

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Prometna smer

Kandidat:

Damir Klemenčič

Optimalno vodenje prometnih tokov na večnivojskih priključkih tipa "ROMB"

Diplomska naloga št.: 3056

Mentor:

doc. dr. Tomaž Maher

Somentor:

viš. pred. dr. Peter Lipar

Ljubljana, 27. 3. 2009

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **DAMIR KLEMENČIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»OPTIMALNO VODENJE PROMETNIH TOKOV NA VEČNIVOJSKIH
PRIKLJUČKIH TIPA »ROMB««**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 10. 3. 2009

.....

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.739:656.1.05(043.2)
Avtor:	Damir Klemenčič
Mentor:	doc. dr. Tomaž Maher, univ. dipl. inž. grad.
Somentor:	viš. pred. dr. Peter Lipar, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Optimalno vodenje prometnih tokov na večnivojskih priključkih tipa »romb«
Obseg in oprema:	104 strani, 12 preglednic, 68 slik, 30 grafikonov
Ključne besede:	križanje, romb (diamantno križanje), razcepno diamantno križanje, romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce

Izvleček

V nalogi so opisane nekatere tipične in nekaj novih oblik vodenja prometnih tokov. Opisana je tudi problematika rombov (diamantnih križanj). Ta mestna križanja so lahko problematična, saj je kapaciteta križišč na koncu ramp presežena in prihaja do zastojev in kolon. Zato je smiselno začeti uporabljati nove oblike, ki prometne tokove vodijo nekoliko drugače in so učinkovitejša od obstoječih križanj. V začetku naloge so podane tudi nekatere teoretične osnove za nadaljnjo obravnavo. Opisane so oblike križanj, njihove prednosti in slabosti. Na treh realnih primerih je prikazana uporaba novih oblik vodenja prometnih tokov, in sicer na križanju Dunajska–vzhodna obvozna cesta, Celovška–severna obvozna cesta ter Zasavska–mestna obvozna cesta. Ti novi obliki sta razcepno diamantno križanje in romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce. Uporabljene so prometne obremenitve iz leta 2003 in 2005. Za vsako izmed variant je opisano vodenje pešcev. Za analizo križanj je uporabljen mikrosimulacijski program Synchro 6.0, s pomočjo katerega so dobljene bistvene lastnosti križišč. Program je namenjen modeliranju in optimiziranju krmilnih programov. V zadnjem delu naloge so obravnavana križanja za vsak realen primer primerjana med sabo. Za lažjo predstavbo so primerjave podane v obliki grafikonov in preglednic.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	625.739:656.1.05(043.2)
Author:	Damir Klemenčič
Supervisor:	assist. prof. Tomaž Maher, univ. dipl. inž. grad.
Co-Supervisor:	sen. lect. Peter Lipar, univ. dipl. inž. grad.
Title:	Optimal traffic flow control on diamond interchanges
Notes:	104 pages, 12 tables, 68 figures, 30 diagrams
Key Words:	interchange, diamond interchange, diverging diamond interchange, single point diamond

Abstract

The work is describing some typical and some modern interchange designs. It is also describing problems on diamond interchanges. These urban interchanges can be problematical, because capacity on the ramp terminal intersections is exceeded and congestions and queues are occurring. That is why is reasonable started to use modern designs, that direct traffic flows a bit otherwise and are more efficient of existent interchanges. Also some theoretical bases behind further discussion are passed in beginning of work. Shapes of interchanges are described, their advantages and disadvantages. Use of new design of traffic flow directions is showed on three realistic cases, namely on interchange Dunajska – vzhodna obvozna cesta, Celovška - severna obvozna cesta and Zasavska – mestna obvozna cesta. These new designs are diverging diamond interchange and single point diamond. Used traffic volumes are from year 2003 and 2005. Pedestrian movement path is described for each version. The interchanges are analysed with microsimulation tool Synchro 6.0, essential characteristics of interchanges are got with the help of which. Program is designed for modeling and optimizing signal timings. Finally the diploma deals with the comparison of the interchanges. Comparisons are offered for lighter performance in shape of graphs and tables.

ZAHVALA

Najprej bi se rad zahvalil osebama, ki sta mi in mi še vedno stojita ob strani in me že celo življenje podpirata tako moralno kot tudi finančno. Brez njune pomoči mi ne bi uspelo doseči to, kar sem danes. Vem, da vse moje besede ne bodo odtehtale tistega, kar sta mi onadva dala.

Ati, mamí hvala za vse...

Prav tako bi se rad zahvalil sestri Albiní z družíno in stari mamí Aní za vso podporo, ki so mi jo dajali v dobrih in slabih trenutkih. Zahvala gre seveda tudi mojí Poloní.

Moja zahvala gre tudi mentorju, ki mi je s pravimi napotki pomagal pri dosegu zadnje stopnice v mojem študiju. Ne smem pozabiti tudi na Simona, ki mi je pomagal pri izdelavi simulacij.

Nenazadnje se zahvaljujem vsem mojim prijateljem, ki so mi kakorkoli pomagali v času mojega študija.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	IV
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION.....	V
KAZALO PREGLEDNIC	XI
KAZALO SLIK	XII
KAZALO GRAFIKONOV	XV
1 UVOD	1
1.1 Namen in cilj naloge	2
2 TEORETIČNE OSNOVE.....	3
2.1 Lastnosti prometnega toka	3
2.2 Težave v križiščih s premajhno prepustnostjo	4
2.3 Semaforizacija.....	4
2.3.1 Vmesni časi.....	5
2.3.2 Dolžina ciklusa	5
2.3.3 Zeleni časi	6
3 PROBLEMATIKA ROMBOV (DIAMANTNIH KRIŽANJ).....	6
4 NAJBOLJ POGOSTE OBLIKE KRIŽANJ	11
4.1 Romb (Diamantno križanje).....	11
4.1.1 Prednosti.....	13
4.1.2 Slabosti.....	13
4.1.3 Konfliktne točke.....	13
4.2 Križanje v obliki deteljice (Cloverleaf interchange)	14
4.2.1 Pregled	14
4.2.2 Slabosti.....	15
4.2.3 Zgodovina	15
4.3 Križanje v delni obliki deteljice (partial cloverleaf interchange-parclo)	16
4.3.1 Poimenovanje	16
4.3.2 Vrste	16
4.3.2.1 A2 in B2	16
4.3.2.2 Vrsta A4.....	17
4.3.2.3 Vrsta B4	17
5 NOVE OBLIKE KRIŽANJ	18
5.1 Razcepno diamantno križanje (Diverging diamond interchange - DDI)	18
5.1.1 Prednosti in slabosti	19
5.1.2 Konfliktne točke.....	20
5.1.3 Zgodovina	21
5.2 Romb z zunanji pasovi za leve zavijalce (Single point diamond - SPD)	21

5.2.1	Prednosti	22
5.2.2	Slabosti	23
5.2.3	Konfliktne točke	25
5.2.4	Krmilni program.....	25
5.3	Romb s krožiščem (Roundabout interchange)	26
5.3.1	Prednosti	27
5.3.2	Slabosti	28
5.4	Romb z dvema krožnima križiščema (Dumbbell interchange)	28
5.4.1	Prednosti	30
5.4.2	Slabosti	31
6	PREVERITEV PREDLAGANIH REŠITEV NA REALNIH PRIMERIH	31
6.1	Križanje Dunajske in vzhodne obvozne ceste.....	33
6.1.1	Obstoječe stanje.....	33
6.1.1.1	Prometne obremenitve.....	36
6.1.2	Romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD).....	37
6.1.2.1	Geometrija križanja.....	37
6.1.2.2	Prometne obremenitve.....	38
6.1.2.3	Vodenje pešcev	39
6.1.2.4	Povzetek simulacije	40
6.1.3	Razcepno diamantno križanje (Diverging diamond interchange - DDI).....	41
6.1.3.1	Geometrija križanja.....	41
6.1.3.2	Prometne obremenitve.....	42
6.1.3.3	Vodenje pešcev	43
6.1.3.4	Povzetek simulacije	43
6.2	Križanje Celovške in severne obvozne ceste.....	45
6.2.1	Obstoječe stanje.....	45
6.2.1.1	Prometne obremenitve.....	48
6.2.2	Romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD).....	49
6.2.2.1	Geometrija križanja.....	49
6.2.2.2	Prometne obremenitve.....	50
6.2.2.3	Vodenje pešcev	51
6.2.2.4	Povzetek simulacije	51
6.2.3	Razcepno diamantno križanje (Diverging diamond interchange - DDI).....	52
6.2.3.1	Geometrija križanja.....	52
6.2.3.2	Prometne obremenitve.....	53
6.2.3.3	Vodenje pešcev	53
6.2.3.4	Povzetek simulacije	53
6.3	Križanje Zasavske in mestne obvozne ceste (Šentjakob)	55
6.3.1	Obstoječe stanje.....	55
6.3.1.1	Prometne obremenitve.....	57
6.3.2	Diamantno križanje s prostim desnim zavijanjem (iz izvozne rampe na glavno smer)	59
6.3.2.1	Geometrija križanja.....	59
6.3.2.2	Prometne obremenitve.....	60

6.3.2.3	Vodenje pešcev	60
6.3.2.4	Povzetek simulacije.....	60
6.3.3	Romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD)	61
6.3.3.1	Geometrija križanja	61
6.3.3.2	Prometne obremenitve	62
6.3.3.3	Vodenje pešcev	63
6.3.3.4	Povzetek simulacije.....	63
6.3.4	Razcepno diamantno križanje (Diverging diamond interchange - DDI)	64
6.3.4.1	Geometrija križanja	64
6.3.4.2	Prometne obremenitve	65
6.3.4.3	Vodenje pešcev	65
6.3.4.4	Povzetek simulacije.....	65
7	PRIMERJAVE KRIŽANJ	67
7.1	Primerjave na križanju med Dunajsko in vzhodno obvozno cesto.....	67
7.1.1	Kapaciteta	67
7.1.2	Največja stopnja nasičenja	67
7.1.3	Največji nivo uslug	68
7.1.4	Največji nivo uslug po metodi ICU	68
7.1.5	Skupne zamude	69
7.1.6	Stopnja ustavljanja.....	69
7.1.7	Število ustavljanj	70
7.1.8	Skupni čas potovanja	70
7.1.9	Količina porabljenega goriva	71
7.1.10	Emisije križanja	71
7.2	Primerjave na križanju med Celovško in severno obvozno cesto.....	72
7.2.1	Kapaciteta	72
7.2.2	Največja stopnja nasičenja	73
7.2.3	Največji nivo uslug	73
7.2.4	Največji nivo uslug po metodi ICU	74
7.2.5	Skupne zamude	74
7.2.6	Stopnja ustavljanja.....	75
7.2.7	Število ustavljanj	75
7.2.8	Skupni čas potovanja	76
7.2.9	Količina porabljenega goriva	76
7.2.10	Emisije križanja	77
7.3	Primerjave na križanju med Zasavsko in mestno obvozno cesto	78
7.3.1	Kapaciteta	78
7.3.2	Največja stopnja nasičenja	78
7.3.3	Največji nivo uslug	79
7.3.4	Največji nivo uslug po metodi ICU	79
7.3.5	Skupne zamude	80
7.3.6	Stopnja ustavljanja.....	80
7.3.7	Število ustavljanj	81
7.3.8	Skupni čas potovanja	81
7.3.9	Količina porabljenega goriva	82

7.3.10	Emisije križanja	82
8	ZAKLJUČKI IN UGOTOVITVE.....	84
VIRI	87

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1 – Nivo uslug določen iz zamud za semaforizirana križišča (2000 HCM).....	32
Preglednica 2 – Kriteriji za nivo uslug po metodi ICU	32
Preglednica 3 – Povzetek simulacije za celotno križanje	40
Preglednica 4 – Povzetek simulacije za celotno križanje	44
Preglednica 5 – Povzetek simulacije za celotno križanje	51
Preglednica 6 – Povzetek simulacije za celotno križanje	54
Preglednica 7 – Povzetek simulacije za celotno križanje	61
Preglednica 8 – Povzetek simulacije za celotno križanje	63
Preglednica 9 – Povzetek simulacije za celotno križanje	66
Preglednica 10 – Primerjava kapacitete na rampah in glavni smeri.....	67
Preglednica 11 – Primerjava kapacitete na rampah in glavni smeri.....	72
Preglednica 12 – Primerjava kapacitete na rampah in glavni smeri.....	78

KAZALO SLIK

Slika 1 – Predolga zaježitvena dolžina	6
Slika 2 – Zavijanje levo iz izvoznih ramp na glavno smer	7
Slika 3 – Zavijanje levo iz glavne smeri na uvozne rampe.....	7
Slika 4 – Vožnja naravnost skozi križišče	7
Slika 5 – Slab izkoristek zelenega časa.....	8
Slika 6 – Prostor za čakanje v koloni	9
Slika 7 – Primer oviranja levih zavijalcev	10
Slika 8 – Shema diamantnega križanja	11
Slika 9 – Diamantno križanje Labore-Kranj (http://www.geopedia.si/)	11
Slika 10 – Shema ozkega diamantnega križanja (http://www.oregonite.org/2007D6/paper_review/D9_44_Stanek_paper.pdf)	12
Slika 11 – Konfliktne točke diamantnega križanja (http://www.tfrc.gov/safety/pubs/04091/10.htm)	13
Slika 12 – Shema križanja v obliki deteljice s servisnimi cestami (http://www.cbrd.co.uk/reference/interchanges/cloverleaf.shtml).....	14
Slika 13 – Križanje v obliki deteljice s servisnimi cestami (http://en.wikipedia.org/wiki/Cloverleaf_interchange).....	15
Slika 14 – Shema križanja v delni obliki deteljice B2 (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Parclo-B2.png).....	16
Slika 15 – Shema križanja v delni obliki deteljice A4 (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Parclo-A4.png)	17
Slika 16 – Shema ozkega razcepnega diamantnega križanja (http://www.oregonite.org/2007D6/paper_review/D9_44_Stanek_paper.pdf)	18
Slika 17 – Shema ozkega razcepnega diamantnega križanja (http://www.435ddi.com/).....	20
Slika 18 – Konfliktne točke DDI križanja (http://www.ohm-advisors.com/ddi/index.cfm).....	20
Slika 19 – Razcepno diamantno križanje - Versailles, Francija (Slika dobljena s programom Google Earth)	21
Slika 20 – Romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce - SPD (http://www.oregonite.org/2007D6/paper_review/D9_44_Stanek_paper.pdf)	22
Slika 21 – SPD, kjer avtocesta poteka pod mostom (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Spui-schematic.svg).....	23
Slika 22 – SPD, kjer avtocesta poteka nad mostom (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Florida_SR_4080_at_Valencia_College_Lane.jpg).....	24
Slika 23 – Značilnosti SPD križanja (http://www.oregonite.org/2007D6/paper_review/D9_44_Stanek_paper.pdf)	24

Slika 24 – Konfliktne točke SPD križanja (http://www.tfhr.gov/safety/pubs/04091/10.htm)	25
Slika 25 – Krmilni program SPD križanja (http://www.tfhr.gov/safety/pubs/04091/10.htm)	26
Slika 26 – Romb s krožiščem (http://www.cbrd.co.uk/reference/interchanges/roundabout.shtml)	26
Slika 27 – Shema romba s krožiščem (http://www.tfhr.gov/safety/00-0678.pdf)	27
Slika 28 – Romb s krožiščem Tomačevo (http://www.geopedia.si/)	27
Slika 29 – Shema romba z dvema krožnima križiščema (http://www.cbrd.co.uk/reference/interchanges/dumbbell.shtml)	28
Slika 30 – Romb z dvema krožnima križiščema in z enim nadvozom ter okroglim centralnim otokom (http://www.tfhr.gov/safety/00-0678.pdf)	29
Slika 31 – Romb z dvema krožnima križiščema in z enim nadvozom ter okroglima centralnima otokoma – Francija (http://www.tfhr.gov/safety/00-0678.pdf)	29
Slika 32 – Romb z dvema krožnima križiščema in z enim nadvozom ter otokom v obliki dežne kaplje (http://www.tfhr.gov/safety/00-0678.pdf)	30
Slika 33 – Shema romba z dvema krožnima križiščema in z enim nadvozom ter otokom v obliki dežne kaplje.....	30
Slika 34 – Situacija križanja Dunajske in Severne obvozne ceste	33
Slika 35 – Velike obremenitve iz izvozne rampe iz smeri Domžal.....	34
Slika 36 – Faze križanja.....	34
Slika 37 – Naravnost vozeči na glavni smeri ovirajo leve in naravnost vozeče iz izvozne rampe iz smeri Domžal.....	35
Slika 38 – Naravnost vozeči na glavni smeri ovirajo leve in naravnost vozeče iz izvozne rampe iz smeri Šiške.....	35
Slika 39 – Diagram prometnih obremenitev križanja Dunajska – vzhodna obvozna cesta (eov/h) v jutranji konici	36
Slika 40 – Diagram prometnih obremenitev križanja Dunajska – vzhodna obvozna cesta (eov/h) v popoldanski konici	37
Slika 41 – Situacija romba z zunanji pasovi za leve zavijalce (SPD).....	38
Slika 42 – Prometne obremenitve romba z zunanji pasovi za leve zavijalce (SPD).....	38
Slika 43 – Vodenje pešcev na rombu z zunanji pasovi za leve zavijalce (SPD).....	39
Slika 44 – Situacija razcepnega diamantnega križanja (DDI).....	41
Slika 45 – Prometne obremenitve razcepnega diamantnega križanja (DDI).....	42
Slika 46 – Vodenje pešcev na razcepnem diamantnem križanju (DDI).....	43
Slika 47 – Situacija križanja Celovške in severne obvozne ceste	45
Slika 48 – Faze križanja.....	46
Slika 49 – Velike obremenitve na izvozni rampi iz smeri primorske	47
Slika 50 – Velike obremenitve na glavni smeri.....	47

Slika 51 – Diagram prometnih obremenitev križanja Celovška – severna obvozna cesta (eov/h) v jutranji konici.....	48
Slika 52 – Diagram prometnih obremenitev križanja Celovška – severna obvozna cesta (eov/h) v popoldanski konici.....	49
Slika 53 – Situacija romba z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD).....	50
Slika 54 – Prometne obremenitve romba z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD)	50
Slika 55 – Situacija razcepnega diamantnega križanja (DDI)	52
Slika 56 – Prometne obremenitve razcepnega diamantnega križanja (DDI)	53
Slika 57 – Situacija križanja Zasavske in mestne obvozne ceste.....	55
Slika 58 – Faze križanja	56
Slika 59 – Kolona naravnost vozečih vozil iz smeri Črnuč	56
Slika 60 – Velike obremenitve na izvozni rampi iz smeri Ljubljane.....	57
Slika 61 – Diagram prometnih obremenitev križanja Zasavska – MOC (eov/h) v jutranji konici.....	58
Slika 62 – Diagram prometnih obremenitev križanja Zasavska – MOC (eov/h) v popoldanski konici.....	58
Slika 63 – Prosto zavijanje desno	59
Slika 64 – Prometne obremenitve v popoldanski konici.....	60
Slika 65 – Situacija romba z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD).....	62
Slika 66 – Prometne obremenitve romba z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD)	62
Slika 67 – Situacija razcepnega diamantnega križanja (DDI)	64
Slika 68 – Prometne obremenitve razcepnega diamantnega križanja (DDI)	65

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1 – Največja stopnja nasičenja na križanju	67
Grafikon 2 – Največji nivo uslug na križanju	68
Grafikon 3 – Največji nivo uslug na križanju	68
Grafikon 4 – Skupne zamude na križanju	69
Grafikon 5 – Stopnja ustavljanja na križanju	69
Grafikon 6 – Število ustavljanj na križanju	70
Grafikon 7 – Skupni čas potovanja na križanju.....	70
Grafikon 8 – Količina porabljenega goriva na križanju	71
Grafikon 9 – Emisije ogljikovega monoksida (CO) na križanju	71
Grafikon 10 – Emisije dušikovih oksidov (NO _x) na križanju.....	72
Grafikon 11 – Največja stopnja nasičenja na križanju	73
Grafikon 12 – Največji nivo uslug na križanju	73
Grafikon 13 – Največji nivo uslug na križanju	74
Grafikon 14 – Skupne zamude na križanju	74
Grafikon 15 – Stopnja ustavljanja na križanju	75
Grafikon 16 – Število ustavljanj na križanju	75
Grafikon 17 – Skupni čas potovanja na križanju.....	76
Grafikon 18 – Količina porabljenega goriva na križanju	76
Grafikon 19 – Emisije ogljikovega monoksida (CO) na križanju	77
Grafikon 20 – Emisije dušikovih oksidov (NO _x) na križanju.....	77
Grafikon 21 – Največja stopnja nasičenja na križanju	78
Grafikon 22 – Največji nivo uslug na križanju	79
Grafikon 23 – Največji nivo uslug na križanju	79
Grafikon 24 – Skupne zamude na križanju	80
Grafikon 25 – Stopnja ustavljanja na križanju	80
Grafikon 26 – Število ustavljanj na križanju	81
Grafikon 27 – Skupni čas potovanja na križanju.....	81
Grafikon 28 – Količina porabljenega goriva na križanju	82
Grafikon 29 – Emisije ogljikovega monoksida (CO) na križanju	82
Grafikon 30 – Emisije dušikovih oksidov (NO _x) na križanju.....	83

1 UVOD

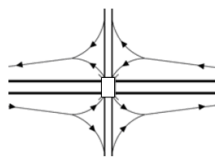
Prometni planerji in prometni inženirji se soočajo z izzivom, kako zmanjšati prometne zastoje v koničnih urah s čim manjšimi stroški. Primarni cilji so zmanjšanje zamud in izboljšanje prometne varnosti za vozila in pešce. V mestnih območjih je malo prostora za načrtovanje cest in zato bi morali bolj pametno postopati pri projektiranju cest, križišč in križanj.

Izvennivojsko križanje je sestavljeno iz dveh uvoznih in izvoznih ramp. Na obremenjenih cestah je to potrebno zaradi nemotenega poteka prometnih tokov. Na koncu ramp je običajno postavljena signalizacija.

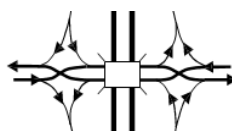
Celotno križanje mora omogočati dostop v katerokoli smer iz katerekoli smeri. Križanje med avtocesto in cesto nižje kategorije potrebuje minimalno štiri rampe, uvozno in izvozno rampo v vsaki smeri. Rampe poimenujemo glede na avtocesto. Izvozna rampa vodi promet iz avtoceste na drugo cesto, medtem ko uvozna ravno nasprotno.

Križanje na avtocesti pogosto predstavlja ozko grlo. Zaželen razmik med signali na glavni smeri je med 400–800 m, vendar je na avtocestnih križanjih ta razdalja večinoma prekinjena z rampami, med katerimi je majhna razdalja in včasih s sosednjimi križišči, med katerimi je prav tako majhna razdalja. Najbolj običajna oblika je romb (diamantno križanje), ki ima omejeno kapaciteto na križiščih na koncu ramp, še posebej ko je razdalja med križišči majhna in kadar so prometne obremenitve zavijalcev velike. Zato so prometni inženirji razvili nekatere nove oblike križanj oziroma vodenj prometnih tokov, kot so:

- romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (Single point diamond – SPD)



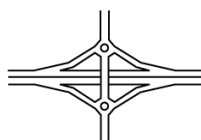
- razcepno diamantno križanje (Diverging diamond interchange - DDI)



- romb s krožiščem (Roundabout interchange)



- romb z dvema krožnima križiščema (Dumbbell interchange)



Večina križanj je le modifikacija nekaj osnovnih (tipičnih) vrst.

1.1 Namen in cilj naloge

Namen naloge je spoznati in predstaviti problematiko rombov (diamantnih križanj). Kje in zakaj se pojavljajo težave in kako lahko izboljšamo vodenje prometnih tokov.

Podane so tudi teoretične osnove za lažje razumevanje in analiziranje uporabljenih križišč. Zaradi rasti prometnih obremenitev in lokalnih koncentracij le teh je količina vozil na nekaterih križiščih večja od same kapacitete teh križišč. Potrebne so izboljšave križišč, na primer dodajanje voznih pasov, sprememba krmilnih programov (sprememba zaporedja faz) ali konstruiranje novih oblik vodenja prometnih tokov.

V nalogi bo več pozornosti namenjeno predstavitvi novih oblik vodenja prometnih tokov, saj so le te učinkovitejše od običajnih oblik (romb - diamantna križanja), vendar pa so ljudem oziroma širši javnosti še razmeroma neznane. Zato je v nadaljevanju opisanih nekaj najbolj pogostih oblik križanj in nove oblike vodenja prometnih tokov.

Na treh realnih primerih bodo prikazane nekatere nove oblike vodenja, in sicer na rombu (diamantnem križanju):

- Celovške ceste in severne obvozne ceste,
- Dunajske ceste in vzhodne obvozne ceste,
- Zasavske ceste in mestne obvozne ceste (Šentjakob)

Podatki o prometnih obremenitvah so za eno križanje (Celovška cesta–severna obvozna cesta) dobljeni v poročilu »Promet MOL 2005«, za drugi dve križanji (Dunajska cesta–vzhodna obvozna cesta ter Zasavska cesta–mestna obvozna cesta (Šentjakob)) pa pri javnem podjetju Ljubljanska parkirišča in tržnice (JP LPT d.o.o.). Podatki o štetju so iz leta 2003 in 2005, zato ne dobimo prave slike, ker so od takrat obremenitve že narasle. Razen na Celovški cesti, kjer je izgradnja predora Šentvid malo razbremenila cesto.

Omeniti je treba, da naloga obravnava le omenjena križanja in ne celotnega prometnega sistema oziroma vpliva vpeljave katere od novih oblik. Križanje je tako na nek način odrezano od ostalih križišč, saj študija reševanja celotnega prometnega sistema v nalogi ni zajeta.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Lastnosti prometnega toka

Za opisovanje prometnega toka so vpeljani določeni parametri. Naj omenim le najpomembnejše:

- Pretok vozil: število vozil, ki prevozi določen odsek ceste v enoti časa v eni smeri (enosmerne ceste) ali v dveh smereh (dvosmerne ceste).
- Gostota prometnega toka: število vozil na enoto dolžine prometnice, glede na vozni pas, smer (enosmerne ceste) ali na obe smeri (dvosmerne ceste).
- Hitrost prometnega toka: je hitrost, ki je enaka srednji vrednosti vseh vozil v opazovanem prometnem toku.
- Potovalni čas: srednja vrednost potovalnega časa vseh vozil opazovanega prometnega toka preko določenega odseka ceste.
- Zamude: čas, ki ga vozila izgubijo med vožnjo skozi križišče – odvisen je od učinkovitosti križišča.
- Kapaciteta križišča: maksimalno število vozil oziroma enot osebnih vozil, ki lahko vozijo skozi križišče, da le to še ni prenasičeno.

- Nivo uslug: parameter, ki pove, ali križišče ustreza potrebam prometnih tokov – preko zamud in/ali dolžin kolon nam pove, za kako kakovostno vodenje tokov v obravnavanem križišču gre.

Za uspešnost delovanja križišča sta pomembna dva kriterija: kriterij prometnih obremenitev (kapaciteta), ki je izražen preko stopnje nasičenosti $X = V/C$, in kriterij čakalnih časov; ki je izražen preko zamud. Merilo so tako imenovani nivoji uslug v posameznih smereh.

Pri semaforiziranih križiščih je prometna učinkovitost odvisna predvsem od stopnje nasičenosti posameznih smeri $X = V/C$, ki predstavlja razmerje dejanskih merodajnih prometnih obremenitev (V) in kapacitete (C). Kapaciteta je odvisna od geometrijskih elementov križišča, lastnosti prometnega toka in od krmilnih parametrov. Še zadovoljiva stopnja nasičenosti posamezne smeri semaforiziranega križišča je med $X = 0.90$ do $X = 0.95$, ko je dosežen kriterij prometnih obremenitev.

Nivo uslug križišča in posameznih smeri je vezan na zamude oziroma čakalne čase vozil. Ti so odvisni od dejanskih prometnih obremenitev in od porazdelitev zelenih časov (čakalni časi pri rdečem signalu). Nivo uslug E kaže na dosežen kriterij čakalnih časov, nivo uslug F pa na presežen kriterij.

2.2 Težave v križiščih s premajhno prepustnostjo

Križišča s premajhno kapaciteto za dejanske obremenitve so prenasičena. Pojavijo se kolone vozil pred križiščem, posamezne smeri se med trajanjem zelene luči ne izpraznijo, čakalni časi se podaljšujejo, poveča se stopnja ustavljanja, onesnaževanje okolja z izpušnimi plini je veliko, pojavi se živčnost voznikov in podobno.

Če je dolžina kolone vozil dovolj dolga, lahko vpliva tudi na prepustnost predhodnega križišča, ki bi sicer imelo zadostno kapaciteto, da bi ob zeleni luči izpraznilo posamezne smeri.

2.3 Semaforizacija

Svetlobno-signalne naprave postavljamo zaradi povečanja prometne varnosti, bolj tekočega prometnega potekanja in za kontrolirano vodenje prometa. S postavitvijo svetlobno signalnih

naprav lahko torej izboljšamo celotno prometno dogajanje na nekem križišču. Semaforizacija je pozitivna tudi v smislu vzpostavitve koordiniranega krmiljenja. Pomembni izrazi pri določanju elementov semaforizacije pa so vmesni časi, cikel in zeleni časi.

2.3.1 Vmesni časi

Vmesni čas je tisti čas, ko imajo vse smeri v semaforiziranem križišču rdečo luč. Dolžina vmesnega časa je odvisna od geometrije križišča, faznega zaporedja ter vozni lastnosti vozil. Je tisti čas, ki omogoči, da vozila, ki uvažajo v križišče na začetku neke faze, ne trčijo z vozili, ki zapuščajo križišče ob koncu prejšnje faze. Vmesni čas v osnovi torej predstavlja razliko med izvoznim časom (upoštevati je potrebno tudi dolžino vozila) in uvoznim časom. Če so v križišču pešci, morajo vmesni časi tudi preprečiti morebitne trke pešec–vozilo. Omeniti je treba, da so pogosto prav pešci vzrok za dolge vmesne čase (sploh pri večjih križiščih) in je zato razmišljanje o izven nivojskih prehodih za pešce prav gotovo upravičeno.

