

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:

Gašper Rankel

Sodobna izvennivojska križanja mestnih cest

Diplomska naloga št.: 2948

Mentor:

doc. dr. Tomaž Maher

Ljubljana, 24. 4. 2007

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani GAŠPER RANKEL izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »SODOBNA IZVENNIVOJSKA KRIŽANJA MESTNIH CEST«.

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

Ljubljana, 13.04.2007

BIIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.739:656.1(043.2)
Avtor:	Gašper Rankel
Mentor:	doc. dr. Tomaž Maher
Naslov:	Sodobna izvennivojska križanja mestnih cest
Obseg in oprema:	66 str., 18 pregl., 10 graf., 16 sl.
Ključne besede:	križišče, sodobno križišče, dvonivojsko križišče, semaforizirano križišče, nesemaforizirano križišče, krožno križišče

Izvodček

Naloga opisuje in primerja različna sodobna mestna križanja. Mestna križanja so lahko problematična, saj urbano okolje prostorsko omejuje zadovoljivo vodenje prometa z običajnimi vrstami križišč. Zato uporabljamo večnivojska križišča, ki tokove razdelijo v več delov, v katerih potem operacije zavijanja in razvrščanja lažje potekajo. Z večjim volumnom križišča zmanjšamo njegovo tlorisno površino. Za primerjavo z ostalimi križišči sta obdelani nivojsko semaforizirano križišče in nivojsko krožno križišče. V začetku naloge opisane lastnosti prometnih tokov in lastnosti njihovega vodenja podajajo osnove za nadaljnjo obravnavo križišč. Opisane so oblike križišč, njihove prednosti in slabosti, za vsa križišča pa je tudi opisano vodenje pešcev in omenjen njihov vpliv na kakovost prometnega vodenja. V nalogi so uporabljena naslednja dvonivojska križišča: krožno križišče z vodeno smerjo v svojem nivoju, dvonivojsko krožno križišče, dvonivojsko semaforizirano križišče in dvonivojsko nesemaforizirano križišče. Rešitve so uporabljene na križišču Zmajski podvoz. Uporabljene so prometne obremenitve, ki naj bi se po študiji prometnih obremenitev »Prometna ureditev območja Ljubljane« (FGG, 2004) pojavile na obravnavanem območju ob koncu planske dobe. Po omenjeni študiji naj bi bilo križišče Zmajski podvoz čez dvajset let zelo obremenjeno: več kot 8500 enot osebnih vozil na uro, kar je mnogo več kot zmorej običajna križišča. Križišča so analizirana z analitičnim programskim orodjem SIDRA 3.1 in mikrosimulacijskim računalniškim orodjem TSIS 5.1. V zadnjem delu naloge so obravnavana križišča primerjana med sabo. Naloga pokaže, da vse izvennivojske rešitve ponujajo zadovoljive rešitve problema velikih obremenitev križišča in da nivojske rešitve podanim obremenitvam ne ustrezajo.

BIBLIOGRAFIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	625.739:656.1(043.2)
Author:	Gašper Rankel
Supervisor:	Tomaž Maher, Ph. D. C. E.
Title:	Modern multilevel urban road intersections
Notes:	66 p., 18 tab., 10 ch., 16 fig.
Key words:	intersection, modern intersection, two level intersection, signalized intersection, nonsignalized intersection, roundabout

Abstract

The work is describing and comparing different modern urban intersections. Urban intersections can be a problem since urban space is limiting traffic control to be satisfying. This is the reason for using multi-level intersections which divide traffic flows to few parts where operations of turning and sorting between the lanes are easily made. With bigger intersection volume we decrease its ground plan area. One-level signalized intersection and one-level roundabout are analyzed for the comparison with other intersections. First properties of traffic flows and properties of traffic control which represent some basics for further intersection analyses are described. The two-level intersections used in this work are: roundabout with one direction in its own level, two-level roundabout, two-level signalized intersection and two-level non-signalized intersection. Forms of intersections, their advantages and disadvantages, pedestrian movement paths, and their influence on traffic flows are described. These options are used on Zmajski podvoz intersection. Traffic volumes used are the ones that are supposed to appear regarding to the study »Traffic regulation of the Ljubljana passenger station« (FGG, 2004) on the discussed area at the end of the planned period. Regarding to the study the Zmajski podvoz intersection will be very burdened; over 8500 units of personal vehicles per hour which is much more than the usual intersections can handle. The intersections are analysed with analytic program tool SIDRA 3.1 and micro-simulation tool TSIS 5.1. Finally the diploma deals with the comparison of the intersections. All the multi-level solutions offer satisfying solutions of the great traffic volume problem and the one-level solutions do not suit the flows.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Namen in cilji dela.....	1
1.2	Razdelitev vsebine	2
2	OSNOVE.....	3
2.1	Križišča	3
2.2	Značilne lastnosti prometnega toka	3
2.3	Težave, ki nastanejo ob premajhni prepustnosti križišč.....	5
2.4	Semaforizacija	5
2.4.1	Vmesni časi.....	5
2.4.2	Dolžina ciklusa	6
2.4.3	Zeleni časi.....	6
3	VRSTE KRIŽIŠČ – ZNAČILNOSTI, PREDNOSTI , SLABOSTI	7
3.1	Štirikrako semaforizirano križišče	7
3.1.1	Prednosti semaforiziranega križišča	8
3.1.2	Slabosti semaforiziranega križišča	8
3.1.3	Vodenje pešcev v nivojskem semaforiziranem križišču	9
3.2	Krožno križišče.....	9
3.2.1	Prednosti krožnih križišč.....	10
3.2.2	Slabosti krožnih križišč	11
3.2.3	Vodenje pešcev v krožnem križišču	11
3.2.4	Turbo krožno križišče.....	11
3.3	Dvonivojsko krožno križišče	13
3.3.1	Prednosti dvonivojskega krožnega križišča	15
3.3.2	Slabosti dvonivojskega krožnega križišča.....	15
3.3.3	Vodenje pešcev v dvonivojskem krožnem križišču.....	15
3.3.4	Analiza učinkovitosti	16
3.4	Dvonivojsko semaforizirano križišče	18
3.4.1	Prednosti dvonivojskega semaforiziranega križišča.....	19
3.4.2	Slabosti dvonivojskega semaforiziranega križišča	21

3.4.3	Vodenje pešcev v dvonivojskem semaforiziranem križišču	22
3.5	Dvonivojsko nesemaforizirano križišče	24
3.5.1	Prednosti dvonivojskega nesemaforiziranega križišča	25
3.5.2	Slabosti dvonivojskega nesemaforiziranega križišča	26
3.5.3	Vodenje pešcev v dvonivojskem nesemaforiziranem križišču	26
4	METODOLOGIJA DELA	27
5	UPORABA SODOBNIH REŠITEV NA REALNEM PRIMERU	29
5.1	Obstoječe stanje	29
5.2	Podatki s konca planske dobe	30
5.3	Konstruiranje križišč	33
6	OBIČAJNO ŠTIRIKRAKO SEMAFORIZIRANO KRIŽIŠČE	34
6.1	Geometrija križišča	34
6.2	Povzetek simulacije nivojskega semaforiziranega križišča	35
6.3	Dogajanje v križišču	35
7	VARIANTA Z GRABLOVIČEVO IN KOLINSKO ULICO	37
7.1	Geometrija križišča	37
7.2	Prometne obremenitve	38
7.3	Povzetek simulacije krožišča s šestimi uvozi	38
7.4	Dogajanje v križišču	39
8	KROŽNO KRIŽIŠČE Z VODENO SMERJO V SVOJEM NIVOJU	40
8.1	Geometrija križišča	40
8.2	Prometne obremenitve	42
8.3	Povzetek simulacije križišča z vodeno smerjo v svojem nivoju	42
8.4	Dogajanje v križišču	43
9	DVNIVOJSKO KROŽNO KRIŽIŠČE	44
9.1	Obremenitve križišča	44
9.2	Geometrija križišča	44
9.3	Povzetek simulacije dvonivojskega krožnega križišča	46
9.4	Dogajanje v križišču	46
10	DVNIVOJSKO SEMAFORIZIRANO KRIŽIŠČE	47
10.1	Obremenitve križišča	47
10.2	Geometrija križišča	47

10.3	Ciklus, zeleni časi.....	48
10.4	Povzetek simulacije dvonivojskega semaforiziranega križišča.....	49
10.5	Dogajanje v križišču	49
11	DVONIVOJSKO NESEMAFORIZIRANO KRIŽIŠČE.....	50
11.1	Geometrija križišča	50
11.2	Povzetek simulacije dvonivojskega nesemaforiziranega križišča.....	51
11.3	Dogajanje v križišču	52
12	PRIMERJAVA KONSTRUIRANIH KRIŽIŠČ	53
12.1	Tlorisna površina križišč.....	53
12.2	Lastnosti križišč.....	54
12.2.1	Kapaciteta.....	54
12.2.2	Zamude	56
12.2.3	Povprečna hitrost.....	57
12.2.4	Stopnja ustavljanja.....	58
12.2.5	Nivoji uslug	59
12.2.6	Poraba goriva.....	60
12.2.7	Emisije križišč.....	61
12.3	Vrednotenje rezultatov.....	62
13	ZAKLJUČEK.....	63
VIRI	66

SEZNAM PREGLEDNIC

Preglednica 1: Štirifazni krmilni sistem nivojskega križišča	9
Preglednica 2: Rezultati analize učinkovitosti	17
Preglednica 3: Vodenje pešcev čez vozišče dvonivojskega semaforiziranega križišča	24
Preglednica 4: Zeleni časi nivojskega štirikrakega semaforiziranega križišča	35
Preglednica 5: Povzetek simulacije semaforiziranega križišča	35
Preglednica 6: Povzetek simulacije krožišča s šestimi uvozi	38
Preglednica 7: Povzetek simulacije krožnega križišča z vodeno smerjo v svojem nivoju	42
Preglednica 8: Povzetek simulacije dvonivojskega krožnega križišča	46
Preglednica 9: Zeleni časi dvonivojskega semaforiziranega križišča	49
Preglednica 10: Povzetek simulacije dvonivojskega semaforiziranega križišča	49
Preglednica 11: Povzetek simulacije dvonivojskega nesemaforiziranega križišča	51
Preglednica 12: Primerjava kapacitet in nasičenja križišč	54
Preglednica 13: Primerjava zamud križišč	56
Preglednica 14: Primerjava povprečnih hitrosti križišč	57
Preglednica 15: Primerjava stopenj ustavljanja križišč	58
Preglednica 16: Primerjava nivojev uslug križišč	59
Preglednica 17: Primerjava porabe goriva v križiščih	60
Preglednica 18: Primerjava emisij križišč	61

SEZNAM GRAFIKONOV

Grafikon 1: Povprečen čas potovanja skozi križišče v odvisnosti od levih zavijalcev.....	17
Grafikon 2: Obremenitve in kapaciteta križišč.....	54
Grafikon 3: Izkoriščenost križišč.....	55
Grafikon 4: Zamude vozil v križiščih.....	56
Grafikon 5: Povprečna hitrost v križiščih.....	57
Grafikon 6: Stopnja ustavljanja v križiščih.....	58
Grafikon 7: Nivoji uslug križišč.....	59
Grafikon 8: Poraba goriva križišč.....	60
Grafikon 9: Emisije ogljikovega monoksida.....	61
Grafikon 10: Emisije ogljikovodikov in dušikovih oksidov.....	61

SEZNAM SLIK

Slike 1a, 1b, 1c: Geometrija nivojskega in obeh nivojev izvennivojskega krožnega križišča .	16
Slika 2: Vodenje pešcev v svojem nivoju	23
Slika 3: Prometne obremenitve križišča Šmartinska – Topniška (eov/h)	31
Slika 4: Diagram prometnih obremenitev križišča Šmartinska – Topniška (eov/h).....	31
Slika 5: Prometne obremenitve križišča Šmartinska – Grablovičeva (eov/h).....	32
Slika 6: Diagram prometnih obremenitev križišča Šmartinska – Grablovičeva (eov/h)	32
Slika 7: Geometrija nivojskega štirikrakega semaforiziranega križišča	34
Slika 8: Geometrija krožišča s šestimi uvozi.....	37
Slika 9: Prometne obremenitve krožišča s šestimi uvozi	38
Slika 10: Geometrija krožnega križišča z vodeno smerjo v svojem nivoju	41
Slika 11: Prometne obremenitve krožnega križišča z vodeno smerjo v svojem nivoju.....	42
Slika 12: Obremenitve zgornjega in spodnjega nivoja dvonivojskega krožnega križišča	44
Slika 13: Geometrija dvonivojskega krožnega križišča	45
Slika 14: Geometrija dvonivojskega semaforiziranega križišča.....	48
Slika 15: Geometrija dvonivojskega nesemaforiziranega križišča	51
Slika 16: Primerjava porabe prostora križišč	53

1 UVOD

1.1 Namen in cilji dela

Namen diplomske naloge je primerjava različnih sodobnih izvennivojskih križanj mestnih cest s stališča prepustnosti. Obravnavana so:

- dvonivojsko signalizirano križišče;
- dvonivojsko nesignalizirano križišče;
- dvonivojsko krožno križišče;
- večje krožno križišče, v katerega se steka šest cest;
- večje krožno križišče z vodeno smerjo v svojem nivoju;
- za primerjavo je omenjeno in obdelano tudi običajno nivojsko semaforizirano križišče.

Zaradi rasti prometnih obremenitev in lokalnih koncentracij le-teh količina vozil na nekaterih križiščih postane večja od kapacitete teh križišč. Potrebne so izboljšave križišč, na primer dodajanje uvoznih in izvoznih pasov, semaforizacija, konstruiranje krožnih križišč in podobno. Zgodi pa se, da postanejo obremenitve križišč tako velike, da jih z običajnimi nivojskimi rešitvami ne moremo obvladovati. Pojavi se potreba po projektiranju novih, modernejših križišč z visokimi kapacitetami. V smislu vodenja prometnih tokov so pozitivna izvennivojska križišča, ki razdelijo prometne tokove na več delov, kar olajša nadaljnje operacije razvrščanja, zavijanja, odcepljanja in združitve prometnih tokov.

Doslej znane izvennivojske rešitve niso nujno primerne za mestna območja, saj zahtevajo preveč prostora (primer: detelja), imajo pa lahko tudi neugoden krmilni sistem (primer: diamantno križišče).

V tej nalogi so torej obravnavane različne vrste dvonivojskih križišč, ki so nato analizirane na primeru ljubljanskega križišča Zmajski podvoz v bližini ljubljanske glavne železniške postaje, v katerem se stikajo Vilharjeva cesta, Topniška ulica ter južni in vzhodni krak Šmartinske ceste. Poudariti je potrebno, da naloga obravnava le omenjeno križišče in ne celotnega prometnega sistema, oziroma vpliva vpeljave katere od opisanih rešitev na ostala bližnja

križišča. Križišče je tako na nek način odrezano od ostalih križišč, saj študija reševanja celotnega prometnega sistema okolice omenjenega križišča v nalogi ni zajeta.

Podatki o obremenitvah so vzeti iz končnega poročila študije vpliva različnih faktorjev na prometne tokove z naslovom Prometna ureditev območja potniške postaje Ljubljana (FGG, 2004). Za primerjavo je na omenjeni lokaciji obdelano tudi običajno nivojsko križišče ter rešitev s krožnim križiščem, ki vključuje poleg omenjenih še Kolinsko in Grablovičevo ulico.

Križišča morajo ustrezati prostorskim pogojem lokacije. Za mestne ceste načeloma velja, da nimajo veliko prostora za križišča in mora biti zato ta prostor čimbolje izkoriščen (ustvariti je potrebno čim večjo kapaciteto na razmeroma majhnem prostoru).

Za vsako obravnavano križišče posebej so obdelana tudi vodenja pešcev. V izvenivojskih križiščih so hitrosti (tudi zaradi visokih kapacitet križišč) načeloma večje kot v klasičnih križiščih, zato je potreben večji poudarek na varnosti pešcev. Če je cilj semaforizacije križišča le varnost pešcev, pa je spet pod vprašajem učinkovitost križišča s stališča vodenja vozil (sploh v primerih križišč, ki v osnovi niso semaforizirana; na primer krožna, dvonivojska nesemaforizirana križišča in podobno).

1.2 Razdelitev vsebine

Naloga je razdeljena v štiri smiselne sklope. Prvi del zajema osnovne pojme, uporabljene v nalogi, ki predstavljajo osnovo za razumevanje postopkov dela in upoštevanje realnih podatkov, ter za analiziranje uporabljenih križišč. V drugem delu naloge so opisane variante križišč, in sicer njihova oblika, prednosti in slabosti ter vodenje pešcev. V tretjem sklopu so prej opisana križišča uporabljena na realnem primeru, četrti del naloge pa vsebuje ugotovitve o primernosti vpeljave posamezne vrste križišča na obravnavano lokacijo ter izbira najprimernejših variant s stališča prepustnosti in izvedbe.

2 OSNOVE

2.1 Križišča

Križišča so prometne površine, na katerih se združujejo, cepijo ali križajo prometni tokovi. Oblikovana in zgrajena morajo biti tako, da:

- promet lahko varno poteka;
- se pogoji gibanja prometnih tokov čimbolj približajo pogojem in udobnosti odprte ceste;
- s pravilnim dimenzioniranjem in medsebojnim usklajevanjem vseh vplivnih elementov zagotovimo potrebno prepustnost;
- so stroški za doseg varnosti in kapacitete v sorazmerju z doseženim uspehom (križišče mora biti »ekonomično«).

2.2 Značilne lastnosti prometnega toka

Za opisovanje prometnih tokov oziroma gibanja vozil so vpeljani določeni parametri. Na tem mestu so omenjeni le najpomembnejši:

- Pretok vozil: število vozil, ki prevozi določen odsek ceste v enoti časa v eni smeri (za enosmerne ceste) ali v dveh smereh (za dvosmerne ceste).
- Gostota prometnega toka: število vozil na enoto dolžine prometnice, glede na vozni pas, smer (pri enosmernih cestah) ali na obe smeri (pri dvosmernih cestah).
- Hitrost prometnega toka: hitrost, ki je enaka srednji vrednosti hitrosti 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, če križišče ustreza potrebam prometnih tokov – preko zamud in/ali dolžin kolon nam pove, za kako kvalitetno 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.

Na nesemaforiziranih križiščih so kapaciteta in čakalni časi na voznih pasovih neprednostnih priključkov odvisni od tega, koliko zadostnih časovnih razmakov med vozili na prednostnih smereh lahko izkoristijo vozila iz neprednostnih smeri, da izvršijo zeleno prometno operacijo vključevanja ali prečkanja prometnega toka. Ob koncu planske dobe je še zadovoljiva stopnja nasičenja $X = 0.85$, ko je dosežen kriterij prometnih obremenitev. Čakalni časi oziroma konični nivo uslug pa je lahko E, ko je dosežen kriterij čakalnih časov. V primeru nivoja uslug F je potrebno izvesti ustrezne ukrepe za povečanje kapacitete križišča (razširitev, semaforizacija in drugo) že pred iztekom planske dobe.

Pri semaforiziranih križiščih je prometna uspešnost odvisna predvsem od stopnje nasičenosti posameznih smeri, poznana tudi kot $X = V/C$, 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 samostojne 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 porazdelitv zelenih časov (čakalni časi pri rdečem signalu). Nivo uslug E kaže na dosežen kriterij čakalnih časov, nivo uslug F pa na presežen kriterij.

Pri krožnih križiščih je kapaciteta odvisna od zmogljivosti priključkov. Na to vplivajo poleg splošnih geometrijskih elementov krožnega križišča še geometrijski elementi uvoza. Stopnja nasičenosti priključkov naj ne bi presegla $X = 0.85$, še sprejemljivi nivoji uslug pa so E.

