	4.609	7	0	57	12	PS0
7:16:00	PP	18	0	20	111	111	0	46	3.137	11	0	15	18	
7:16:00	PPV	8	1	11	90	90	87	31	5.962	7	11	13	9	
7:16:00	VP	9	0	10	103	103	0	26	5.962	6	0	52	9	PS0
7:17:00	PP	18	0	20	120	120	0	46	3.166	10	0	35	18	
7:17:00	PPV	13	0	14	94	94	0	39	4.297	9	0	14	13	
7:17:00	VP	4	3	9	88	87	89	42	7.523	6	43	57	7	PS0
7:18:00	PP	16	0	18	110	110	0	42	3.540	10	0	23	16	
7:18:00	PPV	16	3	23	75	74	79	100	3.012	18	16	28	19	
7:18:00	VP	12	2	17	107	112	77	52	4.009	10	14	43	14	PS0
7:19:00	PP	21	0	23	108	108	0	57	2.728	13	0	12	21	
7:19:00	PPV	12	1	15	91	91	92	49	4.283	10	8	9	13	
7:19:00	VP	9	3	15	103	108	86	49	4.620	9	25	44	12	PS0
7:20:00	PP	13	0	14	118	118	0	31	4.299	7	0	20	13	
7:20:00	PPV	12	0	13	89	89	0	48	4.560	9	0	20	12	
7:20:00	VP	3	4	10	84	90	81	44	7.515	7	57	56	7	PS0
7:21:00	PP	25	0	28	109	109	0	65	2.277	15	0	19	25	
7:21:00	PPV	22	0	24	90	90	0	86	2.611	16	0	12	22	
7:21:00	VP	9	1	12	120	124	88	35	5.464	6	10	75	10	PS0
7:22:00	PP	27	0	30	103	103	0	70	2.157	17	0	13	27	
7:22:00	PPV	23	2	29	83	84	74	106	2.325	21	8	13	25	
7:22:00	VP	10	0	11	102	102	0	29	5.405	6	0	50	10	PS0
7:23:00	PP	18	0	20	110	110	0	47	3.147	11	0	18	18	
7:23:00	PPV	13	2	18	87	88	80	65	3.735	12	13	5	15	
7:23:00	VP	5	1	7	84	87	73	25	8.549	5	17	9	6	PS0
7:24:00	PP	23	0	25	117	117	0	60	2.521	13	0	26	23	
7:24:00	PPV	14	2	19	88	88	85	67	3.506	13	13	23	16	
7:24:00	VP	3	1	5	88	90	81	18	12.096	3	25	3	4	PS0
7:25:00	PP	27	0	30	108	108	0	76	2.114	17	0	14	27	
7:25:00	PPV	22	0	24	84	84	0	88	2.614	17	0	12	22	
7:25:00	VP	6	1	8	86	90	68	24	7.518	6	14	11	7	PS0
7:26:00	PP	23	0	25	109	109	0	61	2.509	14	0	20	23	
7:26:00	PPV	21	1	25	77	77	85	110	2.617	19	5	50	22	
7:26:00	VP	9	0	10	106	106	0	28	5.934	6	0	51	9	PS0
7:27:00	PP	22	0	24	110	110	0	58	2.614	13	0	10	22	
7:27:00	PPV	20	1	24	88	88	87	78	2.732	16	5	20	21	
7:27:00	VP	12	0	13	134	134	0	30	4.623	6	0	72	12	PS0
7:28:00	PP	15	0	17	114	114	0	38	3.773	9	0	13	15	
7:28:00	PPV	22	0	24	92	92	0	69	2.585	16	0	20	22	
7:28:00	VP	6	0	7	148	148	0	17	8.626	3	0	74	6	PS0
7:29:00	PP	29	0	32	109	109	0	71	1.998	18	0	14	29	
7:29:00	PPV	15	2	20	82	82	81	82	3.331	15	12	16	17	
7:29:00	VP	8	1	11	93	97	69	33	5.992	7	11	10	9	PS0
7:30:00	PP	19	0	21	108	108	0	49	2.975	12	0	18	19	
7:30:00	PPV	17	1	20	81	81	82	72	3.179	15	6	10	18	
7:30:00	VP	3	3	8	88	96	81	39	8.509	5	50	7	6	PS0