Več kot je faz, več je vmesnih časov in večje so zamude pri vožnji skozi križišče. Dolžina vmesnega časa ni odvisna od števila faz, temveč od tega, kateri tokovi se sekajo. Torej manj kot je faz, manj je vmesnih časov in manjše so zamude. Zato je, kar se tiče izgube zelenih časov, bolj primerna uporaba dvofaznih sistemov kot večfaznih. Vendar dvofazni sistem morda ne zadostuje prometnim obremenitvam (npr.: naravnost vozeči ovirajo leve zavijalce iz nasprotne smeri, zato so le ti vodeni neučinkovito – nivo uslug F). Za odpravo tega problema so primerne nekatere nove oblike, kot je recimo razcepno diamantno križanje, opisano v nadaljevanju, ki leve in naravnost vozeče vodi tako, da se ne ovirajo. Ima pa prav tako dvofazni krmilni sistem.

2.3.2 Dolžina ciklusa

Dolžina ciklusa je odvisna od dolžine vmesnih časov, prometnih obremenitev in geometrije križišča (števila posameznih pasov, širine ločilnega pasu ...)

V primeru, da izračunana dolžina ciklusa presega 120 sekund pri prometno neodvisnem krmiljenju, se zeleni časi temu primerno skrajšajo.

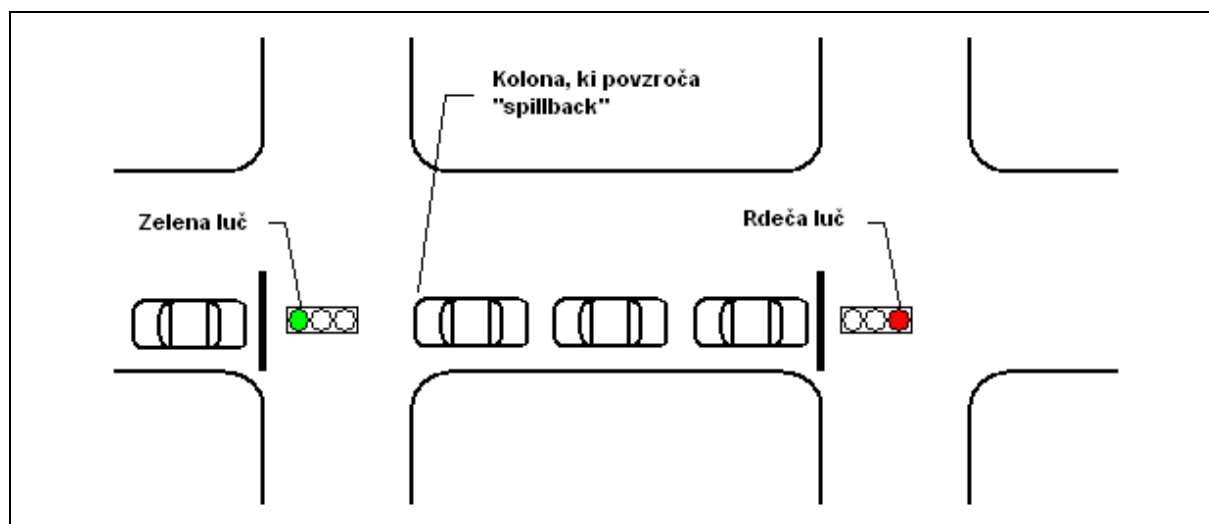
2.3.3 Zeleni časi

To je čas, ko ima posamezna smer (faza) zeleno luč. Odvisen je od količine vozil na smeri z upoštevanjem faktorja urne konice (PHF – pick hour factor), števila pasov v smeri, pospeškov vozil, njihove hitrosti, če je križišče prenasičeno, pa tudi od dolžine ciklusa.

3 PROBLEMATIKA ROMBOV (DIAMANTNIH KRIŽANJ)

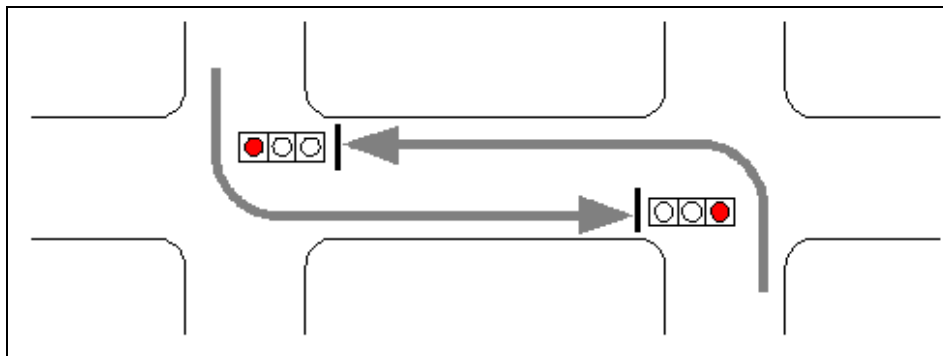
Rombi (diamantna križanja) so najbolj pogosta oblika križanja na avtocestah. Z njimi se srečujemo vsakodnevno na vseh avtocestah ali mestnih obvoznicah. Prav zaradi njihove pogostosti in ker so že vrsto let prisotna v naših prometnih sistemih, lahko vidimo kakšne težave se pojavljajo na njih. Takrat, ko so bila zgrajena, so dobro funkcionirala in ni bilo toliko težav, ker je bilo precej manj prometa. V današnjem času pa je večina rombov (diamantnih križanj) v času urnih konic, vsaj tistih v urbanih območjih, zaradi izredno hitre rasti prometa, prenasičenih. Pojavljajo se zastoji in kolone v najbolj obremenjenih smereh.

Krmilni sistem na rombih (diamantnih križanjih) je lahko zapleten, ker majhne razdalje med križišči lahko privedejo do predolge zaježitvene dolžine (»spillback«) ali slabega izkoristka zelenega časa (»starvation«). Do predolge zaježitvene dolžine pride, kadar kolona na spodnjem križišču zavzame celoten prostor med križiščema in preprečuje vstop vozilom na zgornjem križišču ob zeleni luči, kar vidimo iz Slike 1.

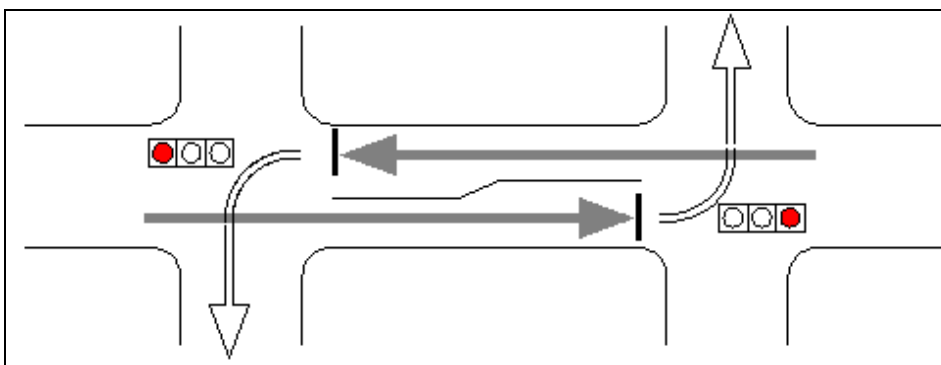


Slika 1 – Predolga zaježitvena dolžina

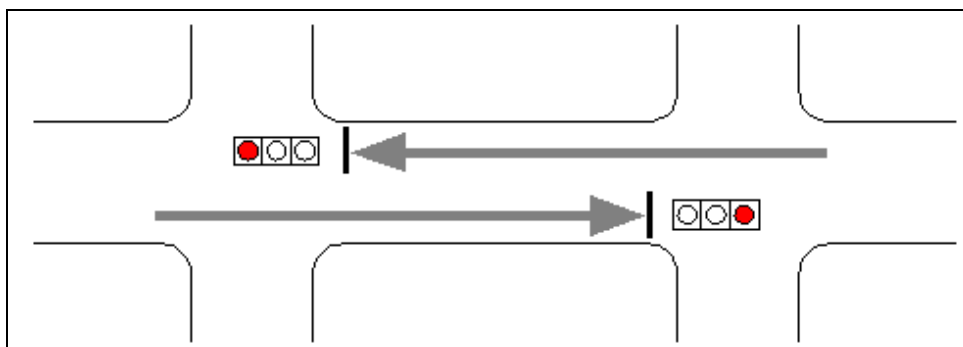
Pri šestih različnih gibanjih lahko pride do predolge zajezivitvene dolžine, kar je nazorno pokazano na naslednjih slikah (Slika 2, Slika 3, Slika 4), in sicer pri zavijanju levo iz obeh izvoznih ramp na glavno smer, pri zavijanju levo iz glavne smeri na uvozne rampe in pri vožnji naravnost skozi križišče. Najbolj kritično pa je zavijanje iz glavne smeri na uvozne rampe, zaradi omejenega prostora za leve (razvrstilni pas za levo zavijanje) zavijalce med križiščema.



Slika 2 – Zavijanje levo iz izvoznih ramp na glavno smer



Slika 3 – Zavijanje levo iz glavne smeri na uvozne rampe



Slika 4 – Vožnja naravnost skozi križišče

Slab izkoristek zelenega časa (»starvation«) se pojavi, ko je na spodnjem križišču zelena luč, vendar le ta ne more servisirati križišča s polno kapaciteto, ker je na zgornjem signalu rdeča luč. Imamo tako imenovani izgubljeni zeleni čas.



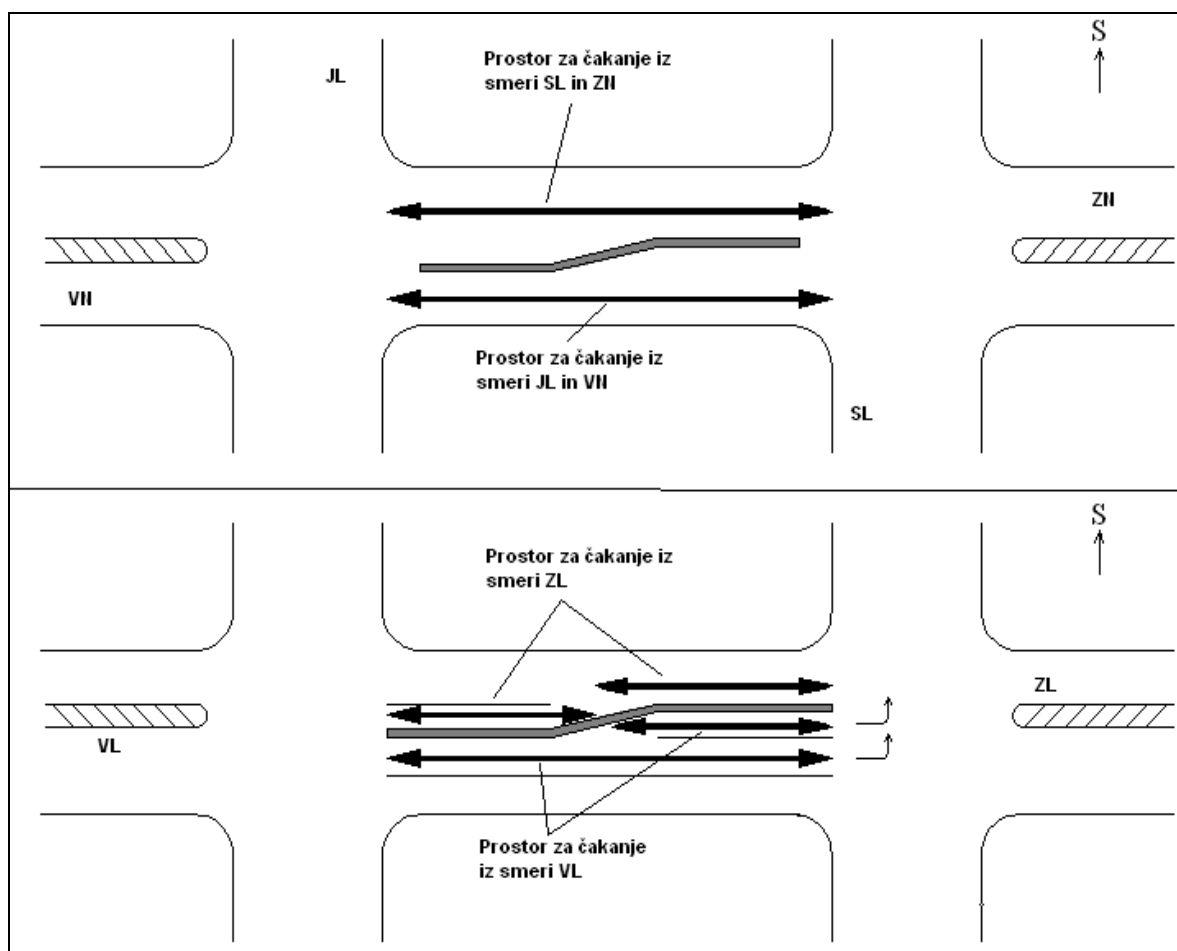
Slika 5 – Slab izkoristek zelenega časa

Še ena težava, ki se pojavlja na rombih (diamantnih križanjih), je premalo prostora za čakanje v koloni za leve in naravnost vozeče (Storage space). Slika 6 prikazuje, kako določimo prostor za čakanje v koloni za predolgo zajezitveno dolžino.

Za naravnost vozeče in za leve zavijalce iz izvoznih ramp je prostor za čakanje enak notranji razdalji med križiščema pomnoženo s številom pasov za naravnost vozeče (Slika 6 – zgoraj).

Za vozila, ki zavijajo levo na uvozno rampo, je prostor za čakanje enak dolžini žepa za leve zavijalce plus dolžina kateregakoli pasu, ki sega do predhodnega križišča (Slika 6 – spodaj). Če noben pas ne sega do predhodnega križišča, lahko štejemo za dolžino čakanja en pas naravnost vozečih, ki sega od začetka žepa za leve zavijalce do predhodnega križišča (Slika 6 – spodaj).

Krmilni program, ki v eni fazi lahko servira le polovico vozil, zaradi katerih nastane predolga zajezitvena dolžina, lahko uporabimo le takrat, ko imamo dovolj prostora za čakanje za vozila v določeni smeri.

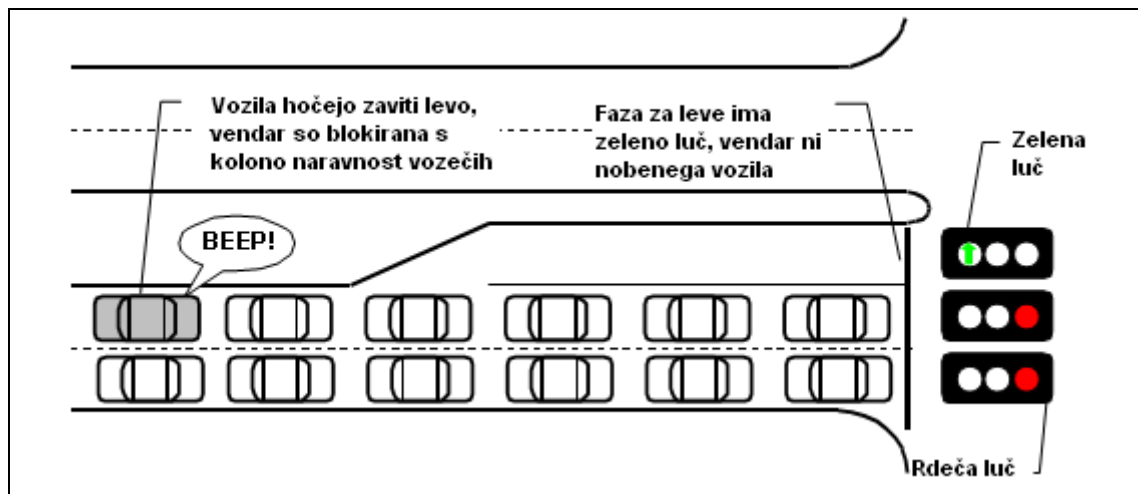


SL = sever levo, JL = jug levo, ZN = zahod naravnost, VN = vzhod naravnost, VL = vzhod levo, ZL = zahod levo

Slika 6 – Prostor za čakanje v koloni

Omeniti je treba tudi problem, ki nastane kadar so vozila, ki hočejo zavijati levo ali desno ovirana s strani vozil, ki stojijo v vrsti in gredo naravnost. Naravnost vozeči ovirajo dostop do žepa za leve zavijalce. Lahko pa levi zavijalci uporabijo celotno dolžino žepa in še del pasu za naravnost in s tem ovirajo naravnost vozeče. Z eno besedo lahko temu rečemo oviranje (Storage blocking).

Na Sliki 7 vidimo, da so levi zavijalci ovirani s strani naravnost vozečih. Na semaforju imajo zeleno luč, vendar nobeno vozilo se ne more prebiti skozi. Oviranje je kombinacija predolge zajezitive dolžine (»spillback«) in slabega izkoristka zelenega časa (»starvation«). V tem primeru naravnost vozeči povzročajo predolgo zajezitivo dolžino in zaradi tega imajo levi zavijalci slab izkoristek zelenega časa.



Slika 7 – Primer oviranja levih zavijalcev

Vse prej opisane težave vodijo na križanjih do kolon. Medsebojni vplivi teh pojavov ne samo povečujejo zamude, ampak tudi znižajo kapaciteto. Znižajo jo tudi pri smereh, kjer normalno kapaciteta še ni dosežena. Pri smereh, kjer je dosežena ali presežena kapaciteta, postanejo vplivi še bolj kritični, ker lahko kapaciteto še dodatno zreducirajo. Prav tako se pojavi problem pri prometni varnosti. V vozila, ki pri zeleni luči stojijo se lahko kdo zaleti v zadnji del avtomobila. Tudi v tista, ki obtičijo znotraj križišča, lahko kdo pravokotno trči.

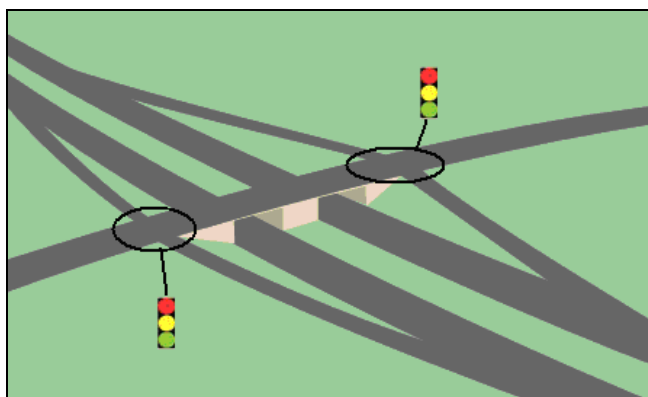
Predolga zaježitvena dolžina in slab izkoristek zelenega časa sta tesno povezana. Na začetku je možno, da se pojavi le eden (ali »spillback« ali »starvation«), odvisno od tega, katero križišče ima bolj omejeno kapaciteto. Zmanjšanje kapacitete zaradi slabega izkoristka zelenega časa bo sčasoma privedla do predolge zaježitvene dolžine. Razlog pojava predolge zaježitvene dolžine in slabega izkoristka zelenega časa, je nekoordiniranost ali slaba koordinacija v kombinaciji s kratkimi razdaljami za oviranje.

Če hočemo zmanjšati ta dva pojava (»spillback« in »starvation«), moramo imeti istočasno prižgane zelene luči za vsa glavna gibanja v določeni smeri. Prav tako lahko zmanjšamo probleme medsebojnih vplivov prej opisanih pojavov tako, da uporabljamo krajše cikle in/ali daljše razdalje oviranja.

4 NAJBOLJ POGOSTE OBLIKE KRIŽANJ

4.1 Romb (Diamantno križanje)

Diamantno križanje je navadna oblika križanja cest. Uporabljamo jih tam, kjer se avtocesta križa s cesto nižje kategorije. Križanje je izvedeno izvennivojsko, pri čemer je potrebno zgraditi most za eno ali drugo cesto. Ko se približujemo križanju z ene ali druge strani, se izvozna rampa narahlo odcepi v vzponu ali padcu od avtoceste. Nato gre direktno čez cesto nižje kategorije, kjer postane uvozna rampa, ki se na enak način vrne nazaj na avtocesto.



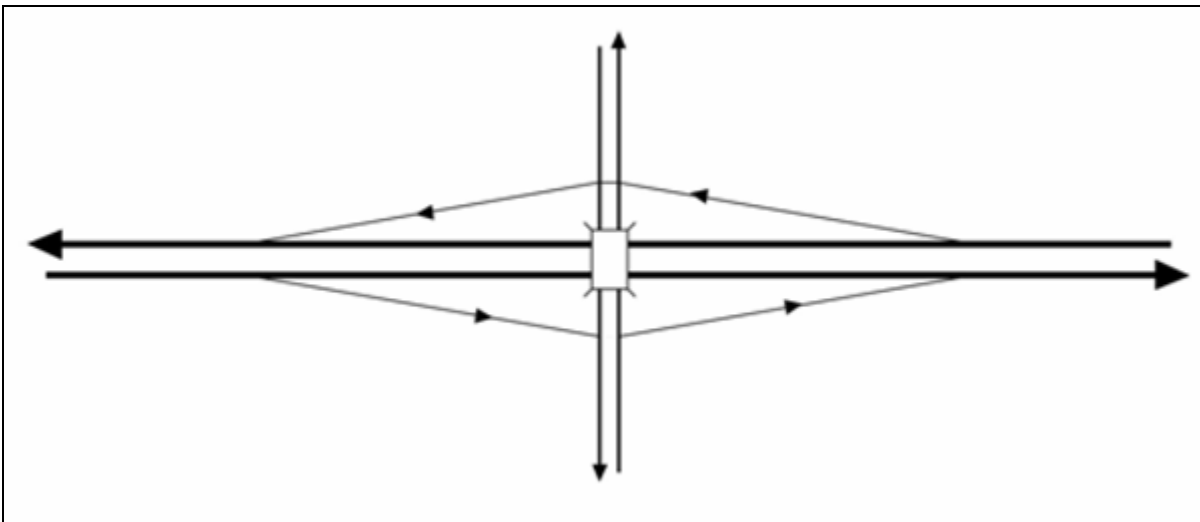
Slika 8 – Shema diamantnega križanja

Križanje rampe in nižje razredne ceste obravnavamo kot navadno križišče. Na koncu ramp so semaforji.



Slika 9 – Diamantno križanje Labore-Kranj (<http://www.geopedia.si/>)

Diamantno križanje bolj učinkovito izrabi prostor kot večina drugih oblik križanj cest. Prav tako se izogne prepletanju prometnih tokov, ki nastanejo v drugih križanjih, kot je primer križanja v obliki deteljice. Potemtakem je diamantni priključek najbolj učinkovit v področjih, kjer so prometne obremenitve manjše in kjer je izgradnja dražjih križanj nepotrebna. Tam, kjer pa so prometne obremenitve večje in ni izvennivojskega križanja, lahko pride do zastojev in nesreč. Takrat so potrebni dodatni ukrepi, kot so semaforji in dodatni pasovi namenjeni zavijanju prometa ali (v Veliki Britaniji) par krožnih križišč, da dobimo romb z dvema krožnima križiščema (dumbbell interchange). Iz tega razloga je bilo veliko obremenjenih križišč, ki so bila v osnovi zgrajena kot diamantna, pozneje posodobljena v križanje v delni obliki deteljice (parclo) ali v romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD).



Slika 10 – Shema ozkega diamantnega križanja
(http://www.oregonite.org/2007D6/paper_review/D9_44_Stanek_paper.pdf)

Kjer so dodatni pasovi za vozila z dvema ali več osebami (HOV lanes), tam so izvozne in uvozne rampe diamantnih priključkov lahko umeščene na notranji in ne zunanji strani. V mestnih območjih s tem prihranimo nekaj prostora, kakor tudi s potrebnim enim križiščem in ne dvema enosmernima, katero lahko v podeželskih in predmestnih predelih spremenimo v romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD). To zmanjšuje čakalni čas vozil na semaforjih na manjših cestah, ki pa so večje lokalne prometne ceste s težjo prometno obremenitvijo.

4.1.1 Prednosti

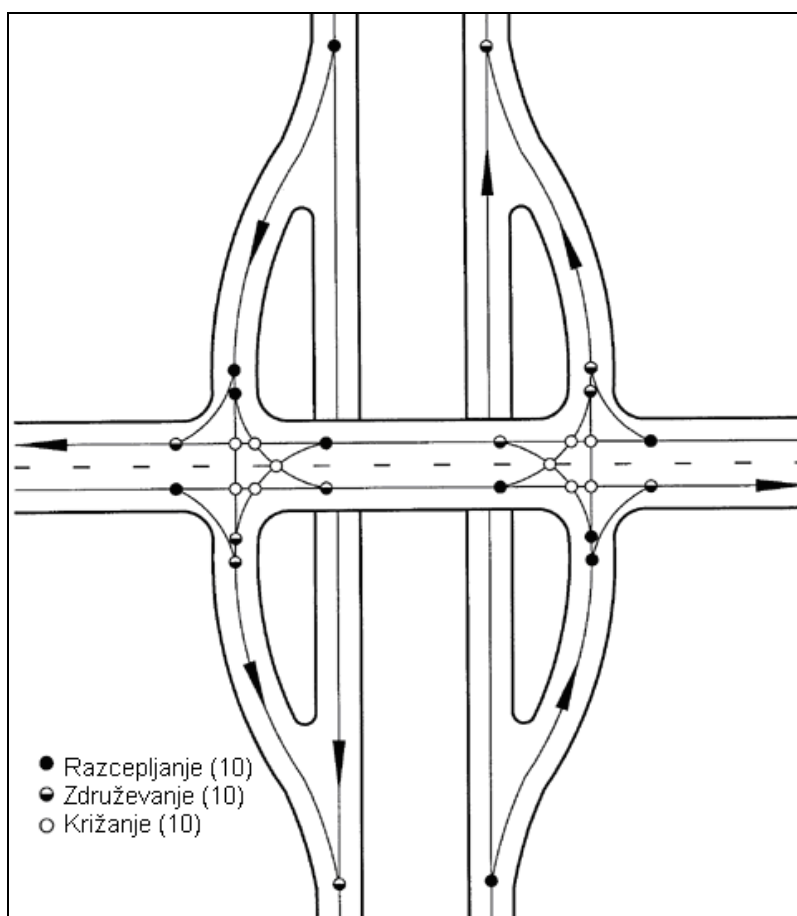
- Majhni stroški izgradnje, ker imamo samo en most.
- Zavzame malo prostora.
- Kasneje ga je lahko nadgraditi, recimo namestimo semaforje na križiščih na koncu ramp.

4.1.2 Slabosti

- Majhna kapaciteta zaradi velikega števila konfliktnih točk na križiščih na koncu ramp.

4.1.3 Konfliktne točke

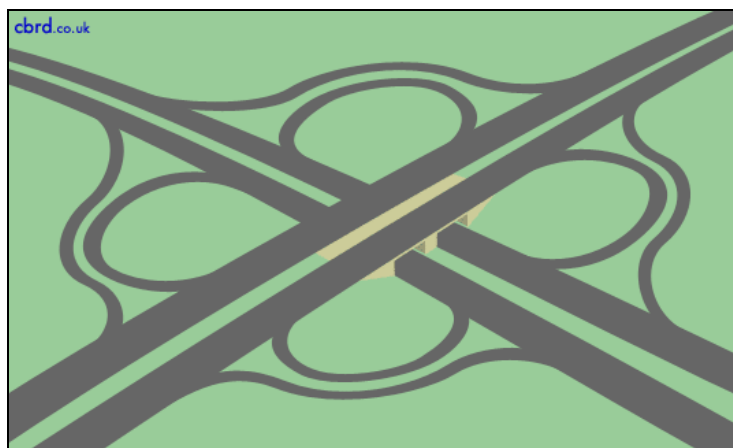
Diamantno križanje ima skupno 30 konfliktnih točk. 10 točk, kjer se prometni tokovi razcepijo, 10 točk, kjer se združijo in prav tako 10 točk, kjer se tokovi križajo.



Slika 11 – Konfliktne točke diamantnega križanja (<http://www.tfrc.gov/safety/pubs/04091/10.htm>)

4.2 Križanje v obliki deteljice (Cloverleaf interchange)

Križanje v obliki deteljice je dvonivojsko križanje, pri katerem so levi zavijalci vodeni po zankah. Pri levem zavijanju morajo vozila najprej peljati nad ali pod drugo cesto in nato zaviti desno na enosmerno tričetrtinsko (270°) zanko, ki se nato združi na križajočo se cesto.



Slika 12 – Shema križanja v obliki deteljice s servisnimi cestami (<http://www.cbrd.co.uk/reference/interchanges/cloverleaf.shtml>)

4.2.1 Pregled

Če pogledamo to križanje iz ptičje perspektive ali na kartah, vidimo, da je podobno štiriperesni deteljici.

Prvotno so jih zgradili na bolj obremenjenih križanjih, kjer obstoječe diamantno križanje ni bilo več sposobno prenesti takšnih prometnih obremenitev. Njihova glavna prednost je, da na njih poteka prosti prometni tok in ni potrebna uporaba semaforjev. Ne samo, da jih ta prednost naredi primerne za križanje med avtocestama, ampak jih lahko uporabimo tudi za zelo obremenjene glavne smeri, kjer lahko signali povzročijo zastoje.

Velika tovorna vozila, ki so presegala običajne omejitve hitrosti (40 km/h), so se preveč pogosto prevračala. Zaradi tega so postala križanja v obliki deteljice vsakdanja točka prometnih zastojev obremenjenih križiščih.



*Slika 13 – Križanje v obliki deteljice s servisnimi cestami
(http://en.wikipedia.org/wiki/Cloverleaf_interchange)*

4.2.2 Slabosti

Konfliktna točka je pri združevanju prometa na izhodu in vhodu, bolj znano kot prepletanje. Večina cestnih organov je pri novih oblikah križanj uvedla manj ukrivljene izhodne rampe, pri katerih ni prepletanja. To velja za diamantno križanje, križanje v delni obliki deteljice (parcelo) in za romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD), ko se priključujejo na glavne smeri.

Z dodajanjem servisne ceste zraven avtoceste ne eliminiramo prepletanja, ampak ga pomaknemo stran iz glavne smeri na avtocesti.

4.2.3 Zgodovina

Prvo takšno križanje je v ZDA v Marylandu patentiral gradbeni inženir Arthur Hale, in sicer 29. februarja 1916. Nekaj križanj je bilo zgrajenih v poznih 20-ih prejšnjega stoletja, vendar ni jasno, katero je bilo prvo.