2.3 Težave, ki nastanejo ob premajhni prepustnosti križišč

Težava križišč s premajhno kapaciteto za dejanske obremenitve je prenasičenost. Pojavijo se dolge kolone vozil pred križiščem, posamezne smeri se med trajanjem zelene luči ne izpraznijo, čakalni časi se podaljšujejo, stopnja ustavljanja se poveča, obremenitev okolja z izpušnimi plini je velika, pojavi se živčnost voznikov in podobno.

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

Eno slabo dimenzionirano križišče lahko v najslabšem primeru torej pripelje tudi do zastoja celotnega sistema križišč, kar včasih daje občutek, da je celoten prometni sistem preslabo dimenzioniran za obstoječe prometne razmere. Zato je pri reševanju podobnih problemov potrebno iskati rešitve na celotnem sistemu križišč, ne le na enem križišču. Pozitivno vpliva tudi osveščanje voznikov o uporabi javnega prevoza, o večjem številu oseb na vozilo in podobno.

2.4 Semaforizacija

Podane so osnove semaforizacije, potrebne za obdelavo nivojskega štirikrakega semaforiziranega in dvonivojskega semaforiziranega križišča.

Svetlobno signalne naprave postavljamo zaradi povečanja prometne varnosti, zaradi bolj tekočega prometnega poteka 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.

2.4.1 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 potrebno, da so pogosto prav pešci vzrok za dolge vmesne čase (sploh pri večjih križiščih) in je zato razmišljanje o izvenivojskih prehodih za pešce vsekakor na mestu.

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. Manj kot imamo torej faz, manj je vmesnih časov in zamude so manjše. Zato je, kar se tiče izgube zelenih časov, bolj primerna uporaba dvofaznih sistemov kot večfaznih. Vendar dvofazni sistem morda ne zadostuje prometnim obremenitvam (na primer: naravnost vozeči ovirajo leve zavijalce z nasprotne smeri, zato so le-ti vodeni neučinkovito, nivo uslug je F). Za rešitev tega problema se lahko uporabi dvonivojsko semaforizirano križišče, opisano v nadaljevanju, ki ima le dvofazni krmilni sistem, vendar je vseeno vsaka smer vodena posebej (razen naravnost vozečih in desnih zavijalcev – ti so vodeni v isti fazi, saj se ne ovirajo).

2.4.2 Dolžina ciklusa

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

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

2.4.3 Zeleni časi

Zeleni čas 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 smeri, pospeškov vozil, njihove hitrosti, če je križišče prenasičeno, pa tudi od dolžine ciklusa.

3 VRSTE KRIŽIŠČ – ZNAČILNOSTI, PREDNOSTI, SLABOSTI

Vsaka vrsta križišč ima svoje prednosti in slabosti, ki so odvisne od značilnosti prometnih tokov, lege križišča, njegove oblike in podobno. V nadaljevanju so opisane značilnosti križišč, obravnavanih v tej nalogi.

3.1 Štirikrako semaforizirano križišče

V nivojskih štirikrakah križiščih se prometni tokovi sekajo, cepijo in družijo na isti površini, zato v smislu zagotavljanja varnosti pri izvajanju teh operacij predvidimo svetlobno signalne naprave – semaforje. Najbolj varno krmiljenje je tisto, kjer ima vsaka smer svojo fazo, tako da v večjih, prometno bolj obremenjenih križiščih, izvedemo štirifazno krmiljenje prometa (primer štirifaznega krmiljenja: Preglednica 1). Vozila, katerih poti se sekajo, vodimo ločeno in tako zmanjšamo možnost morebitnih nesreč, povečamo varnost pešcev in podobno. Vendar ima taka rešitev druge negativne posledice, to so večji vmesni časi (opisani že v poglavju 2.4.1: Vmesni časi) in večji čakalni časi pri rdeči luči. Pri štirifaznem krmiljenju namreč tri smeri vedno čakajo pri rdeči luči, medtem ko je odprta le ena smer. V tem času se lahko pred semaforji z rdečo lučjo pojavijo dolge kolone vozil, ki se v najslabšem primeru v času zelene luči ne morejo izprazniti, zato se povečujejo in križišče postane neučinkovito. Po drugi strani pa semaforji omogočajo vključitev vseh smeri v križišče, kar bi bilo v primeru velikih nasičenosti, na primer za vozila z neprednostne ceste, v primeru nesemaforiziranega križišča morda celo nemogoče.

V križišču, ki ga obravnava ta naloga (križišče Zmajski podvoz, kjer se sekajo Vilharjeva cesta, Topniška ulica, Šmartinska cesta in Šmartinska cesta – jug), se pasovi zaradi velikih uvoznih prometnih tokov delijo po smereh, v katere želijo vozila, kar je običajno pri večjih križiščih. Tako imamo posebej pasove za leve zavijalce, za vozila, ki gredo naravnost in po potrebi za desne zavijalce. Poseben pas za desne zavijalce niti ni potreben, saj se le-te lahko vodi tudi skupaj z naravnost vozečimi, razen če se jih kanalizira in dovoli njihov prehod tudi, ko imajo naravnost vozeči s pravokotnih smeri rdečo luč.

3.1.1 Prednosti semaforiziranega križišča

- Križišče omogoča vsem tokovom neovirano (odvisno od načina krmiljenja in izbire faz) vključitev in vožnjo skozi križišče.
- Izvedba križišča oziroma njegova rekonstrukcija je relativno enostavna in ekonomična (ob premajhni prepustnosti se križišče rešuje z dodajanjem uvoznih pasov po posameznih smereh, lahko zadostuje le sprememba krmilnega programa – dodajanje, podaljševanje faz in podobno).
- Pri velikih obremenitvah (približno nad 6000 ev/h – odvisno od konkretnega primera) se semaforizirano križišče izkaže za učinkovitejše od, na primer krožnega, saj (kljub temu da je morda prenasičeno) vedno spusti skozi določeno število vozil.
- Mogoča je koordinacija z ostalimi križišči, kar tokovom na prednostni smeri omogoča vožnjo v zelenem valu, to je brez ustavljanja ob rdečih lučeh.

3.1.2 Slabosti semaforiziranega križišča

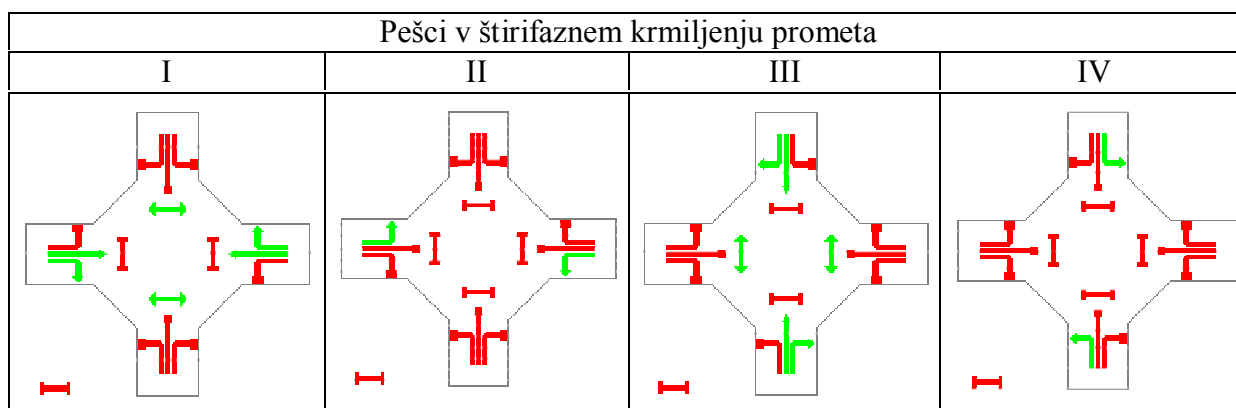
- Rdeča luč ima za posledico čakanje vozil in nastajanje kolon (kar lahko povzroči ozko grlo v prometnem sistemu in v najslabšem primeru zamašitev predhodnih križišč).
- Vmesni časi zahtevajo, da imajo vse smeri (tako vozila kot tudi pešci) rdečo luč – v tem času se torej ne sprosti nobena smer, le vozila, ki so že zapeljala v križišče, ga smejo zapustiti.
- Dodajanje uvoznih pasov ima negativne posledice, in sicer daljše vmesne čase, kar pomeni daljši čas, ko vsa vozila čakajo pri rdeči luči.
- Križišče ima relativno veliko število konfliktnih točk (običajna oblika križišča ima 32 konfliktov vozilo – vozilo in 24 konfliktov pešec – vozilo, če ima križišče večje število uvoznih in izvoznih pasov, so te številke še večje).

3.1.3 Vodenje pešcev v nivojskem semaforiziranem križišču

Pešce v običajnem semaforiziranem križišču, kjer je križišče vodeno s štirifaznim krmilnim sistemom (pri velikih obremenitvah) običajno vodimo čez cestišče skupaj z vzporedno vozečimi vozili, ki gredo naravnost (in desno).

Pri takem vodenju prometa, sploh pri večjih križiščih z večjim številom uvoznih in izvoznih pasov, lahko pešci povzročijo dolge vmesne čase, kar deluje neugodno na vodenje vozil, saj se podaljšajo časi rdečih luči. Problem je mogoče rešiti z vodenjem pešcev v svojem nivoju (pod križiščem), vendar ta rešitev ni vedno ekonomsko upravičena.

Preglednica 1: Štirifazni krmilni sistem nivojskega križišča



3.2 Krožno križišče

Krožno križišče je kanalizirano križišče krožne oblike z nepovoznim ali prevoznim središčnim otokom ter krožnim voziščem, v katerega se steka tri ali več krakov cest in po katerem poteka vožnja v smeri, nasprotni gibanju urinega kazalca.

V krožnih križiščih z dvema ali več pasovi na uvozu (velika kapaciteta – veliko krožno križišče – velika pričakovana hitrost) ni dovoljena izvedba nivojskega prehoda za pešce in kolesarje. Izvede se izvennivojski prehod (podhod ali nadhod) ali pa uvedba svetlobnih opozorilnih znakov. Projektiranje semaforizacije prehodov za pešce pri novih krožnih križiščih ni smiselno, saj tako krožišče izgubi svoj smisel.

Glede na vodenje posamezne smeri krožna križišča delimo na nivojska in večnivojska. Pri nivojskem vodenju krakov lahko vozne pasove priključkov vodimo v krožno križišče ali pa mimo krožnega križišča, na primer kanalizirano vodenje desnih zavijalcev. Pri večnivojskem

krožnem križišču se ena smer (običajno glavna, bolj obremenjena) vodi v svojem nivoju (nad ali pod krožnim križiščem) in ne ovira ostalih prometnih tokov, ki so v krožnem križišču.

3.2.1 Prednosti krožnih križišč

Omenjene so pomembnejše prednosti pred klasičnimi (semaforiziranimi) nivojskimi križišči:

- Velika prometna varnost. Enopasovno krožno križišče z enopasovnimi uvozi in izvozi ima 8 konfliktnih točk vozilo – vozilo in isto število konfliktnih točk pešec – vozilo. Prečkanje ceste je s trikotnim otokom med uvozom in izvozom razdeljeno v dva dela, v prvem pešci gledajo le levo, v drugem le desno. Po izkušnjah se pri rekonstrukciji semaforiziranega križišča v krožnega, število prometnih nesreč s smrtnimi izidi in težkimi poškodbami zmanjša za več kot 75 odstotkov (<http://www.roundaboutsusa.com>).
- Možnost prepuščanja prometnih tokov velikih jakosti (do približno 6000 ev/h – če je število vozil večje, boljše rezultate poda semaforizirano križišče, ki spusti skozi vsaj nekaj vozil).
- Manjši čakalni časi (stopnja ustavljanja je navadno sicer večja kot pri semaforiziranih križiščih, vendar so čakalni časi krajši, saj v krožnem križišču ni rdečih luči in s tem vmesnih časov).
- Dobra rešitev pri križanjih s približno enako jakostjo prometnega toka na glavni in stranski prometni smeri.
- Manjši stroški vzdrževanja. V primerjavi s semaforiziranim križiščem so stroški vzdrževanja, povezanega s signalnimi napravami in stroški elektrike skupaj manjši za do 5.000 USD na leto (<http://www.roundaboutsusa.com>).
- Če je krožno križišče postavljeno kot rekonstrukcija semaforiziranega, je prostor, ki ga krožišče zavzame, podobno tistemu, ki ga zavzame semaforizirano križišče z večjim številom uvoznih in izvoznih pasov.
- Manjše zamude imajo za posledico manj izpušnih plinov in čistejše okolje. Ekološka in estetska prednost krožnega križišča je tudi možna ozelenitev sredinskega otoka.

3.2.2 Slabosti krožnih križišč

- S povečanjem števila pasov v krožnem križišču se raven prometne varnosti zmanjšuje (prepletanja vozil predstavljajo nove konfliktne točke in odseke).
- Težave s pomanjkanjem prostora za izvedbo sredinskega otoka (v primeru krožnih križišč z večjimi premeri).
- Slaba rešitev pri močnem toku levih zavijalcev (potujejo namreč skozi večji del križišča in s tem ovirajo uvoze ostalim smerem).
- Naknadna semaforizacija ne vpliva bistveno na kapaciteto, saj se pojavijo dolgi vmesni časi, ker morajo vozila krožiti in je njihova pot v takem semaforiziranem krožišču daljša.

3.2.3 Vodenje pešcev v krožnem križišču

V krožnem križišču z enopasovnimi uvozi in izvozi, se pešci vodijo čez cestišče preko trikotnega otoka (če le-ta obstaja). Ker so hitrosti vozil majhne, semaforizacija prehodov za pešce ni potrebna (in je s stališča vodenja vozil tudi neučinkovita). Morebitni otok med uvoznimi in izvoznimi pasovi deluje tudi kot čakalni prostor za pešce, ki čakajo na prosto pot čez drugo polovico prehoda.

V primeru, da vodenje pešcev zaradi velikih prometnih obremenitev, zaradi prevelikega števila uvoznih in izvoznih pasov ali zaradi ogroženosti pešcev čez cestišče ni možno, se lahko izvede izvennivojski prehod za pešce (pod križiščem – npr. krožno križišče »Na klancu« v Medvodah).

3.2.4 Turbo krožno križišče

(Povzeto po: Tollazzi, 2006)

Teoretično ima običajno dvopasovno krožno križišče z enopasovnimi uvozi in izvozi šestnajst konfliktnih točk, z dvopasovnimi uvozi in izvozi pa dvajset konfliktnih točk. Dejansko pa pri krožnih križiščih z dvema ali več voznimi pasovi v krožnem vozišču ne govorimo le o konfliktnih točkah, temveč tudi o konfliktnih odsekih, saj voznikom z ničemer ni določeno mesto, na katerem naj bi zamenjali vozni pas v krožnem vozišču. Ta problem odpravi krožno križišče s spiralnim potekom krožnega vozišča, t.i. turbo krožno križišče. V takem križišču so

prometni tokovi vodeni ločeno tako pred uvozom v krožno križišče kot tudi v samem križišču. Prometni manevri prepletanja v križišču torej odpadejo.

Eden od glavnih tehničnih vzrokov za nastanek večjega števila prometnih nesreč v večpasovnih krožnih križiščih so poleg večje hitrosti vožnje torej tudi konfliktni odseki. Izboljšanje ravni prometne varnosti večpasovnih križišč je tako mogoče doseči z zmanjšanjem števila voznih pasov križišča, z zmanjšanjem števila uvoznih pasov in zmanjšanjem hitrosti v križišču.

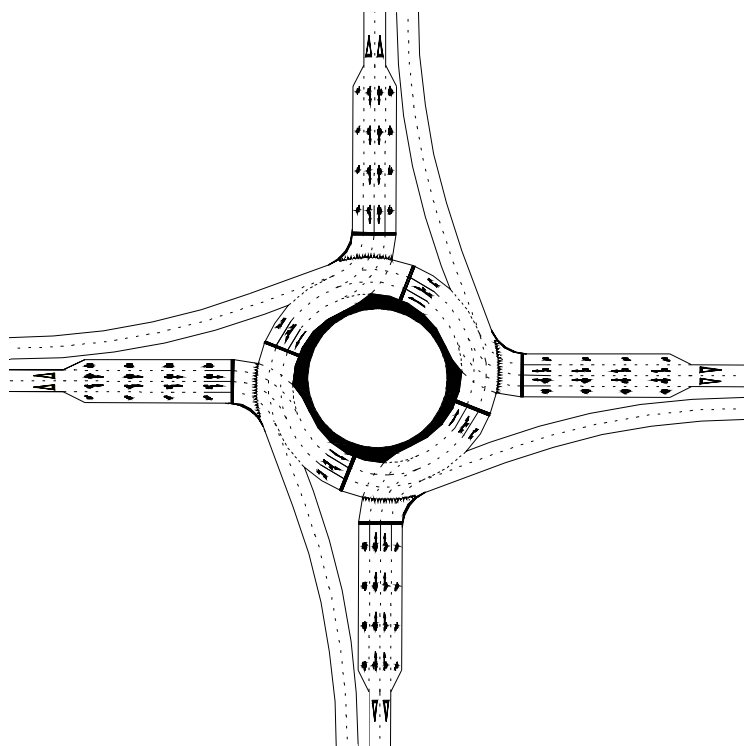
Zmanjšanje števila voznih in uvoznih pasov je v večini primerov neustrezen ukrep, saj z njim zmanjšamo kapaciteto križišča in povzročimo zastoje. Zmanjšanje števila pasov na uvozih sicer odpravi konflikte sekanja uvoznih tokov s krožečimi, toda konflikti pri menjavi voznega pasu v krožnem križišču in konflikti pri zapuščanju krožnega križišča ostajajo nerešeni. Tudi v tem primeru postane vprašljiva zadostna prepustnost krožnega križišča. V nadaljevanju je zato podrobneje analizirano zmanjšanje števila konfliktnih točk.

Konfliktne točke v večpasovnih križiščih z dvopasovnimi uvozi in izvozi so na območjih:

- krakov krožnega križišča (prepletanje pri približevanju križišču);
- uvoza v krožno križišče;
- večpasovnega krožnega križišča (prepletanje pri menjavi voznega pasu);
- zapuščanja krožnega križišča;
- krakov krožnega križišča (prepletanje pri oddaljevanju).

Ena glavnih lastnosti turbo krožnega križišča so ločeni prometni tokovi na ločenih voznih pasovih.

Prometni tokovi so vodeni ločeno še pred uvozom v krožno križišče, vozni pasovi so ločeni ves čas vožnje skozi krožno križišče (odpadejo torej prometni manevri prepletanja v križišču), ločeno pa so vodeni tudi prometni tokovi na izvozu iz krožnega križišča.