7:31:00	PP	27	0	30	113	113	0	67	2.141	16	0	31	27	
7:31:00	PPV	21	1	25	96	97	91	73	2.607	16	5	12	22	
7:31:00	VP	7	2	11	106	113	82	45	5.998	6	22	50	9	PS0
7:32:00	PP	16	0	18	110	110	0	40	3.547	10	0	11	16	

ČAS	ID_PAS	Q_OV	Q_TV	Q_EKV	V_SK	V_OV	V_TV	Z	T_V	G	D_TV	O_SK	Q_SK	PS
7:32:00	PPV	14	4	22	92	94	86	93	3.172	14	22	15	18	
7:32:00	VP	4	0	4	94	94	0	11	12.064	3	0	7	4	PS0
7:33:00	PP	17	0	19	110	110	0	43	3.313	10	0	19	17	
7:33:00	PPV	17	1	20	86	87	78	66	3.139	14	6	9	18	
7:33:00	VP	6	1	8	88	89	84	28	7.455	5	14	9	7	PS0
7:34:00	PP	22	0	24	106	106	0	59	2.621	14	0	13	22	
7:34:00	PPV	20	1	24	84	84	86	78	2.740	17	5	11	21	
7:34:00	VP	5	0	6	86	86	0	15	10.047	4	0	5	5	PS0
7:35:00	PP	23	0	25	99	99	0	63	2.478	15	0	14	23	
7:35:00	PPV	25	0	28	84	84	0	98	2.285	20	0	12	25	
7:35:00	VP	10	0	11	86	86	0	29	5.485	8	0	6	10	PS0
7:36:00	PP	21	0	23	105	105	0	58	2.733	13	0	11	21	
7:36:00	PPV	22	3	29	83	83	86	123	2.312	21	12	18	25	
7:36:00	VP	6	2	10	125	141	78	36	6.578	5	25	77	8	PS0
7:37:00	PP	27	0	30	108	108	0	72	2.154	17	0	29	27	
7:37:00	PPV	16	3	23	83	84	81	94	3.016	17	16	24	19	
7:37:00	VP	9	2	13	116	123	85	48	5.023	7	18	72	11	PS0
7:38:00	PP	38	0	42	98	98	0	114	1.532	26	0	12	38	
7:38:00	PPV	27	1	32	77	78	59	125	2.060	25	4	15	28	
7:38:00	VP	15	1	18	78	78	75	62	3.518	14	6	42	16	PS1
7:39:00	PP	14	0	16	109	109	0	37	3.975	9	0	17	14	
7:39:00	PPV	21	1	25	84	85	62	86	2.593	18	5	11	22	
7:39:00	VP	8	3	14	90	92	84	54	5.045	9	27	9	11	PS1
7:40:00	PP	29	0	32	102	102	0	81	2.007	19	0	10	29	
7:40:00	PPV	25	0	28	86	86	0	88	2.314	20	0	16	25	
7:40:00	VP	10	3	16	101	107	82	56	4.239	10	23	56	13	PS1
7:41:00	PP	32	0	35	103	103	0	87	1.825	20	0	14	32	
7:41:00	PPV	21	3	28	83	84	76	112	2.410	20	13	8	24	
7:41:00	VP	6	1	8	87	88	86	28	7.528	6	14	4	7	PS1
7:42:00	PP	20	0	22	100	100	0	62	2.852	13	0	14	20	
7:42:00	PPV	25	1	29	88	88	84	100	2.219	20	4	15	26	
7:42:00	VP	7	3	13	75	76	75	54	5.440	10	30	53	10	PS1
7:43:00	PP	24	0	27	107	107	0	68	2.413	15	0	35	24	
7:43:00	PPV	30	1	35	73	73	77	144	1.857	29	3	17	31	
7:43:00	VP	15	2	20	101	105	76	73	3.352	12	12	40	17	PS1
7:44:00	PP	25	0	28	104	104	0	71	2.291	16	0	33	25	
7:44:00	PPV	24	2	30	81	81	73	111	2.240	22	8	12	26	
7:44:00	VP	13	3	19	87	90	76	74	3.505	13	19	58	16	PS1
7:45:00	PP	28	0	31	104	104	0	77	2.078	18	0	13	28	