V Evropi je bilo križanje patentirano v Švici, 15. oktobra 1928. Prva deteljica v Evropi je bila odprta 21. novembra 1936 v Schkeuditzer Kreuz zraven Leipziga v Nemčiji. Kamener Kreuz je bil prvi v kontinentalni Evropi, ki se je v celoti odprl leta 1937, na A1 in A2 poleg Dortmundu v Nemčiji.

4.3 Križanje v delni obliki deteljice (partial cloverleaf interchange-parclo)

Križanje v delni obliki deteljice je modifikacija križanja v obliki deteljice. Odstranjene so nevarne poti prepletanja in dodano je več prostora za pospeševanje in zaviranje na avtocesti. Obliko je razvilo Ministrstvo za promet v Ontariu. Prav tako je bila ta oblika občasno uporabljena v nekaterih evropskih državah, kot sta Nemčija in Nizozemska.

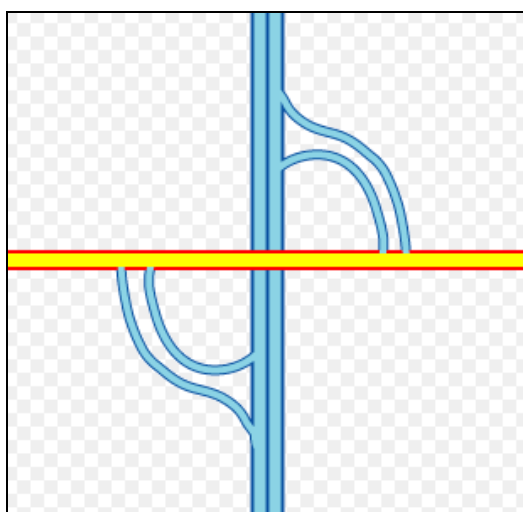
4.3.1 Poimenovanje

V Ontariu so poimenovali različne vrste tega križanja s črko in številko za njo. Ostale zakonodaje nimajo poimenovalnih dogovorov. Črka A označuje, da sta dve rampi v zgornjem levem in spodnjem desnem kvadrantu križanja, medtem ko črka B označuje nasprotno. Številka pomeni koliko kvadrantov križanja vsebuje rampe. Poznamo vrsto A2, B2 in A4.

4.3.2 Vrste

4.3.2.1 A2 in B2

Križanja v delni obliki deteljice A2 in B2 so navadno uporabljena na podeželskih avtocestah, kjer rampe lahko dodamo brez tega, da bi morali širiti nadvoz ali podvoz, da bi vsebovale zaviralne pasove (običajno potrebno pri A4, da varno vstopijo na zanke, ki vodijo do avtoceste).

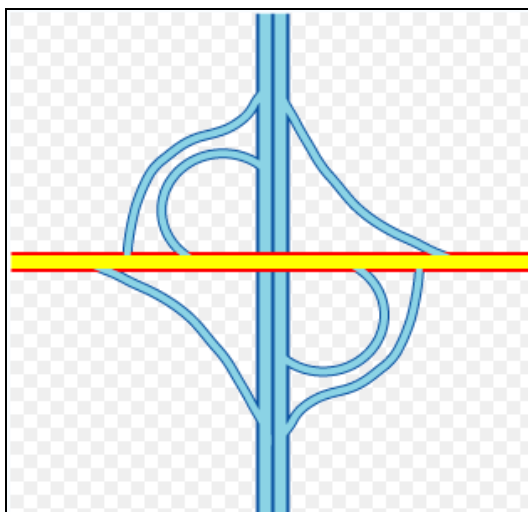


Slika 14 –Shema križanja v delni obliki deteljice B2 (<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Parclo-B2.png>)

Rampe pri A2 in B2 so po navadi daljše in dovoljujejo višje hitrosti kot pri A4. A2 je možno nadgraditi v A4, tako da dodamo usmerjevalne rampe, ki vodijo promet iz glavne smeri na avtocesto.

4.3.2.2 Vrsta A4

Ta vrsta vsebuje 6 ramp. Na vsaki strani avtoceste je izvozna (pogosto večpasovna) rampa, ki ji sledi zanka in usmerjevalna uvozna rampa. Je najbolj priljubljena oblika, ker se vsi manevri iz glavne smeri na uvozno rampo odvijajo z desnim zavijanjem, kar zagotavlja varnejši vstop na avtocesto. S tem eliminiramo levo zavijanje (kar povzroča kolone, ker moramo čakati nasprotna vozila). To je tudi logično, saj imajo avtoceste večjo kapaciteto kot glavne smeri in rampe za desne zavijalce učinkovito absorbirajo kapaciteto ter zmanjšujejo promet na glavni smeri. Promet, ki izvaža z avtoceste na glavno smer, prav tako preskrbuje dolga relativno ravna izvozna rampa, ki preprečuje večino prevrnitev povezanih s hitrostjo. Te izvozne rampe so pogosto večpasovne, ker omogočajo na koncu rampe zavijanje levo, desno ali naravnost v nekaterih primerih. Semaforji so navadno na koncu izvoznih ramp, da nadzorujejo promet, ki prihaja z avtoceste in se vključuje na glavno smer.



Slika 15 –Shema križanja v delni obliki deteljice A4 (<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Parclo-A4.png>)

4.3.2.3 Vrsta B4

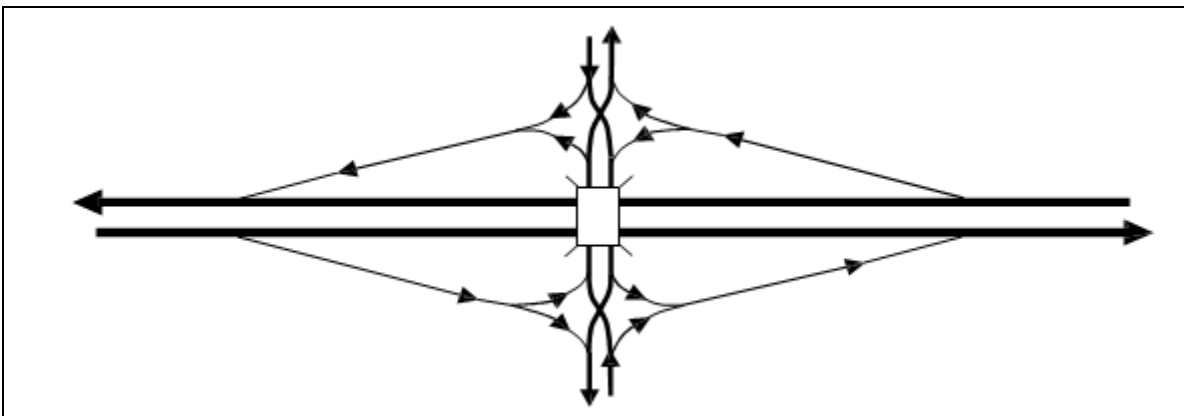
Oblika križanja B4 je zrcalna slika križanja A4 in je zelo redka. Omogoča povezavo med avtocesto in glavno smerjo z rampo brez semaforjev, kar je nezaželeno zaradi nižje kapacitete

in glavna smer je preplavljena s prometom iz avtoceste. Uvažanje na avtocesto pogosto zahteva pas za leve zavijalce.

5 NOVE OBLIKE KRIŽANJ

5.1 Razcepno diamantno križanje (Diverging diamond interchange - DDI)

Razcepno diamantno križanje je redka oblika diamantnega križanja. Obe smeri se na začetku mostu čez avtocesto prekrížata. Ta posebnost zahteva, da se kratek čas (čez nadvoz ali podvoz) vozimo po nasprotni strani ceste.



Slika 16 – Shema ozkega razcepnega diamantnega križanja
(http://www.oregonite.org/2007D6/paper_review/D9_44_Stanek_paper.pdf)

Tako kot križišča, kjer je konfliktna točka levih in naravnost vozečih zavijalcev pomaknjena par sto metrov pred križišče, tudi razcepni diamantni priključki dovoljujejo dvofazno delovanje vseh signaliziranih križišč znotraj križanja. To je pomemben napredek v varnosti, ker noben levi zavijalec ne seka poti nasproti vozečemu in vsa gibanja so ločena in večinoma nadzorovana s semaforji. Takšna oblika lahko izboljša učinkovitost izmenjave, ker lahko izgubljen čas za različne faze v ciklu porazdelimo v zelene čase. Imamo samo dva izpraznitvena časa (čas, da se luč na semaforjih spremeni iz zelene v rumeno in naprej v rdečo) namesto šestih ali več pri drugih oblikah križanj. Nekatera križišča pri tej obliki križanja so lahko nesignalizirana. Za leve zavijalce na izvozni avtocestni rampi se lahko naredi dodatni pas, ki na nasprotni strani postane izključno izhodni pas na uvozno rampo.

Prometna signalizacija ni potrebna za leve zavijalce, ki prihajajo z avtoceste, in kadar obstajajo kratke kolone na glavni smeri.

5.1.1 Prednosti in slabosti

Največja potencialna prednost je možnost kombiniranja faz, ki ga pri drugih križanjih ne moremo narediti. Faze na rampah lahko kombiniramo z naravnost vozečim vozili in leve zavijalce lahko kombiniramo z naravnost vozečimi skozi celo fazo brez večjih posledic za ostale faze. Koordinacijo med signali lahko naredimo med fazo na rampah in fazo naravnost vozečih brez večjih težav zaradi unikatne geometrije.

Razcepno diamantno križanje ima manj konfliktnih točk od navadnega diamantnega priključka, ker se levi zavijalci ne križajo z nasproti vozečimi. Čeprav zmedenost voznikov lahko povzroči težave, prinaša zmanjšanje konfliktnih točk manj tveganja za voznike.

Naslednja dobra lastnost, ki jo ima razcepno diamantno križanje, je zmožnost združevanja voznih pasov (združevanje pasa za leve zavijalce in naravnost vozeče) v glavni smeri brez spreminjanja faz.

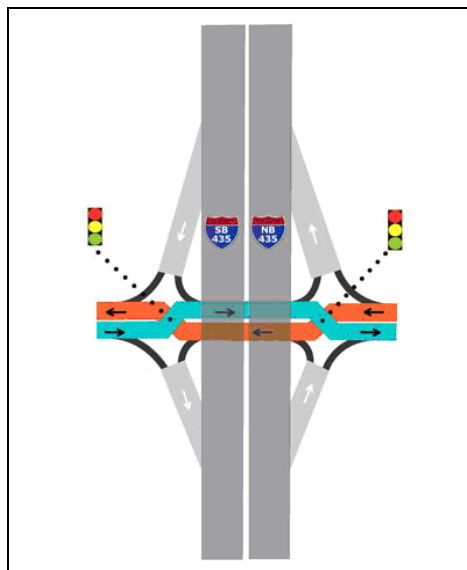
Teoretično bi takšen priključek bil zelo zmogljiv, ko bi bilo veliko levih ali desnih zavijalcev na ali iz ramp. Drugače povedano, če bi bilo veliko atrakcij proti zahodu in zelo malo proti vzhodu, bi bil semafor na zahodnem križišču bolj obremenjen kot na vzhodnem.

Ko se število vozil na rampah približa številu naravnost vozečih, lahko postane ta oblika križanja inferiorna do drugih diamantnih priključkov. To je zato, ker koordinacija med dvema semaforjema postane bolj težavna, ko se ne prilagaja z geometrijo razcepnega diamantnega priključka. Takšen priključek ne bi mogel koordinirati vseh gibanj učinkovito, če bi bile vse smeri zelo obremenjene.

Bistveno vprašanje je cena ramp za desno zavijanje in to iz dveh razlogov. Prvič, vmesni pas med cestama, kjer promet poteka po »napačni« strani mora biti širok, da ne pride do zmedenosti voznikov. Posledično mora biti širši tudi nadvoz.

Naslednja skrb je zmedenost voznikov, ki jo lahko zmanjšamo z dobrim geometrijskim načrtovanjem, primernim označevanjem in cestnimi označbami ter signalizacijo.

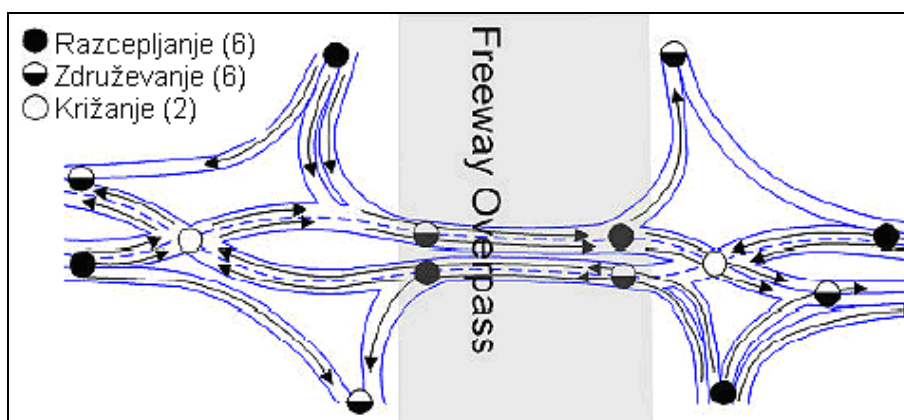
Zadnja težava je povezana z dostopom do zasebnih cest za poslovne namene in lokalne prebivalce v bližini priključkov. Dostop običajno ni dovoljen med rampami in takoj ko gremo mimo priključka cesta zopet dobi normalne karakteristike. Z nekaj malimi spremembami v lokaciji dostopov lahko rešimo večino problemov.



Slika 17 – Shema ozkega razcepnega diamantnega križanja (<http://www.435ddi.com/>)

5.1.2 Konfliktne točke

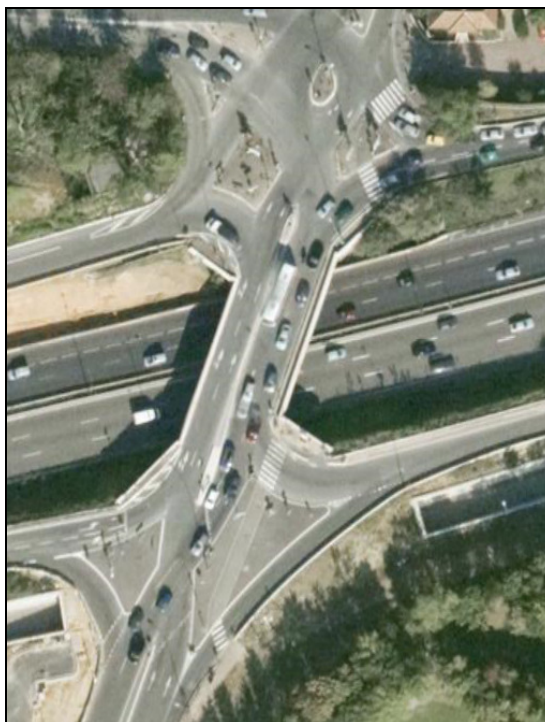
Ta oblika križanja ima manj konfliktnih točk kot diamantno križanje in manj kot SPD. Ima 6 točk, kjer se tokovi razcepijo in 6, kjer se združijo ter le 2 točki, kjer se prometni tokovi križajo.



Slika 18 – Konfliktne točke DDI križanja (<http://www.ohm-advisors.com/ddi/index.cfm>)

5.1.3 Zgodovina

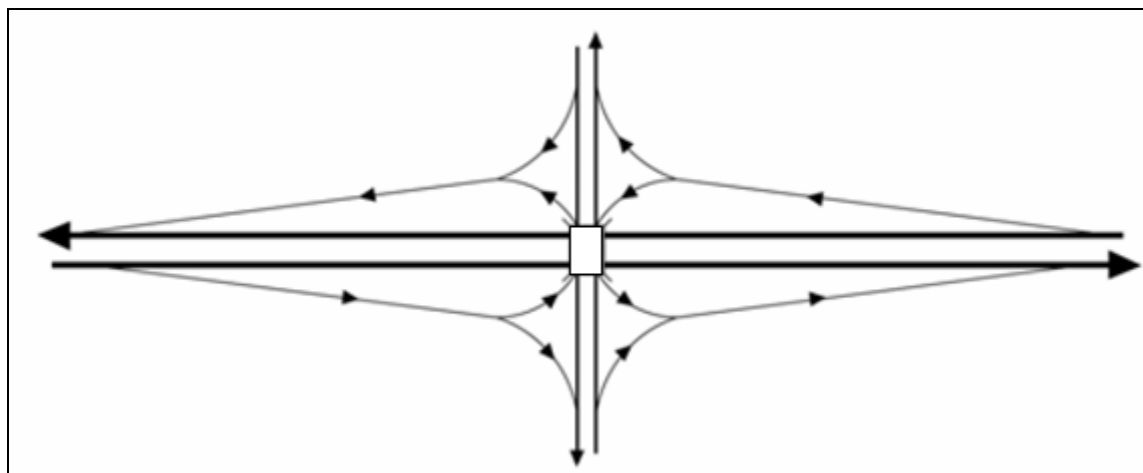
Edini razcepni diamantni priključki so v Franciji, in sicer v Versaillesu, Le Perreux-sur-Marneju in Seclinu. Obliko križanja je prvič predstavil Gilbert Chlewicki, gradbeni inženir iz Baltimorja, v Ameriki na 2nd Urban Street Symposium, ki se je odvijal v Anaheimu v Kaliforniji leta 2003.



Slika 19 – Razcepno diamantno križanje - Versailles, Francija (Slika dobljena s programom Google Earth)

5.2 Romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (Single point diamond - SPD)

Kot vidimo na Sliki 20 ima ta vrsta križanja le eno križišče na koncu ramp, ki vodi leve zavijalce na in iz ramp, kot tudi naravnost vozeče čez križišče. V primerjavi z ozkim diamantnim križanjem pri tej obliki sredinsko križišče zmanjšuje zamude s poenostavljenjem faz in izboljšuje zmožnost koordinacije. Desno zavijanje na in iz ramp je lahko prosto, ima stop znak, znak prednostna cesta ali semafor, odvisno od prometnih obremenitev in števila vozniških pasov.



Slika 20 – Romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce - SPD
(http://www.oregonite.org/2007D6/paper_review/D9_44_Stanek_paper.pdf)

Ta vrsta križanja je po obliki podobna diamantnemu križanju. Njena prednost je v tem, da lahko nasprotni levi zavijalci zavijajo istočasno. To je doseženo tako, da je namesto dveh križišč tukaj le eno, ki poteka nad ali pod avtocesto. Samo ime »Single point« se nanaša na to, da ves naravnost vozeči promet na glavni smeri, kot tudi leve zavijalce, ki prihajajo ali gredo iz križanja, lahko kontroliramo z enim samim semaforiziranim križiščem. Zaradi učinkovite izrabe prostora kot tudi prometnih obremenitev, ki jih zmorejo, se ta vrsta križanja zelo uporablja pri rekonstrukciji obstoječih avtocest in tudi pri gradnji novih.

5.2.1 Prednosti

Najpogosteje omenjene prednosti tega križanja (SPD) so izboljšave učinkovitosti in varnosti, kakor tudi zmanjšane potrebe izvoza desnih zavijalcev v primerjavi z ostalimi križanji. Ker lahko prehod prometa skozi to križišče nadzorujemo z enim samim signaliziranim križiščem, lahko vozila prevozijo križišče veliko hitreje, kakor bi ga v diamantnem križanju (ta potrebuje dve semaforizirani križišči).

SPD prav tako dovoljuje širše zavijanje, kar olajša gibanje večjim vozilom, kot so tovornjaki in kombiji. Poleg tega zavzema precej manj prostora kakor križanje v obliki deteljice (Cloverleaf) in s tem dovoljuje postavljanje gradbišča na omejenem območju. SPD križanja naj bi bila varnejša od ostalih prostorsko varčnejših križanj, kot je na primer diamantno križanje. Čeprav ni večjih razlik v skupnem številu nesreč med SPD in diamantnim križanjem, je poškodb in smrtnih primerov bistveno manj pri SPD.

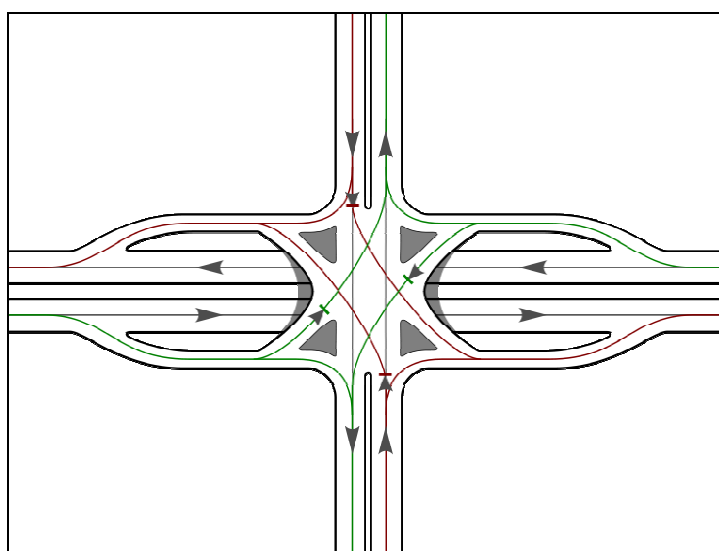
5.2.2 Slabosti

Največja slabost križanja v primerjavi z ostalimi je povečana cena zaradi potrebe po daljših in širših mostovih. Pri SPD križanju, kjer avtocesta poteka pod križiščem (Slike 21), je potreben širši most zaradi stisnjenih izvoznih in uvoznih ramp. Ta slabost je manj izrazita v primerih, kjer na glavni smeri že v osnovi potrebujemo zelo širok most (večpasovna cesta v glavni smeri). Pri SPD križanju, kjer avtocesta poteka nad križiščem (Slike 22), je potreben daljši most, ki premosti območje SPD-ja.

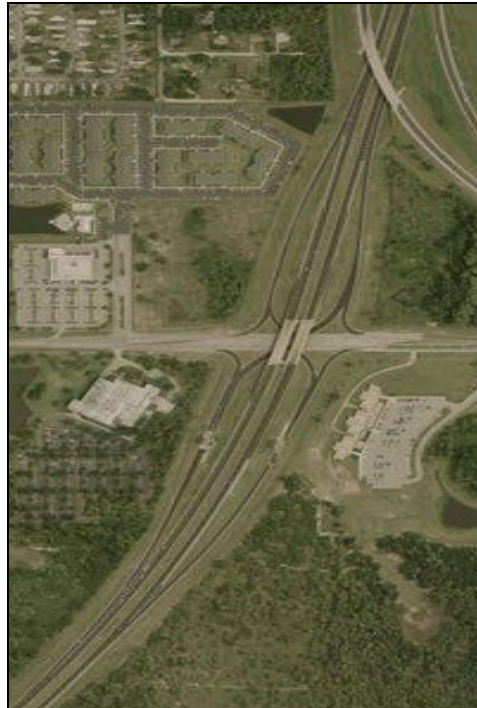
Ker morajo vozila prečkati veliko površino v šestih različnih smereh, ima SPD na sredini križišča zelo veliko območje nekontroliranih površin. To je lahko nevarno predvsem, če je voznikom ta oblika križanja tuja. Vozniki, ki zavijajo levo, bi lahko bili zmedeni, ker bi nasprotni zavijalci peljali mimo njih po desni strani.

Prav tako bi zaradi velikega območja križanja potrebovali daljšo rumeno in rdečo fazo za izpraznitev križišča. Možno, da tudi takrat kolesarji, ki bi prečkali cesto pri zeleni ali rumeni luči, ne bi mogli priti na drugo stran ceste, preden bi nasproti vozeča vozila imela zeleno luč.

Težave se pojavljajo tudi pozimi pri pluženju. Veliko območje na križišču bi morali zapreti za promet, da bi lahko temeljito in učinkovito splužili cesto in da ne bi na cesti ostajali kupi snega. Če je široko območje nekontroliranih površin na mostu, snega ne moremo splužiti kar prek mostu, ker je to lahko nevarno za promet izpod mosta.

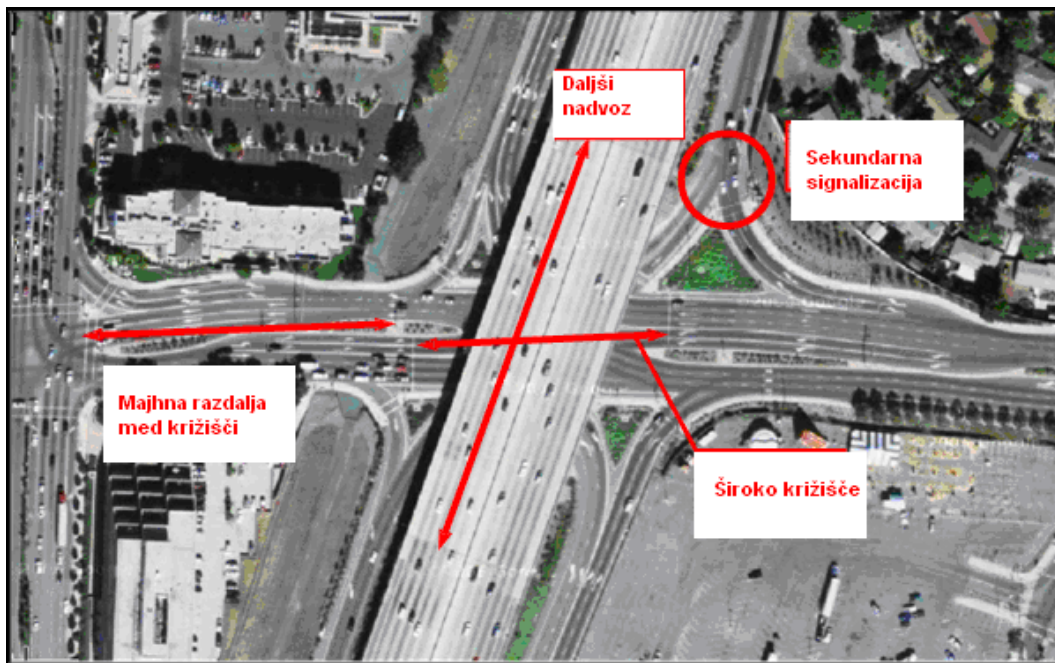


Slika 21 – SPD, kjer avtocesta poteka pod mostom
(<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Spui-schematic.svg>)



Slika 22 – SPD, kjer avtocesta poteka nad mostom
(http://en.wikipedia.org/wiki/File:Florida_SR_4080_at_Valencia_College_Lane.jpg)

Slike 23 prikazuje nekatere značilnosti tega križanja.

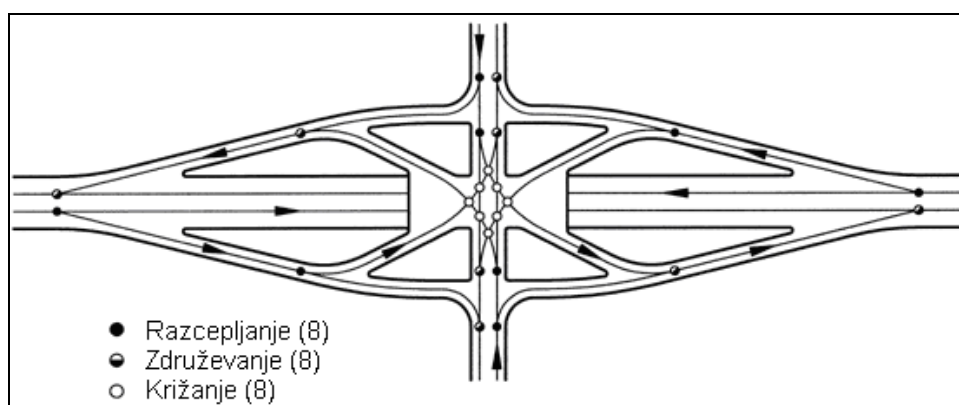


Slika 23 – Značilnosti SPD križanja
(http://www.oregonite.org/2007D6/paper_review/D9_44_Stanek_paper.pdf)

- Majhna razdalja med križišči – proti zahodu je majhna razdalja med križiščema.
- Daljši nadvoz – nadvoz za avtocesto je veliko daljši in posledično dražji kot podoben most pri ozkem diamantnem križanju. V primeru, ko lokalna cesta prečka avtocesto, mora biti most širši kot običajno, zaradi zavijanja levih zavijalcev na in iz ramp.
- Široko križišče – široko križišče zahteva daljše izpraznitvene čase (rumena in povsod rdeča) kot običajna križišča. Zato potrebujemo dodatne označbe na vozišču za vodenje voznikov čez križišče.
- Sekundarna signalizacija – v tem primeru dodatna signalizacija na združitvi levih in desnih zavijalcev zaradi velikih prometnih obremenitev.

5.2.3 Konfliktne točke

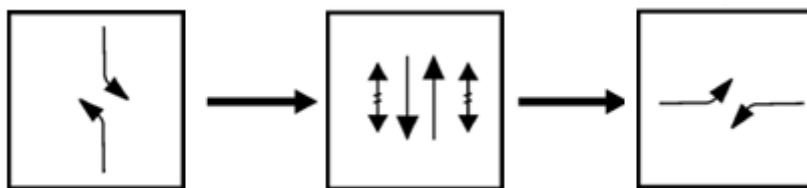
Iz spodnje slike vidimo, da ima SPD manj konfliktnih točk kot diamantno križanje. Tako ima 8 točk, kjer se prometni tokovi razcepijo, 8 točk, kjer se združijo in 8 točk, kjer se tokovi križajo.



Slika 24 – Konfliktne točke SPD križanja
(<http://www.tfhr.gov/safety/pubs/04091/10.htm>)

5.2.4 Krmilni program

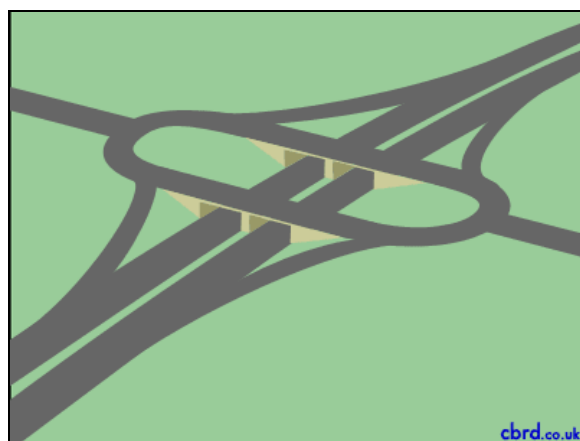
SPD ima lahko trifazni ali štirifazni krmilni program. Na spodnji sliki je prikazan trifazni program. V prvi fazi gredo levi zavijalci iz glavne smeri na uvozno rampo, v drugi fazi imajo zeleno naravnost vozeči na glavni smeri in v tretji gredo levi zavijalci iz izvoznih ramp na glavno smer. Kot vidimo iz krmilnega programa pešci ne morejo prečkati glavne smeri brez, da bi dodali še četrto fazo. Zato je ob velikih obremenitvah smiselno pešce voditi izvennivojsko.