Turbo krožno križišče z več uvoznimi in voznimi pasovi (Vir: <http://www.urbanstreet.info>)

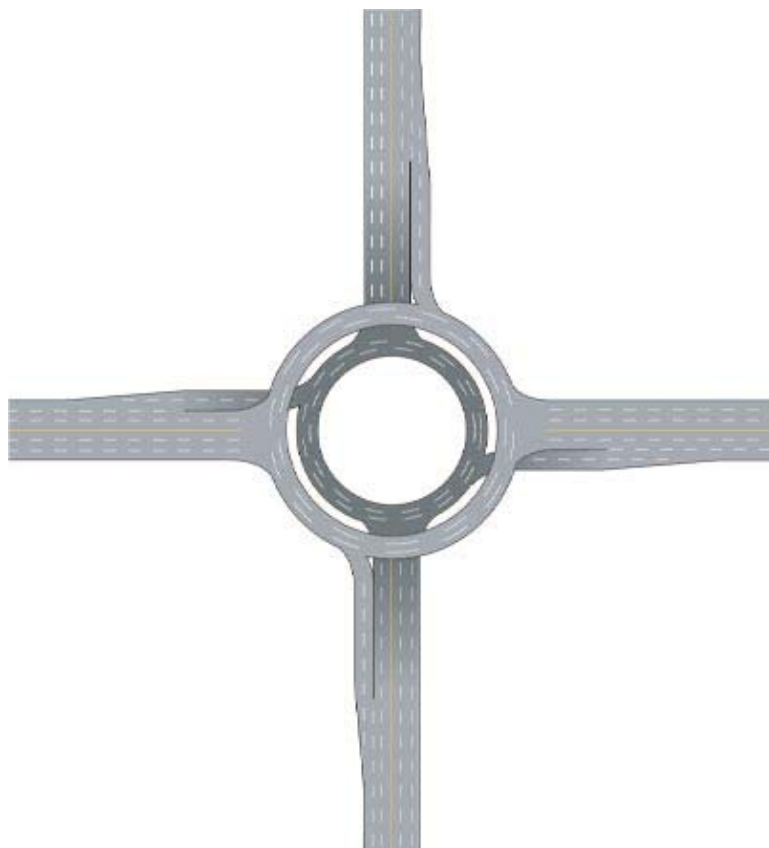
Voznik mora torej že na uvozu v krožno križišče izbrati ustrezen vozni pas, odločitve pa potem ni več mogoče spreminjati, saj turbo krožno križišče ne omogoča (ne dovoljuje) spremembe voznega pasu v krožnem križišču. Ta navidezna pomanjkljivost pa je osnovna prednost takega krožnega križišča, saj sta tako prepustnost kot tudi raven prometne varnosti v turbo krožnem križišču večji kot v običajnem krožnem križišču z enakim številom pasov. Poleg navedenih lastnosti turbo krožno križišče omogoča tudi večje hitrosti vožnje skozi križišče, kar ima za posledico večjo prepustnost. Visoka hitrost vožnje pa zaradi zagotavljanja varnosti pogojuje izvenivojsko vodenje pešcev in kolesarjev.

Turbo krožno križišče je pozitivno tudi s stališča voznika, saj le-ta vsak trenutek ve, kje je njegova vozna površina. Potrebno pa je posvetiti več pozornosti signalizaciji pred uvozom v križišče.

3.3 Dvonivojsko krožno križišče

Običajna krožna križišča so s stališča prometnih tokov bolj učinkovita od običajnih semaforiziranih križišč, vendar se ta učinkovitost manjša z večanjem prometa, večja pa se

nevarnost konfliktov, kar ima lahko za posledico prometne nesreče in prometne zamaške. V izogib pomanjkljivostim nivojskih krožnih križišč, jih je možno tudi naknadno semaforizirati, kar sicer daje možnost vključevanja vozilom z vseh smeri, ni pa pozitivno s stališča kapacitete in pretočnosti križišča, saj je čas vožnje okoli otoka večji, kar poveča vmesne čase med posameznimi fazami.



Dvonivojsko krožno križišče (Vir: <http://intersectionsystem.com>)

V primerih velikih prometnih tokov se prepustnost krožnega križišča izboljša z dodajanjem voznih, uvoznih in izvoznih pasov, kar pa ima, kot že omenjeno, za posledico povečanje števila konfliktnih točk.

Tukaj opisano dvonivojsko krožno križišče deli prometne tokove iz štirih smeri na dva dela po dve smeri, kar zelo zmanjša obremenjenost posameznega krožišča. Z obeh nivojev pa je možno zapustiti križišče proti katerikoli smeri.

3.3.1 Prednosti dvonivojskega krožnega križišča

Pozitivne lastnosti nivojskega krožnega križišča (opisane v poglavju 3.2.1: Prednosti krožnih križišč) veljajo tudi za dvonivojsko krožno križišče, s tem da ima dvonivojsko krožno križišče še dodatne prednosti:

- Umestitev dvonivojskega krožnega križišča zagotovi manjšo porabo prostora, saj so prometni tokovi v vsakem nivoju posebej manjši, kar omogoči konstruiranje krožišč z manjšim premerom.
- Manjši prometni tokovi v vsakem nivoju posebej omogočajo konstruiranje krožišča z manj voznimi pasovi, kar še dodatno zmanjša tlorisno površino križišča.
- Manjše število razvrščanj in menjav pasov je razlog za manjše število konfliktov (absolutno gledano).
- Čeprav na prvi pogled križišče izgleda zapleteno, je vožnja po njem enostavna in se v ničemer ne razlikuje od vožnje skozi običajno krožno križišče.
- Dvonivojsko krožno križišče se v primeru večjega števila levih zavijalcev obnese bolje od nivojskega (poglavje 3.3.4: Analiza učinkovitosti), saj je količina prometnih tokov v posameznem krožišču manjša.

3.3.2 Slabosti dvonivojskega krožnega križišča

Negativne lastnosti nivojskega krožnega križišča (opisane v poglavju 3.2.2: Slabosti krožnih križišč) prav tako veljajo tudi za dvonivojsko krožno križišče, s tem da ima dvonivojsko krožno križišče dodatne slabosti:

- Izvedba križišča je dražja in zahtevnejša.
- Za umestitev križišča v urban prostor je vprašljiva ugodnost reliefnih razmer lokacije križišča.

3.3.3 Vodenje pešcev v dvonivojskem krožnem križišču

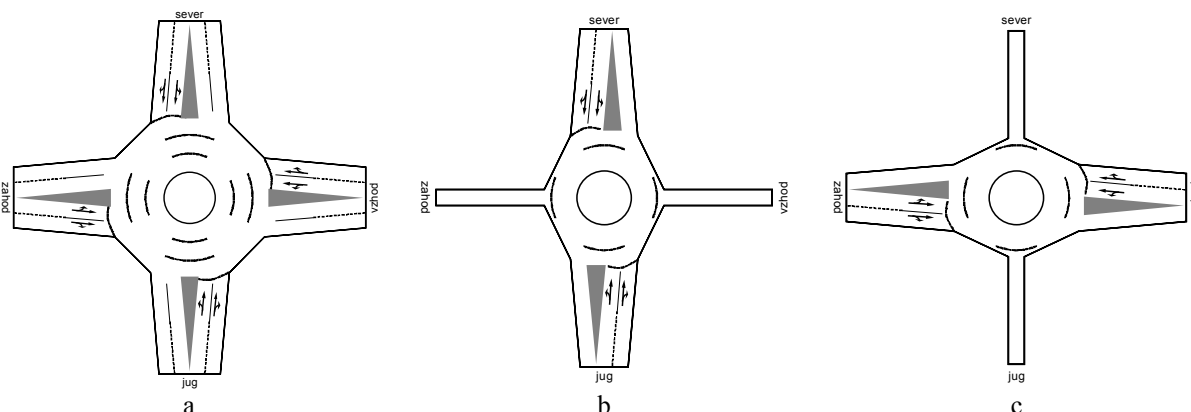
Pešci se v dvonivojskem krožnem križišču vodijo na podoben način kot v nivojskem krožnem križišču. Nivojsko vodenje lahko poteka le v spodnjem (ali zgornjem) nivoju, s tem da na dveh straneh pešci prečkajo le izvozne pasove, na dveh pa uvozne in izvozne pasove. V

primeru večjih količin prometnih tokov, morebitnih večjih hitrosti vozil ali velikega števila uvoznih pasov je potrebno razmisliti o vodenju pešcev v svojem nivoju.

3.3.4 Analiza učinkovitosti

Primerjava nivojskega in izvennivojskega krožnega križišča služi kot dokaz večje učinkovitosti dvonivojskega krožnega križišča v primerjavi z nivojskim.

Model nivojskega krožnega križišča predstavlja tropasovno krožno križišče s po dvema uvoznima in dvema izvoznima pasovoma na vsaki smeri in s premerom otoka trideset metrov. Ker je pozitivna lastnost dvonivojskega krožnega križišča njegova lažja umestitev v prostor, ima dvonivojski model križišča notranji premer le petnajst metrov. Oba nivoja imata po dva vozna pasova. V spodnji nivo se stekata vzhodna in zahodna cesta s po dvema uvoznima pasovoma, vozila pa zapuščajo križišče v vseh štirih smereh po enem izvoznem pasu na vsaki smeri. Zgornji nivo križišča, v katerega se stekata severna in južna cesta, je konstruiran na enak način (Slike 1a, 1b in 1c).



Slike 1a, 1b, 1c: Geometrija nivojskega in obeh nivojev izvennivojskega krožnega križišča

Prometne obremenitve križišča so enake 4000 eov/uro za nivojsko izvedbo in po 2000 eov/uro na vsak nivo dvonivojske izvedbe krožnega križišča. Struktura prometnega toka predvideva deset do šestdeset odstotkov levih zavijalcev. Delež desnih zavijalcev je za vse primere enak, in sicer dvajset odstotkov, saj je njihov vpliv na situacijo v krožnem križišču najmanjši (najmanj časa se zadržujejo v križišču).

Analiza zgoraj opisane situacije je izvedena v programu SIDRA 3.1.

Preglednica 2 podaja rezultate simulacije z upoštevanjem zgornjih podatkov, in sicer povprečne čase, ki so potrebni, da vozilo prevozi križišče (sekund/vozilo).

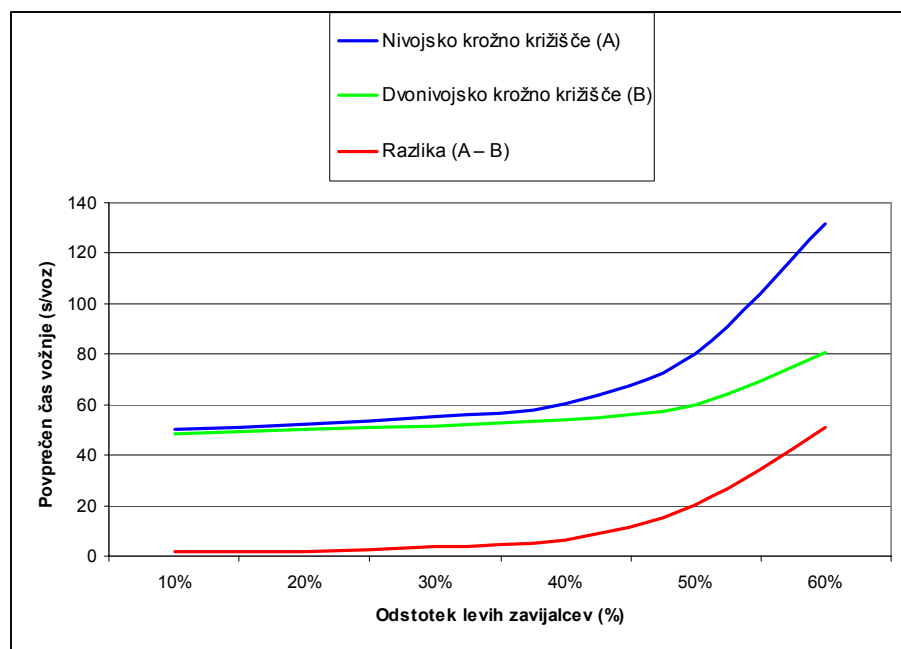
Preglednica 2: Rezultati analize učinkovitosti

Povprečni čas potovanja skozi križišče (sekund/vozilo)						
Tip križišča	Delež levih zavijalcev					
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %
Nivojsko krožno križišče (A)	50,5	52,1	55,1	60,3	80,0	131,7
Dvonivojsko krožno križišče (B)	48,4	50,0	51,5	54,0	59,8	81,1
Razlika (A – B)	2,1	2,1	3,6	6,3	20,2	50,6

Čas, ki ga vozilo potrebuje, da prevozi križišče, se pri običajnem krožnem križišču z deležem levih zavijalcev povečuje hitreje od tistega pri dvonivojskem križišču, kar nam kaže razlika v časih (razlika A – B v Preglednici 2).

Nivoji uslug se pri nivojskem krožnem križišču manjšajo od A (ko je deset odstotkov levih zavijalcev), do F (ko imamo šestdeset odstotkov levih zavijalcev). Dvonivojsko krožno križišče pa ima nivoje uslug od A (pri desetih odstotkih levih zavijalcev) do E (pri šestdeset odstotkih levih zavijalcev), kar pomeni, da še vedno dovolj kvalitetno opravlja svojo funkcijo.

Za lažjo predstavo rezultatov so le-ti prikazani tudi grafično (Grafikon 1).



Grafikon 1: Povprečen čas potovanja skozi križišče v odvisnosti od levih zavijalcev

Iz analize je razvidno, da so na splošno krožna križišča učinkovitejša pri obremenitvah s prometnimi tokovi z manjšim deležem levih zavijalcev. Vidimo tudi, da z uvedbo dvonivojskega krožnega križišča s porabo veliko manjše tlorisne površine, pridobimo na

kapaciteti. Analiza pokaže, da je dvonivojsko krožno križišče manj občutljivo na delež levih zavijalcev, kar je posledica manjših prometnih obremenitev posameznega nivoja. Prometni tokovi se namreč razdelijo in opravljajo operacije zavijanja ločeno.

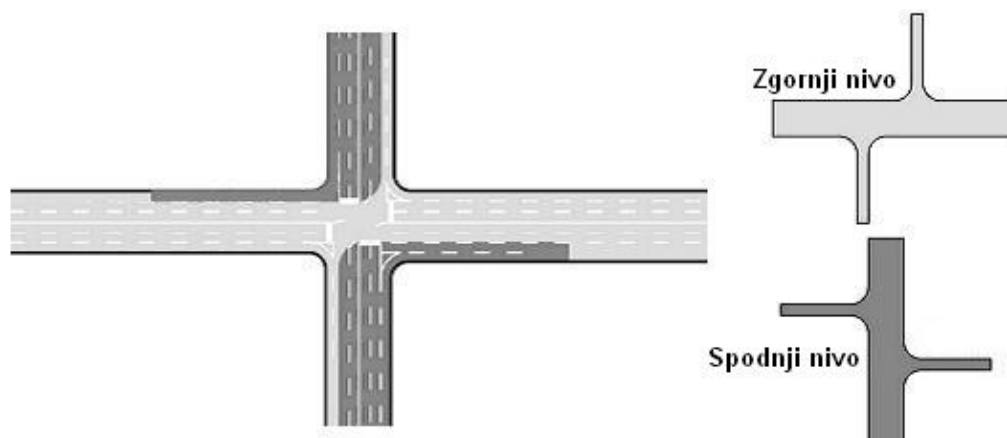
Zaključimo lahko, da so dvonivojska krožna križišča primernejša za uporabo v križiščih z večjim deležem levih zavijalcev, njihova uporaba pa je sploh primerna v situacijah s pomanjkanjem prostora za uvedbo večjih nivojskih krožnih križišč. Na tem mestu je potrebno omeniti, da so v analizi vozila enakomerno razporejena po uvozih, tako da primernosti vpeljave dvonivojskega krožnega križišča ne moremo predvideti na osnovi te analize, ampak za vsak primer posebej.

3.4 Dvonivojsko semaforizirano križišče

Urbana prenasičenost prometa se večinoma zgodi v kritičnih križiščih, kjer se križata dve prometni arteriji. Diamantno križišče, ki je pogosto uporabljeno za razbremenitev prenasičenih cest, je primerno, kjer se sekata cesti različnih redov, npr. križanje avtoceste ali obvoznice z lokalno cesto ali ceste z lažjim prometom in ceste s težjim prometom. Kjer se sekata cesti s podobnimi prometnimi tokovi, pa lahko diamantno križišče povzroči zamaške, tudi zaradi večfaznega prometnega krmiljenja semaforjev (ki povzroči daljše zaprtje ene ali več smeri).

Za rešitev tega problema je bilo v Koreji razvito dvonivojsko semaforizirano križišče, ki je sestavljeno iz dveh, zgornjega in spodnjega križišča, ki sta obe vodeni z dvofaznim krmilnim sistemom. Raziskave so pokazale, da (razen če ne obstaja velika razlika v pretokih križajočih se cest) tako križišče bolj kvalitetno manjša zamude v kritičnih križiščih kot diamantno križišče.

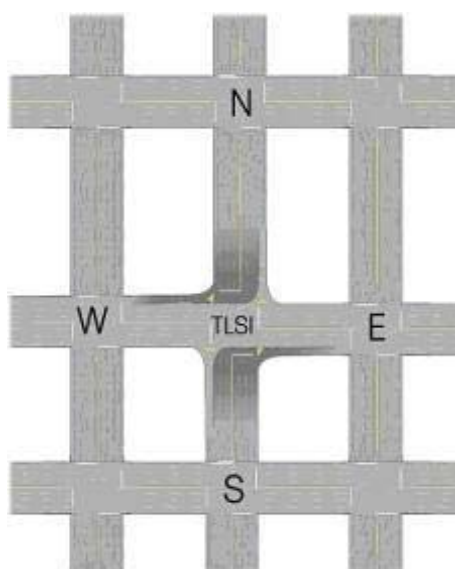
Kot je vidno na sliki spodaj, se dvonivojsko semaforizirano križišče deli na spodnje in zgornje križišče, kjer je vsako od teh krmiljeno z dvofaznim krmilnim sistemom.



Osnovna oblika dvonivojskega semaforiziranega križišča (<http://intersectionsystem.com>)

Ker signalizacija zgornjega in signalizacija spodnjega križišča nista povezani, se med sabo ne pogojujeta.

Obstaja verjetnost, da velika prepustnost dvonivojskega semaforiziranega križišča povzroči prenasičenost prometnega sistema naprej od križišča, vendar temu ni nujno tako, saj če omenjeno križišče postavimo v sistem obstoječih običajnih križišč, spusti skozi le vozila, ki so do njega prišla. Če sta si predhodno in naslednje križišče podobni, predhodno križišče spusti približno toliko vozil, kot jih lahko naprej spusti naslednje križišče.



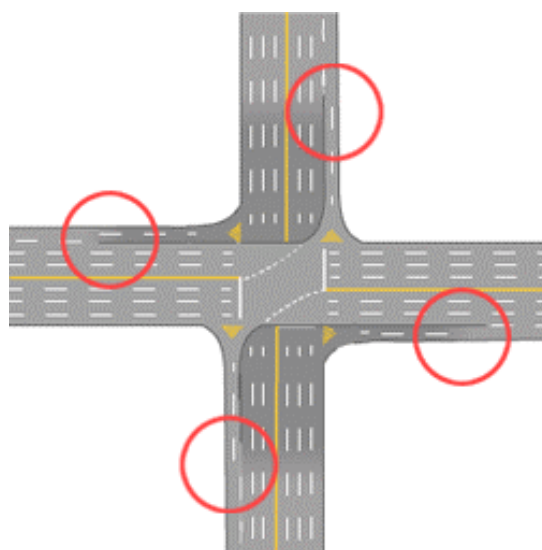
Umestitev dvonivojskega semaforiziranega križišča v obstoječ sistem križišč (<http://intersectionsystem.com>)

3.4.1 Prednosti dvonivojskega semaforiziranega križišča

- Dolžina zelenega signala dvonivojskega semaforiziranega križišča zaseda več kot dvakrat večji delež ciklusa kot pri običajnem (nivojskem) semaforiziranem

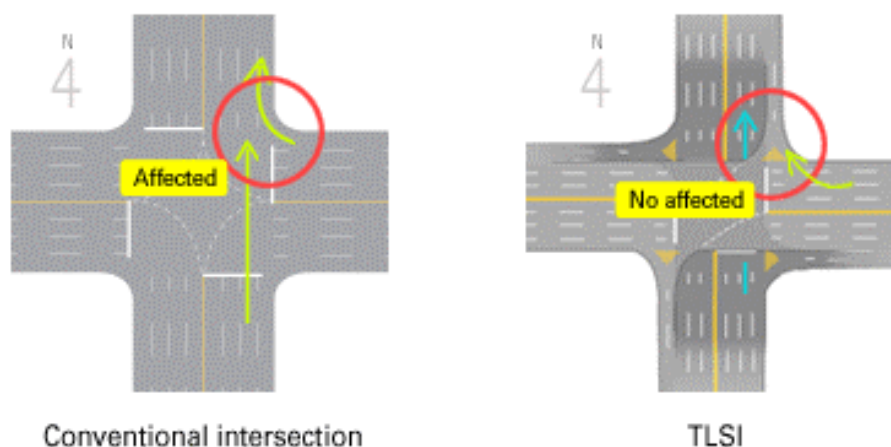
križišču in zmanjša čakalne čase za do ene tretjine. Običajno štirikrako križišče s štirifaznim krmilnim sistemom ima cikel zelena – rdeča – rdeča – rdeča, medtem ko ima dvonivojsko križišče le dvofazni krmilni sistem zelena – rdeča. Krajši čakalni časi vozil imajo za posledico krajši čas rdeče luči, kar se kaže v manjšem številu vozil, ki stojijo ob rdeči luči.