7:45:00	PPV	20	3	27	82	82	84	115	2.510	20	13	23	23	
7:45:00	VP	4	1	6	126	137	82	22	10.037	3	20	63	5	PS1
7:46:00	PP	19	0	21	107	107	0	49	2.993	12	0	13	19	
7:46:00	PPV	22	2	28	85	86	74	101	2.394	20	8	20	24	
7:46:00	VP	7	2	11	101	109	71	36	5.984	7	22	45	9	PS1
7:47:00	PP	28	0	31	100	100	0	76	2.077	19	0	14	28	
7:47:00	PPV	32	1	37	71	71	59	177	1.747	31	3	45	33	
7:47:00	VP	8	0	9	105	105	0	25	6.696	5	0	66	8	PS1
7:48:00	PP	20	0	22	108	108	0	50	2.829	12	0	14	20	
7:48:00	PPV	16	1	19	89	90	86	64	3.349	13	6	10	17	
7:48:00	VP	9	2	13	86	86	85	46	4.952	9	18	12	11	PS1

ČAS	ID_PAS	Q_OV	Q_TV	Q_EKV	V_SK	V_OV	V_TV	Z	T_V	G	D_TV	O_SK	Q_SK	PS
7:49:00	PP	30	0	33	106	106	0	78	1.930	19	0	27	30	
7:49:00	PPV	28	2	34	78	79	75	131	1.930	26	7	42	30	
7:49:00	VP	9	1	12	101	103	75	42	5.516	7	10	49	10	PS1
7:50:00	PP	24	0	27	111	111	0	59	2.414	15	0	14	24	
7:50:00	PPV	16	1	19	85	86	81	63	3.351	13	6	15	17	
7:50:00	VP	7	1	9	109	114	70	36	6.604	5	13	54	8	PS1
7:51:00	PP	29	0	32	103	103	0	77	2.004	19	0	11	29	
7:51:00	PPV	16	1	19	91	91	81	69	3.340	13	6	10	17	
7:51:00	VP	10	0	11	91	91	0	25	5.465	7	0	8	10	PS0
7:52:00	PP	22	0	24	116	116	0	59	2.610	12	0	35	22	
7:52:00	PPV	21	4	30	87	87	88	115	2.310	21	16	15	25	
7:52:00	VP	4	1	6	90	92	80	20	10.003	4	20	12	5	PS0
7:53:00	PP	21	0	23	108	108	0	53	2.704	13	0	11	21	
7:53:00	PPV	23	1	27	92	93	72	93	2.378	18	4	34	24	
7:53:00	VP	11	2	16	87	87	88	45	4.311	11	15	8	13	PS0
7:54:00	PP	29	0	32	104	104	0	78	2.023	18	0	12	29	
7:54:00	PPV	21	0	23	84	84	0	87	2.722	16	0	22	21	
7:54:00	VP	10	1	13	114	119	73	41	4.987	7	9	75	11	PS0
7:55:00	PP	26	0	29	104	104	0	74	2.219	17	0	15	26	
7:55:00	PPV	17	1	20	88	88	92	73	3.154	14	6	8	18	
7:55:00	VP	7	1	9	109	112	88	26	6.656	5	13	50	8	PS0
7:56:00	PP	25	0	28	119	119	0	62	2.292	14	0	50	25	
7:56:00	PPV	20	1	24	84	84	88	82	2.747	17	5	49	21	
7:56:00	VP	6	0	7	114	114	0	19	8.514	4	0	57	6	PS0
7:57:00	PP	25	0	28	107	107	0	65	2.302	16	0	13	25	
7:57:00	PPV	20	0	22	95	95	0	68	2.850	14	0	17	20	
7:57:00	VP	8	2	12	110	116	86	38	5.440	7	20	46	10	PS0
7:58:00	PP	18	0	20	114	114	0	47	3.181	11	0	14	18	
7:58:00	PPV	23	1	27	85	85	92	100	2.417	19	4	16	24	
7:58:00	VP	9	0	10	132	132	0	27	6.040	5	0	67	9	PS0
7:59:00	PP	25	0	28	102	102	0	73	2.295	16	0	13	25	
7:59:00	PPV	20	0	22	89	89	0	79	2.841	15	0	8	20	
7:59:00	VP	6	5	15	82	84	79	60	4.975	11	45	12	11	PS0