Slika 25 – Krmilni program SPD križanja
(<http://www.tfhr.gov/safety/pubs/04091/10.htm>)

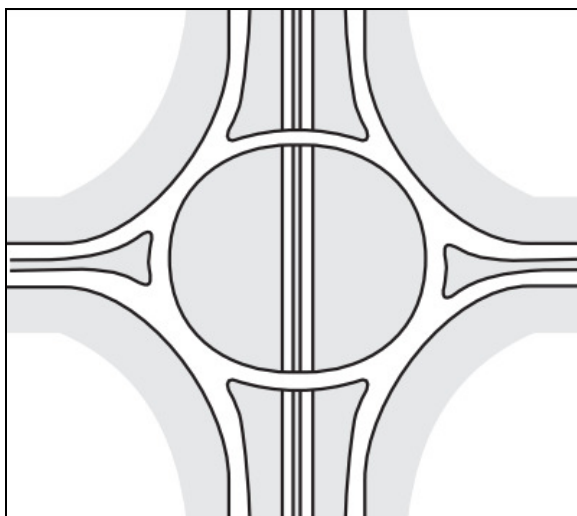
5.3 Romb s krožiščem (Roundabout interchange)

Če hočemo povečati kapaciteto diamantnega križanja, obstaja več rešitev. V Ameriki in Nemčiji, kjer imajo veliko število diamantov, uporabljajo semaforje. V Veliki Britaniji pa imajo na diamantu veliko krožno križišče. Pri njih je to najbolj običajna oblika križanja – na avtocestni mreži jih imajo več kot 570.



Slika 26 – Romb s krožiščem
(<http://www.cbrd.co.uk/reference/interchanges/roundabout.shtml>)

Veliko krožno križišče je postavljeno nad ali pod avtocesto. Rampe se priključujejo naravnost nanj, tako kot se kraki pri križišču. To je prikazano na Sliki 26. Ta vrsta križanja potrebuje dva mostova. Če je krožišče nad avtocesto (Slika 28), potem sta mostova lahko ukrivljena. Če pa avtocesta poteka nad krožiščem, potem lahko potrebujemo tudi do štiri mostove. Število mostov je odvisno od optimalne razdalje med konstrukcijo skupaj z včrtanim premerom krožiščnega otoka in od tega, ali je en most uporabljen za obe smeri ali je en most uporabljen za eno smer. Projektant mora preučiti, ali so pričakovane hitrosti vozil na večjih krožiščih sprejemljive.



Slika 27 – Shema romba s krožiščem
(<http://www.tfrc.gov/safety/00-0678.pdf>)



Slika 28 – Romb s krožiščem Tomačevo
(<http://www.geopedia.si/>)

5.3.1 Prednosti

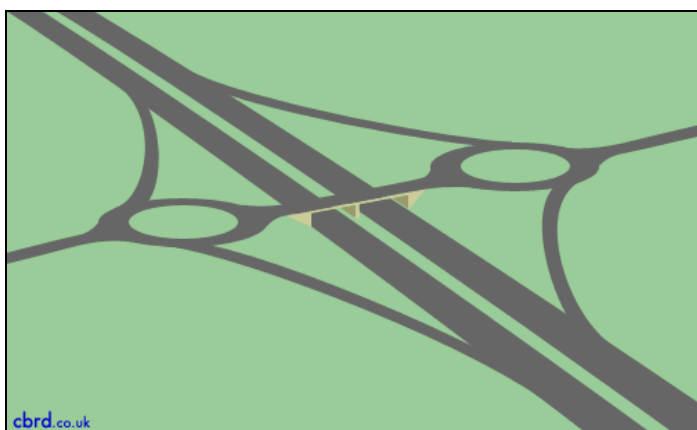
- Dokaj poceni izgradnja; edini večji strošek je izgradnja drugega mostu.
- Z lahkoto servisira velike prometne obremenitve.
- Precej poceni ga lahko posodobimo s tem, da razširimo krožišče in uvoze ali namestimo semaforje.
- Zelo preprost nadzor.

5.3.2 Slabosti

- Njihova velika kapaciteta pogosto pomeni, da morajo prevzemati velike prometne obremenitve

5.4 Romb z dvema krožnima križiščema (Dumbbell interchange)

Križanje, ki ima na koncu ramp krožno križišče, je mešanica diamantnega križanja in romba s krožiščem. Zelo je povezan z obema, saj je eden neposredni potomec drugega. Združuje prednost krožnega križanja, to je večja kapaciteta, z enim samim nadvozom, kar je značilno za diamantno križanje.



Slika 29 – Shema romba z dvema krožnima križiščema
(<http://www.cbrd.co.uk/reference/interchanges/dumbbell.shtml>)

Avtocesta lahko poteka pod nadvozom (Slika 30) ali pa gre nad drugo cesto. V primeru, ko gre nad drugo cesto, je možno, da moramo imeti dva nadvoza.

V nekaterih primerih je bilo takšno križanje uporabljeno zato, da ni bilo treba širiti nadvozov. Za razliko od križanj, ki imajo signalizirana križišča na koncu ramp, pri katerih so lahko potrebni dodatni pasovi za leve zavijalce čez most in dodaten prostor za kolone, je pri tej vrsti križanja malo kolon med križišči, ker so ta gibanja skoraj neovirana. Zaradi tega je lahko čez most minimalno število voznih pasov.

Krožišča imajo lahko dve vrsti oblik. Prva je običajna oblika z okroglim centralnim otokom. Uporabimo jo takrat, ko je zaželeno polkrožno zavijanje (U-turn) na vsakem krožišču. Primer takšnega križanja iz Velike Britanije in Francije vidimo na Sliki 30 in Sliki 31.



Slika 30 – Romb z dvema krožnima križiščema in z enim nadvozom ter okroglim centralnim otokom (<http://www.tfrc.gov/safety/00-0678.pdf>)



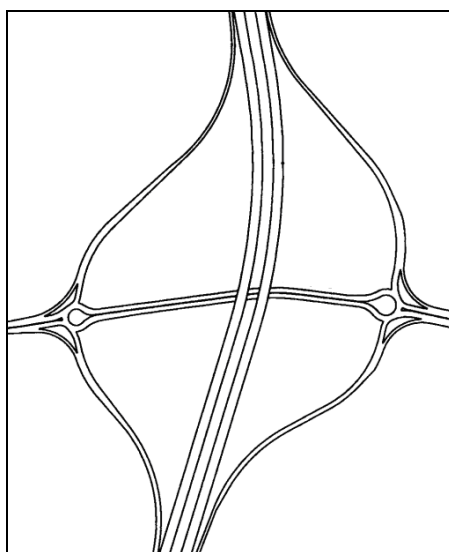
Slika 31 – Romb z dvema krožnima križiščema in z enim nadvozom ter okroglima centralnima otokoma – Francija (<http://www.tfrc.gov/safety/00-0678.pdf>)

Pri drugi obliki so otoki v obliki dežne kaplje, ki preprečujejo nekatera zavijanja na krožišču. Takšno obliko je najboljšje uporabiti, ko se rampe sekajo na krožišču. Otok v obliki dežne kaplje na eni strani preprečuje krožni prometni tok, tako da se voznik, ki hoče polkrožno zaviti (U-turn), mora peljati okoli obeh otokov. Takšna oblika ima prednost tudi v tem, da

preprečuje napačno zavijanje na izvozno rampo. Po drugi strani pa se voznikom ni treba ustaviti na vhodu v krožišče, ko se vozijo po cesti med njima. Če je krožišče slabo projektirano, lahko vozniki vozijo hitreje, kot bi morali in ne morejo varno zvoziti drugega krožišča. Projektanti morajo dobro preračunati, katera je primerna hitrost. Kratka razdalja med krožiščema prispeva k varnosti. Na Sliki 32 vidimo takšno križanje.



Slika 32 – Romb z dvema krožnima križiščema in z enim nadvozom ter otokom v obliki dežne kaplje
(<http://www.tfrc.gov/safety/00-0678.pdf>)



Slika 33 – Shema romba z dvema krožnima križiščema in z enim nadvozom ter otokom v obliki dežne kaplje

5.4.1 Prednosti

- Cenejši kot romb s krožiščem, ker ima samo en nadvoz in zavzame manj prostora.
- Enostavna nadgradnja iz diamantnega križanja.

5.4.2 Slabosti

- Manjša kapaciteta kot pri rombu s krožiščem, zaradi dveh krožišč, ki delujejo manj učinkovito kot eno.
- Pogosto jih zgradijo tam, kjer bi lahko bilo zgrajeno večje krožno križanje.

6 PREVERITEV PREDLAGANIH REŠITEV NA REALNIH PRIMERIH

Za analizo križanj je uporabljen mikrosimulacijski program Synchro 6.0. Program je namenjen modeliranju in optimiziranju krmilnih programov.

Z omenjenim programom so pridobljene bistvene lastnosti križišč, in sicer stopnja nasičenosti križišč ($X=V/C$), skupne zamude (s/voz), stopnja ustavljanja, število ustavljanj, poraba goriva (l/h), ...

Vrste in zaporedje faz ter vmesni časi so podani ročno, trajanje posameznih faz pa izračuna program (jih optimizira) ali pa so podane prav tako ročno.

S pomočjo podatkov o prometnih obremenitvah so nato pridobljene stopnje nasičenosti križišč in nivoji uslug. Program pozna dve vrsti nivojev uslug, in sicer nivo uslug križišča - LOS, ki temelji na metodi HCM (Highway Capacity Manual) in nivo uslug, ki temelji na metodi ICU (Intersection capacity calculations) – ICU LOS. Slednja je izražena v odstotkih in pove, kako križišče funkcionira in koliko dodatne kapacitete je še za prevzemanje prometnih obremenitev (in nesreč), medtem ko je nivo uslug križišča (LOS) določen iz povprečnih zamud križišča.

Preglednica 1 – Nivo uslug določen iz zamud za semaforizirana križišča (2000 HCM)

Nivo uslug	Zamude (s/voz)
A	≤ 10
B	> 10 in ≤ 20
C	> 20 in ≤ 35
D	> 35 in ≤ 55
E	> 55 in ≤ 80
F	> 80

Preglednica 2 – Kriteriji za nivo uslug po metodi ICU

ICU	Nivo uslug
$\leq 55 \%$	A
$> 55 - 64 \%$	B
$> 64 - 73 \%$	C
$> 73 - 82 \%$	D
$> 82 - 91 \%$	E
$> 91 - 100 \%$	F
$> 100 - 109 \%$	G
$> 109 \%$	H

Zaradi lažje preglednosti so izračuni in ostali pomembnejši parametri (geometrija križanj, prometne obremenitve, zamude, stopnja ustavljanja, dolžina kolon, poraba goriva in nivo uslug) prikazani v obliki preglednic in grafikonov za vsako križanje posebej.

Za vsak primer bo opisano obstoječe stanje in težave, ki se pojavljajo. Prav tako bodo prikazane prometne obremenitve in geometrija križanja. Prikazane bodo tudi nove oblike vodenja prometnih tokov in njihova geometrija. Se pravi, kako se obnesejo pri istih prometnih obremenitvah. Za lažjo predstavbo bodo za vsako križanje posebej prikazani posamezni

parametri (zamude, stopnja nasičenja ...) v obliki grafikonov in tabel za lažjo in bolj nazorno primerjavo.

6.1 Križanje Dunajske in vzhodne obvozne ceste

6.1.1 Obstoječe stanje

Križanje je sestavljeno iz dveh uvoznih in dveh izvoznih ramp. Na glavni smeri sta dve semaforizirani križišči, med katerima je majhna razdalja. Glavna smer je na križanju tripasovna, in sicer v vsako smer vodita dva pasova za naravnost in eden za zavijanje levo na izvozno rampo. Vsa desna zavijanja so prosta, razen na izvozni rampi iz smeri Domžal.



Slika 34 – Situacija križanja Dunajske in Severne obvozne ceste

Izvozna rampa iz smeri Domžal se pred križiščem razširi na štiri pasove, dva sta za zvižanje levo, eden za naravnost in eden za desno zavijanje. Druga izvozna rampa se prav tako pred križiščem razširi v tri pasove, eden je za levo zavijanje, drugi ima skupen pas za levo in naravnost in tretji ima tudi skupen pas za naravnost in desno.

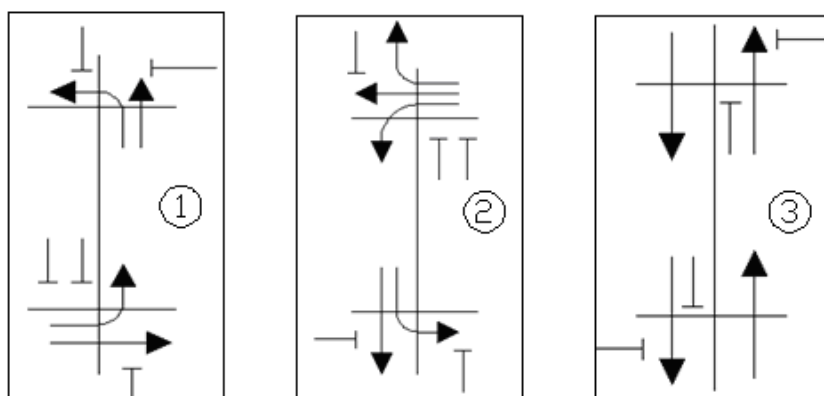
Obravnavana lokacija v času urnih konic pokaže prenasičenost križanja v najbolj obremenjenih smereh. V času jutranje konice gre največ prometa v smeri proti centru,

medtem ko je popoldne obratno. Zelo obremenjena je smer iz izvozne rampe na glavno smer proti centru mesta.



Slika 35 – Velike obremenitve iz izvozne rampe iz smeri Domžal

Na križanju je trifazni krmilni sistem, in sicer takšen kot vidimo na spodnji sliki.



Slika 36 – Faze križanja

Levi zavijalci iz ramp imajo fazo krmiljeno tako, da ne pride do prekratke zaježitvene dolžine, in sicer imajo istočasno prižgano zeleno luč na svojem in naslednjem križišču. Se pravi, da se samo enkrat ustavijo.

Težava, ki se pojavlja, je v tem, da zaježitvena dolžina naravnost vozečih sega čez križišče in zato levi zavijalci iz izvoznih ramp ne morejo zavijati levo in iti naravnost, ker jih kolona na glavni smeri ovira. Prav tako so ovirana vozila, ki zavijajo levo iz glavne smeri na uvozno rampo. To se dogaja na obeh izvoznih rampah. Zato nastanejo na izvoznih rampah kolone.



Slika 37 – Naravnost vozeči na glavni smeri ovirajo leve in naravnost vozeče iz izvozne rampe iz smeri Domžal

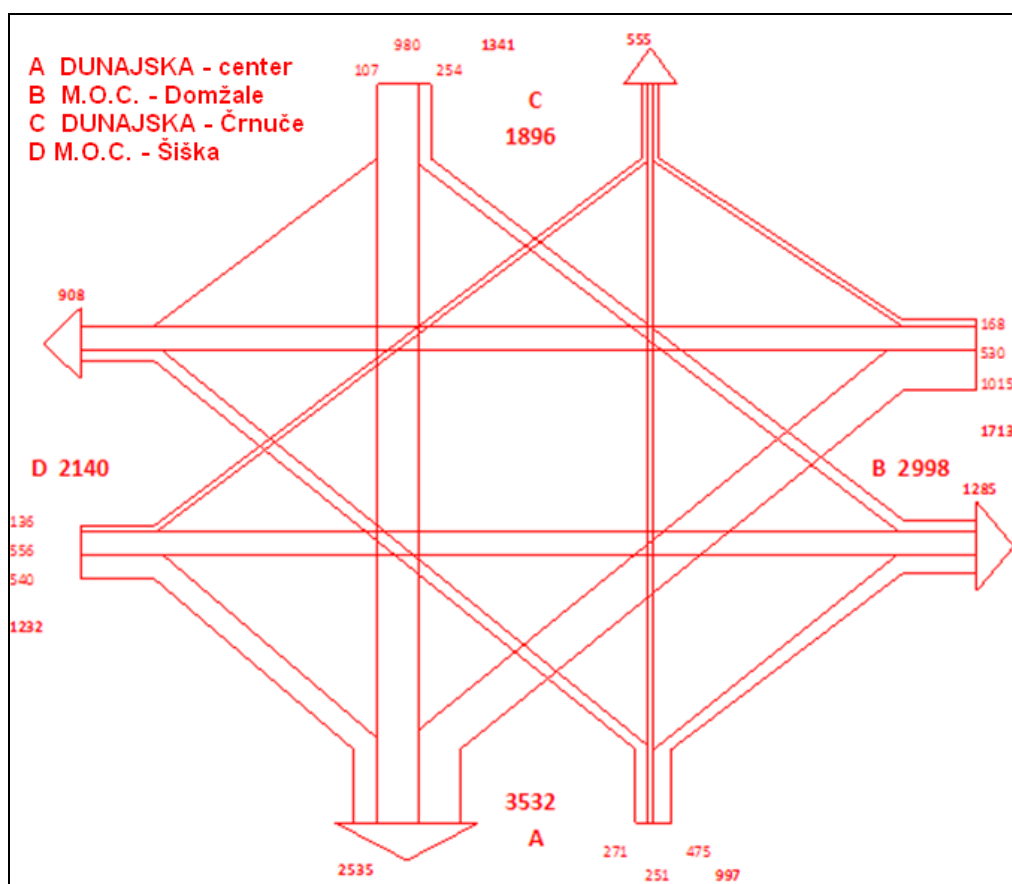
Lahko bi zamenjali vrstni red faz, vendar imajo diamantna križanja večfazne komplicirane krmilne programe, ki imajo veliko vmesnih (izpraznitvenih) časov. Manj kot je faz, boljše je, ker lahko te vmesne čase porazdelimo v zelene čase. Zato je dimenzioniranje novih oblik vodenja prometnih tokov smiselna, ker imajo preprostejše krmilne programe in so učinkovitejša. Nekatere izmed rešitev sta konstruiranje romba z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD) in razcepnega diamantnega križanja (DDI). V nadaljevanju bosta prikazani ti dve varianti.



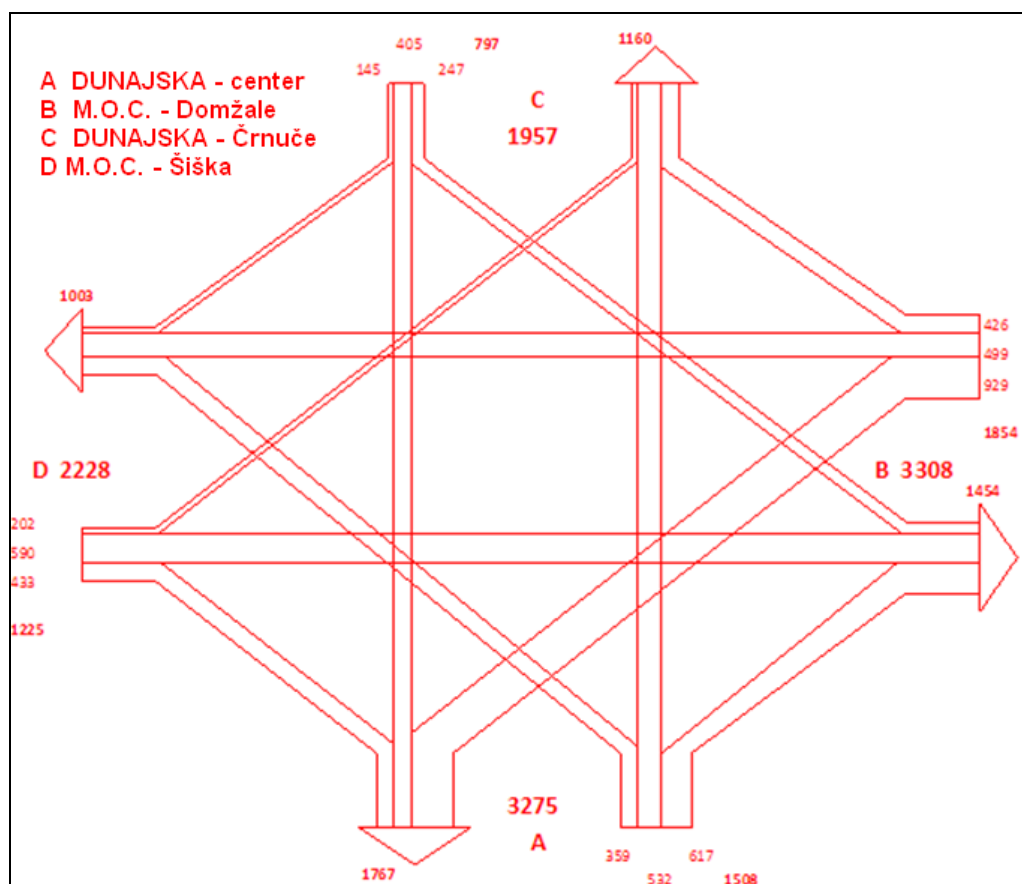
Slika 38 – Naravnost vozeči na glavni smeri ovirajo leve in naravnost vozeče iz izvozne rampe iz smeri Šiške

6.1.1.1 Prometne obremenitve

Na diagramih prometnih obremenitev vidimo, katere smeri so bolj in katere manj obremenjene. Večja kot je debelina puščice, večja je obremenitev. Podatki o štetju so iz leta 2003.



Slika 39 – Diagram prometnih obremenitev križanja Dunajska – vzhodna obvozna cesta (eov/h) v jutranji konici



Slika 40 – Diagram prometnih obremenitev križanja Dunajska – vzhodna obvozna cesta (eov/h) v popoldanski konici

6.1.2 Romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD)

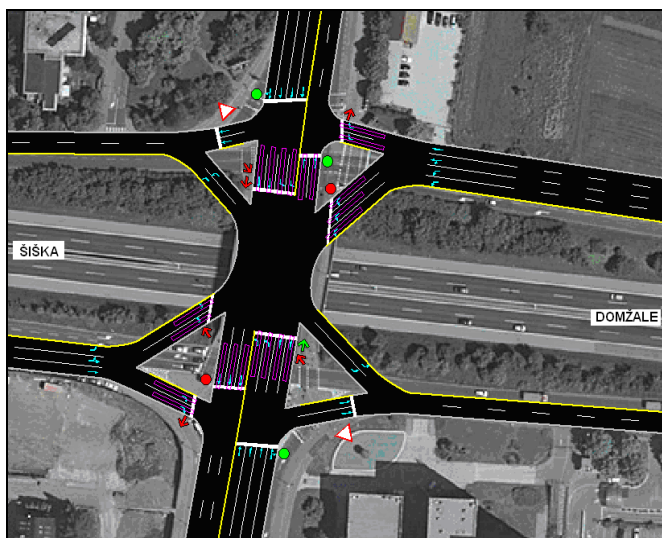
Za primerjavo z obstoječim stanjem je narejena simulacija nove oblike vodenja tokov. Prometne obremenitve so prikazane, merodajna je konična ura, ko so obremenitve največje – popoldanska konica.

6.1.2.1 Geometrija križanja

Pri tej obliki križanja so levi zavijalci na in iz ramp vodeni drugače kot običajno. Zavijanje poteka tako, da se med seboj ne ovirajo oziroma ni konflikta med njimi. Glavna smer je štiripasovna, in sicer sta dva pasova za naravnost in dva za levo na uvozne rampe. Vsi uvozi in izvozi za leve zavijalce so dvopasovni razen uvoza iz smeri Domžal, kjer so trije pasovi za leve zavijalce. To pa zato, ker je ta smer najbolj obremenjena. Tudi vsi uvozi za desne zavijalce so dvopasovni. Desno zavijanje iz glavne smeri na uvozne rampe je prosto. Izvozna

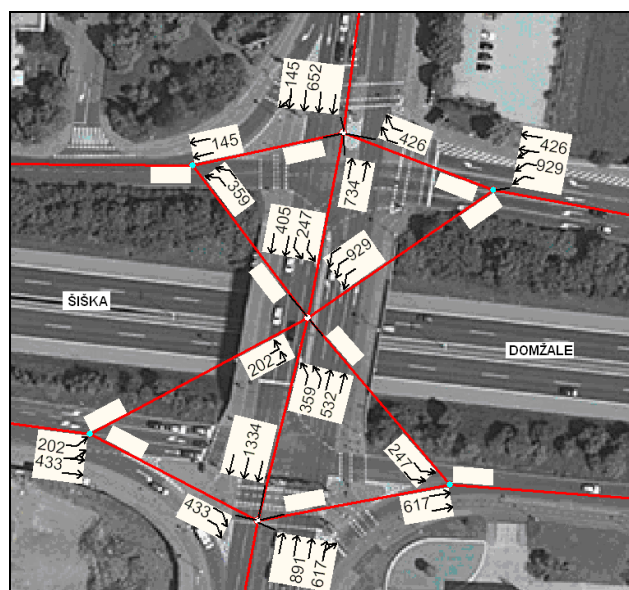
rampa iz smeri Šiške je tripasovna, en pas je za levo, eden za levo in desno skupaj ter eden za desno. Tista iz smeri Domžal pa je štiripasovna, dva pasova sta za levo in dva za desno.

Križišče je krmiljeno s trifaznim krmilnim programom in z enim samim semaforjem, ki se nahaja na sredini. Toda pri simulaciji ga krmilimo s tremi semaforji, zaradi delovanja programa.



Slika 41 – Situacija romba z zunanji pasovi za leve zavijalce (SPD)

6.1.2.2 Prometne obremenitve

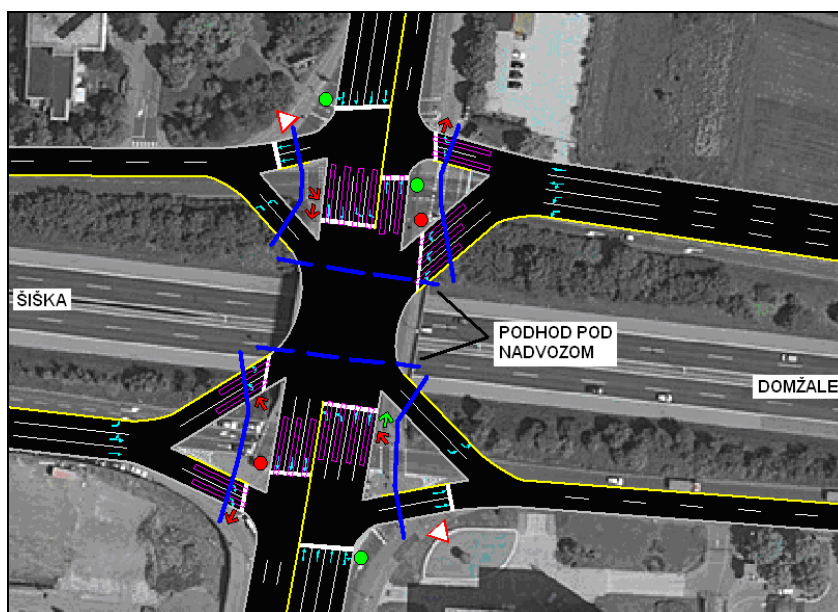


Slika 42 – Prometne obremenitve romba z zunanji pasovi za leve zavijalce (SPD)

Obremenitve so enake kot pri obstoječem stanju le da so drugače razporejene. Na zgornji sliki vidimo tudi smeri in število voznih pasov.

6.1.2.3 Vodenje pešcev

Pešce vodimo tako, da rampe prečkajo nivojsko, medtem ko glavno smer prečkajo izvennivojsko.



Slika 43 – Vodenje pešcev na rombu z zunanji pasovi za leve zavijalce (SPD)

Preko izvozne rampe iz smeri Šiške jih vodimo tako, kot vidimo na zgornji sliki. Kadar imajo vozila, ki prihajajo po izvozni rampi in zavijajo desno rdečo luč, lahko pešci prečkajo njihovo smer. Nato počakajo, da imajo tudi vozila, ki prihajajo po izvozni rampi in zavijajo levo, rdečo luč in prečkajo še njihovo smer. Se pravi, kadar imajo naravnost vozeči na glavni smeri zeleno luč, lahko pešci mirno prečkajo rampe (uvozne in izvozne).

Vozila, ki iz glavne smeri zavijajo levo na uvozno rampo, imajo svojo fazo in takrat morajo pešci počakati, medtem ko pri ostalih dveh fazah ni prometa in pešci lahko neovirano in varno prečkajo cesto. Bolj pozorni morajo biti pri vozilih, ki iz glavne smeri zavijajo desno na uvozno rampo, ker je to zavijanje prosto. Pešci lahko neugodno vplivajo na vodenje prometa, saj povzročijo dolge vmesne čase, zaradi česar se podaljšajo časi rdečih luči. Zato jih preko

glavne smeri vodimo skozi podhod pod nadvozom. Enako velja za drugo uvozno in izvozno rampo.

6.1.2.4 Povzetek simulacije

Simulacija je narejena tako, da so na križanju tri semaforizirana križišča, medtem ko je v resnici samo eno. Križanje je krmiljeno s trifaznim krmilnim programom. Dolžina cikla je 75 sekund. Največja stopnja nasičenja je 0.80, in sicer na smeri, ki je najbolj obremenjena. To so vozila iz izvozne rampe iz smeri Domžal, ki zavijajo levo na glavno smer. Največja skupna zamuda na križišču je 61,8 sekund, medtem ko znaša skupna zamuda na križanju 21 s/voz. Iz največjega nivoja uslug po metodi ICU je razvidno, da ima križanje še rezerve v kapaciteti, in sicer znaša nivo uslug (ICU LOS) C; izražen v odstotkih pa 66,9 %. Stopnja ustavljanja za celotno križanje je 0.39. Dolžina kolone po 95. percentili za najbolj obremenjeno smer se zmanjša iz 160,3 m na 64,6 m.

Pri sami simulaciji ni videti večjih problemov na nobeni smeri, čeprav je nivo uslug na križišču, kjer se združijo rampe E. V času trajanja zelene luči se ves promet iz smeri sprosti in zato ne pride do kolon in zastojev.

Operacije združevanj in odcepljanj se odvijajo brez posebnosti.