- Konstrukcija križišča je prijazna vozniku. Vozniki se počutijo udobno pri vožnji skozi dvonivojsko križišče, ker oba, zgornji in spodnji del križišča, sledita prometnim vzorcem običajnega (nivojskega) križišča. Levi zavijalci namreč zavijajo z levega pasu proti centru križišča, desni zavijalci pa z desnega pasu ven iz križišča.
- Zgornji in spodnji del križišča imata neodvisno krmiljene semaforje, kar zelo olajša koordinacijo z ostalimi križišči in morebitno uporabo prometno odvisnega krmiljenja. Svetlobna signalizacija spodnjega dela namreč ni občutljiva na spremembo barve luči na zgornjem delu križišča, ker sta sistema, kot že omenjeno, neodvisna. (Čeprav sta sistema neodvisna, pa imata enak princip delovanja, s čimer je mišljeno, da imata zaporedje faz enako.)
- Ni nevarnosti prometa v napačni smeri. Obstajajo štiri točke, kjer se združita zgornji in spodnji nivo križišča (slika spodaj). Če želi voznik zapeljati na napačen pas, mora prečkati srednjo ločilno črto vozišča, za kar pa obstaja enaka verjetnost kot pri običajnem križišču.



Točke združitve spodnjega in zgornjega nivoja križišča (<http://intersectionsistem.com>)

- V običajnem semaforiziranem križišču naravnost vozeča vozila ovirajo desne zavijalce z desne ceste, zato pri nas navadno ni dovoljeno desno zavijanje pri rdeči luči. Pri dvonivojskem križišču do tega pojava ne pride, saj so omenjena vozila vodena v različnih nivojih.



Medsebojni vpliv desnih zavijalcev in naravnost vozečih v dvonivojskem križišču
(<http://intersectionsystem.com>)

- Ostane še vprašanje vpliva ostalih vozil na leve zavijalce, le-ta pa je minimalen, saj so vodeni v svoji fazi.

3.4.2 Slabosti dvonivojskega semaforiziranega križišča

- Pri vpeljavi križišča v obstoječ sistem križišč (zaradi manjše prepustnosti predhodnih križišč), dvonivojsko semaforizirano križišče morda ni dovolj izkoriščeno in je tako vprašljiva njegova izvedba s stališča ekonomičnosti.
- Če je križišče postavljeno na robu nekega sistema križišč, je ozko gledano njegova umestitev morda pravilna. Gledano širše pa morda na cel sistem vpliva tudi neugodno. Z uvedbo križišča z visoko kapaciteto lahko namreč pride le do prestavitve ozkega grla do naslednjega (običajnega, že obstoječega) križišča. V našem primeru (križišče Zmajski podvoz) lahko do tega pride v primeru jutranjih konic, ko se večina prometnih tokov zliva proti centru mesta. Drugačna slika pa se pokaže v primeru popoldanskih konic, kjer se predlagano križišče pokaže kot pozitiven ukrep, saj pripomore k hitrejši izpraznitvi mestnega središča.
- Izvedba dvonivojskega semaforiziranega križišča je dražja od izvedbe običajnega krožnega ali semaforiziranega križišča.

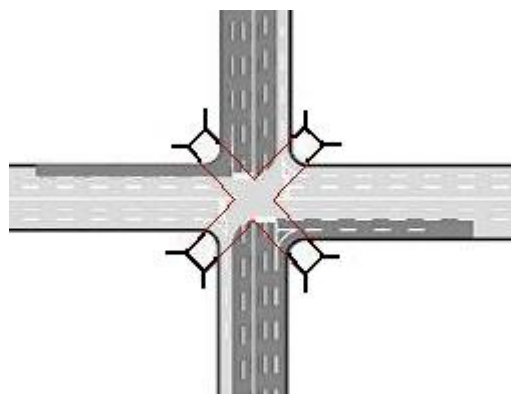
- Ob velikem številu uvoznih in izvoznih pasov spodnjega nivoja dvonivojskega semaforiziranega križišča je lahko (zaradi morebitnih podpornih stebrov, ki nosijo zgornji nivo) oteženo vodenje vozil v spodnjem nivoju.

3.4.3 Vodenje pešcev v dvonivojskem semaforiziranem križišču

Prehodi za pešce so lahko v križišče vključeni na različne načine (Preglednica 3).

- Prvi predvideva hojo na drugo stran ceste v dveh delih, kar ne vpliva na število faz, pač pa na same vrste faz. Pri takem krmiljenju se zapre ena cela smer (levi zavijalci, naravnost vozeči in desni zavijalci), medtem ko ima nasprotna smer zelene luči na vseh uvoznih pasovih. Tako krmiljenje za naše razmere verjetno ni primerno, saj pešci take vrste prečkanja ceste (v dveh fazah) pri nas ne poznajo, zato bi bilo tako vodenje lahko nevarno. Omeniti je treba še dejstvo, da omenjen način prečkanja ceste zahteva širši ločilni pas med uvoznimi in izvoznimi pasovi (za zagotovitev zadostnega prostora za čakanje pešcev), kar deluje neugodno, saj se povečajo vmesni časi, s čimer se krajšajo časi trajanja zelene luči posamezne faze.
- Druga rešitev predvideva samostojno fazo za pešce in tako tvori trofazni krmilni sistem. Dodatna faza, pri kateri vsa vozila stojijo, deluje neugodno, saj poveča čakalne čase in s tem zamude vozil v križišču. Je ugodna za pešce, vendar zmanjša pomen ene bistvenih lastnosti dvonivojskega semaforiziranega križišča, in sicer visoko kapaciteto. Le-ta se z dodatkom še ene faze za pešce močno zmanjša, krmiljenje križišča pa se že zelo približa krmiljenju običajnega semaforiziranega križišča. Omenjen način vodenja pešcev je zato potrebno preveriti za vsak konkretni primer posebej.
- Tretja rešitev vodenja pešcev podobno kot prva predvideva vodenje pešcev v dveh delih, vendar s trofaznim prometnim krmiljenjem. Je neke vrste nadgradnja druge rešitve, saj ji je zelo podobna, le da so pešci vodeni čez vozišče v dveh delih. Ta način vodenja se od druge rešitve razlikuje po tem, da skrajša zeleno fazo pešcev za približno polovico. Čakalni (in tudi vmesni) časi se tako skrajšajo, prav tako trajanje rdeče luči, posledično pa pride do povečanja kapacitete križišča v primerjavi z drugo rešitvijo.

Optimalna rešitev za zagotovitev čim manjših čakalnih časov za vozila in za pešce je vodenje pešcev v svojem nivoju pod križiščem. Rešitev je morda ekonomsko neupravičena, dvonivojsko križišče namreč tako postane tronivojsko, vendar je v primeru velike izkoriščenosti križišča tudi ta rešitev primerna. Rešitev vsekakor deluje ugodno s stališča kapacitete križišča in varnosti pešcev. Podhod za pešce se tako tvori v dveh diagonalah, ki sta na sredini združeni in omogočata pešcem prehod na vse strani križišča (Slika 9).



Slika 2: Vodenje pešcev v svojem nivoju

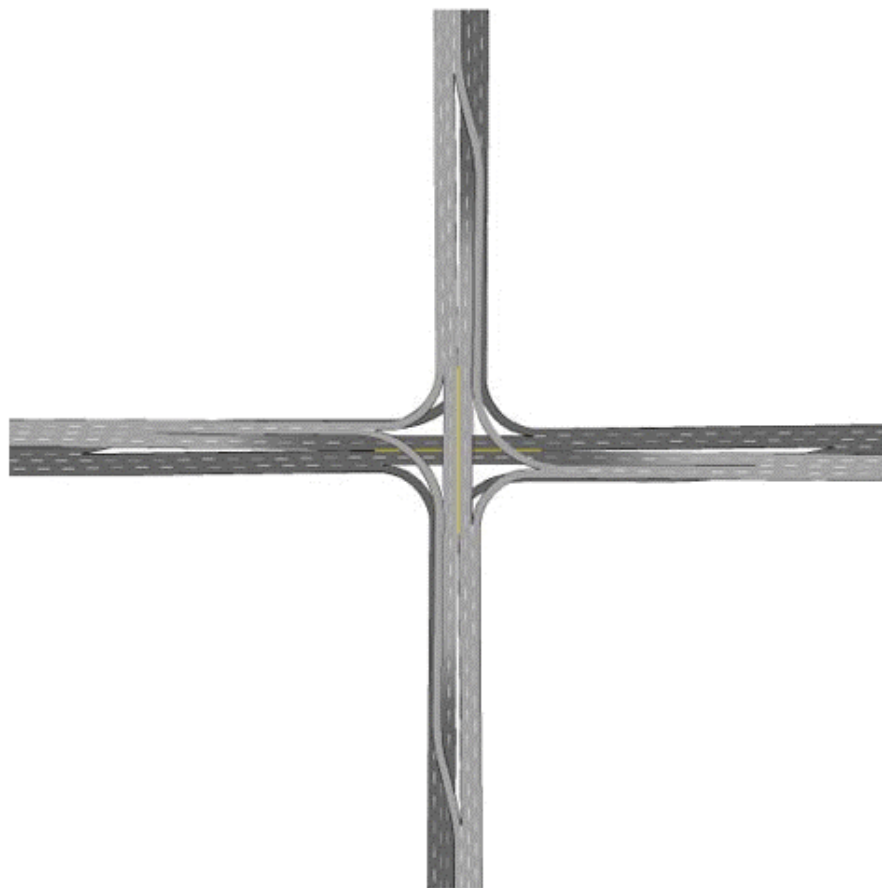
Preglednica 3: Vodenje pešcev čez vozišče dvonivojskega semaforiziranega križišča

Prva rešitev: Pešci so vodeni čez vozišče v dveh delih – dvofazno krmiljenje		
I	II	
Druga rešitev: Pešci so vodeni čez vozišče v enem delu – trofazno krmiljenje		
I	II	III
Tretja rešitev: Pešci so vodeni čez vozišče v dveh delih – trofazno krmiljenje		
I	II	III

3.5 Dvonivojsko nesemaforizirano križišče

Gre za dvonivojsko križišče z možnim levim in desnim zavijanjem brez uporabe semaforjev, ki zavzame minimalen prostor in ob manjših obremenitvah dovoljuje vožnjo brez ustavljanja.

Levi zavijalci opravljajo operacije zavijanja z levega pasu, desni z desnega, kar velja za vse štiri smeri. Ni možnosti konfliktov med različnimi smermi, operacije, ki se izvajajo na območju križišča, so le odcepljanja in združevanja.



Dvonivojsko nesemaforizirano križišče (<http://intersectionsystem.com>)

Križišče je lahko umestiti v prostor, saj je njegova tlorisna površina podobna prostoru, ki ga zavzame običajno (nivojsko) semaforizirano križišče.

Ker gre za križišče brez ustavljanja, lahko vsak pas prevzame toliko prometa kot dva ali celo trije pasovi v semaforiziranem križišču.

3.5.1 Prednosti dvonivojskega nesemaforiziranega križišča

- Vozilom se v križišču praktično ni potrebno ustavljati, razen v primeru združevanj dveh enopasovnih cest v eno pasovno cesto – takrat mora vozilo na neprednostni cesti dati prednost tistemu na prednosti cesti, vendar se mu za to še vedno ni nujno treba ustaviti.

- Kot že omenjeno, se levi zavoji izvajajo z leve, desni pa z desne strani, enako kot pri običajnih križiščih. Pri običajnih križiščih se vozila, ki nameravajo zaviti levo, intuitivno pomaknejo proti levemu pasu, desna k desnemu, naravnost vozeča vozila pa se držijo centralnih pasov. Križišče brez ustavljanja torej upošteva tendence voznikov. Poti vozil, vozečih v različne smeri, se ne sekajo, prisotna so le odcepljanja in združevanja. Levi in desni zavijalci se ločijo od glavnega dela ceste in se nato priključijo na zeleno smer. Na glavni cesti torej ni pojava konfliktnih točk.
- Križišče ne zavzame veliko prostora. Kot že omenjeno, križišče ne potrebuje večje tlorisne površine kot običajno križišče z istim številom pasov. Dejansko zahteva le večji volumen, saj gre za izvennivojsko vodenje prometa. Je primeren za urbana območja z velikimi prometnimi tokovi in relativno majhnimi prostorskimi zmožnostmi.
- Čeprav se na prvi pogled zdi križišče zapleteno, je z vidika voznikov enostavno. Vozniki se morajo le držati zelene smeri. Vidijo le pasove, po katerih morajo voziti, tako da ni nevarnosti vožnje v napačno smer.

3.5.2 Slabosti dvonivojskega nesemaforiziranega križišča

- Glavna pomanjkljivost je cena križišča. Z velikim številom nadvozov in podvozov se stroški izgradnje takega križišča povečujejo, potrebni pa so tudi izvennivojski prehodi za pešce in kolesarje.
- Vozne razmere, ki jih nudi to križišče, so podobne razmeram odprte ceste, zato umestitev takega križišča v obstoječ sistem križišč lahko preveč obremeni ostala bližnja križišča, oziroma v njih povzroči prometne zamaške.
- Reliefne razmere mnogokrat ne dovoljujejo umestitve te vrste križišča.

3.5.3 Vodenje pešcev v dvonivojskem nesemaforiziranem križišču

Glavna prednost dvonivojskega nesemaforiziranega križišča je vodenje vozil brez ustavljanja in z večjimi hitrostmi. Zato je v tem primeru (da obdržimo pozitivne lastnosti križišča) potrebno pešce voditi v svojem nivoju, saj je sicer potrebna semaforizacija prehodov za pešce, s čimer pa izvedba takega križišča izgubi svoj smisel.

4 METODOLOGIJA DELA

Za analizo križišč sta uporabljeni analitično orodje Sidra 3.1 in mikrosimulacijsko orodje TSIS 5.1.

Z omenjenima računalniškima programoma so pridobljene bistvene lastnosti križišč, t.j. kapaciteta križišč (eov/h), povprečne zamude na vozilo (s/voz), stopnje ustavljanja in povprečna hitrost vožnje skozi križišče (km/h).

Lastnosti semaforizacije semaforiziranih križišč so pridobljene s pomočjo programa Sidra 3.1. Vrste in zaporedje faz ter vmesni časi so podani ročno, trajanje posameznih faz izračuna program.

S pomočjo pridobljenih podatkov in podatkov o obremenitvah so nato pridobljene stopnje nasičenosti križišč (razmerje med kapaciteto in obremenitvami) in nivoji uslug. Le-ti so določeni v odvisnosti od povprečnih zamud na vozilo in sicer po naslednjem pravilu (HCM, 2000):

- za semaforizirana križišča:

Nivo uslug	Zamude (s/voz)
A	do 10
B	10 do 20
C	20 do 35
D	35 do 55
E	55 do 80
F	nad 80

- za nesemaforizirana (in krožna) križišča:

Nivo uslug	Zamude (s/voz)
A	do 10
B	10 do 15
C	10 do 25
D	25 do 35
E	35 do 50
F	nad 50

Izračuni in pomembnejši parametri (geometrija križišča, prometne obremenitve, kapaciteta, nasičenost, zamude, stopnja ustavljanja, povprečna hitrost potovanja in nivo uslug) so zaradi lažje preglednosti prikazani v obliki preglednic za vsako križišče posebej; na koncu (Poglavje

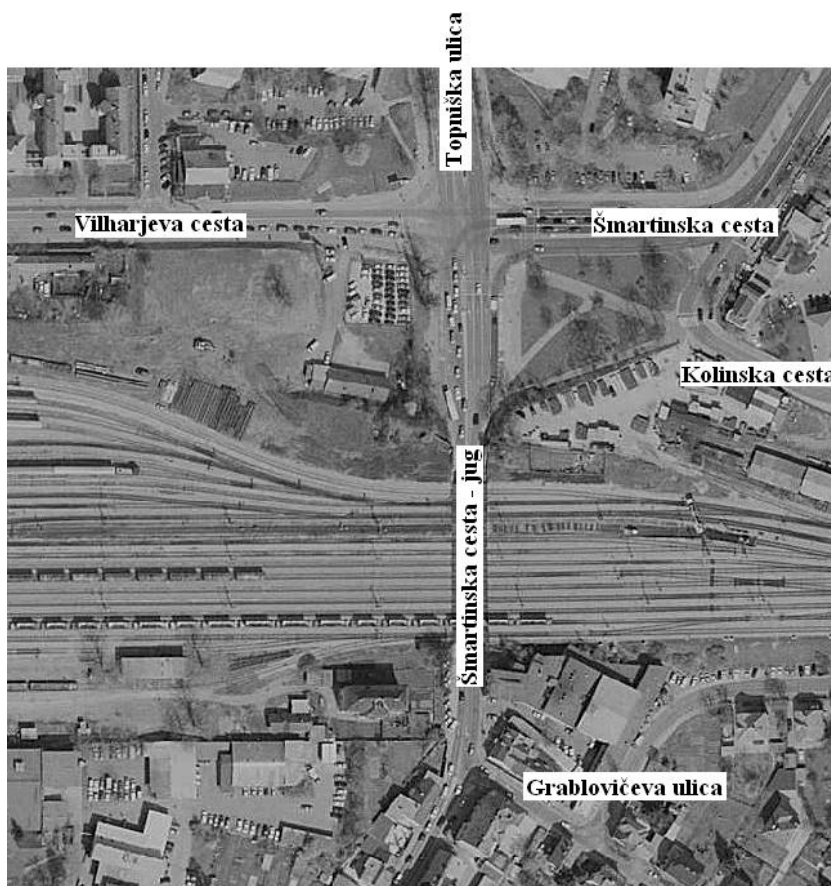
12: Primerjava konstruiranih križišč) pa so primerjave posameznih lastnosti križišč prikazane tudi v obliki grafikonov.

Vhodni podatki po smereh so organizirani glede na orientacijo križišč v prostoru in glede na prikazane prometne obremenitve oziroma geometrijo križišč. Upoštevana je omejitev hitrosti na 50 km/h.

5 UPORABA SODOBNIH REŠITEV NA REALNEM PRIMERU

5.1 Obstoječe stanje

Obstoječe stanje obravnavane lokacije že danes v času urnih konic pokaže prenasičenost križišč. Križišče Zmajski podvoz (slika spodaj) v popoldanski konici predstavlja ozko grlo vozilom, ki nameravajo skozi to križišče zapustiti center Ljubljane. Kolone vozil so celo tako dolge, da križišča na Masarykovi (zaradi ozkega grla), v smeri ven iz mestnega središča spustijo skozi manj vozil (tudi do petkrat), kot v času izven urnih konic, ko je število vozil na cestah manjše, tako da je študija razbremenitve sistema z uporabo križišč večjih kapacitet vsekakor potrebna.



Situacija križišča Zmajski podvoz (<http://kremen.arso.gov.si/nvatlas>)

Zaradi zgoraj omenjenega nam štetje prometa v koničnih urah ne da prave slike o številu vozil, ki želijo prevoziti neko križišče, saj lastnosti prometnega toka nikakor ne sledijo udobju, ki ga nudi odprta cesta. Ob koncu planske dobe pa bo število vozil, ki bodo skozi

obravnavano območje želela zapustiti center mesta, celo večje, tako da je iskanje novih rešitev neizogibno.

5.2 Podatki s konca planske dobe

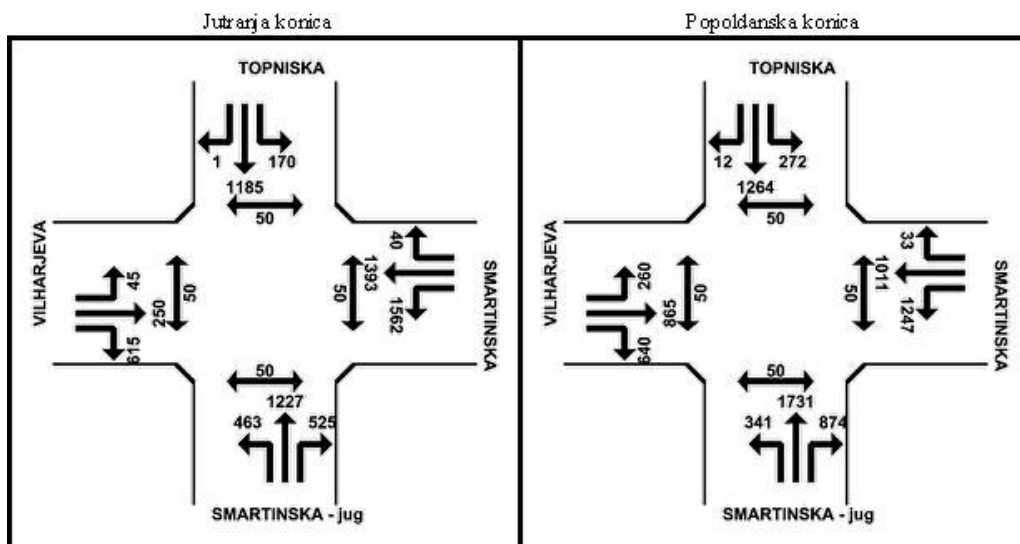
Prometne obremenitve so povzete po poročilu študije »Prometna ureditev območja Ljubljane« (FGG, 2004), ki upošteva prenavo območja potniške postaje in njene posledice za promet. V poročilu so prikazane prometne obremenitve, ki bodo nastale na koncu planske dobe, to je leta 2020. Za izdelavo modela generacije potovanj so bili v študiji uporabljeni podatki Statističnega zavoda, Ministrstva za notranje zadeve in ankete po fakultetah. Napoved prometa je bila izdelana na osnovi spremembe rabe površin in na osnovi predpostavk o splošni rasti prometa. Upoštewane so bile različne napovedi, ki obsegajo:

- spremembo rabe površin – prenova Potniške postaje Ljubljana;
- demografsko napoved (naravna rast prebivalstva – rodnost, smrtnost);
- ekonomsko napoved (razvoj sektorjev, stopnja letne rasti);
- predvideno zaposlovanje in delovna mesta;
- predvideno motorizacijo (stopnja letne rasti motorizacije, gostota motorizacije);
- napoved potovalnih navad.

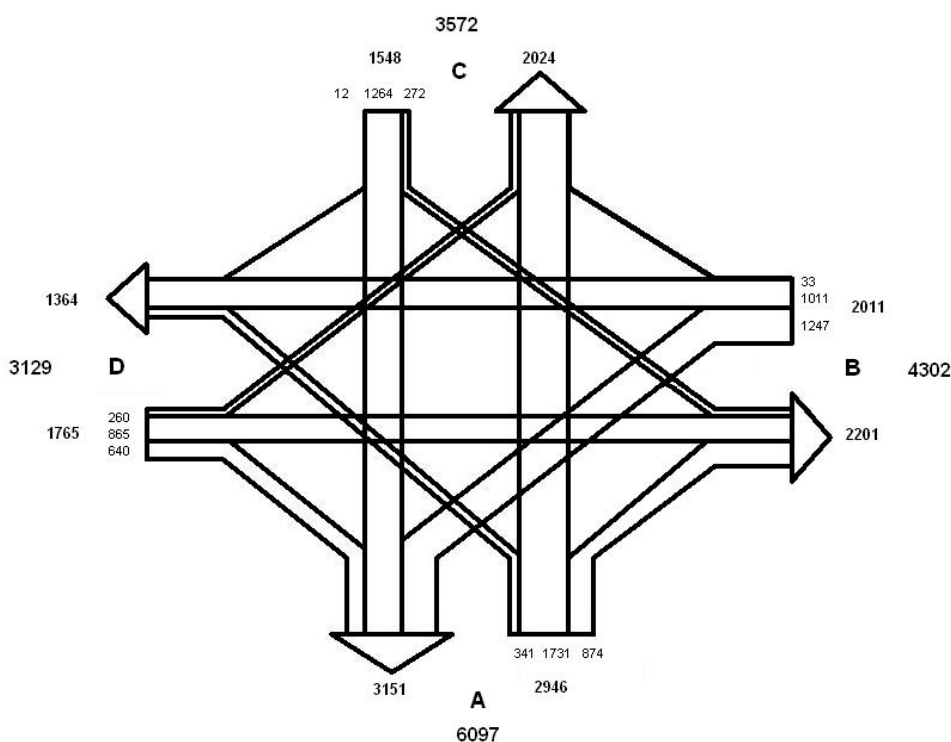
Kot lahko vidimo iz spodnjih slik (slike 3 do 6), bodo po pričakovanjih ob koncu planske dobe prometne obremenitve na obravnavani lokaciji takšne, da se jih bo zelo težko (če ne celo nemogoče) obvladovalo z uporabo klasičnih križišč. Zato je potrebno dimenzioniranje novih oblik križišč in tvorjenje novih povezanih sistemov križišč. Dimenzioniranje klasičnega (nivojskega) štirikrakega semaforiziranega križišča v nadaljevanju zato služi le za primerjavo z ostalimi rešitvami.

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

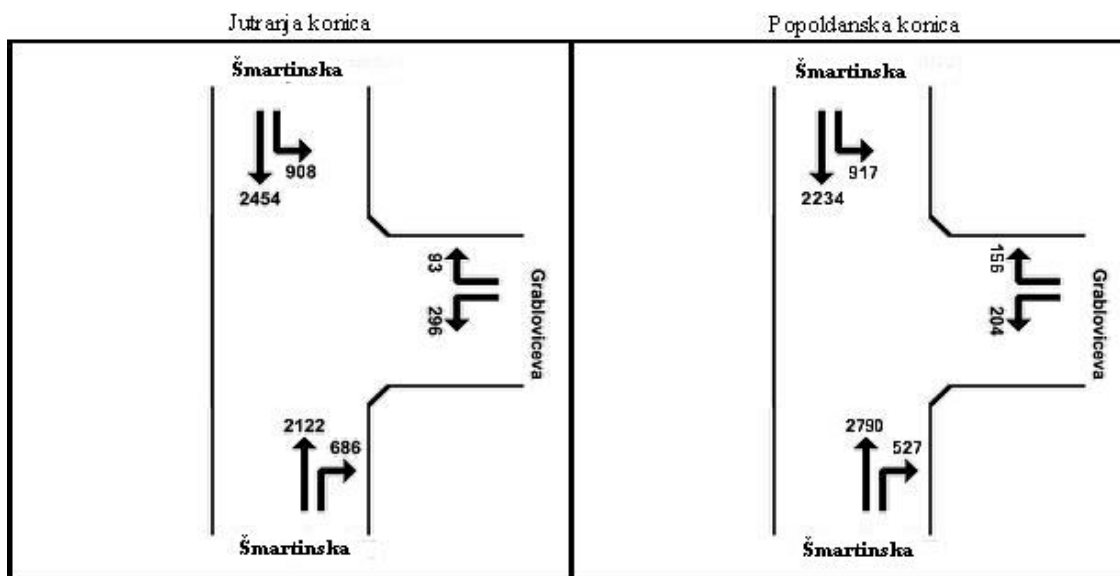
Merodajne prometne obremenitve (popoldanska konica) so zaradi lažje predstave prikazane tudi v obliki diagramov prometnih tokov (Sliki 4 in 6), kot jih poda program Promet v križiščih 3.0.



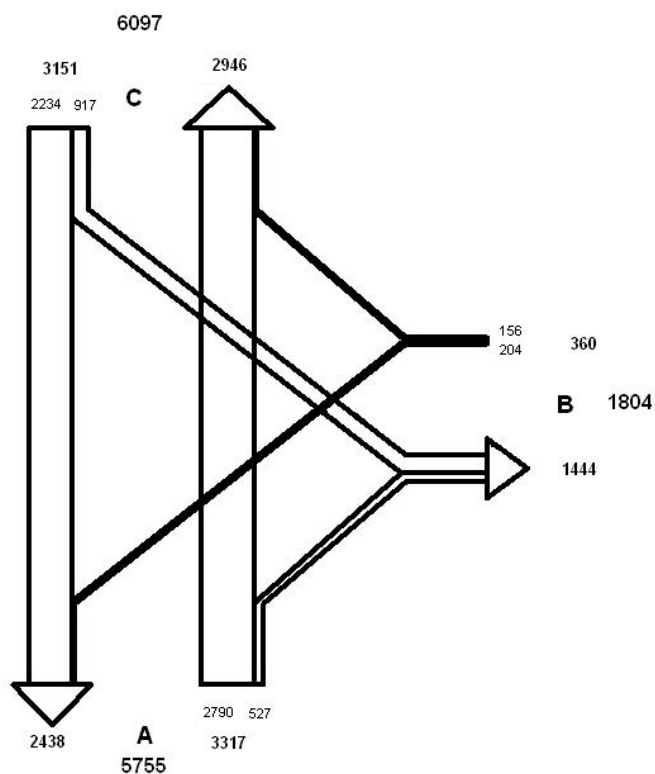
Slika 3: Prometne obremenitve križišča Šmartinska – Topniška (eov/h)



Slika 4: Diagram prometnih obremenitev križišča Šmartinska – Topniška (eov/h)



Slika 5: Prometne obremenitve križišča Šmartinska – Grablovičeva (eov/h)



Slika 6: Diagram prometnih obremenitev križišča Šmartinska – Grablovičeva (eov/h)

5.3 Konstruiranje križišč

V nadaljevanju so v tretjem poglavju opisana križišča uporabljena na realnem primeru, in sicer na lokaciji križišča Zmajski podvoz. Naloga opisuje izolirano križišče, brez vpliva na ostala bližnja križišča. Posebnost križišča je relief, ki ugodno vpliva na postavitev izvennivojskega križišča in bližina nadvoza železniške postaje, ki omejuje večanje števila uvoznih in izvoznih pasov na Šmartinski cesti – jug. Kljub tej omejitvi rešitve predvidevajo večje število uvoznih in izvoznih pasov, kar je neizogibno, saj bodo prometni tokovi ob koncu planske dobe tako veliki, da se jih po štiripasovnici ne bi dalo voditi niti na odprti cesti, še manj pa v bližini križišč, ki običajno zahtevajo dodatne razvrstilne pasove. Omenjena širitev podvoza pod železniško progo je tudi v planu Mestne občine Ljubljana – Oddelka za urbanizem (<http://ppmol.org/urbanizem>).

Na vodenje prometnih tokov negativno vpliva razporejenost prometnih obremenitev. V križišču je namreč zelo veliko levih zavijalcev (največ iz smeri Šmartinske ceste proti centru mesta, in sicer 1011 eov/uro) in majhen delež desnih zavijalcev (s smeri Topniške proti Vilharjevi je le 12 eov/uro in s smeri Šmartinske proti Topniški le 33 eov/uro).

V vseh obravnavanih vrstah križišč se vozila približujejo križišču po dveh pasovih in se od njega oddaljujejo prav tako po dveh pasovih. Topniška ulica, Vilharjeva cesta ter vzhodni in južni krak Šmartinske ceste torej predstavljajo štiripasovne ceste.

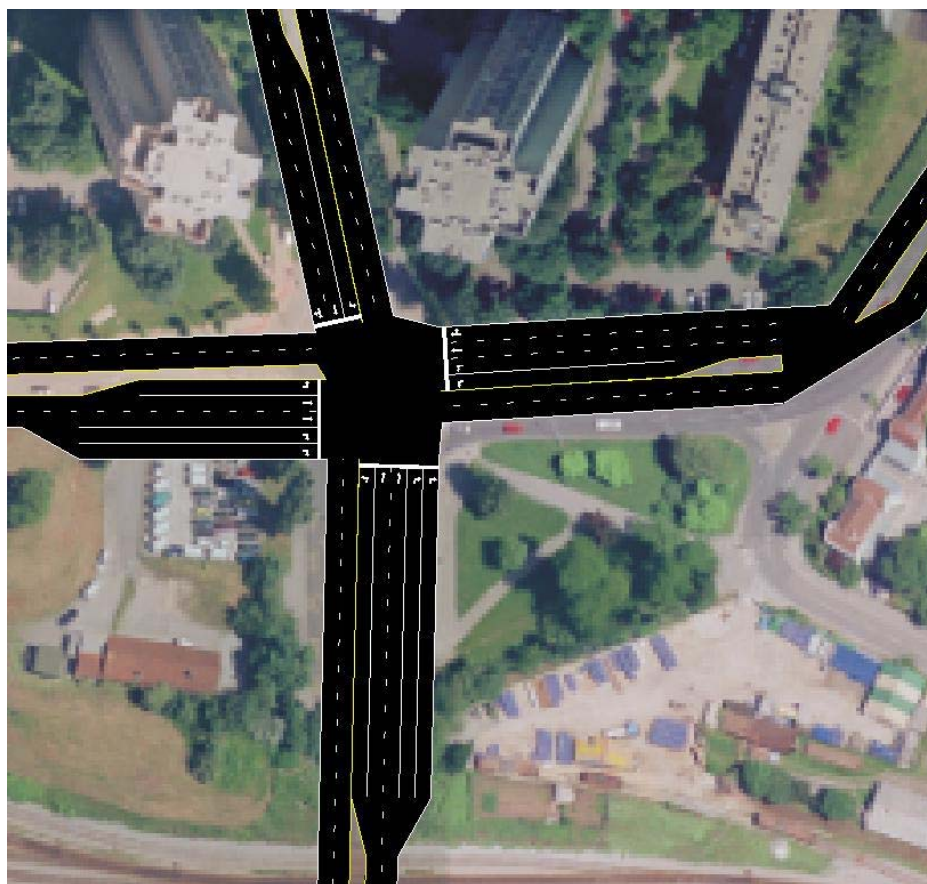
6 OBIČAJNO ŠTIRIKRAKO SEMAFORIZIRANO KRIŽIŠČE

6.1 Geometrija križišča

Križišče je obdelano v računalniških programih SIDRA 3.1 in TSIS 5.1. Konstruirano križišče predvideva ločene pasove za leve zavijalce, za vozila vozeča naravnost ter za desne zavijalce, in sicer na sledeč način (slika 7):

- Šmartinska cesta – jug: en pas za levo in po dva pasova za naravnost in desno;
- Šmartinska cesta: dva pasova za levo, dva pasova za naravnost in en pas za desno;
- Topniška ulica: dva pasova za levo, dva pasova za naravnost in en pas za desno;
- Vilharjeva cesta: en pas za levo, dva pasova za naravnost in dva pasova za desno.

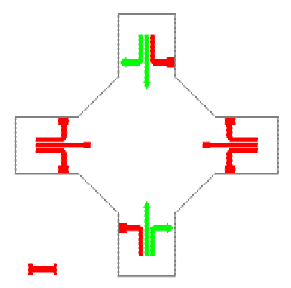
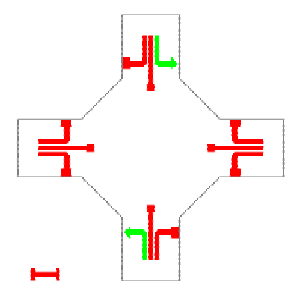
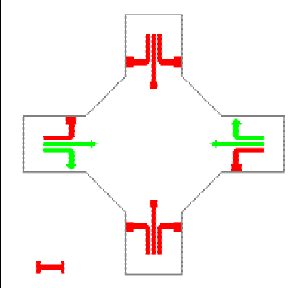
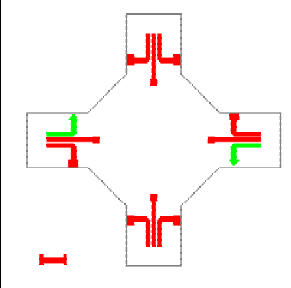
Povečanje števila uvoznih pasov nima smisla zaradi (pre)velikih vmesnih časov med fazami ter zaradi same velikosti križišča in njegove umestitve v prostor.



Slika 7: Geometrija nivojskega štirikrakega semaforiziranega križišča

Po programu SIDRA 3.1 so optimalni zeleni časi sledeči (Preglednica 4):

Preglednica 4: Zeleni časi nivojskega štirirakega semaforiziranega križišča

			
G = 32 seconds G + I = 38 seconds (G + I)/C = 32 %	G = 10 seconds G + I = 16 seconds (G + I)/C = 13 %	G = 22 seconds G + I = 28 seconds (G + I)/C = 23 %	G = 32 seconds G + I = 38 seconds (G + I)/C = 32 %

Fazno zaporedje in zeleni časi posameznih faz so vstavljeni v program TSIS 5.1, kjer je tudi izvedena simulacija.

6.2 Povzetek simulacije nivojskega semaforiziranega križišča

Preglednica 5: Povzetek simulacije semaforiziranega križišča

Obremenitev križišča	8550 eov/uro
Kapaciteta	4605 eov/uro
Stopnja nasičenja	1,857
Zamude	244,0 s/voz
Stopnja ustavljanja	1,68
Nivo uslug	F
Povprečna hitrost potovanja	7,3 km/h
Poraba goriva	892,9 l/h
Emisije HC (ogljikovodiki)	0,23 g/km
Emisije CO (ogljikov monoksid)	14,42 g/km
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	0,96 g/km

6.3 Dogajanje v križišču

Križišče ne zadošča podanim obremenitvam.

Naloga obravnava dvonivojska križišča, zato so tukaj pešci lahko vodeni v svojem nivoju (v obliki podhoda pod križiščem), kar je tudi nujno zaradi velikih prometnih obremenitev.

Osem smeri od skupaj dvanajstih ima nivo uslug F, dve smeri (levi zavijalci s Topniške ulice in desni zavijalci z Vilharjeve ceste) imata nivo uslug E, dve smeri (levi zavijalci z Vilharjeve in desni zavijalci s Šmartinske ceste – jug) pa imata nivo uslug D.

Najslabše so vodena naravnost vozeča vozila s Šmartinske ceste – jug (ki nadaljujejo pot proti Topniški ulici), njihova povprečna zamuda na vozilo znaša 244,0 sekund. Njihova stopnja ustavljanja je enaka 2,41, nivo uslug pa (kot že omenjeno zgoraj) F.

V primeru odločitve za vodenje pešcev čez cestišče je stanje podobno (nivoji uslug vozil se ne spremenijo), nivoji uslug pešcev pa znašajo E. Potrebno je omeniti, da v primeru uporabe takega (oziroma podobnega) nivojskega semaforiziranega križišča zaradi velikih prometnih obremenitev vodenje pešcev v istem nivoju z vozili ni primerno tako s pogleda varnosti pešcev kot tudi s stališča prepustnosti križišča (pešci povečujejo vmesne čase).