Preglednica 3 – Povzetek simulacije za celotno križanje

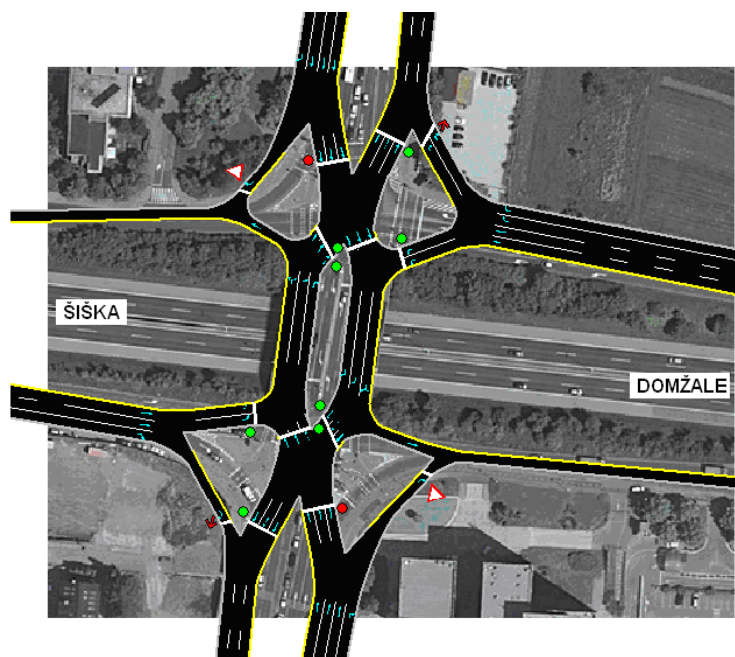
Skupne zamude/voz	21 s/voz
Stopnja ustavljanja	0.39
Število ustavljanj/h	4372
Skupni čas potovanja	82 h
Količina porabljenega goriva	341 l
Emisije CO (ogljikov monoksid)	6,34 kg
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	1,22 kg
Največja stopnja nasičenja (V/C)	0.80
Največji nivo uslug	E
Največji ICU LOS	C (66,9 %)

6.1.3 Razcepno diamantno križanje (Diverging diamond interchange - DDI)

Naslednja nova oblika vodenja prometnih tokov, ki je narejena za primerjavo z obstoječim stanjem, je razcepno diamantno križanje (DDI). Merodajna je konična ura, ko so prometne obremenitve največje – popoldanska konica.

6.1.3.1 Geometrija križanja

Tudi pri tem križanju so prometni tokovi vodeni drugače, kot smo vajeni. Posebnost tega križanja je, da so levi in naravnost vozeči vodeni tako, da pred križiščem prekrižajo poti z nasprotnimi levimi in naravnost vozečimi, tako da levi zavijalci zavijajo prosto in nimajo konflikta z nasprotnimi naravnost vozečimi kot običajno. Preidejo na tako imenovano »napačno« stran.



Slika 44 – Situacija razcepnega diamantnega križanja (DDI)

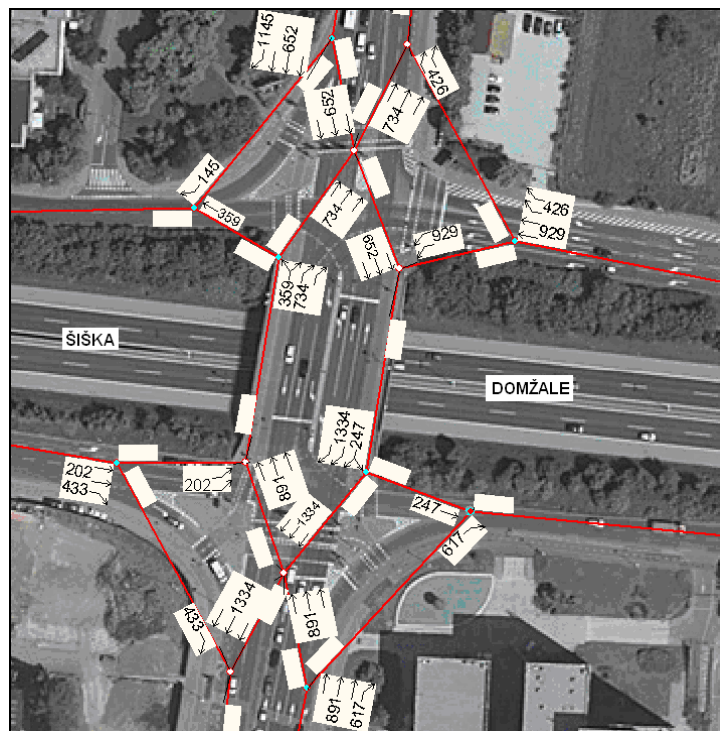
Glavna smer na »napačni« strani je tripasovna, medtem ko je pred križiščem štiripasovna. Trije pasovi vodijo skupaj leve in naravnost vozeče, eden pas pa je za desno zavijanje. Izvozna rampa iz smeri Šiška je tripasovna. Dva pasova sta za levo zavijanje, eden pas pa za desne zavijalce. Druga izvozna rampa se pred križiščem razširi v štiripasovno, kjer dva pasova vodita levo in dva desno, ker so tu velike obremenitve. Dva uvoza za leve zavijalce sta enopasovna in dva izvoza dvopasovna zaradi večjih obremenitev. Izvozi za desne zavijalce so

enopasovni razen tistega iz smeri Domžal. Desno zavijanje iz glavne smeri na uvozne rampe je prosto.

Na križanju sta dve semaforizirani križišči, ki imata dvofazni krmilni program. Signalne naprave so postavljene tudi na rampah, kjer levi in desni zavijalci prihajajo na glavno smer. To pa zato, ker je razlika v učinkovitosti križišča brez in s semaforji na rampah zelo majhna, je pa to boljše z vidika prometne varnosti.

6.1.3.2 Prometne obremenitve

Prometne obremenitve so enake kot pri obstoječem stanju, le da so drugače razporejene zaradi drugačne oblike križanja. Prikazane so tudi smeri in število voznih pasov.

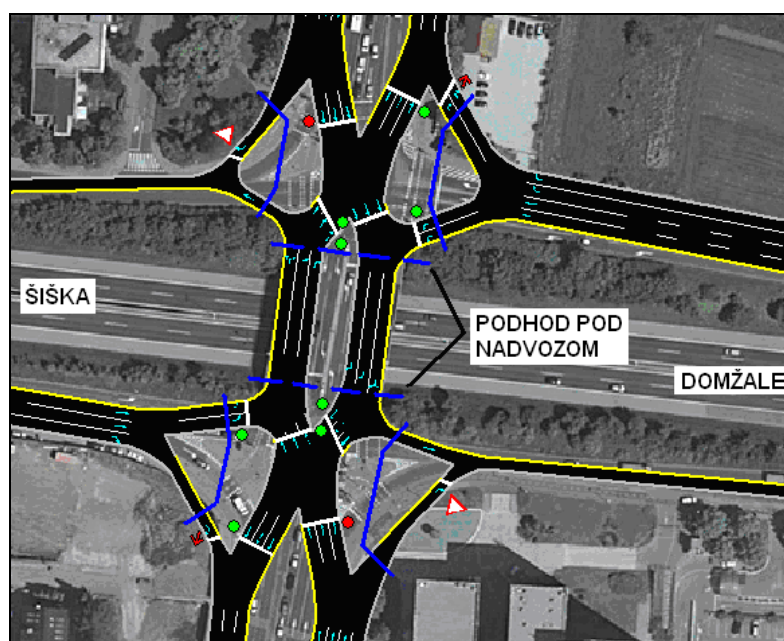


Slika 45 – Prometne obremenitve razcepnega diamantnega križanja (DDI)

6.1.3.3 Vodenje pešcev

Tudi tukaj pešce vodimo čez rampe nivojsko in čez glavno smer izvennivojsko.

Ko imajo vozila, ki zavijajo desno in prihajajo iz izvozne rampe iz smeri Šiške rdečo luč, gredo lahko pešci čez cesto. Nato počakajo, da imajo tudi vozila, ki prihajajo po izvozni rampi in zavijajo levo, rdečo luč in prečkajo še njihovo smer.



Slika 46 – Vodenje pešcev na razcepnem diamantnem križanju (DDI)

Kadar imajo vozila, ki iz glavne smeri zavijajo levo na uvozno rampo, rdečo luč, lahko pešci prečkajo cesto. Bolj pozorni morajo biti pri vozilih, ki iz glavne smeri zavijajo desno na uvozno rampo, ker je to zavijanje prosto.

Preko glavne smeri vodimo pešce skozi podhod pod nadvozom.

Enako velja za drugo uvozno in izvozno rampo.

6.1.3.4 Povzetek simulacije

Križanje je krmiljeno z dvofaznim krmilnim sistemom, kjer znaša dolžina cikla 100 sekund. Krmilni program je narejen tako, da ima večina vozil zeleno luč na svojem in naslednjem križišču, tako da se ustavijo le enkrat. Največja stopnja nasičenja je 0,79 in to ne na smeri, kjer je največja obremenitev, ampak na izvozni rampi iz smeri Domžal, kjer vozila zavijajo

desno na glavno smer. Na najbolj obremenjeni smeri je stopnja nasičenja le 0,41. Tudi pri tem križanju so še rezerve v kapaciteti, saj je največji nivo uslug po metodi ICU B (59,8 %). Stopnja ustavljanja na vozilo je le 0.23.

Pri zeleni luči večina vozil sprazni določeno smer, tako da ni večjih kolon in zastojev. Razen na smeri iz izvozne rampe iz Domžal, kjer gredo vozila levo na glavno smer. Tukaj imajo levi zavijalci na rampi zeleno luč, vendar naletijo na naslednjem na rdečo luč in posledično pride do krajše kolone.

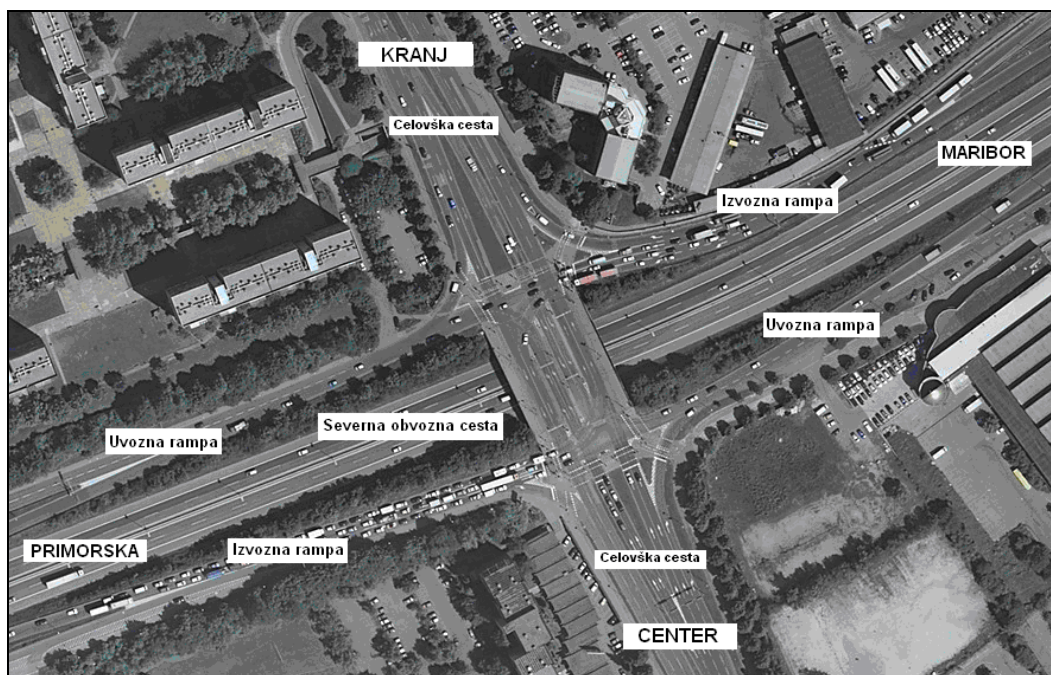
Preglednica 4 – Povzetek simulacije za celotno križanje

Skupne zamude/voz	7 s/voz
Stopnja ustavljanja	0.23
Število ustavljanj/h	4038
Skupni čas potovanja	54 h
Količina porabljenega goriva	273 l
Emisije CO (ogljikov monoksid)	5,07 kg
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	0,98 kg
Največja stopnja nasičenja (V/C)	0,79
Največji nivo uslug	C
Največji ICU LOS	B (59,8 %)

6.2 Križanje Celovške in severne obvozne ceste

6.2.1 Obstoječe stanje

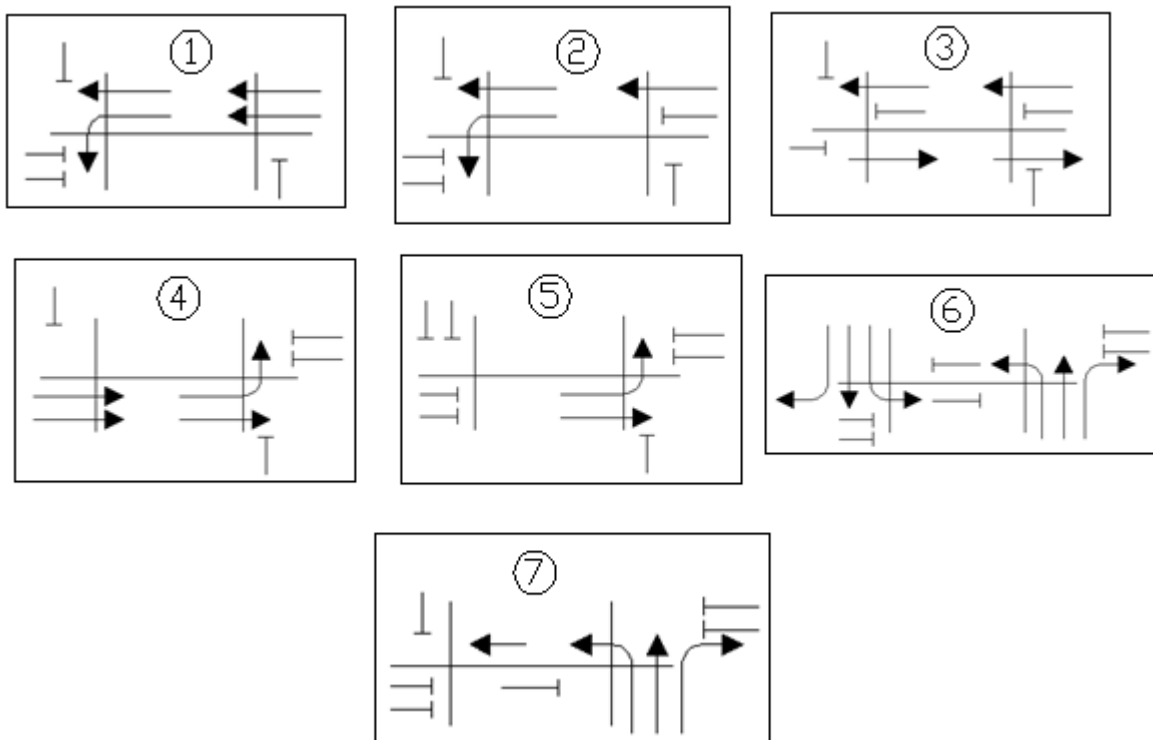
Križanje je sestavljeno iz dveh uvoznih in dveh izvoznih ramp. Na glavni smeri sta dve semaforizirani križišči, med katerima je majhna razdalja. Križanje ima specifično obliko, ker se levi zavijalci fizično ločijo od naravnost vozečih že pred križiščem in z nasprotnimi levimi zavijalci nimajo konflikta. Glavna smer se pred križiščem razširi na štiri pasove. Levi zavijalci, ki se fizično ločijo imajo dva pasova, naravnost vozeči prav tako dva. Vsa desna zavijanja so prosta. Izvozna rampa iz smeri Primorske ima tri pasa; eden pas za leve, eden za leve in naravnost vozeče ter tretji za naravnost vozeče in za desno zavijanje. Druga izvozna rampa se razširi v štiri pasove; eden za leve, eden za leve in naravnost vozeče, eden za naravnost vozeče ter zadnji za desne zavijalce.



Slika 47 – Situacija križanja Celovške in severne obvozne ceste

Obravnavana lokacija v času urnih konic pokaže prenasičenost križišč. V času jutranje konice gre veliko prometa proti centru mesta, medtem ko je popoldne obratno. Veliko je levih zavijalcev tako iz kot na rampe.

Na križanju obratuje sedemfazni krmilni sistem. Faze potekajo tako kot je prikazano na spodnji sliki.



Slika 48 – Faze križanja

Levi zavijalci iz ramp imajo fazo krmiljeno tako, da se morajo na naslednjem križišču ustaviti (6. faza). Prižgano imajo zeleno luč na svojem križišču, na naslednjem pa pridejo na rdečo luč. Se pravi, da se dvakrat ustavijo preden grejo čez oba križišča.

Težave, ki se tu pojavljajo, so, da je zaježitvena dolžina naravnost vozečih na glavni smeri prekratka in ovira leve zavijalce, ki prihajajo iz izvoznih ramp. Ne morejo narediti svojega manevra, ker jih ovira kolona. V času zelene luči prav tako vozila ne spraznijo najbolj obremenjenih smeri in posledično nastanejo kolone. Kolone naravnost vozečih na glavni smeri (Celovški cesti) so tudi tako dolge, da segajo do predhodnega križišča (do LPP-ja). Podobno se dogaja tudi iz druge strani. Omeniti je sicer potrebno, da se je z izgradnjo predora Šentvid Celovška cesta razbremenila. Neugodno vpliva tudi krmilni program, ki ima sedem faz. Zaradi tega je veliko vmesnih časov (izpraznitvenih časov), ki pripomorejo k povečanju zamud.



Slika 49 – Velike obremenitve na izvozni rampi iz smeri primorske

Lahko bi zamenjali vrstni red faz, vendar imamo sedemfazni komplicirani krmilni program, ki ima veliko vmesnih (izpraznitvenih) časov. Manj kot je faz, boljše je, ker lahko te vmesne čase porazdelimo v zelene čase. Zaradi tega je dimenzioniranje novih oblik vodenja prometnih tokov smiselna, ker imajo preprostejše krmilne programe in so učinkovitejša. Nekatere izmed rešitev sta konstruiranje romba z zunanji pasovi za leve zavijalce (SPD) in razcepnega diamantnega križanja (DDI). V nadaljevanju bosta prikazani ti dve varianti.

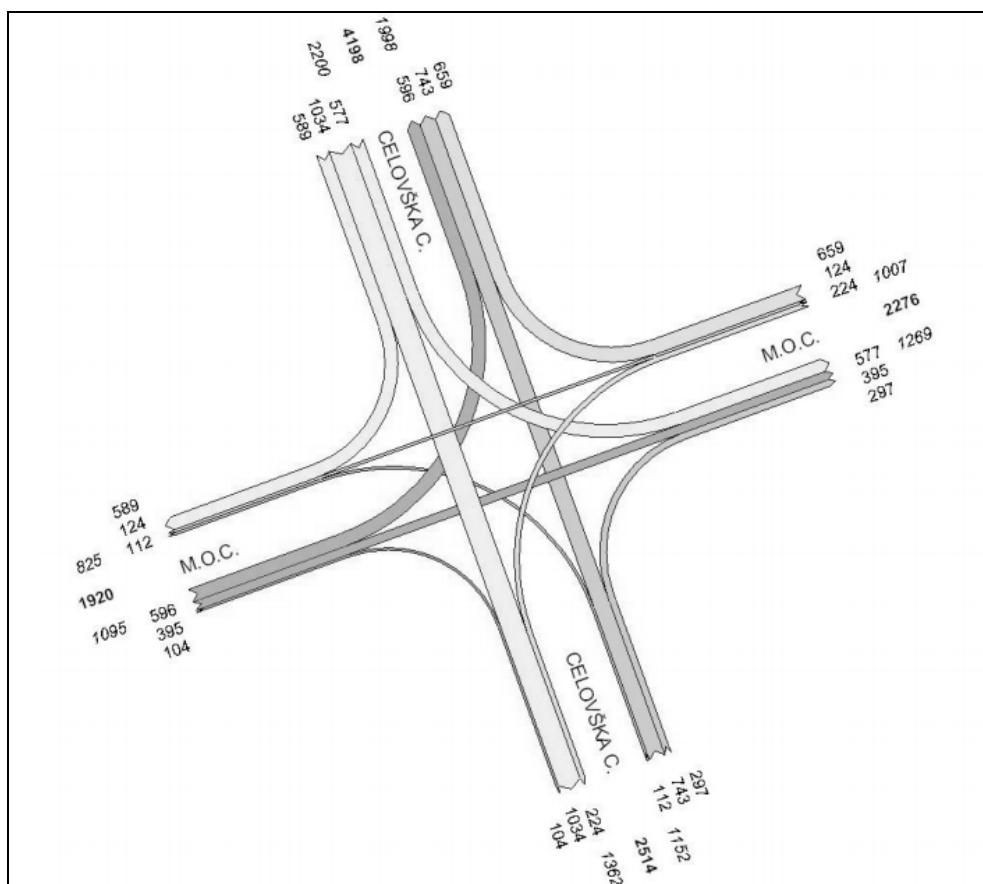


Slika 50 – Velike obremenitve na glavni smeri

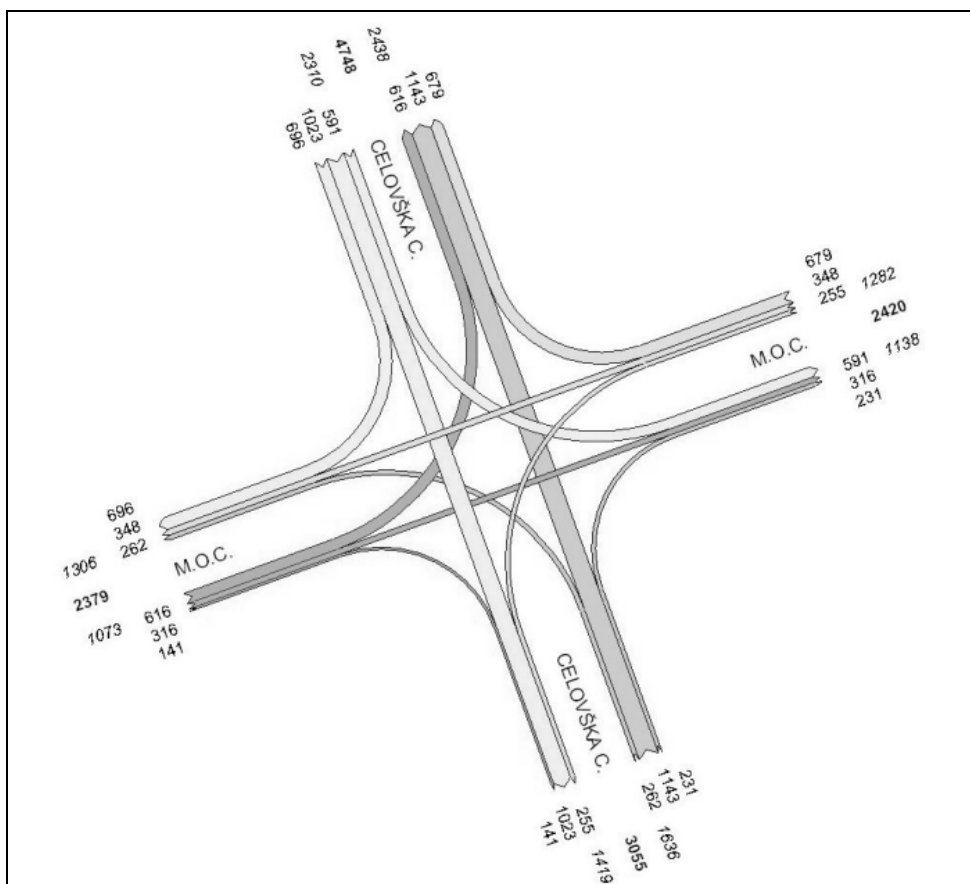
6.2.1.1 Prometne obremenitve

Na diagramih prometnih obremenitev vidimo, katere smeri so bolj in katere manj obremenjene. Večja kot je debelina puščice, večja je obremenitev. Podatki o štetju so iz leta 2003.

Za analizo in dimenzioniranje je v nadaljevanju uporabljena merodajna konična ura, to je tista, v kateri so obremenitve križanja največje. Upoštevani so faktorji urnih konic. Vozila obravnavanih tokov so pretvorjena v ekvivalent osebni vozil (eov).



Slika 51 – Diagram prometnih obremenitev križanja Celovška – severna obvozna cesta (eov/h) v jutranji konici



Slika 52 – Diagram prometnih obremenitev križanja Celovška – severna obvozna cesta (eov/h) v popoldanski konici

6.2.2 Romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD)

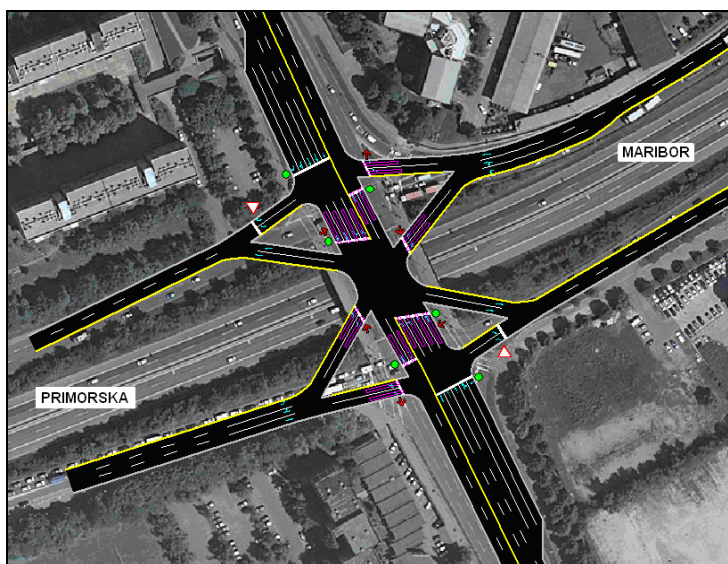
Za primerjavo z obstoječim stanjem je narejena simulacija nove oblike vodenja tokov. Prometne obremenitve so prikazane, merodajna je konična ura, ko so obremenitve največje – popoldanska konica.

6.2.2.1 Geometrija križanja

Pri tej obliki križanja so levi zavijalci na in iz ramp vodeni drugače kot običajno. Zavijanje poteka tako, da se med seboj ne ovirajo oziroma ni konflikta med njimi. Glavna smer na nadvozu je štiripasovna, dva pasova sta za zavijanje levo na uvozne rampe in dva za naravnost. Vsi uvozi in izvozi za leve zavijalce so dvopasovni. Tudi vsi uvozi za desne zavijalce so dvopasovni. Desno zavijanje iz glavne smeri na uvozne rampe je prosto. Izvozna rampa iz smeri Primorske je tripasovna; eden pas je za levo, eden za levo in desno skupaj ter

eden za desno zavijanje. Tudi druga izvozna rampa iz smeri Maribora se razširi v tri pasove; eden pas je za levo, eden za levo in desno skupaj ter eden za desno zavijanje.

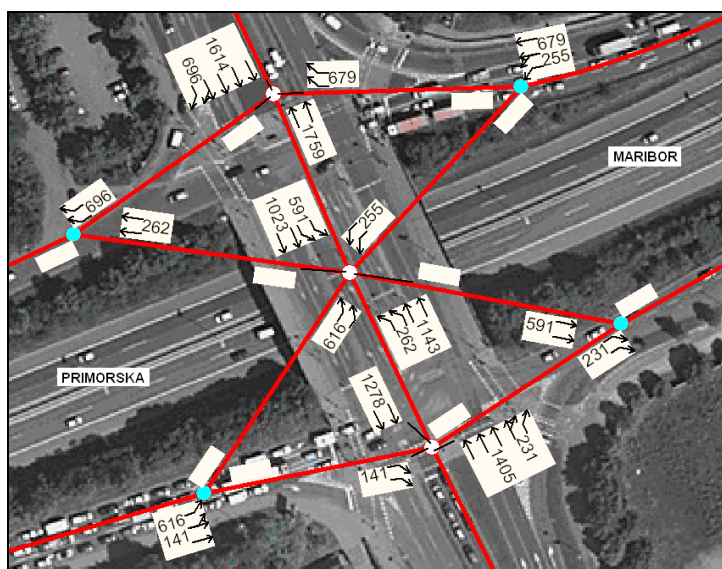
Križišče je krmiljeno s trifaznim krmilnim programom in z enim samim semaforjem, ki je na sredini. Toda pri simulaciji ga krmilimo s tremi semaforji, zaradi delovanja programa.



Slika 53 – Situacija romba z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD)

6.2.2.2 Prometne obremenitve

Obremenitve so enake kot pri obstoječem stanju, le da so drugače razporejene.



Slika 54 – Prometne obremenitve romba z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD)

Na zgornji sliki vidimo tudi smeri in število voznih pasov.

6.2.2.3 Vodenje pešcev

Pešce vodimo enako kot pri križanju Dunajske in vzhodne obvozne ceste (poglavje 6.1.2.3.)

6.2.2.4 Povzetek simulacije

Simulacija je narejena tako, da so na križanju tri semaforizirana križišča, medtem ko je v resnici samo eno. Križanje je krmiljeno s trifaznim krmilnim sistemom. Dolžina cikla je 90 sekund. Največjo stopnjo nasičenja 1,04 imajo vozila, ki prihajajo iz izvozne rampe iz smeri Maribora in zavijajo desno na glavno smer. Vsa ostala vozila na glavni smeri imajo zadovoljivo stopnjo nasičenja. Pri vozilih, ki prihajajo iz izvozne rampe iz smeri Primorske in zavijajo levo na glavno smer, prihaja do krajših kolon, ki pa se v času zelene luči sprostijo. Skupne zamude na vozilo za celotno križanje znašajo 43 sekund. Nivo uslug po metodi ICU je E (84,4 %), kar pomeni, da so še rezerve v kapaciteti. Stopnja ustavljanja na vozilo za celo križanje znaša 0,30.