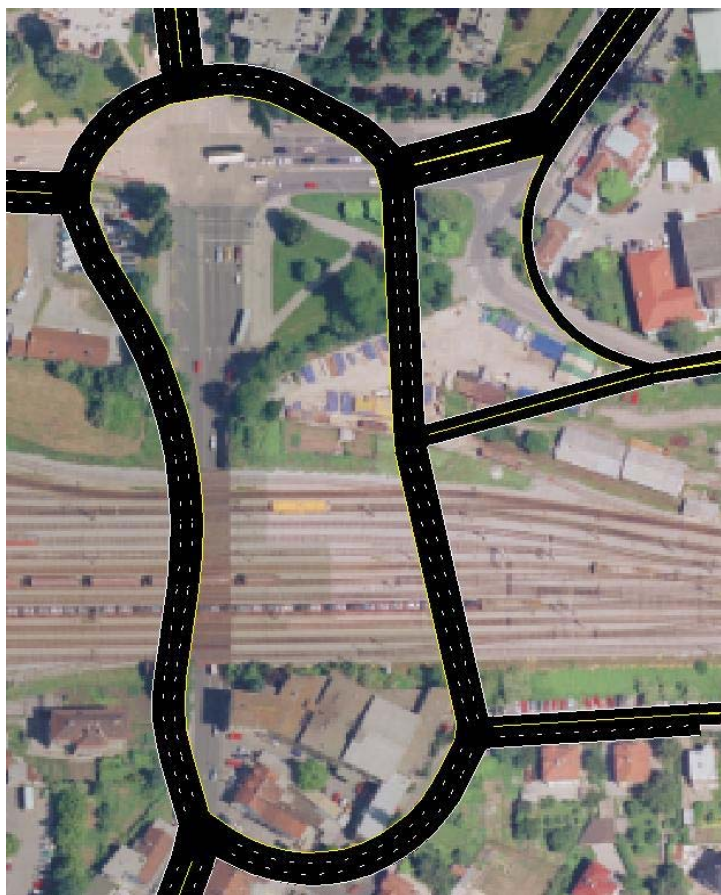
7 VARIANTA Z GRABLOVIČEVO IN KOLINSKO ULICO

7.1 Geometrija križišča

Gre za varianto križišča, nastalo na Oddelku za urbanizem mestne občine Ljubljana.

Posamezna križišča niso semaforizirana, saj je namen tega sistema križišč z enosmernimi ulicami približati se krožnemu križišču.

V to večje krožno križišče se stekajo Šmartinska cesta, Topniška ulica, Vilharjeva cesta, Masarykova cesta, Grablovičeva ulica ter Kolinska ulica.



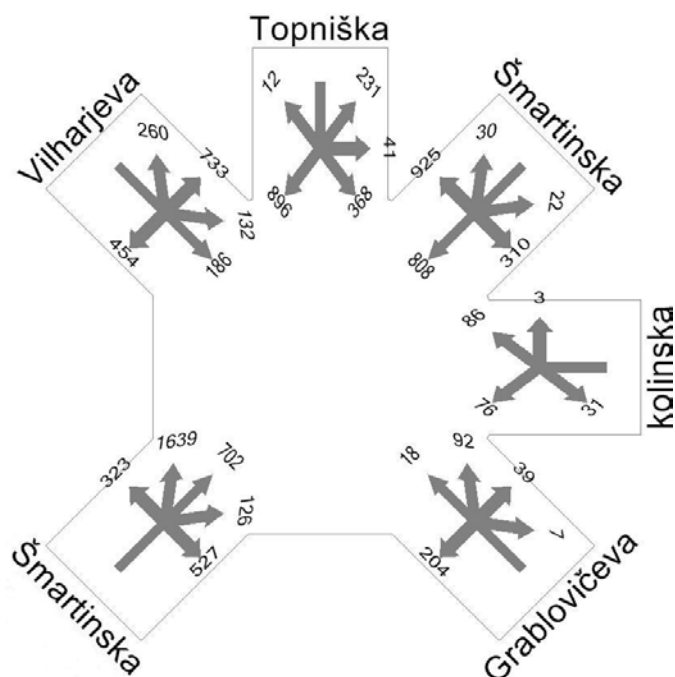
Slika 8: Geometrija krožišča s šestimi uvozi

Križišče ima srednji premer približno 200 metrov.

Vsi tokovi se vodijo skozi krožišče, razen vozil s Kolinske ulice, ki se priključujejo na Šmartinsko cesto. Krožišče je tropasovno, z enopasovnimi oziroma dvopasovnimi uvozi in izvozi (Slika 8).

7.2 Prometne obremenitve

Število eov, ki želijo v eni uri prevoziti križišče znaša 9277, porazdelitev prometnih tokov pa je naslednja (Slika 9):



Slika 9: Prometne obremenitve krožišča s šestimi uvozi

7.3 Povzetek simulacije krožišča s šestimi uvozi

Preglednica 6: Povzetek simulacije krožišča s šestimi uvozi

Obremenitev križišča	9277 eov/uro
Kapaciteta	6808 eov/uro
Stopnja nasičenja	1,363
Zamude	175,5 s/voz
Stopnja ustavljanja	2,78
Nivo uslug	F
Povprečna hitrost potovanja	12,0 km/h
Poraba goriva	1253,9 l/h
Emisije HC (ogljikovodiki)	0,3 g/km
Emisije CO (ogljikov monoksid)	18,42 g/km
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	1,26 g/km

7.4 Dogajanje v križišču

Iz povzetka simulacije je razvidno, da križišče ne zadošča prometnim obremenitvam. Največje zamude imajo vozila, ki želijo iz smeri Vilharjeve ceste zaviti proti Topniški ulici, saj morajo prevoziti skoraj celo krožno križišče. Njihove povprečne zamude znašajo kar 314,6 sekund na vozilo, tako da je nivo uslug te smeri enak F.

Križišče ima kar nekaj pomanjkljivosti. Prva je dolžina povezave med Topniško ulico in Vilharjevo cesto. Ta krožni lok je namreč dolg le 50 metrov, kar ne omogoča prepletanja vozil, saj je teh zelo veliko (4351 eov/uro). Poleg tega je desnih zavijalcev s Topniške proti Vilharjevi le 12 na uro, kar pomeni, da jih več kot 99 odstotkov ne zavije proti Vilharjevi, kar ima za posledico še več prepletanj in še večje zamude.

Naslednja negativna lastnost križišča je premajhna kapaciteta krožnega loka med Šmartinsko cesto - jug in Grablovičevo ulico. Po tem delu krožišča se na uro namreč želi zvrstiti kar 5631 eov, kar je preveč za tri pasove, če upoštevamo dejstvo, da so spet prisotna prepletanja vozil. Če bi bil omenjeni krožni lok daljši, bi bilo stanje verjetno boljše, vendar še vedno ne zadostno. Povprečna zamuda na vozilo na tej cesti znaša 15,1 sekund, kar sicer ni veliko, vendar gre za praktično nasičen prometni tok, tako da se vozila s Šmartinske ceste – jug težko vključujejo v krožišče.

Najbolje so vodena vozila, ki vozijo iz Kolinske ulice proti Šmartinski cesti: praktično nimajo zamud (so kanalizirana in ne vozijo po krožišču); med vozili, ki vozijo v krožišču, pa imajo najmanjše zamude vozila z Grablovičeve ulice na Kolinsko ulico. Njihova povprečna zamuda namreč znaša le 7,3 sekund na vozilo.

8 KROŽNO KRIŽIŠČE Z VODENO SMERJO V SVOJEM NIVOJU

Avtor križišča je doc. dr. Alojzij Juvanc. Križišče ni primerno za vsako situacijo, namenjeno je prav lokaciji križišča Zmajski podvoz. Za uporabo podobnih križišč drugje, ga je zato tam potrebno znova obdelati, saj je kakovost vodenja prometa odvisna predvsem od prometnih obremenitev (število vozil, njihova razporeditev in podobno), ne le od oblike križišča, tako da je uporaba identične rešitve v drugih primerih vprašljiva. Ker naloga opisuje križišča ravno na primeru križišča Zmajski podvoz, je primerno, da se uporabi tudi to križišče, ki predstavlja eno od možnih prometnih rešitev.

Originalna oblika križišča predvideva direktno povezavo le-tega s križiščem Masarykova cesta – Njogoševa cesta. Ker naloga obravnava izolirano križišče Zmajski podvoz in ker sprememba na samo vodenje prometnih tokov nima bistvenega vpliva, se omenjene povezave med križiščema tukaj ne upoštevata.

8.1 Geometrija križišča

Konstruirano je krožišče, v katerega se vodijo Šmartinska cesta, Topniška ulica, Vilharjeva cesta in Grablovičeva ulica. Celotno krožno križišče leži na severni strani Zmajskega podvoza in ima koto vozišča na višini kote železniških tirov.

Šmartinska cesta – jug je vodena posebej, in sicer pod železniškim nadvozom in pod celotnim krožiščem. Na krožišče se z omenjene ceste priključijo le vozila, ki želijo nadaljevati pot proti Vilharjevi cesti. Le-ta v krožišče uvažajo z notranje (leve) strani krožnega vozišča, kar predstavlja posebnost tega križišča. Zaradi neobičajnosti omenjenega priključka je za omenjena vozila namenjen poseben pas v krožišču, tako da lahko ta pas varno zapustijo, oziroma da se lahko druga vozila v krožišču razvrstijo po tem pasu. Omenjeni pas se namreč odcepi s krožišča spet na notranjo (levo stran krožnega vozišča), kar lahko pripelje do nevarnih situacij, vendar je ta problem rešljiv z omejitvijo hitrosti in z ustrezno signalizacijo (razvrstilne table).

Vozila, ki s Šmartinske ceste – jug želijo zaviti na Grablovičevo ulico, to operacijo odcepljanja opravijo že pred železniškim nadvozom. Lahko bi bili sicer vodeni tudi po

krožišču (podobno kot vozila, ki želijo na Vilharjevo cesto), vendar bi bile tako njihove zamude prevelike, poleg tega pa bi lahko povzročili prenasičenje krožišča, saj tok zavijalcev na Grablovičevo ulico predstavlja 504 eov/uro, kar lahko močno vpliva na delovanje krožišča.

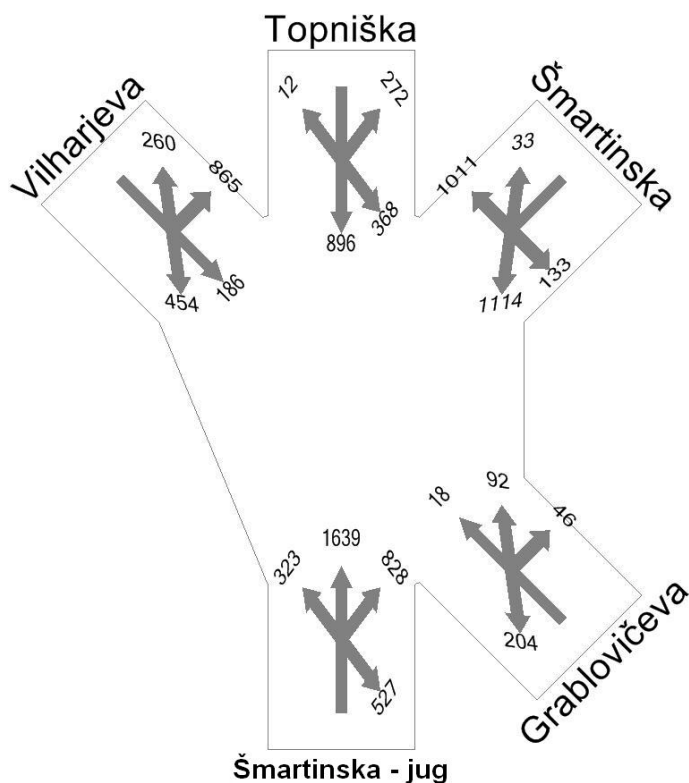
Vozila, ki s Topniške ulice in Vilharjeve ceste nadaljujejo vožnjo proti centru mesta, so vodena pod krožiščem, ostala krožijo po njem.

Zaradi velikosti prometnih tokov, ki predstavljajo leve zavijalce s krožišča in vozila, ki z Vilharjeve ceste nadaljujejo vožnjo proti Šmartinski cesti – jug, se omenjene tokove združi v dvopasovno cesto, ki je tudi v nadaljevanju (po združitvi z naravnost vozečimi s Topniške ulice) dvopasovna. (Slika 10)



Slika 10: Geometrija krožnega križišča z vodeno smerjo v svojem nivoju

8.2 Prometne obremenitve



Slika 11: Prometne obremenitve krožnega križišča z vodeno smerjo v svojem nivoju

Prometne obremenitve celotnega križišča znašajo 8754 eov/uro, medtem ko količina tokov, ki se vodi po krožišču, znaša 4937 eov/uro. Ostali tokovi so vodeni v svojem nivoju (pod krožnim križiščem).

8.3 Povzetek simulacije križišča z vodeno smerjo v svojem nivoju

Preglednica 7: Povzetek simulacije krožnega križišča z vodeno smerjo v svojem nivoju

Obremenitev križišča	8754 eov/uro
Kapaciteta	10076 eov/uro
Stopnja nasičenja	0,869
Zamude	17,43 s/voz
Stopnja ustavljanja	0,35
Nivo uslug	C
Povprečna hitrost potovanja	34,5 km/h
Poraba goriva	622 l/h
Emisije HC (ogljikovodiki)	0,15 g/km
Emisije CO (ogljikov monoksid)	10,68 g/km
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	0,55 g/km

8.4 Dogajanje v križišču

Križišče zadošča prometnim obremenitvam. Najslabše vodeni so zavijalci, ki s Šmartinske ceste želijo zaviti na Grablovičevo ulico. Podatek je pričakovan, saj gre za vozila, ki se vozijo skozi večji del krožišča. Njihova povprečna zamuda znaša 33,6 sekund na vozilo, nivo uslug te smeri pa je D. Stopnja ustavljanja te smeri znaša 0,91, kar pa za krožno križišče niti ni veliko.

Podobno kot pri varianti s priključeno Grablovičevo in Kolinsko ulico je tudi tukaj najbolj občutljiv del krožišča med Topniško ulico in Vilharjevo cesto. Pri danih obremenitvah je situacija tekoča, taka pa ostane tudi ob manjšem povečanju prometnih obremenitev.

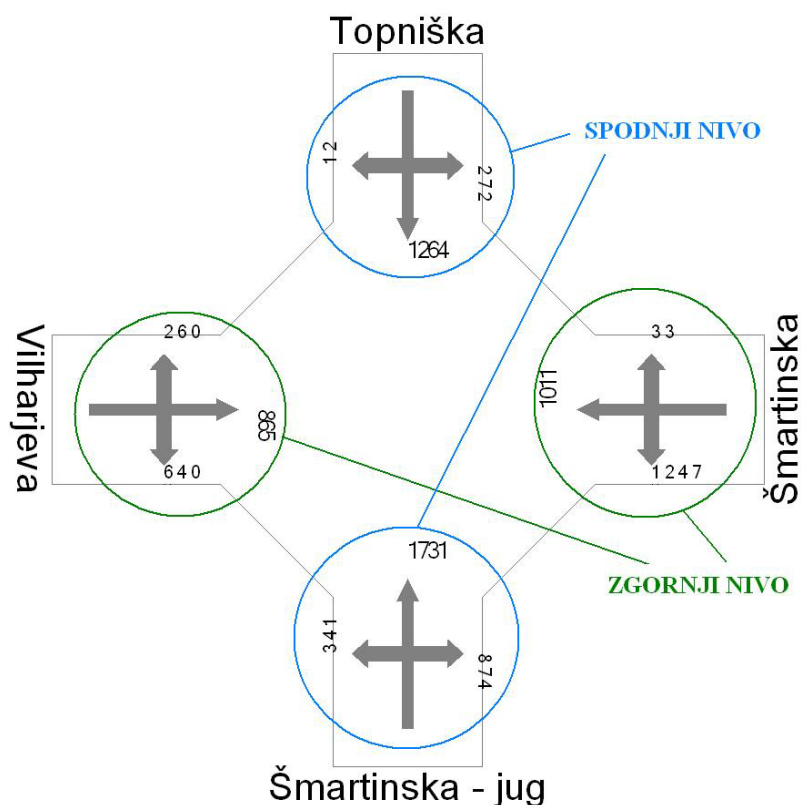
Najbolje so vodena vozila s Šmartinske ceste – jug. Zavijalci proti Grablovičevi ulici in Šmartinski cesti ter naravnost (proti Topniški ulici) vozeča vozila namreč opravljajo le operacije odcepljanja (vozila proti Šmartinski cesti nato opravijo še operacijo združevanja, vendar na ločen pas, tako da to združevanje nima večjega vpliva na kvaliteto vodenja prometa). Ostanjejo še vozila s Šmartinske ceste – jug, ki želijo na Vilharjevo cesto. Njihova zamuda znaša 20,1 s/vozilo, stopnja ustavljanja pa le 0,14.

Med vozili, ki so vodena po krožišču najboljše rezultate pokažejo desni zavijalci z Grablovičeve ulice, katerih povprečna zamuda znaša 10,6 s/vozilo, stopnja ustavljanja pa 0,70. Podatek je razumljiv, saj se omenjena vozila najmanj časa zadržujejo v krožišču (poleg tega da so navadno v krožnih križiščih najboljše vodeni prav desni zavijalci).

9 DVONIVOJSKO KROŽNO KRIŽIŠČE

9.1 Obremenitve križišča

Prometni tokovi se razdelijo na dva dela, tokovi s Šmartinske in Vilharjeve ceste na eno križišče in tokovi s Topniške ulice in Šmartinske ceste – jug na drugo (Slika 12):



Slika 12: Obremenitve zgornjega in spodnjega nivoja dvonivojskega krožnega križišča

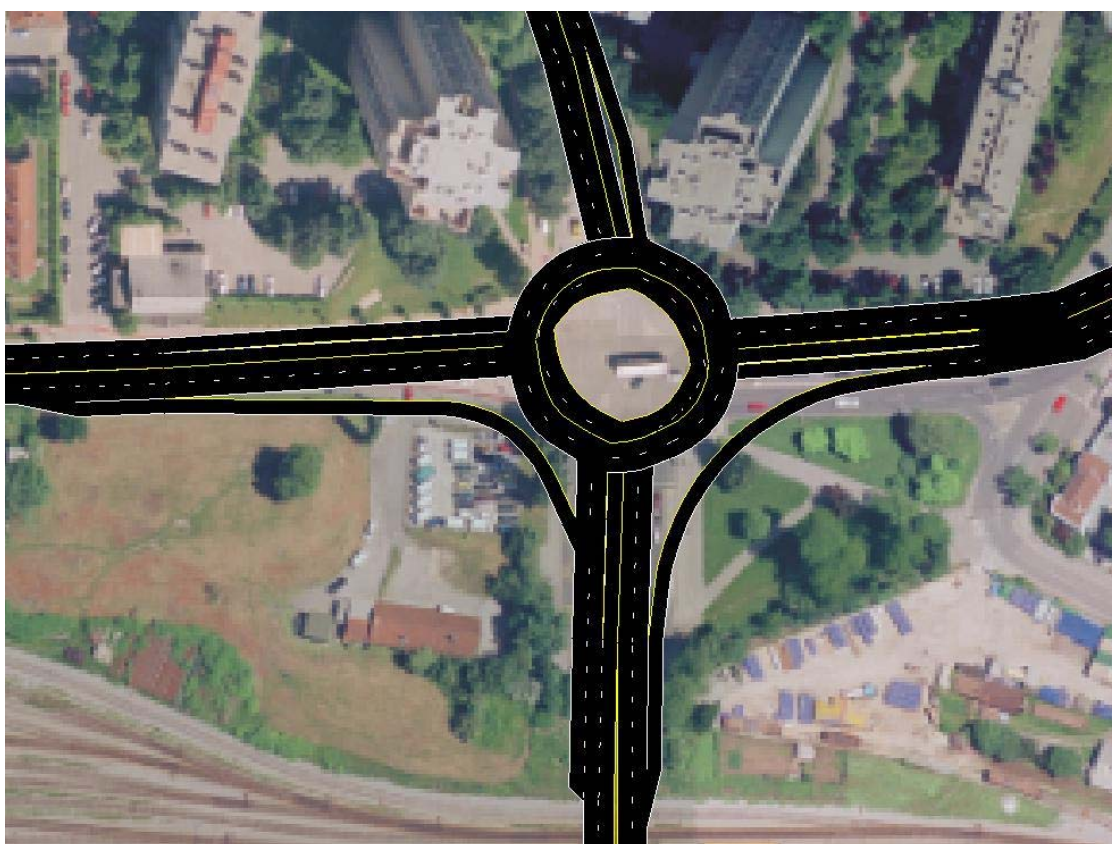
9.2 Geometrija križišča

Križišče je sestavljeno iz dveh krožnih križišč, postavljenih enega nad drugim. Obe križišči imata po dva vozna pasova.

Zgornje križišče, v katerega se stekata Šmartinska cesta in Vilharjeva cesta, ima notranji premer 40 m. Obe omenjeni cesti imata po dva uvozna pasova. Izvozi so vsi enopasovni, razen proti centru Ljubljane, kjer je izvoz (zaradi velikega števila levih zavijalcev s Šmartinske) dvopasoven. Desni zavijalci iz smeri Vilharjeve so kanalizirani, ne zaradi

njihovega velikega števila, temveč zaradi velikega števila levih zavijalcev iz smeri Šmartinske, ki omenjenim desnim zavijalcem ovirajo uvoz v križišče.

Spodnji del križišča, v katerega se stekata cesti Šmartinska – jug in Topniška ulica, ima notranji premer 35 m. Obe cesti imata po dva uvozna pasova. Izvozne ceste v vse štiri smeri imajo po en pas. Desni zavijalci iz smeri Šmartinska – jug so zaradi razbremenitve krožišča kanalizirani.



Slika 13: Geometrija dvonivojskega krožnega križišča

9.3 Povzetek simulacije dvonivojskega krožnega križišča

Preglednica 8: Povzetek simulacije dvonivojskega krožnega križišča

Obremenitev križišča	8550 eov/uro
Kapaciteta	10650 eov/uro
Stopnja nasičenja	0,803
Zamude	11,5 s/voz
Stopnja ustavljanja	0,69
Nivo uslug	B
Povprečna hitrost potovanja	28,6 km/h
Poraba goriva	444,7 l/h
Emisije HC (ogljikovodiki)	0,24 g/km
Emisije CO (ogljikov monoksid)	17,70 g/km
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	0,88 g/km

9.4 Dogajanje v križišču

Celotno križišče prometnim obremenitvam zadošča, saj nivo uslug B govori o zadostni kapaciteti križišča.

Najslabše rezultate pokažejo levi zavijalci s Šmartinske ceste, ki so vodeni skozi zgornje krožišče. Povprečne zamude v tem primeru znašajo 24,6 s/vozilo, stopnja ustavljanja je 1,02, nivo uslug pa je za to smer C, kar nam pove, da je tudi vodenje te smeri primerno.

Na uvozih v krožišča ni pojava večjih kolon vozil, najdaljša (do maksimalno 8 vozil na pas, kar znaša do 45m) se tvori na uvozu Šmartinske ceste, vendar se pojavi le za kratek čas, tako da niti ni merodajna (kolikor vozil pripelje, jih tudi odpelje).

Spodnje krožišče pokaže še boljše rezultate kot zgornje. Najslabše so vodeni levi zavijalci s Šmartinske ceste – jug, ki vozijo proti Vilharjevi cesti. Njihova povprečna zamuda znaša 9,8 s/vozilo, stopnja ustavljanja je enaka 0,47, nivo uslug te smeri pa je enak B.

Desni zavijalci so zaradi njihovega števila in zaradi preprečevanja preobremenjevanja spodnjega krožišča kanalizirani. Njihov nivo uslug znaša A.

10 DVONIVOJSKO SEMAFORIZIRANO KRIŽIŠČE

10.1 Obremenitve križišča

Obremenitve dvonivojskega semaforiziranega križišča in njihova porazdelitev je enaka tistim pri dvonivojskem krožnem križišču (Slika 12).

10.2 Geometrija križišča

Križišče je sestavljeno iz dveh nivojev.

Spodnji nivo predstavlja stik Šmartinske ceste – jug in Topniške ulice. Z obeh smeri je možno levo in desno zavijanje proti Vilharjevi in Šmartinski cesti.

Šmartinska cesta ima štiri uvozne pasove: prvega, namenjenega desnim zavijalcem, drugega, ki je namenjen desnim zavijalcem in naravnost vozečim vozilom, tretjega le za naravnost vozeče in četrtega, ki je namenjen levim zavijalcem.

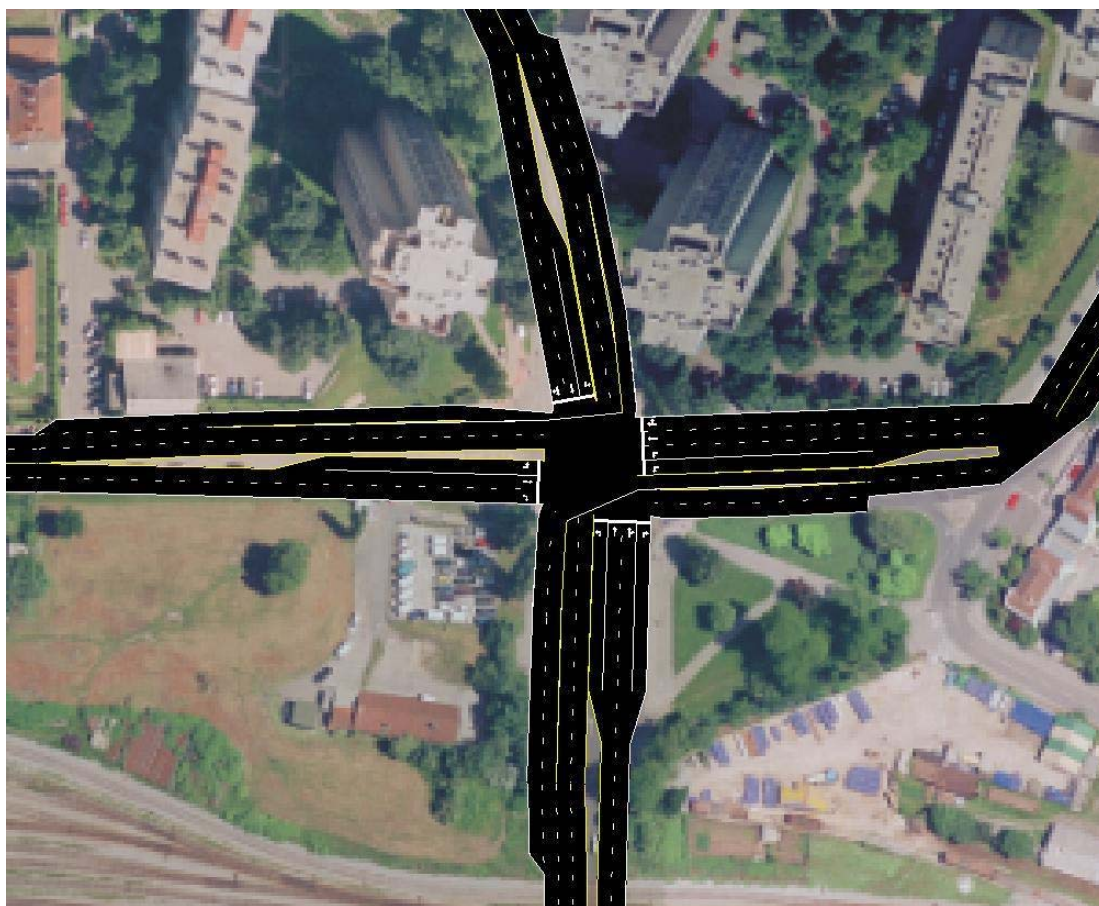
Topniška ima tri uvozne pasove: prvega za desne zavijalce in naravnost vozeče, drugega, namenjenega le naravnost vozečim vozilom, in tretjega, namenjenega levim zavijalcem.

Tudi z zgornjega križišča, kjer se stikata Šmartinska in Vilharjeva cesta, je dovoljeno desno in levo zavijanje v smereh sever in jug.

Šmartinska cesta ima štiri uvozne pasove: prvega za desne zavijalce in naravnost vozeča vozila, drugega za naravnost vozeča vozila in zadnja dva, namenjena levim zavijalcem.

Vilharjeva cesta ima štiri uvozne pasove: prvega za desne zavijalce, drugega za naravnost vozeča vozila in tretjega za leve zavijalce.

Ceste Topniška, Vilharjeva in Šmartinska – jug imajo po dva izvozna pasova, Šmartinska pa enega (Slika 14).



Slika 14: Geometrija dvonivojskega semaforiziranega križišča

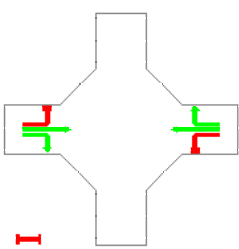
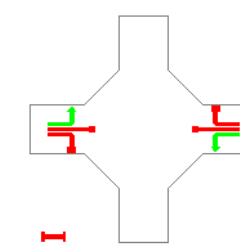
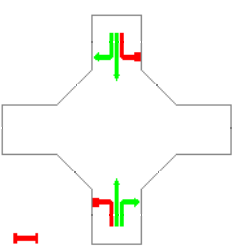
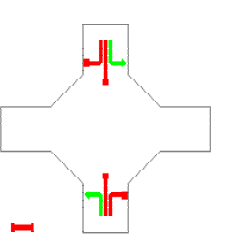
Dvonivojsko semaforizirano križišče je kot celota obdelano v programu TSIS 5.1, zgornji in spodnji nivo pa sta (predvsem zaradi izračuna dolžine ciklusov in zelenih časov) posebej obdelana še v programu SIDRA 3.1.

10.3 Ciklus, zeleni časi

Izbran je dvofazni krmilni sistem, kjer posebej vodimo najprej naravnost vozeča vozila in desni zavijalci, nato pa še levi zavijalci. To velja za vsak nivo posebej.

Zeleni časi zgornjega in spodnjega nivoja dvonivojskega semaforiziranega križišča so izračunani po programu SIDRA 3.1 (Preglednica 9) in nato vstavljeni v program TSIS 5.1, v katerem je tudi izvedena simulacija.

Preglednica 9: Zeleni časi dvonivojskega semaforiziranega križišča

Zgornji nivo		Spodnji nivo	
			
G = 33 seconds G + I = 39 seconds (G + I)/C = 56.0 %	G = 25 seconds G + I = 31 seconds (G + I)/C = 44.0 %	G = 35 seconds G + I = 41 seconds (G + I)/C = 68.3 %	G = 13 seconds G + I = 19 seconds (G + I)/C = 31.7 %
Kjer je: G – čas zelene luči I – vmesni čas med zaporednima fazama C – dolžina ciklusa			

10.4 Povzetek simulacije dvonivojskega semaforiziranega križišča

Preglednica 10: Povzetek simulacije dvonivojskega semaforiziranega križišča

Obremenitev križišča	8550 eov/uro
Kapaciteta	11304 eov/uro
Stopnja nasičenja	0,756
Zamude	25,6 s/voz
Stopnja ustavljanja	0,96
Nivo uslug	C
Povprečna hitrost potovanja	30,6 km/h
Poraba goriva	621,7 l/h
Emisije HC (ogljikovodiki)	0,16 g/km
Emisije CO (ogljikov monoksid)	12,71 g/km
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	0,62 g/km

10.5 Dogajanje v križišču

Nivo uslug C govori o primernem vodenju prometa.

V spodnjem nivoju križišča so najslabše vodeni levi zavijalci s Šmartinske ceste – jug, ki zavijajo proti Vilharjevi cesti. Njihova povprečna zamuda znaša 41,7 sekund na vozilo, stopnja ustavljanja pa je enaka 1,21. Nivo uslug te smeri je enak D.

V zgornjem nivoju križišča najslabše rezultate pokažejo levi zavijalci s Šmartinske ceste, ki zavijajo proti Šmartinski cesti – jug. Njihova povprečna zamuda znaša 44,5 sekund na vozilo, stopnja ustavljanja pa 1,14. Tudi nivo uslug te smeri je enak D.

11 DVONIVOJSKO NESEMAFORIZIRANO KRIŽIŠČE

11.1 Geometrija križišča

Križišče je sestavljeno v glavnem iz enopasovnih povezovalnih cest, le pasova za leve zavijalce s Šmartinske ceste in za desne zavijalce z Vilharjeve ceste se združita v dvopasovnico. Uvozne ceste so štiripasovne. Tako vodenje je izbrano zaradi minimalne porabe tlorisne površine. Ta prednost zahteva večjo prostornino križišča, kar sicer vpliva na ceno izgradnje le-tega, vendar vprašanja ekonomičnosti ta naloga ne zajema.

Vozila s Šmartinske ceste so vodena po dveh pasovih, od katerih je levi namenjen levim zavijalcem, desni pa naravnost vozečim vozilom in desnim zavijalcem. Desni pas se potem združi s pasom levih zavijalcev s Vilharjeve ceste in se nato priključi naravnost vozečim s Šmartinske ceste – jug. Levi pas se združi s pasom desnih zavijalcev z Vilharjeve ceste v dvopasovnico, ki se nato združi z naravnost vozečimi vozili s Topniške smeri. Vozila vseh štirih smeri so vodena na podoben način.

Vozila s Topniške ulice so vodena po dveh pasovih, od katerih je levi namenjen levim zavijalcem, desni pa naravnost vozečim vozilom in desnim zavijalcem. Desni pas se potem združi s pasom levih zavijalcev s Šmartinske ceste – jug in se nato priključi naravnost vozečim s Šmartinske ceste – vzhod. Levi pas se združi s pasom desnih zavijalcev s Šmartinske ceste – jug in se nato združi z naravnost vozečimi vozili s smeri Vilharjeve ceste.

Razvrstitev vozil na Vilharjevi cesti in Šmartinski cesti – jug je podobna (Slika 15).

Vsa križanja povezovalnih cest so dvonivojska, z izjemo južnega kraka Šmartinske ceste. Zaradi pomanjkanja prostora med središčem križišča in nadvozom železniške proge, ter zaradi višinskega poteka dvopasovne ceste, v katero se združijo levi zavijalci s Šmartinske ceste in desni zavijalci z Vilharjeve ceste, vodenje levih zavijalcev s Šmartinske ceste – jug na način, kot so levi zavijalci vodeni na ostalih cestah, ni mogoče. Zato so naravnost vozeči s smeri Topniške ulice proti Šmartinski cesti – jug poglobljeni. Tukaj je tako prisotno tronivojsko križanje (Slika 15).



Slika 15: Geometrija dvonivojskega nesemaforiziranega križišča

11.2 Povzetek simulacije dvonivojskega nesemaforiziranega križišča

Preglednica 11: Povzetek simulacije dvonivojskega nesemaforiziranega križišča

Obremenitev križišča	8550 eov/uro
Kapaciteta	11799 eov/uro
Stopnja nasičenja	0,725
Zamude	5,2 s/voz
Stopnja ustavljanja	0,25
Nivo uslug	A
Povprečna hitrost potovanja	39,5 km/h
Poraba goriva	410,5 l/h
Emisije HC (ogljikovodiki)	0,11 g/km
Emisije CO (ogljikov monoksid)	8,80 g/km
Emisije NO _x (dušikovi oksidi)	0,39 g/km

11.3 Dogajanje v križišču

Nivo uslug A govori o zelo veliki kvaliteti vodenja prometa skozi križišče. Vozila operacije zavijanja (odcepljanja) opravljajo neovirano, kar močno poveča povprečno potovalno hitrost skozi križišče, ki znaša kar 39,5 km/h. Zamude so minimalne, nastajajo pa zaradi združevanj posameznih povezovalnih cest v enopasovne ceste. Pri teh združevanjih imajo prednost vozila s smeri, ki je bolj obremenjena, s čimer je doseženo manjše število ustavljanj, kar se seveda kaže v majhni stopnji ustavljanja.

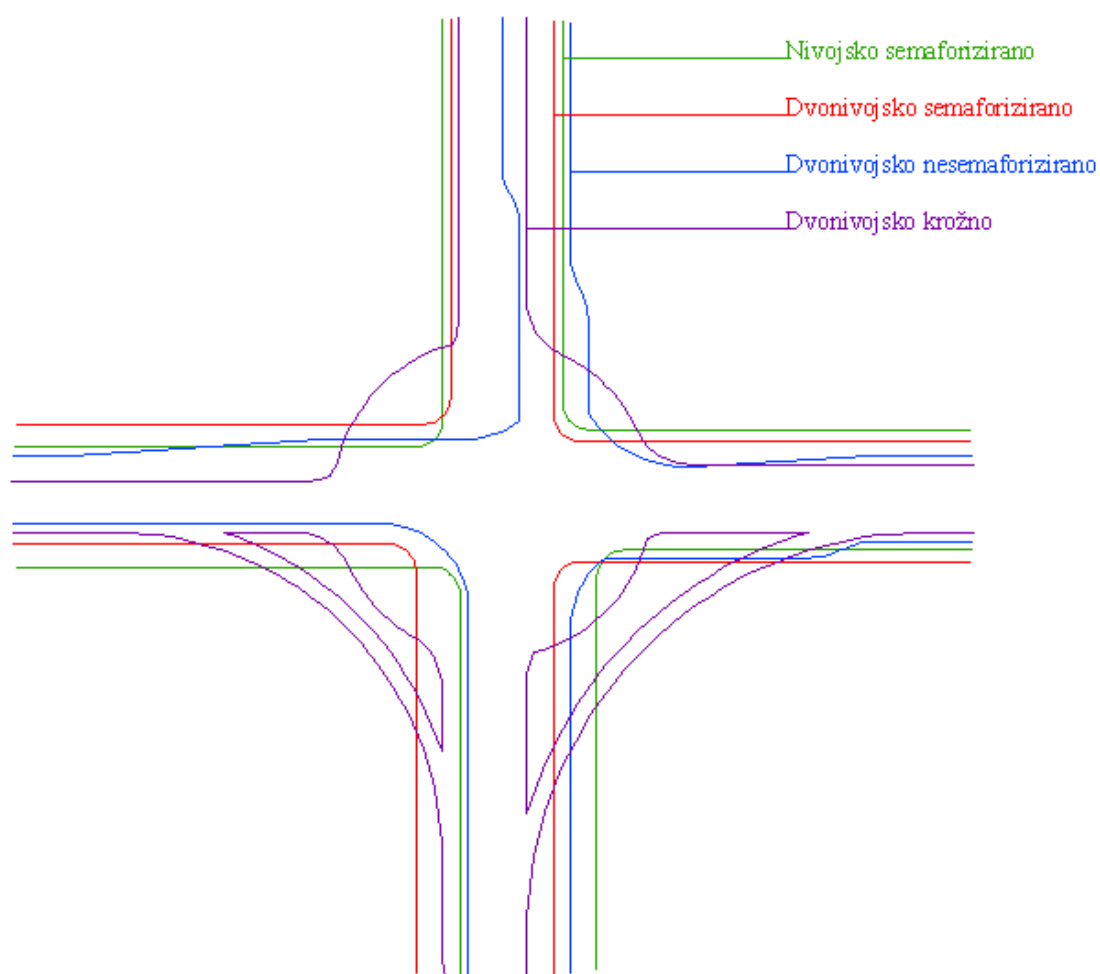
Manjši problem predstavljajo prepletanja vozil na Šmartinski cesti – jug. Vozila, ki se križišču približujejo, namreč med odcepom za leve zavijalce in odcepom za desne zavijalce nimajo dovolj prostora za operacije razvrščanja. V realnosti bi bil ta problem verjetno razmeroma redek, saj bi vozniki že prej vedeli za katero smer se bodo pri odcepu odločili. Vzrok za ta problem je torej v simulacijskem programu, v katerem se vozniki v danem križišču odločijo, kam bodo zavili v naslednjem križišču. Kljub temu problemu se na omenjenem delu križišča ne tvorijo kolone, pride le do pojava manjših zamud, in sicer v povprečju 6,9 s/vozilo.