Pri simulaciji ni opaziti večjih kolon in zastojev na nobeni smeri. Če že pride do majhne kolone se le ta pri zeleni luči sprosti

Preglednica 5 – Povzetek simulacije za celotno križanje

Skupne zamude/voz	43 s/voz
Stopnja ustavljanja	0.30
Število ustavljanj/h	4480
Skupni čas potovanja	211 h
Količina porabljenega goriva	736 l
Emisije CO (ogljikov monoksid)	13,69 kg
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	2,64 kg
Največja stopnja nasičenja (V/C)	1,04
Največji nivo uslug	F
Največji ICU LOS	E (84,4 %)

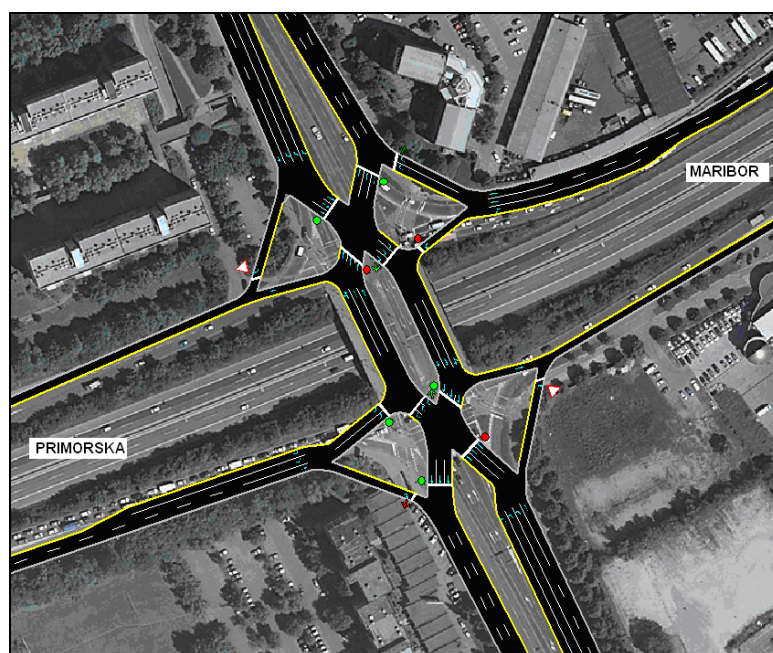
6.2.3 Razcepno diamantno križanje (Diverging diamond interchange - DDI)

Naslednja nova oblika vodenja prometnih tokov, ki je narejena za primerjavo z obstoječim stanjem, je razcepno diamantno križanje (DDI). Merodajna je konična ura, ko so prometne obremenitve največje – popoldanska konica.

6.2.3.1 Geometrija križanja

Glavna smer na »napačni« strani je tripasovna, medtem ko je pred križiščem štiripasovna. Trije pasovi vodijo skupaj leve in naravnost vozeče, eden pas pa je za desno zavijanje. Izvozna rampa iz smeri Primorske je tripasovna. Dva pasova sta za levo zavijanje, eden pas pa za desne zavijalce. Druga izvozna rampa se pred križiščem razširi v tripasovno, kjer dva pasova vodita desno in eden levo. Dva uvoza za leve zavijalce sta enopasovna, eden izvoz pa je enopasoven in eden dvopasoven. Izvozi za desne zavijalce so enopasovni razen tistega iz smeri Maribora. Desno zavijanje iz glavne smeri na uvozne rampe je prosto.

Na križanju sta dve semaforizirani križišči z dvofaznim krmilnim programom. Signalne naprave so postavljene tudi na rampah, kjer levi in desni zavijalci prihajajo na glavno smer. To pa zato, ker je razlika v učinkovitosti križišča brez in s semaforji na rampah zelo majhna, je pa to boljše z vidika prometne varnosti.

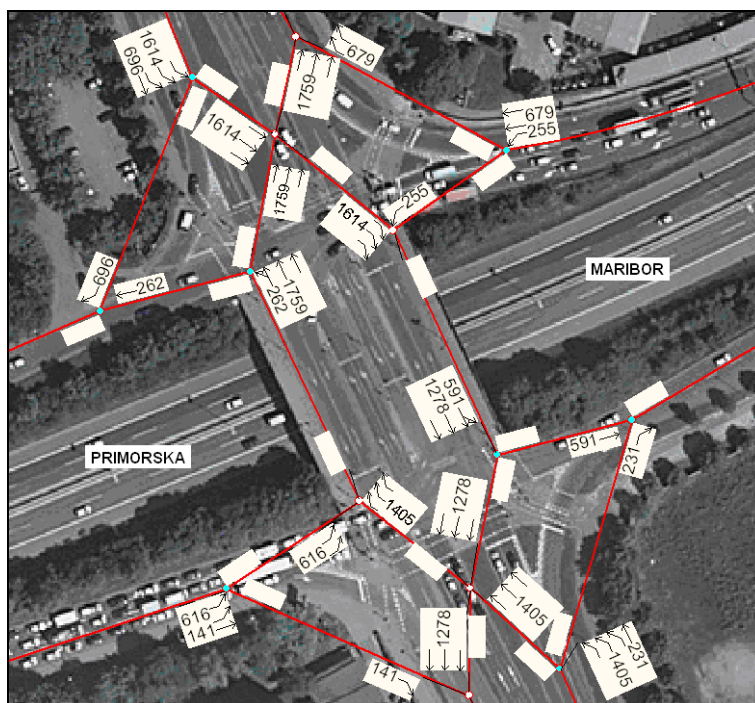


Slika 55 – Situacija razcepnega diamantnega križanja (DDI)

Tudi pri tem križanju so prometni tokovi vodeni drugače, kot smo vajeni. Posebnost tega križanja je, da so levi in naravnost vozeči vodeni tako, da pred križiščem prekrižajo poti z nasprotnimi levimi in naravnost vozečimi, tako da levi zavijalci zavijajo prosto in nimajo konflikta z nasprotnimi naravnost vozečimi kot običajno. Preidejo na tako imenovano »napačno« stran.

6.2.3.2 Prometne obremenitve

Prometne obremenitve so enake kot pri obstoječem stanju le da so drugače razporejene, zaradi drugačne oblike križanja. Prikazane so tudi smeri in število voznih pasov.



Slika 56 – Prometne obremenitve razcepnega diamantnega križanja (DDI)

6.2.3.3 Vodenje pešcev

Pešce vodimo enako kot pri križanju Dunajske in vzhodne obvozne ceste (poglavje 6.1.3.3.)

6.2.3.4 Povzetek simulacije

Križanje je krmiljeno z dvofaznim krmilnim sistemom, kjer znaša dolžina cikla 45 sekund. Krmilni program je narejen tako, da ima večina vozil zeleno luč na svojem in naslednjem

križišču, tako da se ustavijo le enkrat. Največjo stopnjo nasičenja 0,89 imajo naravnost vozeči na glavni smeri, kar je tudi razumljivo, saj so tu največje obremenitve. Skupne zamude na vozilo za celotno križanje so zelo majhne, znašajo le 5 sekund. Prav tako je majhna stopnja ustavljanja, ki znaša 0,28. Največji nivo uslug po metodi ICU je C (71,8 %), kar pomeni, da so še rezerve v kapaciteti. Največja zamuda je na glavni smeri pri naravnost vozečih, in sicer znaša 20 sekund.

Pri zeleni luči večina vozil sprazni določeno smer, tako da ne prihaja do kolon in zastojev. Vse operacije združevanja in odcepljanja se odvijajo brez posebnosti.

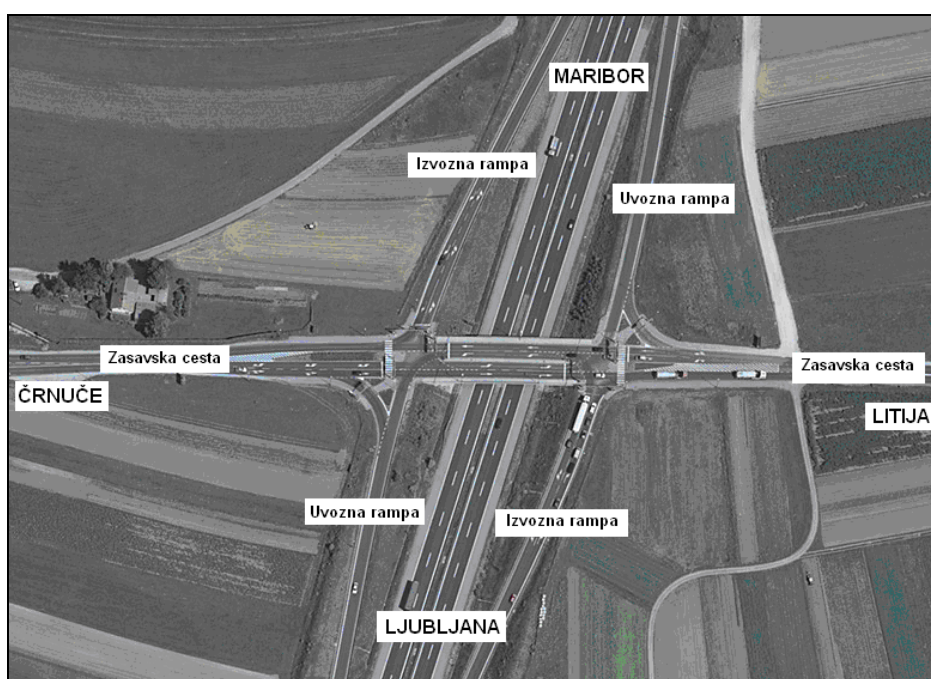
Preglednica 6 – Povzetek simulacije za celotno križanje

Skupne zamude/voz	5 s/voz
Stopnja ustavljanja	0,28
Število ustavljanj/h	7149
Skupni čas potovanja	73 h
Količina porabljenega goriva	410 l
Emisije CO (ogljikov monoksid)	7,62kg
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	1,47 kg
Največja stopnja nasičenja (V/C)	0,89
Največji nivo uslug	B
Največji ICU LOS	C (71,8 %)

6.3 Križanje Zasavske in mestne obvozne ceste (Šentjakob)

6.3.1 Obstoječe stanje

Križanje je sestavljeno prav tako iz dveh uvoznih in dveh izvoznih ramp ter dveh semaforiziranih križišč, med katerimi je majhna razdalja. Glavna smer je na nadvozu dvopasovna. En pas je za leve zavijalce na uvozno rampo in en za naravnost. Izvozni rampi sta dvopasovni, in sicer je en pas skupen za naravnost in levo, drugi pa za desno zavijanje. Desno zavijanje iz glavne smeri na uvozno rampo je prosto.

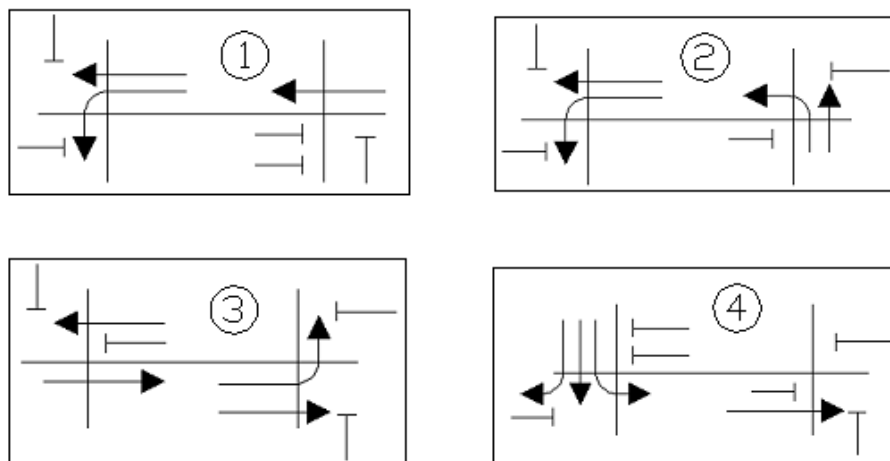


Slika 57 – Situacija križanja Zasavske in mestne obvozne ceste

V času jutranje konice je najbolj obremenjena glavna smer, in sicer tista smer, kjer zavijajo levo na uvozno rampo proti Ljubljani in tista, kjer gredo vozila naravnost. V popoldanski konici pa največ vozil prihaja po izvozni rampi iz smeri Ljubljane in zavija desno.

Križanje uporablja štirifazni krmilni program. Faze so prikazane na Sliki 58.

Levi zavijalci iz ramp imajo fazo krmiljeno tudi tako, da ne pride do prekratke zaježitvene dolžine, in sicer imajo istočasno prižgano zeleno luč na svojem in naslednjem križišču. Se pravi, da se samo enkrat ustavijo.



Slika 58 – Faze križanja

V jutranji konici nastanejo kolone smeri Litije. To so vozila, ki zavijajo na uvozno rampo proti Ljubljani. V času zelene luči vsa vozila ne spraznijo te smeri. V popoldanski konici pa se pojavi težava na izvozni rampi iz smeri Ljubljana. Ker je v tem času na tej smeri zelo veliko vozil, ki zavijajo desno proti Litiji, nastane kolona. Ta je tako dolga, da lahko sega čez celotno dolžino izvozne rampe.



Slika 59 – Kolona naravnost vozečih vozil iz smeri Črnuč

Zamenjavi vrstnega reda faz se izognemo zaradi večfaznih krmilnih programov in vmesnih časov. Ena od možnih rešitev tukaj je, da omogočimo prosto desno zavijanje na izvozni rampi iz smeri Ljubljane. S tem rešimo težave s kolono na tej smeri, vendar še vedno ostane problem v jutranji konici na glavni smeri iz Litije. Tam se še vedno pojavlja kolona. S

konstruiranjem novih oblik vodenja prometnih tokov se stanje izboljša. Romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD) in razcepno diamantno križanje to potrjujeta.

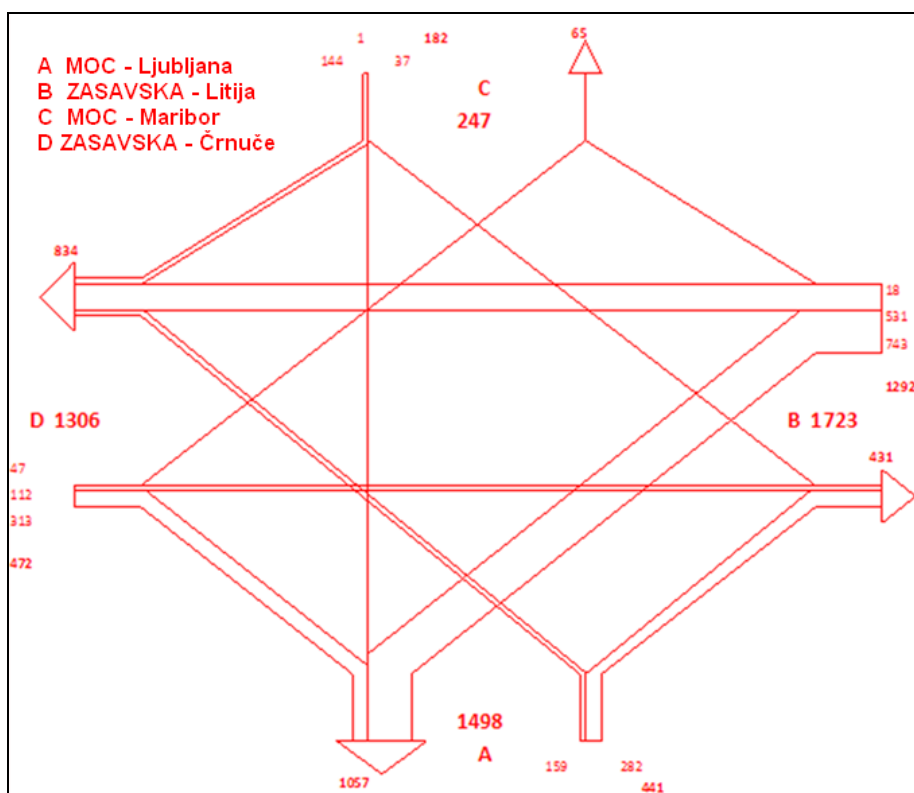


Slika 60 – Velike obremenitve na izvozni rampi iz smeri Ljubljane

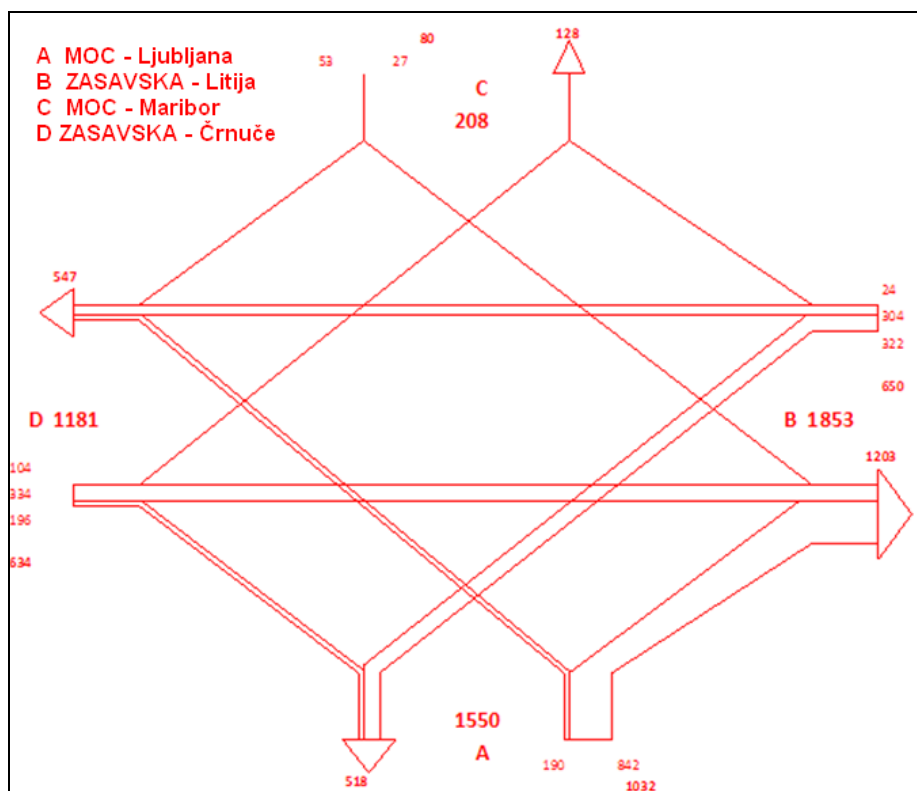
6.3.1.1 Prometne obremenitve

Na diagramih prometnih obremenitev vidimo, katere smeri so bolj in katere manj obremenjene. Večja kot je debelina puščice večja je obremenitev. Podatki o štetju so iz leta 2005.

Za analizo in dimenzioniranje je v nadaljevanju uporabljena merodajna konična ura, to je tista, v kateri so obremenitve križanja največje. Upoštevani so faktorji urnih konic. Vozila obravnavanih tokov so pretvorjena v ekvivalent osebnih vozil (eov).



Slika 61 – Diagram prometnih obremenitev križanja Zasavska – MOC (eov/h) v jutranji konici



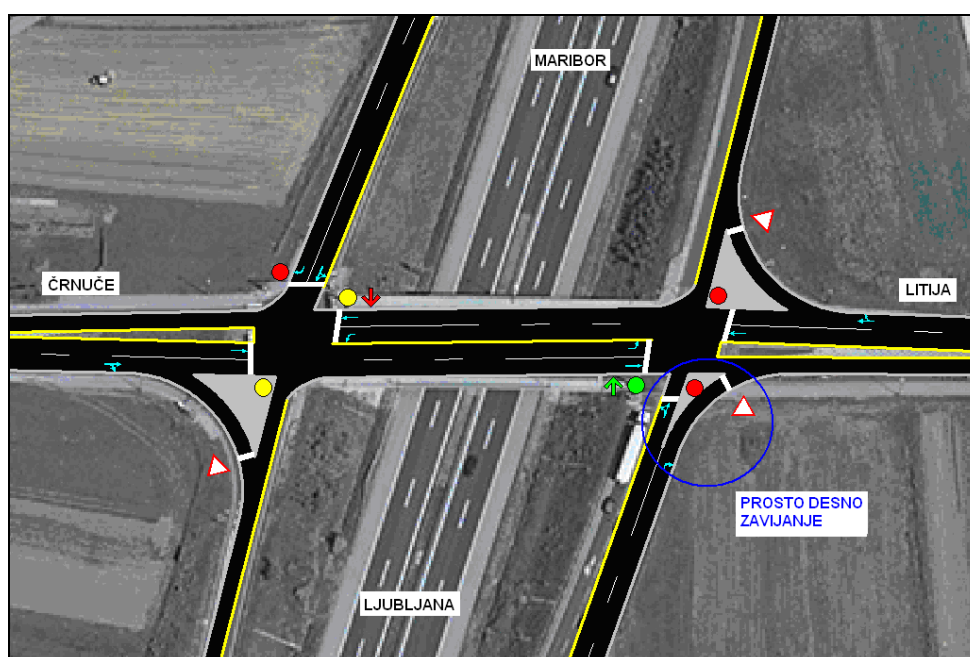
Slika 62 – Diagram prometnih obremenitev križanja Zasavska – MOC (eov/h) v popoldanski konici

6.3.2 Diamantno križanje s prostim desnim zavijanjem (iz izvozne rampe na glavno smer)

Ta varianta je narejena za primerjavo z ostalimi variantami in obstoječim stanjem. Merodajna je konična ura, ko so prometne obremenitve največje – popoldanska konica.

6.3.2.1 Geometrija križanja

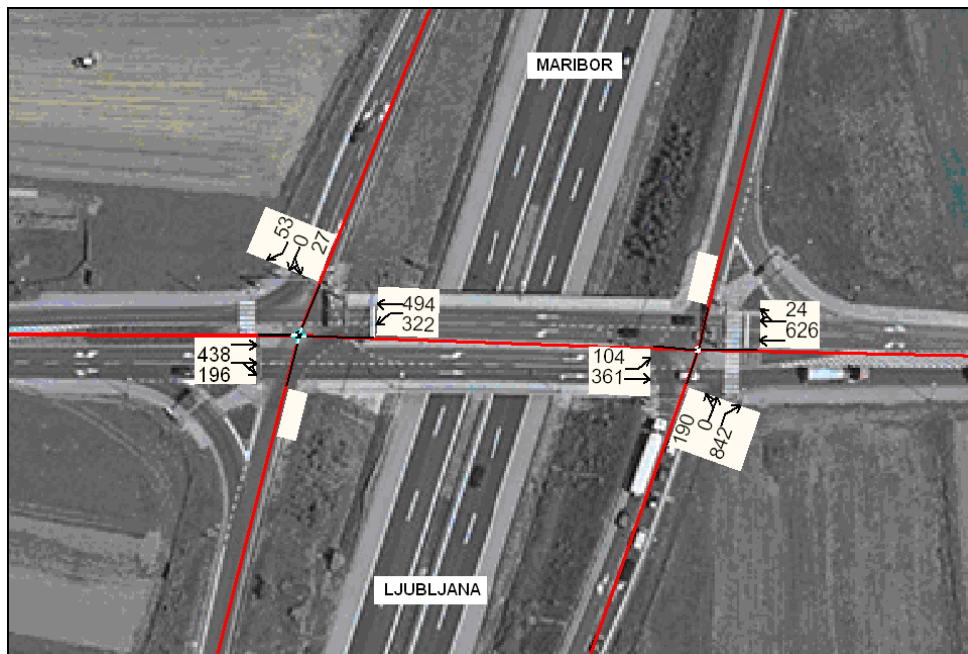
Geometrija križanja in krmilni program sta popolnoma enaka obstoječemu stanju, le da je omogočeno prosto desno zavijanje iz izvozne rampe na glavno smer proti Litiji.



Slika 63 – Prosto zavijanje desno

6.3.2.2 Prometne obremenitve

Tudi obremenitve so enake kot pri obstoječem stanju.



Slika 64 – Prometne obremenitve v popoldanski konici

6.3.2.3 Vodenje pešcev

Pešce vodimo enako kot pri obstoječem stanju.

6.3.2.4 Povzetek simulacije

Križanje je krmiljeno prav tako kot obstoječe stanje z štirifaznim krmilnim sistemom. Dolžina cikla je 80 sekund. Skupne zamude na križanju na vozilo znašajo 10 sekund, medtem ko znaša stopnja ustavljanja na vozilo 0,39. Največja stopnja nasičenja je 0,58, in sicer na izvozni rampi iz smeri Ljubljane, ki je tudi najbolj obremenjena. Križanje ima še veliko rezerv v kapaciteti, saj znaša nivo uslug po metodi ICU B (57,0 %).

Pri simulaciji vidimo, da je stanje veliko boljše glede na obstoječe, saj več ne prihaja do kolon na izvozni rampi iz smeri Ljubljane, razen pri jutranji konici, kjer so še vedno kolone na glavni smeri iz Litije.

Preglednica 7 – Povzetek simulacije za celotno križanje

Skupne zamude/voz	10 s/voz
Stopnja ustavljanja	0,39
Število ustavljanj/h	1434
Skupni čas potovanja	17 h
Količina porabljenega goriva	92 l
Emisije CO (ogljikov monoksid)	1,71 kg
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	0,33 kg
Največja stopnja nasičenja (V/C)	0,58
Največji nivo uslug	B
Največji ICU LOS	B (57,0 %)

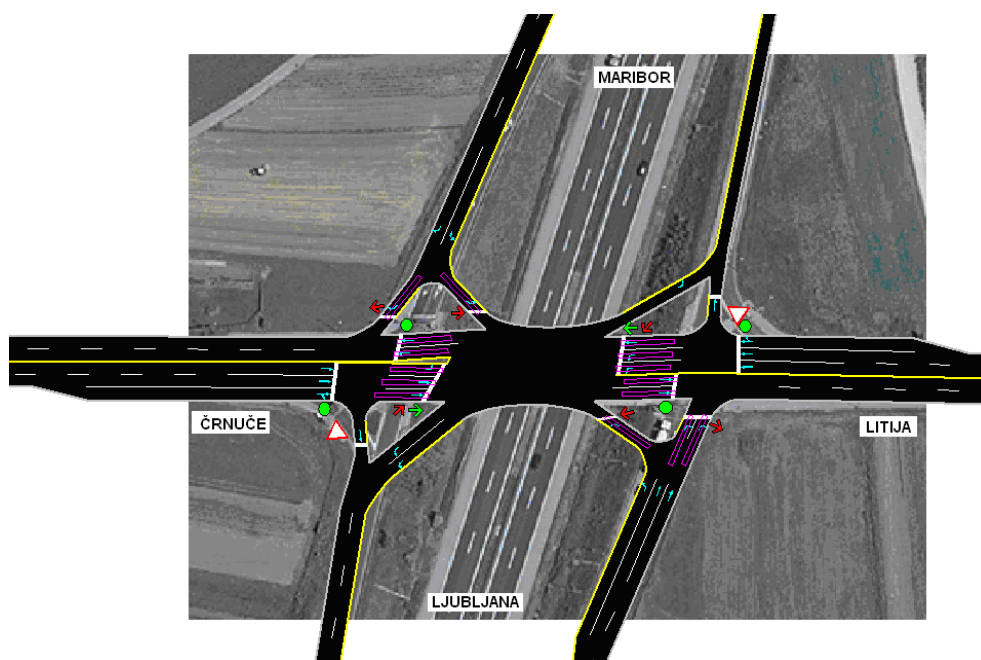
6.3.3 Romb z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD)

Za primerjavo z obstoječim stanjem je narejena simulacija nove oblike vodenja tokov. Prometne obremenitve so prikazane, merodajna je konična ura, ko so obremenitve največje – popoldanska konica.

6.3.3.1 Geometrija križanja

Kot že vemo so levi zavijalci na in iz ramp vodeni tako, da ni konflikta med njimi. Glavna smer je tripasovna, ki nato pri drugem križišču preide v dva pasova. Dva pasova sta za leve zavijalce na uvozno rampo in eden je za naravnost vozeče. Prav tako se cesta pred križiščem razširi v tri pasove. Vsi uvozi in izvozi za leve zavijalce so enopasovni, razen tistega izvoza iz smeri Litije. Ta je dvopasoven, ker je ta smer zelo obremenjena. Izvozna rampa iz smeri Ljubljane se pred križiščem razširi v tripasovno, eden pas je za levo in dva pasova za desno zavijanje, ker je tudi ta smer zelo obremenjena. Desno zavijanje iz glavne smeri na rampe je prav tako semaforizirano. Izvozi za desne zavijalce so tudi enopasovni.

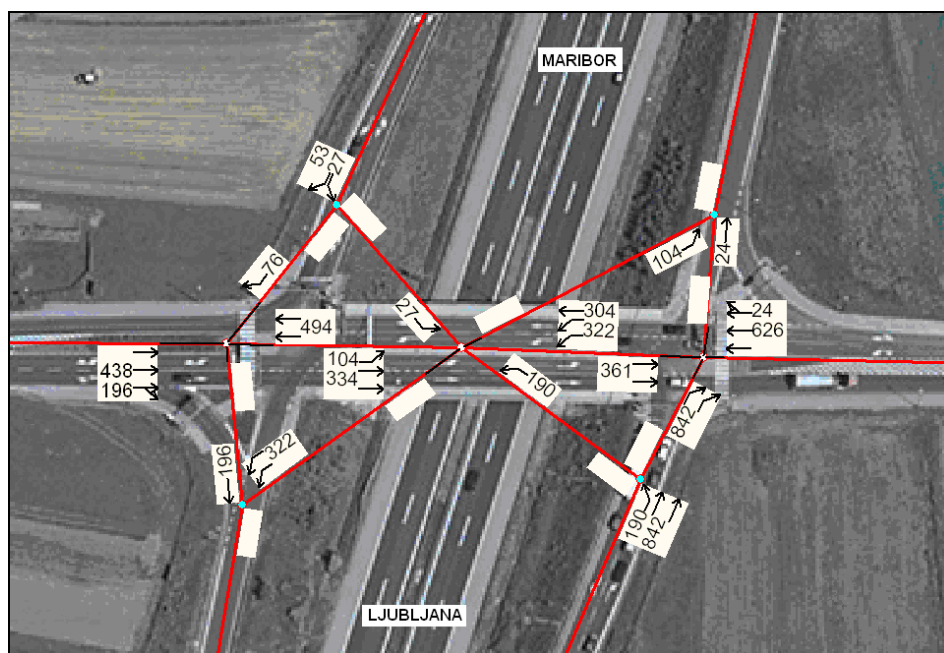
Križišče je krmiljeno s trifaznim krmilnim programom in z enim samim semaforjem, ki je na sredini. Toda pri simulaciji ga krmilimo s tremi semaforji, zaradi delovanja programa.



Slika 65 – Situacija romba z zunanji pasovi za leve zavijalce (SPD)

6.3.3.2 Prometne obremenitve

Obremenitve so enake kot pri obstoječem stanju, le da so drugače razporejene. Na spodnji sliki vidimo tudi smeri in število voznih pasov.



Slika 66 – Prometne obremenitve romba z zunanji pasovi za leve zavijalce (SPD)

6.3.3.3 Vodenje pešcev

Pešce vodimo enako kot pri križanju Dunajske in vzhodne obvozne ceste (poglavje 6.1.2.3.)

6.3.3.4 Povzetek simulacije

Simulacija je narejena tako, da so na križanju tri semaforizirana križišča, medtem ko je v resnici samo eno. Križanje je krmiljeno s trifaznim krmilnim sistemom. Dolžina cikla je 80 sekund. Največjo stopnjo nasičenja 0,87 imajo vozila, ki prihajajo iz izvozne rampe iz smeri Ljubljane. Tu so obremenitve največje. V času jutranje konice pa je še vedno kolona na glavni smeri iz Litije, in sicer je dolga 130,7 m po 95. percentili. Skupna zamuda na vozilo za križanje znaša 14 sekund in stopnja ustavljanja na vozilo 0,42. Križanje ima še rezerve v kapaciteti, saj znaša nivo uslug po metodi ICU A (46,6 %).

Iz simulacije je razvidno, da kljub majhnim zamudam in dobrim nivojem uslug, nastaja kolona na izvozni rampi iz smeri Ljubljane in na glavni smeri iz Litije.

Preglednica 8 – Povzetek simulacije za celotno križanje

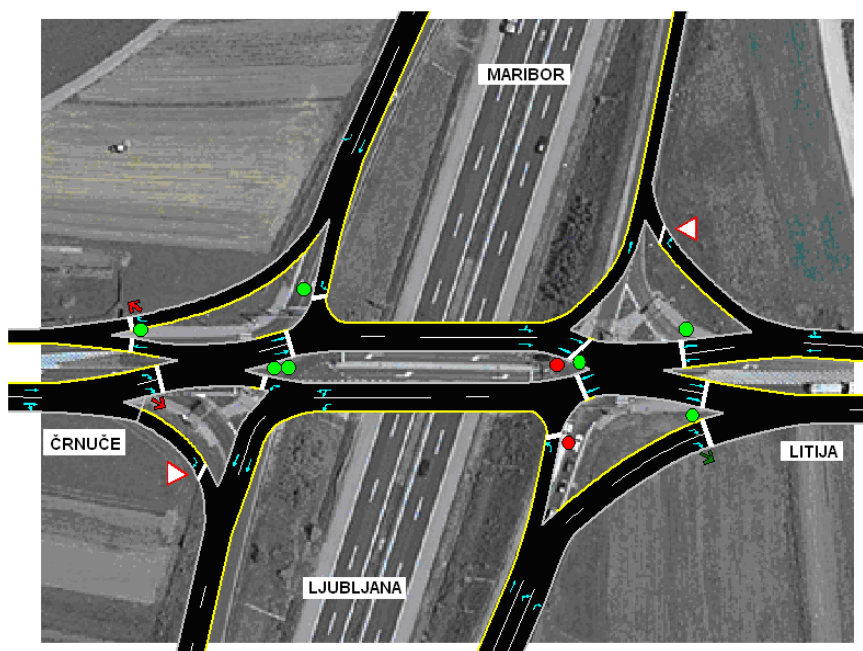
Skupne zamude/voz	14 s/voz
Stopnja ustavljanja	0.42
Število ustavljanj/h	2532
Skupni čas potovanja	32 h
Količina porabljenega goriva	140 l
Emisije CO (ogljikov monoksid)	2,61 kg
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	0,50 kg
Največja stopnja nasičenja (V/C)	0,87
Največji nivo uslug	C
Največji ICU LOS	A (46,6 %)

6.3.4 Razcepno diamantno križanje (Diverging diamond interchange - DDI)

Za primerjavo z obstoječim stanjem je narejena simulacija razcepnega diamantnega križanja. Prometne obremenitve so prikazane, merodajna je konična ura, ko so obremenitve največje – popoldanska konica.

6.3.4.1 Geometrija križanja

Posebnost tega križanja je, da so levi in naravnost vozeči vodeni tako, da pred križiščem prekrižajo poti z nasprotnimi levimi in naravnost vozečimi, tako da levi zavijalci zavijajo prosto in nimajo konflikta z nasprotnimi naravnost vozečimi kot običajno. Preidejo na tako imenovano »napačno« stran.



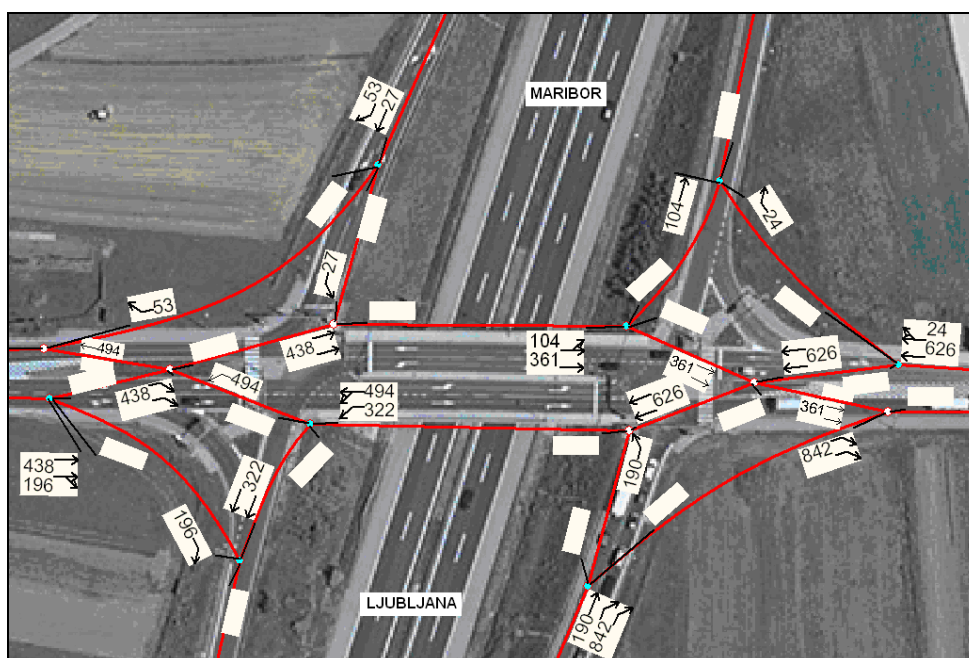
Slika 67 – Situacija razcepnega diamantnega križanja (DDI)

Glavna smer je tako pred križiščem kot na nadvozu dvopasovna. Vsi uvozi in izvozi za leve zavijalce so enopasovni razen izvoza iz smeri Litije na uvozno rampo proti Ljubljani. Ta je dvopasoven, ker je smer zelo obremenjena. Trije izvozi za desne zavijalce so enopasovni, medtem ko je tisti iz smeri Ljubljane dvopasoven zaradi večjih obremenitev. Desno zavijanje iz glavne smeri na uvozne rampe je prosto.

Na križanju sta dve semaforizirani križišči z dvofaznim krmilnim programom. Signalne naprave so postavljene tudi na rampah, kjer levi in desni zavijalci prihajajo na glavno smer. To pa zato, ker je razlika v učinkovitosti križišča brez in s semaforji na rampah zelo majhna, je pa to boljše z vidika prometne varnosti.

6.3.4.2 Prometne obremenitve

Prometne obremenitve so enake kot pri obstoječem stanju, le da so drugače razporejene, zaradi drugačne oblike križanja. Prikazane so tudi smeri in število voznih pasov.



Slika 68 – Prometne obremenitve razcepnega diamantnega križanja (DDI)

6.3.4.3 Vodenje pešcev

Pešce vodimo enako kot pri križanju Dunajske in vzhodne obvozne ceste (poglavje 6.1.3.3.)

6.3.4.4 Povzetek simulacije

Križanje je krmiljeno z dvofaznim krmilnim sistemom, kjer znaša dolžina cikla 45 sekund. Največjo stopnjo nasičenja 0,64 imajo desni zavijalci, ki prihajajo iz izvozne rampe iz smeri Ljubljane. Na tej smeri so tudi največje obremenitve. Skupne zamude na vozilo za celotno

križanje znašajo 4 sekunde, stopnja ustavljanja na vozilo pa 0,21. Tudi tukaj so še rezerve v kapaciteti, ker znaša največji nivo uslug po metodi ICU A (46,1 %).

Iz simulacije vidimo, da je na najbolj obremenjenih smereh, desno zavijanje iz izvozne rampe iz smeri Ljubljane in naravnost na glavni smeri iz Litije, dolžina kolon veliko manjša. Na smeri iz izvozne rampa se zmanjša s 326 m na 52 m, na glavni smeri pa s 103 m na 74 m.

Preglednica 9 – Povzetek simulacije za celotno križanje

Skupne zamude/voz	4 s/voz
Stopnja ustavljanja	0,21
Število ustavljanj/h	1963
Skupni čas potovanja	20 h
Količina porabljenega goriva	112 l
Emisije CO (ogljikov monoksid)	2,08 kg
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	0,40 kg
Največja stopnja nasičenja (V/C)	0,64
Največji nivo uslug	B
Največji ICU LOS	A (46,1 %)

7 PRIMERJAVE KRIŽANJ

Zaradi lažje preglednosti in lažje primerjave, so rezultati simulacij oziroma bistvene lastnosti križanj prikazani še v obliki grafikonov in preglednic. Tako lažje vidimo izboljšane lastnosti križanj v primerjavi z obstoječim stanjem in ostalimi variantami. Vse primerjave razen kapacitete so narejene za celotno križanje.

7.1 Primerjave na križanju med Dunajsko in vzhodno obvozno cesto

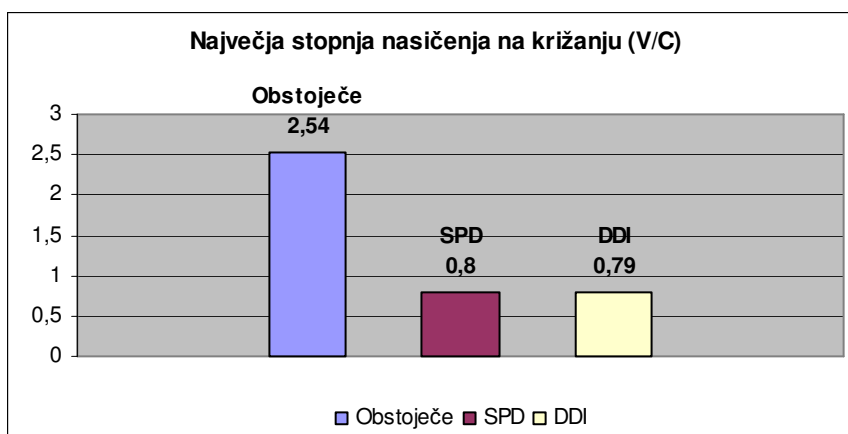
7.1.1 Kapaciteta

Preglednica 10 – Primerjava kapacitete na rampah in glavni smeri

Kapaciteta	Izvozna rampa – ŠIŠKA (voz/h)	Izvozna rampa - DOMŽALE (voz/h)	Dunajska cesta – CENTER (voz/h)		Dunajska cesta – ČRNUČE (voz/h)	
	L	L	L	N	L	N
DDI	1922	2437	1831 L/N	1831	1068 L/N	1068
SPD	870	1264	732	888	732	849
OBSTOJEČE	258	927	1144	2258	549	2807

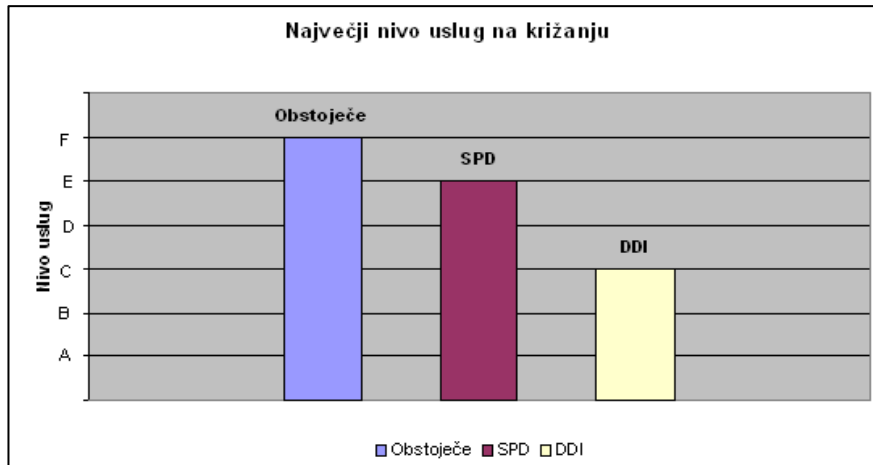
L = Levo, N = Naravnost, D = Desno, L/N = Levo in Naravnost

7.1.2 Največja stopnja nasičenja



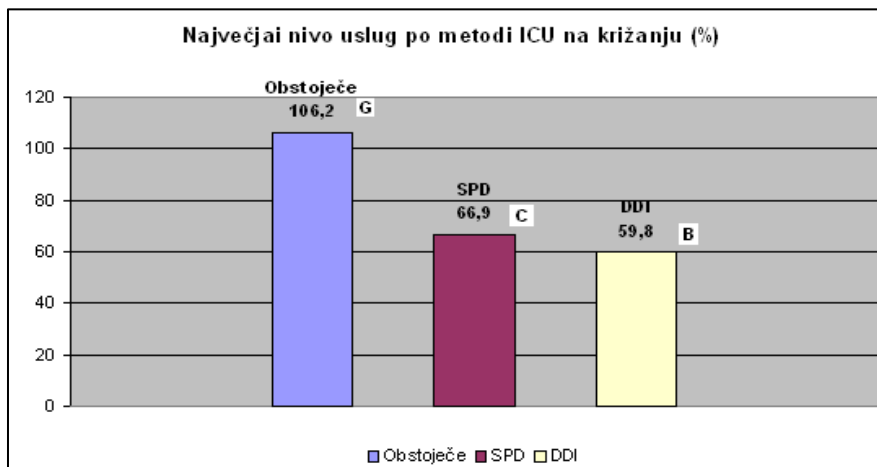
Grafikon 1 – Največja stopnja nasičenja na križanju

7.1.3 Največji nivo uslug



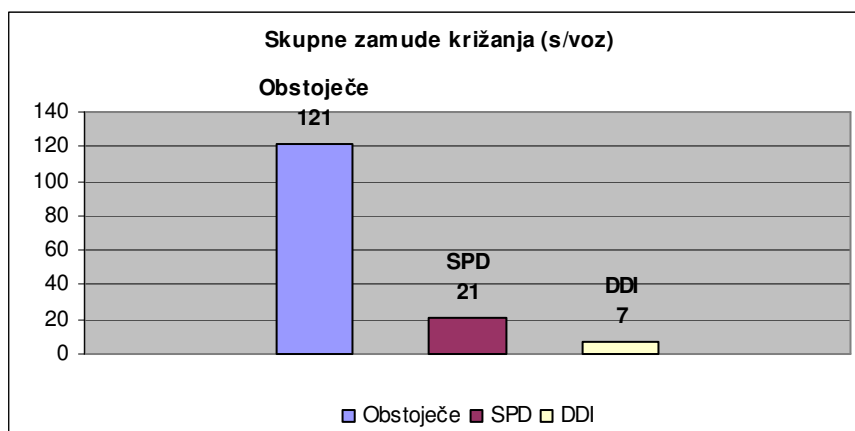
Grafikon 2 – Največji nivo uslug na križanju

7.1.4 Največji nivo uslug po metodi ICU



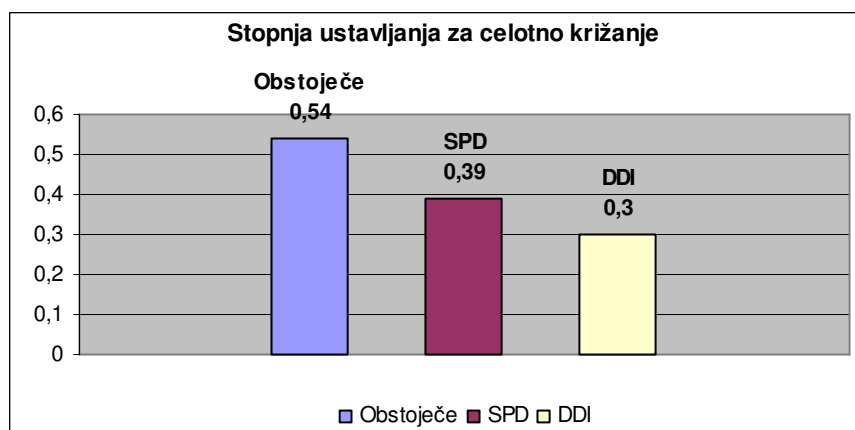
Grafikon 3 – Največji nivo uslug na križanju

7.1.5 Skupne zamude



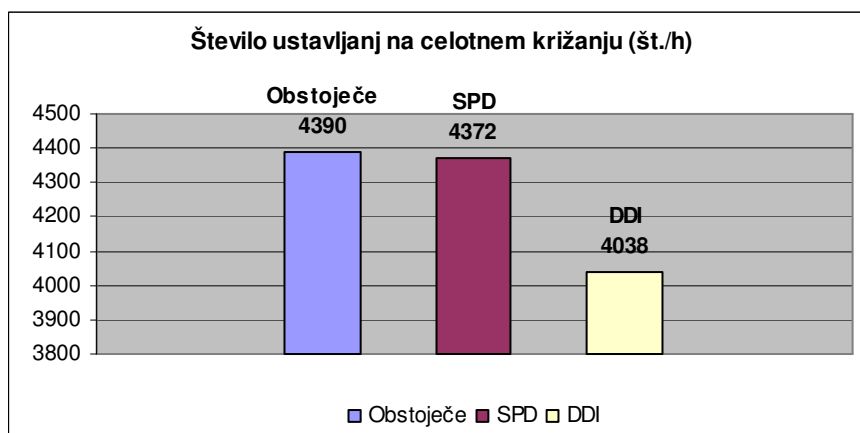
Grafikon 4 – Skupne zamude na križanju

7.1.6 Stopnja ustavljanja



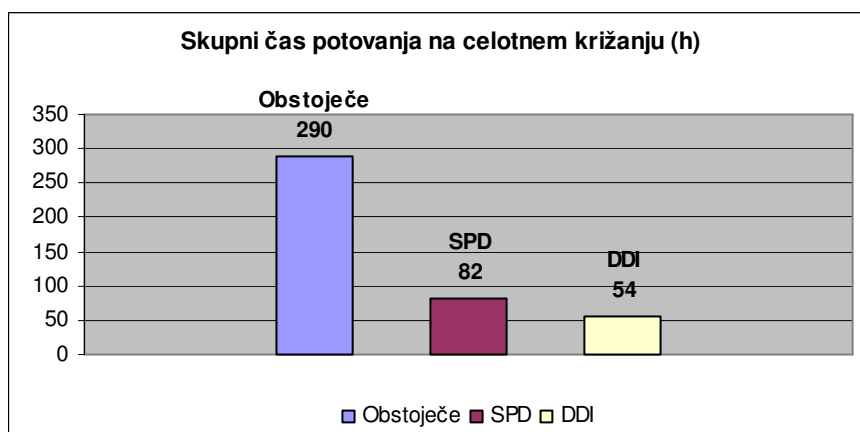
Grafikon 5 – Stopnja ustavljanja na križanju

7.1.7 Število ustavljanj



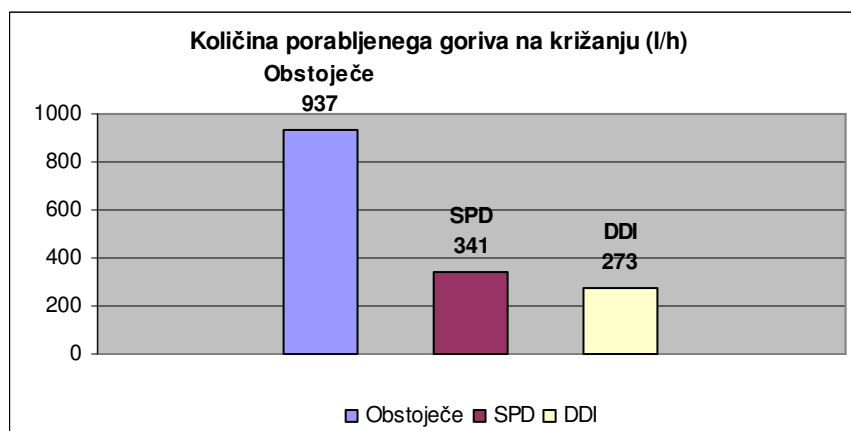
Grafikon 6 – Število ustavljanj na križanju

7.1.8 Skupni čas potovanja



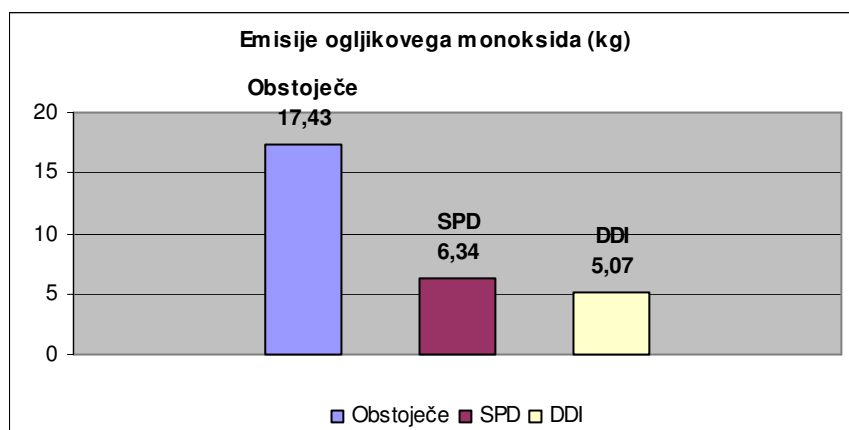
Grafikon 7 – Skupni čas potovanja na križanju

7.1.9 Količina porabljenega goriva

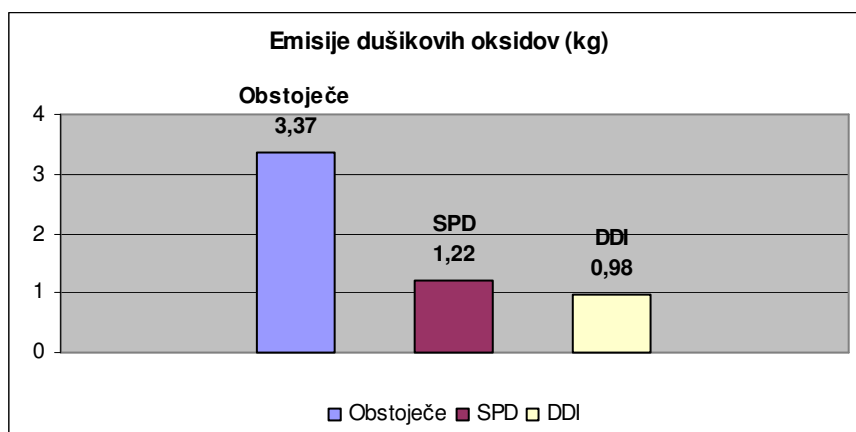


Grafikon 8 – Količina porabljenega goriva na križanju

7.1.10 Emisije križanja



Grafikon 9 – Emisije ogljikovega monoksida (CO) na križanju



Grafikon 10 – Emisije dušikovih oksidov (NOx) na križanju

7.2 Primerjave na križanju med Celovško in severno obvozno cesto

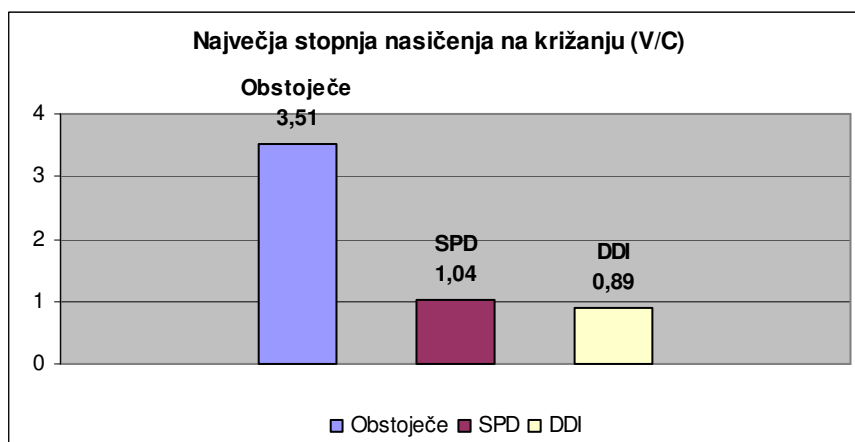
7.2.1 Kapaciteta

Preglednica 11 – Primerjava kapacitete na rampah in glavni smeri

Kapaciteta	Izvozna rampa – PRIMORSKA (voz/h)	Izvozna rampa - MARIBOR (voz/h)	Celovška cesta – CENTER (voz/h)		Celovška cesta – KRANJ (voz/h)	
	L	L	L	N	L	N
DDI	1373	747	2147 L/N	2147	2034 L/N	2034
SPD	648	648	458	1298	687	1561
OBSTOJEČE	767	636	121	2861	183	2536

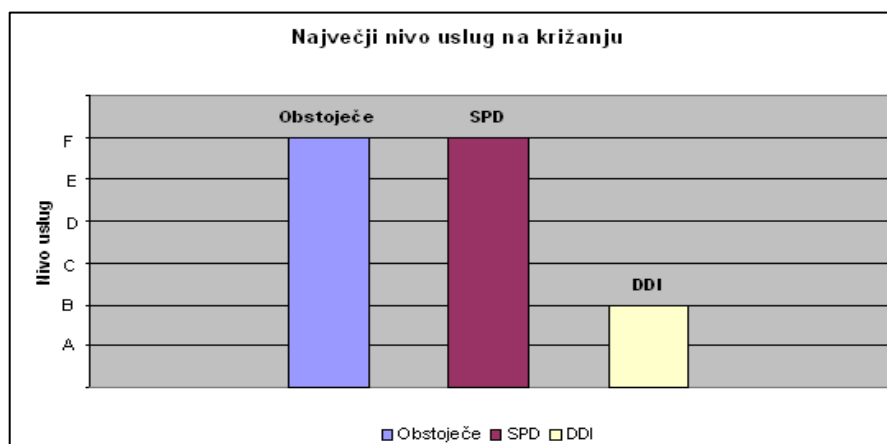
L = Levo, N = Naravnost, D = Desno, L/N = Levo in Naravnost

7.2.2 Največja stopnja nasičenja



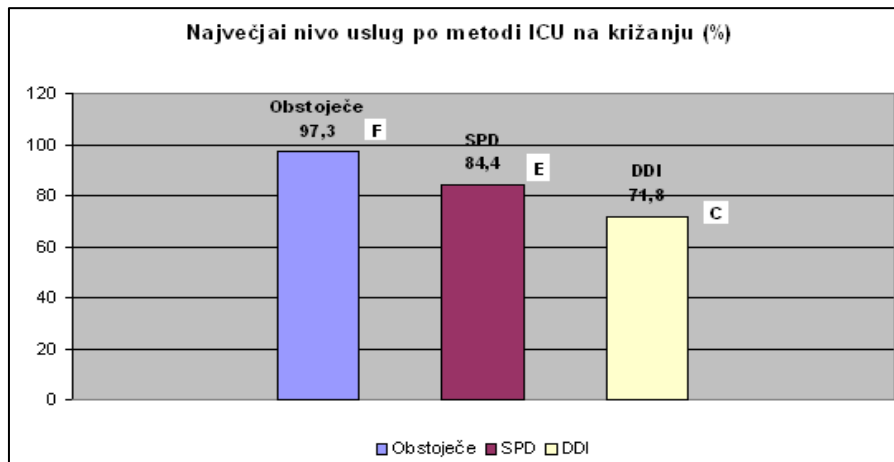
Grafikon 11 – Največja stopnja nasičenja na križanju

7.2.3 Največji nivo uslug



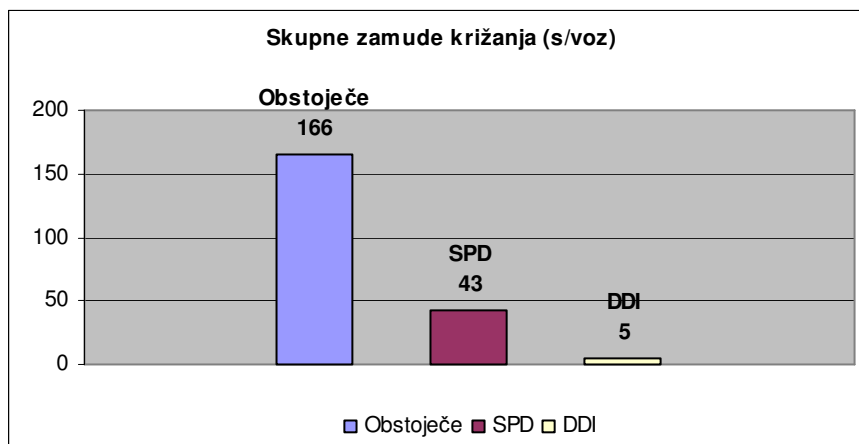
Grafikon 12 – Največji nivo uslug na križanju

7.2.4 Največji nivo uslug po metodi ICU



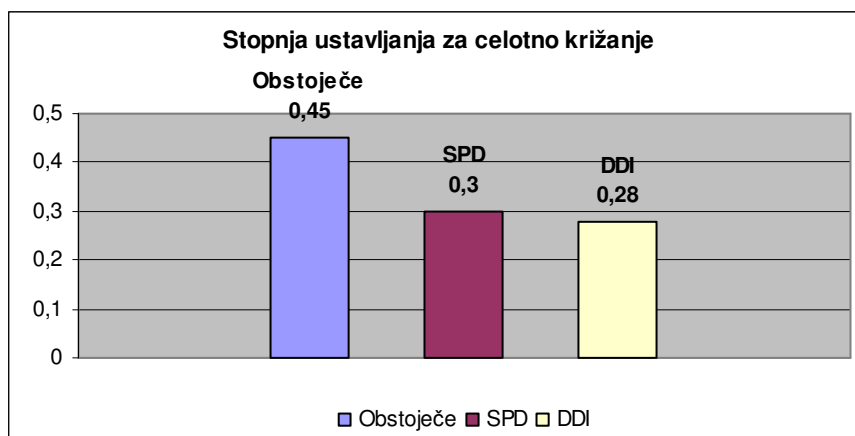
Grafikon 13 – Največji nivo uslug na križanju

7.2.5 Skupne zamude



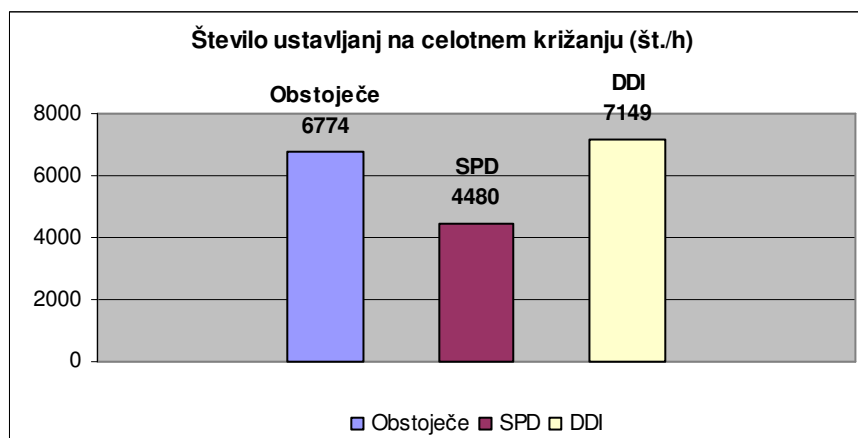
Grafikon 14 – Skupne zamude na križanju

7.2.6 Stopnja ustavljanja



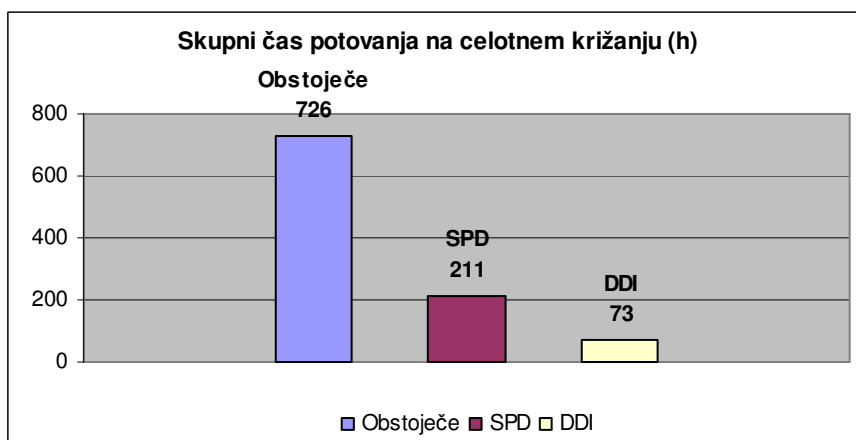
Grafikon 15 – Stopnja ustavljanja na križanju

7.2.7 Število ustavljanj



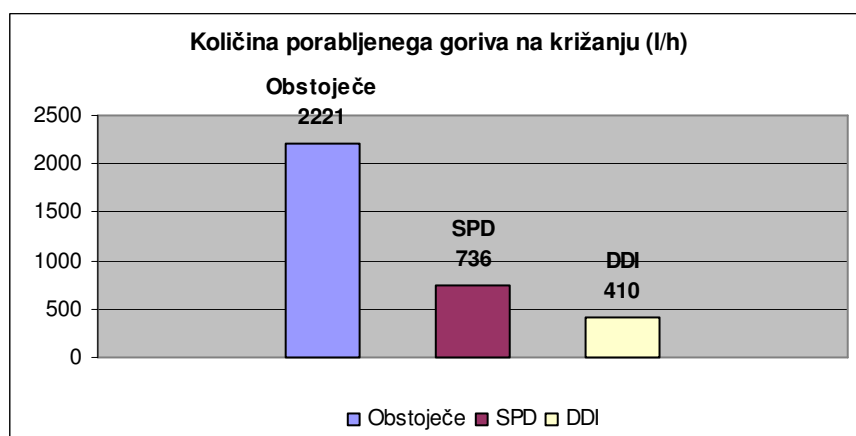
Grafikon 16 – Število ustavljanj na križanju

7.2.8 Skupni čas potovanja



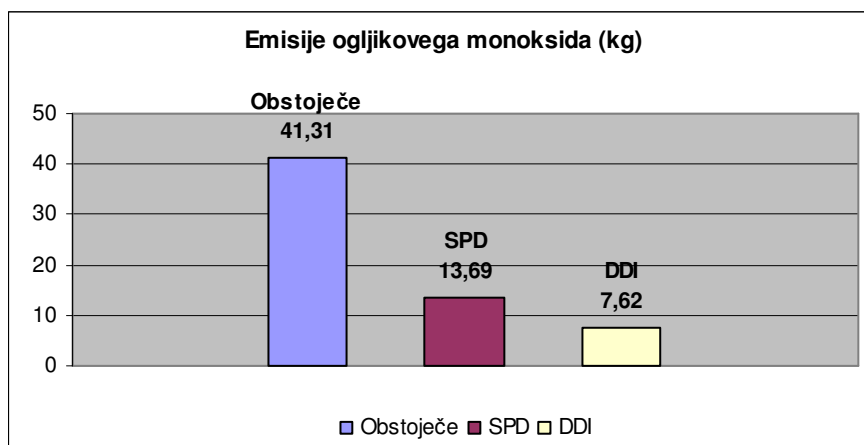
Grafikon 17 – Skupni čas potovanja na križanju

7.2.9 Količina porabljenega goriva

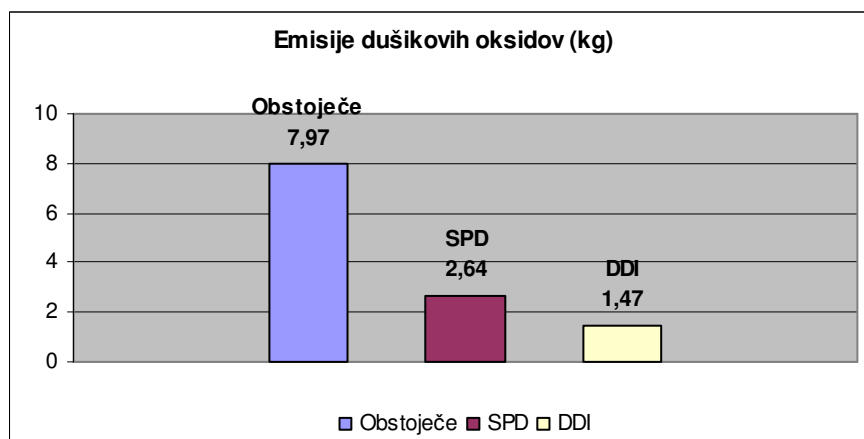


Grafikon 18 – Količina porabljenega goriva na križanju

7.2.10 Emisije križanja



Grafikon 19 – Emisije ogljikovega monoksida (CO) na križanju



Grafikon 20 – Emisije dušikovih oksidov (NOx) na križanju

7.3 Primerjave na križanju med Zasavsko in mestno obvožno cesto

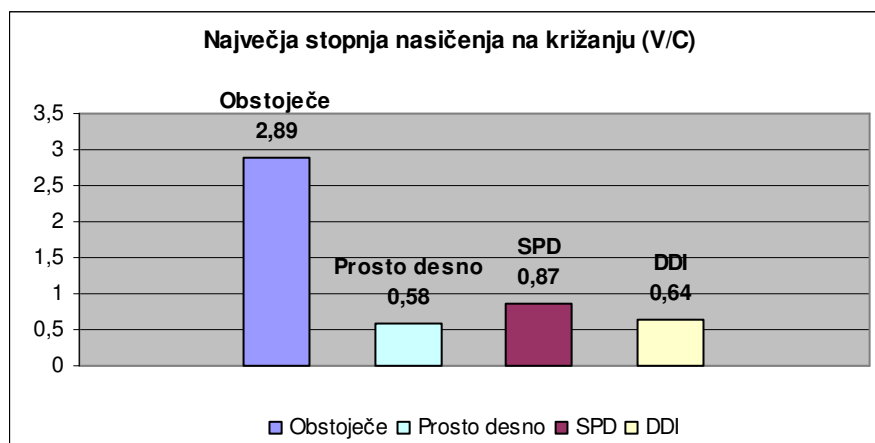
7.3.1 Kapaciteta

Preglednica 12 – Primerjava kapacitete na rampah in glavni smeri

Kapaciteta	Izvozna rampa – LJUBLJANA (voz/h)	Izvozna rampa - MARIBOR (voz/h)	Zasavska cesta – LITIJA (voz/h)		Zasavska cesta – ČRNUČE (voz/h)	
	L	L	L	N	L	N
DDI	669	787	1573 L/N	1573	1053 L/N	1053
SPD	382	382	1111	811	382	859
PROSTO DESNO	354	332	841	1327	597	1304
OBSTOJEČE	354	332	841	1327	597	1304

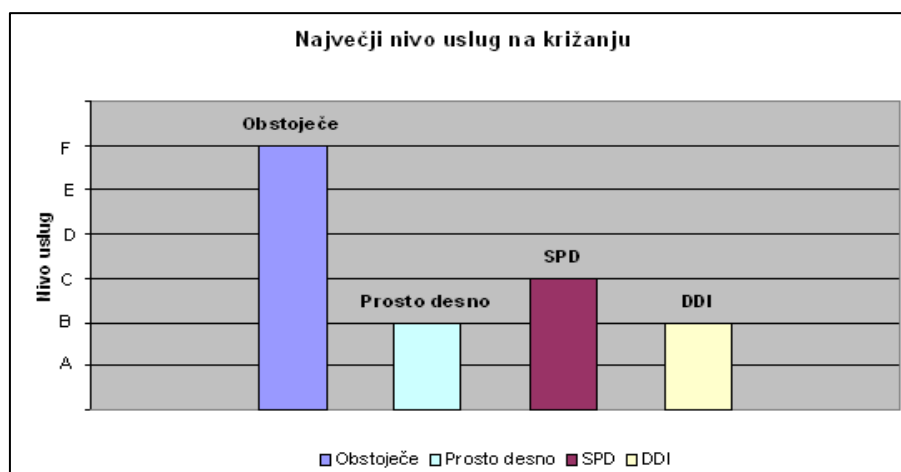
L = Levo, N = Naravnost, D = Desno, L/N = Levo in Naravnost

7.3.2 Največja stopnja nasičenja



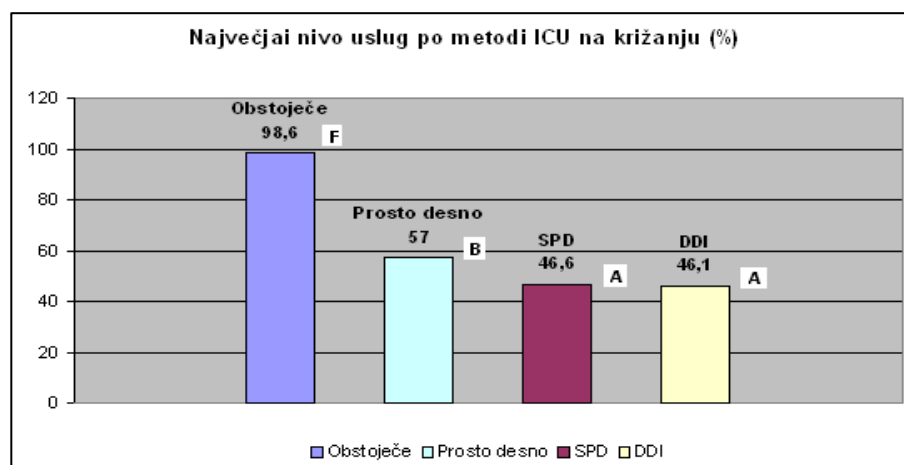
Grafikon 21 – Največja stopnja nasičenja na križanju

7.3.3 Največji nivo uslug



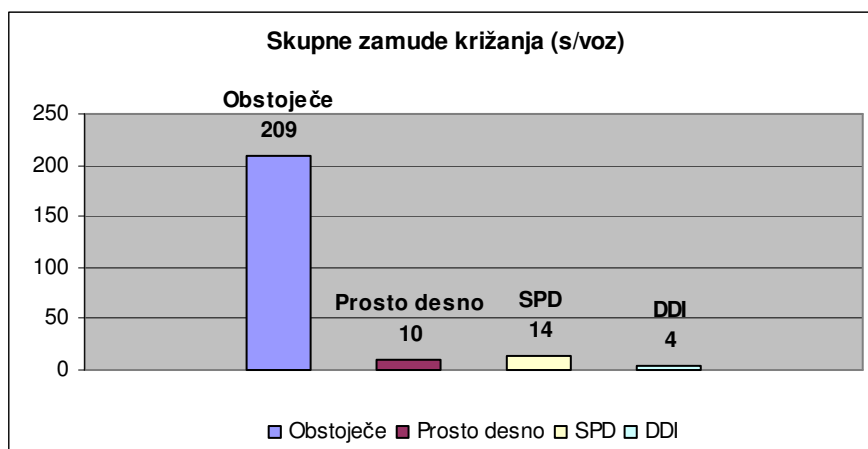
Grafikon 22 – Največji nivo uslug na križanju

7.3.4 Največji nivo uslug po metodi ICU



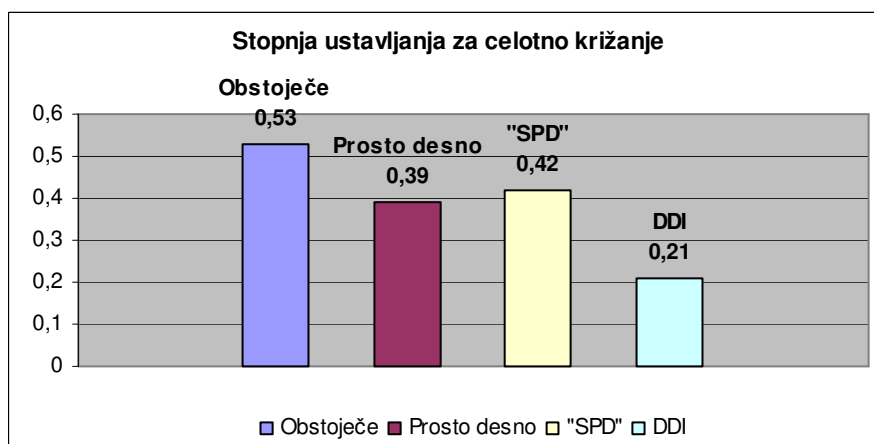
Grafikon 23 – Največji nivo uslug na križanju

7.3.5 Skupne zamude



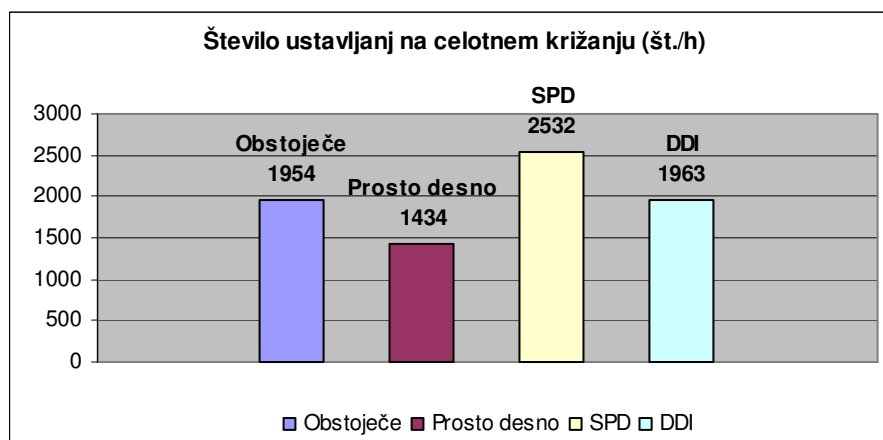
Grafikon 24 – Skupne zamude na križanju

7.3.6 Stopnja ustavljanja



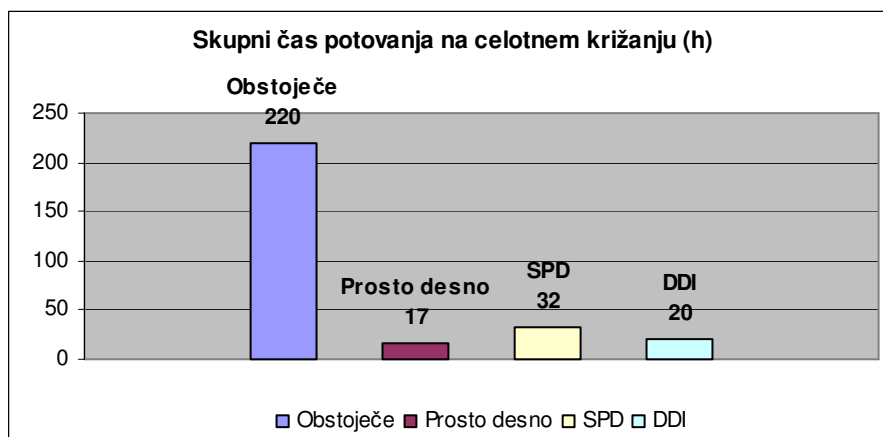
Grafikon 25 – Stopnja ustavljanja na križanju

7.3.7 Število ustavljanj



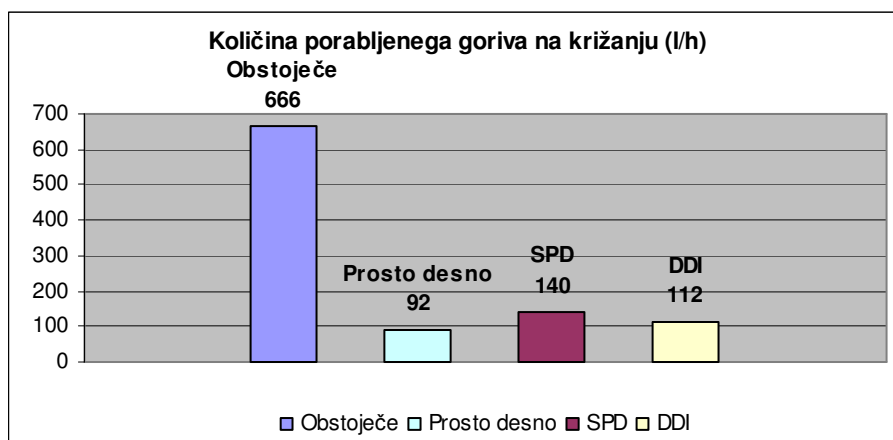
Grafikon 26 – Število ustavljanj na križanju

7.3.8 Skupni čas potovanja



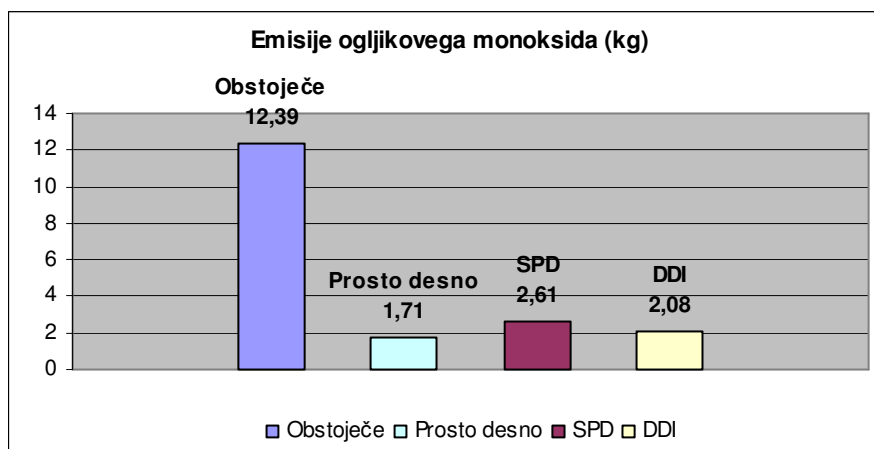
Grafikon 27 – Skupni čas potovanja na križanju

7.3.9 Količina porabljenega goriva

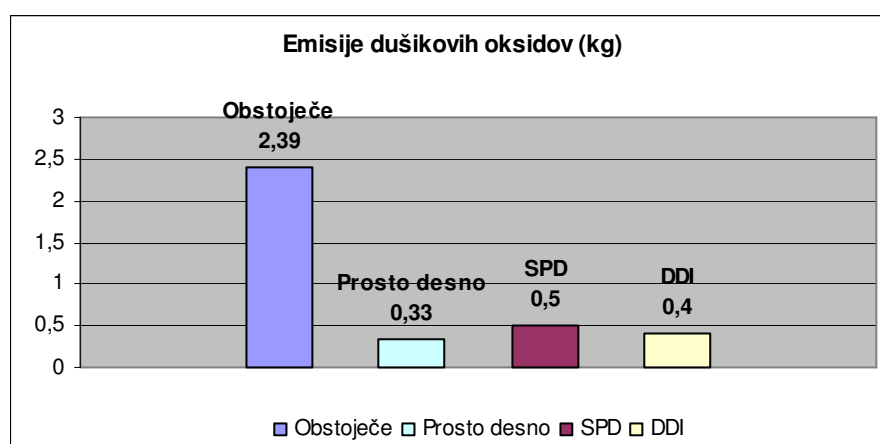


Grafikon 28 – Količina porabljenega goriva na križanju

7.3.10 Emisije križanja



Grafikon 29 – Emisije ogljikovega monoksida (CO) na križanju



Grafikon 30 – Emisije dušikovih oksidov (NOx) na križanju

8 ZAKLJUČKI IN UGOTOVITVE

Konstantno večanje rasti prometa oziroma prometnih obremenitev povzroča na križanjih preobremenjenost. Še posebej se to odraža v mestnih področjih, kjer je zelo veliko prometa. Za zagotovitev čimboljših prometnih uslug je potrebno kakovostno vodenje prometa. Ker imajo klasična diamantna križanja omejeno kapaciteto na križiščih na koncu ramp, je vedno bolj potrebna in smiselna uporaba nekaterih novih učinkovitejših oblik (SPD, DDI) vodenja prometnih tokov.

Vedeti moramo, da problemov s preobremenjenostjo ne moremo reševati samo na enem križišču oziroma križanju, ampak je treba zajeti celoten prometni sistem, kar pa v nalogi ni zajeto. Veliko pripomore k reševanju teh problemov tudi izvajanje prometne politike, kar pomeni upočasnitev rasti prometa osebnih vozil v mestih. To se pravi, da se voznike osvešča o uporabi drugih vrst prevoza (avtobusov, koles, trolejbusov, železnice ...), o zasedenosti osebnih vozil (t. i. car pooling) in podobno.

V nalogi so na treh realnih primerih te nove oblike tudi preizkušene, in sicer na treh diamantnih križanjih na ljubljanski obvoznici, kjer prihaja v koničnih urah do zastojev. Kot je iz naloge razvidno (Poglavje 7: PRIMERJAVE KRIŽANJ), je večina parametrov, s katerimi merimo učinkovitost križišč (skupne zamude, stopnja ustavljanja, skupni čas potovanja, količina porabljenega goriva, nivo uslug (LOS in ICU LOS), emisije ...), boljših od parametrov pri obstoječem stanju.

Na križanju Dunajske in vzhodne obvozne ceste se obe novi obliki vodenja prometnih tokov dobro obneseta. Skupne zamude na vozilo so tudi do 17-krat manjše kot pri obstoječem stanju. Prav tako je veliko manjši skupni čas potovanja in posledično tudi količina porabljenega goriva. Tudi največja stopnja nasičenja še zadošča kriterijem prometnih obremenitev, kar lahko opazimo tudi iz največjega nivoja uslug po metodi ICU, ki znaša 66,9 % za SPD. Vidimo, da so še rezerve v kapaciteti. Edini parameter, ki pokaže slabše rezultate, je število ustavljanj v eni uri, ki je skoraj enak obstoječemu. Z ekološkega stališča sta križanja zelo dobri, saj so emisije tudi do 3-krat manjše, še posebej pri DDI.

Pri drugem križanju med Celovško in severno obvozno cesto, so rezultati za DDI zadovoljivi, medtem ko je pri SPD presežen kriterij prometnih obremenitev, saj znaša največja stopnja

nasičenja 1,04 in največji nivo uslug je F. Morda nas ta podatek zavede in mislimo, da križanje ni dobro, ampak če pogledamo simulacijo v programu Synchro 6.0, vidimo, da promet teče brez večjih posebnosti in zastojev. To dokazuje tudi nivo uslug po metodi ICU, ki znaša 84,4 %. Tudi tukaj so vsi ostali parametri boljši od obstoječih, razen števila ustavljanj. Ta celo pri DDI krepko presega vrednost obstoječega stanja. Skupne zamude so bistveno manjše, kakor tudi skupni čas potovanja in količina porabljenega goriva.

Nič drugače ni tudi pri križanju Zasavske in mestne obvozne ceste (Šentjakob), le da je tukaj še ena varianta pri kateri je omogočeno prosto desno zavijanje vozil, ki prihajajo iz izvozne rampe iz smeri Ljubljane. Zanimivo je dejstvo, da ta varianta ponuja izredno dobre rezultate v primerjavi z obstoječim stanjem, kot tudi do novih oblik vodenja prometnih tokov. Potekanje prometa je tekoče, nivoji uslug zelo dobri in zamude zelo majhne. Tudi ostali parametri, kot so stopnja nasičenja, skupni čas potovanja, poraba goriva in emisije, so zelo dobri. Največji nivo uslug po metodi ICU s 57 % pokaže še velike kapacitetne rezerve.

Največja pomanjkljivost teh novih oblik vodenja prometnih tokov pa je zagotovo to, da se iz izvozne rampe ne da peljati naravnost na uvozno rampo. V naših primerih je to zelo pomembno, saj naprej od uvozne rampe vodi cesta do bližnje soseke. Torej morajo vozila, ki prihajajo po izvozni rampi in hočejo peljati naravnost, najprej na križišču zaviti desno in se nekje obrniti ter peljati nazaj, da lahko zavijejo desno. Ta manever bi bil potreben pri križanju Dunajske in vzhodne obvozne ceste ter Celovške in severne obvozne ceste. Zato je potrebno omeniti predpostavko, da vsa vozila, ki hočejo peljati na rampah naravnost, gredo nazaj po uvozni rampi na avtocesto in jih zato pri prometnih obremenitvah izpustim. Nepoznavanje križanja in zmedenost voznikov bi prav tako delalo težave, vsaj dokler se vozniki ne bi privadili.

Predlagane rešitve oziroma nove oblike bi treba še nadalje obdelati s projektno-tehničnega vidika. Potrebna bi bila tudi ekonomska analiza oziroma primerjava stroškov med razcepnim diamantnim križanjem (DDI) in romбом z zunanjimi pasovi za leve zavijalce (SPD). Na podlagi tega se odloči, katera varianta bi bila primernejša, saj obe dajeta zadovoljive rezultate. Recimo pri križanju Celovške in severne obvozne ceste širitev nadvoza ne bi bila potrebna, saj poteka čez nadvoz že pri obstoječem stanju osem pasov.

Kot lahko vidimo, nove oblike vodenja prometnih tokov dajejo boljše rezultate in so bolj učinkovita kot obstoječa diamantna križanja. Pri naši lokaciji pride do dvoma le zaradi tega, ker se ne da peljati naravnost. Razen, če bi se uredili drugačni pristopi do bližnjih sosek, kar pa za seboj potegne dodatne stroške.

V prihodnosti bi morali projektanti posvečati več pozornosti novim oblikam in začeti graditi namesto najbolj pogostih diamantnih križanj, te bolj zmogljive in učinkovitejše oblike vodenja prometnih tokov.

Zelo smiselno bi bilo tudi narediti nadaljnjo študijo in razviti modifikacijo romba z zunanji pasovi za leve zavijalce (SPD), pri kateri bi bilo možno na rampah peljati naravnost, kar v nalogi ni obdelano.

VIRI

- Kastelic, T. Avtomatske naprave v prometu – skripta.
- Trafficware, 2004. Synchro 6.0, pomoč
- Husch, D., Albeck, J. 2003 EDITION. Intersection capacity utilization, Evaluation procedures for intersections and interchanges
- Stanek, D. Innovative diamond interchange designs: How to increase capacity and minimize cost
http://www.oregonite.org/2007D6/paper_review/D9_44_Staneck_paper.pdf
(27.6.2008)
- Chlewicki, G. 2003. New Interchange and Intersection Designs: The Synchronized Split-Phasing Intersection and the Diverging Diamond Interchange
http://www.urbanstreet.info/2nd_sym_proceedings/volume_2/chlewicki.pdf
(20.6.2008)
- Praveen, K. E., Bared, J. G., Ramanujan, J. Diverging Diamond Interchange and Double Crossover Intersection – Vehicle and Pedestrian Performance
<http://www.ohioite.org/DDI-Paper-Veh-Ped-Oper.pdf> (20.6.2008)
- Rankel, G. 2007. Sodobna izvenivojska križanja mestnih cest. Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 3-6
- Tehnični odbor za pripravo tehničnih specifikacij za javne ceste, 2002 (predlog). TSC 03.343, VEČNIVOJSKI PRIKLJUČKI IN VOZLIŠČA
- Diverging diamond interchange
From Wikipedia, the free encyclopedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Diverging_diamond_interchange (26.6.2008)
- Diamond interchange
From Wikipedia, the free encyclopedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Diamond_interchange (26.6.2008)

- Partial cloverleaf interchange
From Wikipedia, the free encyclopedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Partial_cloverleaf_interchange (26.6.2008)
- Cloverleaf interchange
From Wikipedia, the free encyclopedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Cloverleaf_interchange (26.6.2008)
- Single-point urban interchange
From Wikipedia, the free encyclopedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Single-point_urban_interchange (26.6.2008)
- Diamond Interchanges
Engineering Policy Guide
http://epg.modot.mo.gov/index.php?title=234.2_Diamond_Interchanges (27.6.2008)
- cbrd
Dumbbell Interchange
<http://www.cbrd.co.uk/reference/interchanges/dumbbell.shtml> (22.10.2008)
- cbrd
Cloverleaf
<http://www.cbrd.co.uk/reference/interchanges/cloverleaf.shtml> (22.10.2008)
- cbrd
Roundabout Interchange
<http://www.cbrd.co.uk/reference/interchanges/roundabout.shtml> (22.10.2008)
- cbrd
Diamond Interchange
<http://www.cbrd.co.uk/reference/interchanges/diamond.shtml> (22.10.2008)

- ✦ U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration
<http://www.tfrc.gov/safety/pubs/04091/10.htm> (22.10.2008)

- ✦ System Considerations
<http://www.tfrc.gov/safety/00-0678.pdf> (22.10.2008)

- ✦ An Innovative Design
<http://www.435ddi.com/index.html> (26.6.2008)

- ✦ Diverging Diamond Interchange
Discovering Diamonds in Michigan
<http://www.ohm-advisors.com/ddi/index.cfm> (22.10.2008)