Ostale operacije združevanj in odcepljanj se izvajajo brez posebnosti.

12 PRIMERJAVA KONSTRUIRANIH KRIŽIŠČ

12.1 Tlorisna površina križišč

Različne vrste križišč zahtevajo različno porabo prostora, ni pa nujno, da križišča večjih kapacitet zavzamejo večjo površino kot tista z manjšimi kapacitetami. Primerjava tlorisnih površin v nalogi uporabljenih križišč (brez križišča z vodeno smerjo v svojem nivoju in krožišča s šestimi uvozi, ker gre za večja, večkraka križišča) je grafično prikazana na Sliki 16.



Slika 16: Primerjava porabe prostora križišč

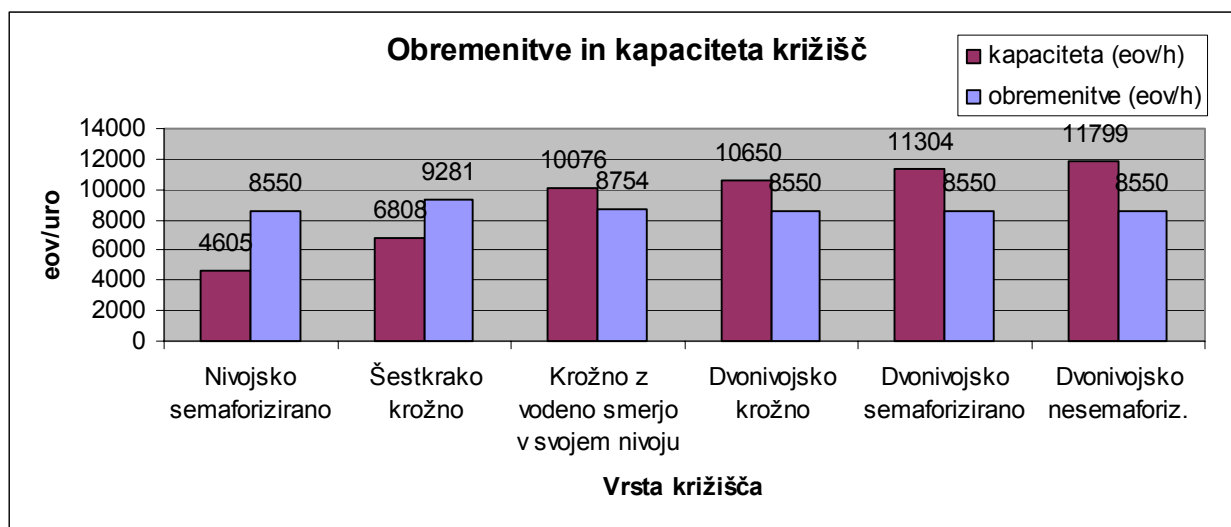
12.2 Lastnosti križišč

Bistvene lastnosti križišč, oziroma rezultati simulacij posameznih križišč, so zaradi večje preglednosti prikazane še združeno v obliki preglednic in grafikonov, kar služi lažji predstavi o upravičenosti izvedbe posamezne vrste križišča.

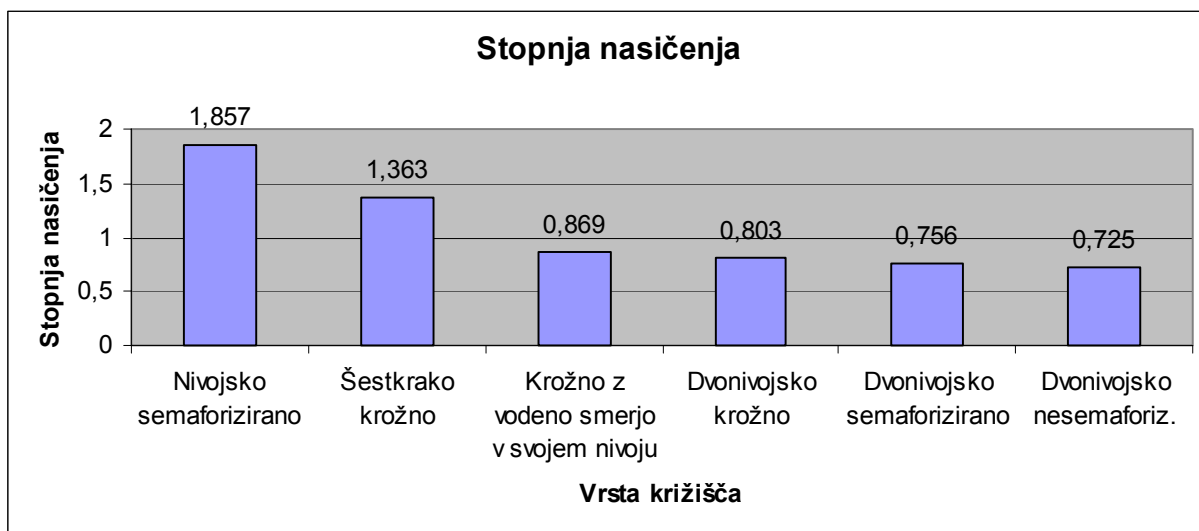
12.2.1 Kapaciteta

Preglednica 12: Primerjava kapacitet in nasičenja križišč

	Vrsta križišča					
	Nivojsko semaforizirano	»Šestkrako krožno«	Krožno z vodeno smerjo v svojem nivoju	Dvonivojsko krožno	Dvonivojsko semaforizirano	Dvonivojsko nesemaforiz.
kapaciteta (eov/h)	4605	6808	10076	10650	11304	11799
obremenitve (eov/h)	8550	9281	8754	8550	8550	8550
stopnja nasičenja	1,857	1,363	0,869	0,803	0,756	0,725



Grafikon 2: Obremenitve in kapaciteta križišč

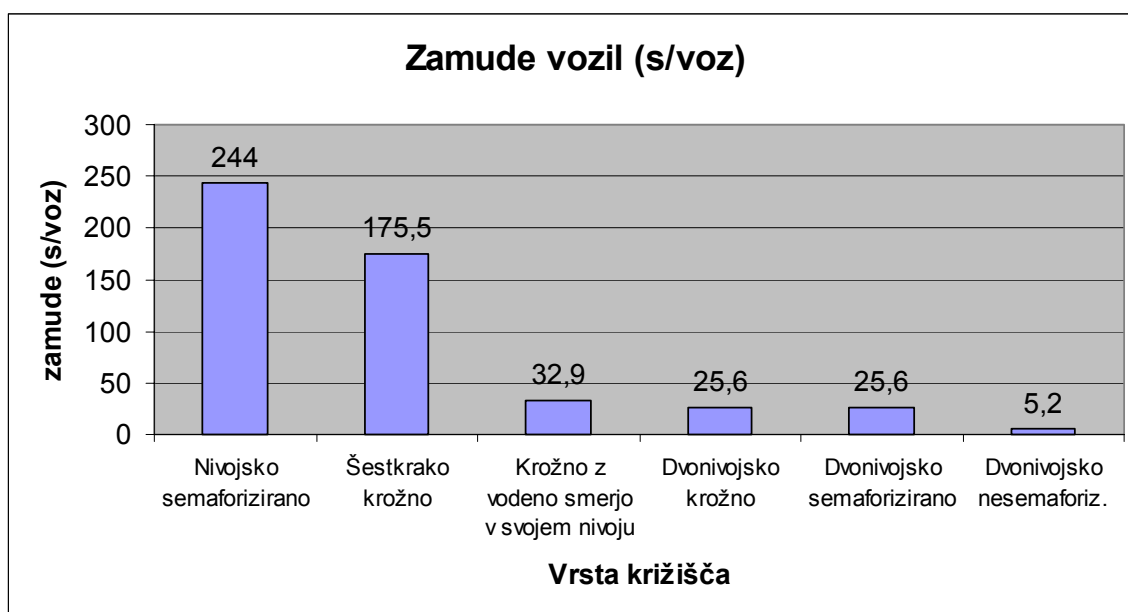


Grafikon 3: Izkoriščenost križišč

12.2.2 Zamude

Preglednica 13: Primerjava zamud križišč

	Vrsta križišča					
	Nivojsko semaforizirano	»Šestkrako krožno«	Krožno z vodeno smerjo v svojem nivoju	Dvonivojsko krožno	Dvonivojsko semaforizirano	Dvonivojsko nesemaforiz.
zamude (s/voz)	244,0	175,5	32,9	25,6	25,6	5,2

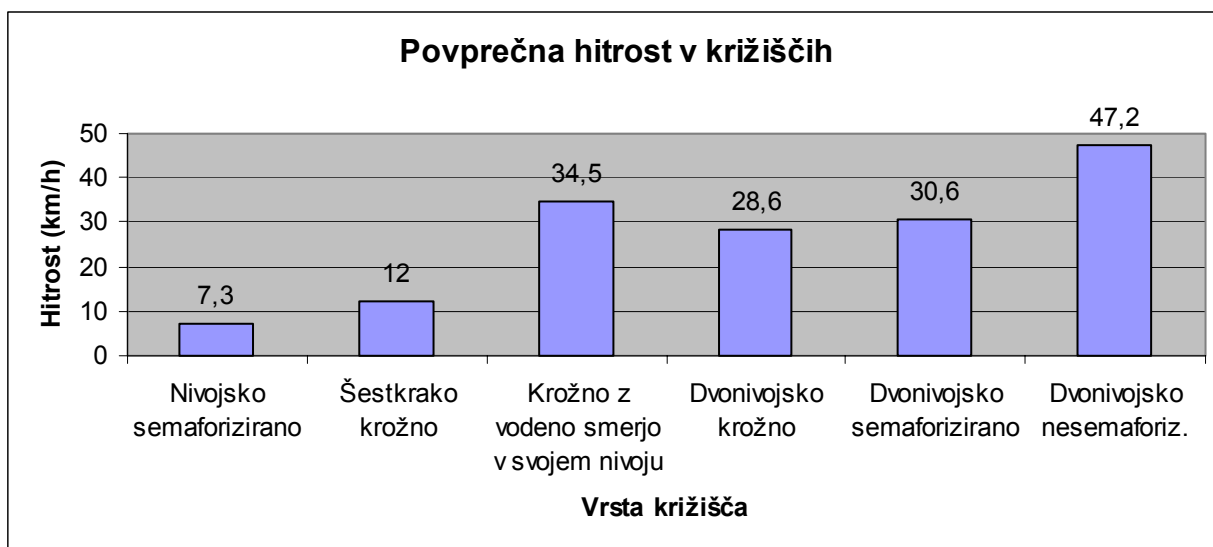


Grafikon 4: Zamude vozil v križiščih

12.2.3 Povprečna hitrost

Preglednica 14: Primerjava povprečnih hitrosti križišč

hitrost (km/h)	Vrsta križišča					
	Nivojsko semaforizirano	»Šestkrako krožno«	Krožno z vodeno smerjo v svojem nivoju	Dvonivojsko krožno	Dvonivojsko semaforizirano	Dvonivojsko nesemaforiz.
	7,3	12,0	34,5	28,6	30,6	39,5

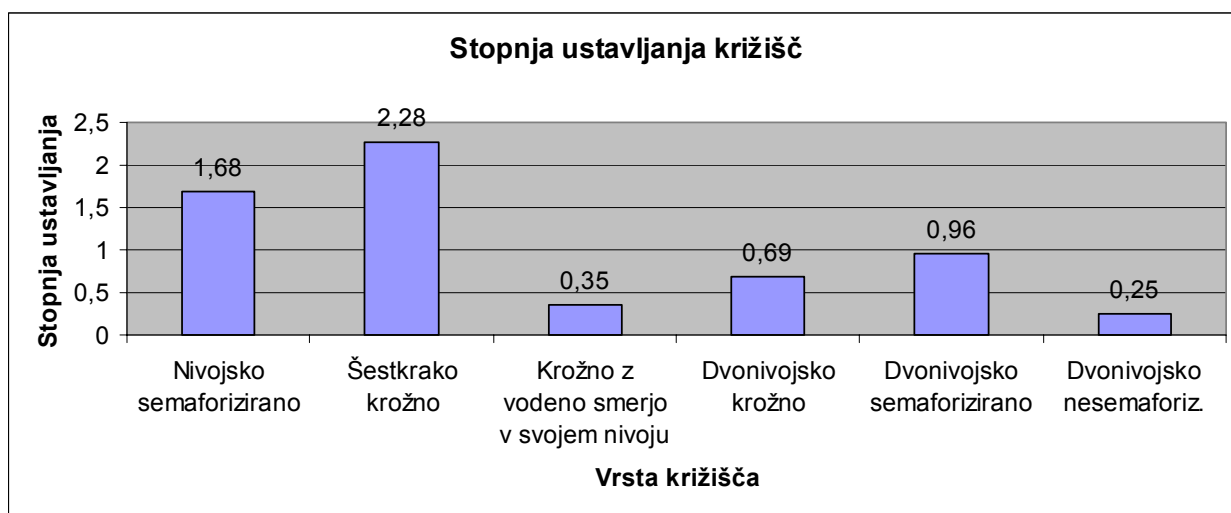


Grafikon 5: Povprečna hitrost v križiščih

12.2.4 Stopnja ustavljanja

Preglednica 15: Primerjava stopenj ustavljanja križišč

stopnja ustavljanja	Vrsta križišča					
	Nivojsko semaforizirano	»Šestkrako krožno«	Krožno z vodeno smerjo v svojem nivoju	Dvonivojsko krožno	Dvonivojsko semaforizirano	Dvonivojsko nesemaforiz.
	1,68	2,28	0,35	0,69	0,96	0,25

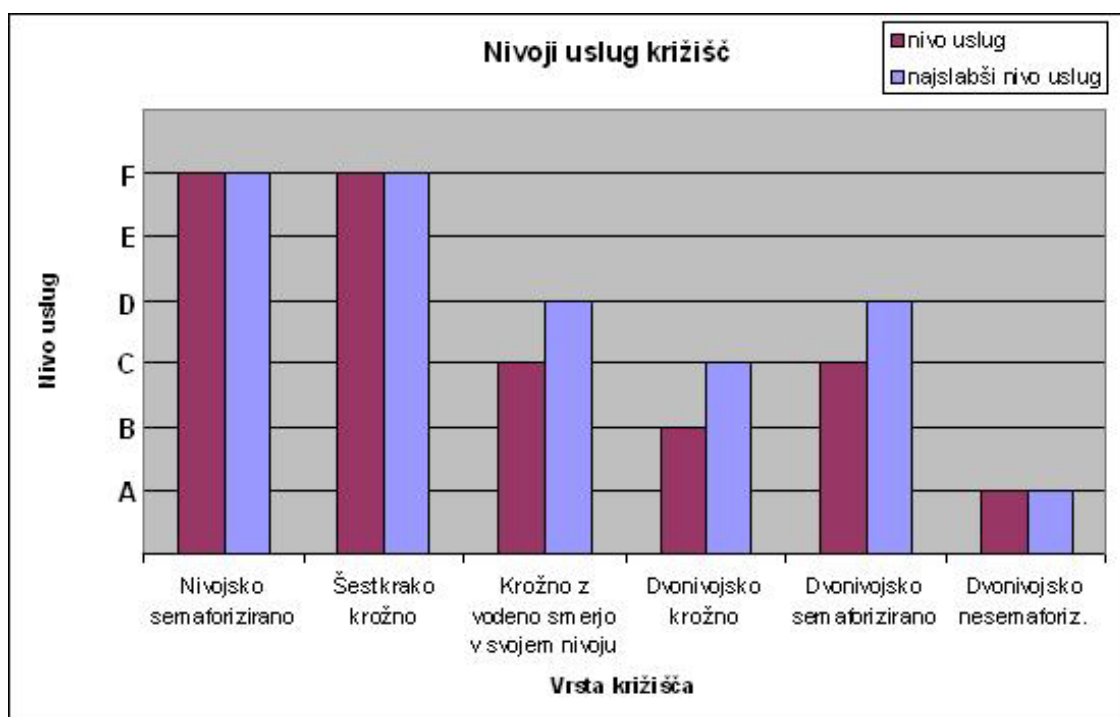


Grafikon 6: Stopnja ustavljanja v križiščih

12.2.5 Nivoji uslug

Preglednica 16: Primerjava nivojev uslug križišč

	Vrsta križišča					
	Nivojsko semaforizirano	»Šestkrako krožno«	Krožno z vodeno smerjo v svojem nivoju	Dvonivojsko krožno	Dvonivojsko semaforizirano	Dvonivojsko nesemaforiz.
najslabši nivo uslug	F	F	D	C	D	A
nivo uslug	F	F	C	B	C	A

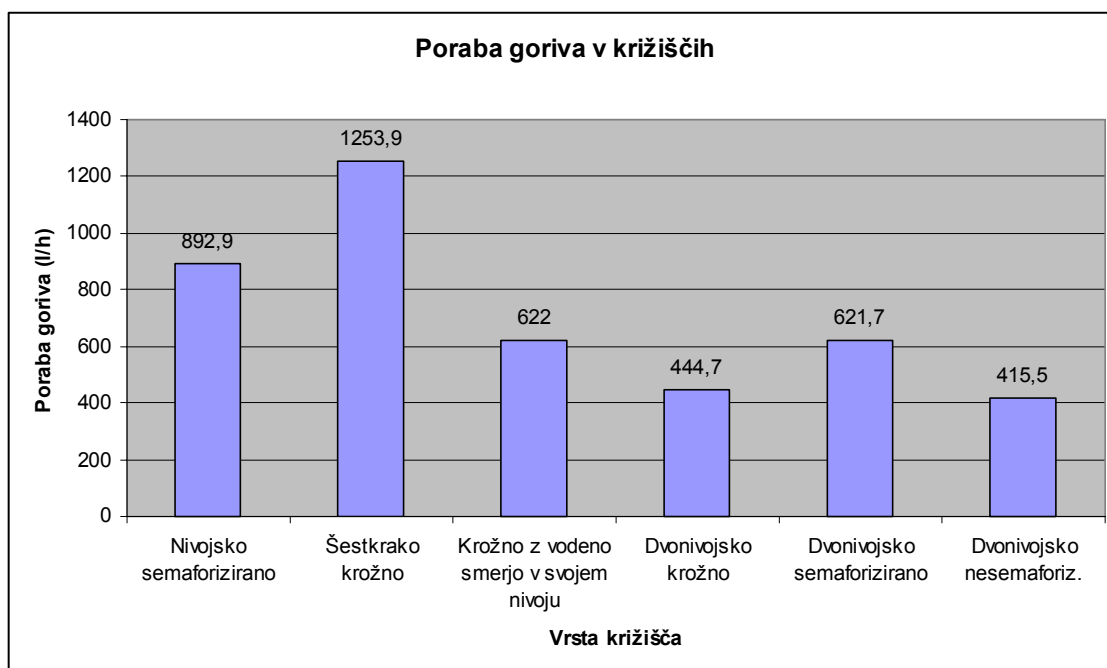


Grafikon 7: Nivoji uslug križišč

12.2.6 Poraba goriva

Preglednica 17: Primerjava porabe goriva v križiščih

Poraba goriva (l/h)	Vrsta križišča					
	Nivojsko semaforizirano	»Šestkrako krožno«	Krožno z vodeno smerjo v svojem nivoju	Dvonivojsko krožno	Dvonivojsko semaforizirano	Dvonivojsko nesemaforiz.
	892,9	1253,9	622,0	444,7	621,7	415,5

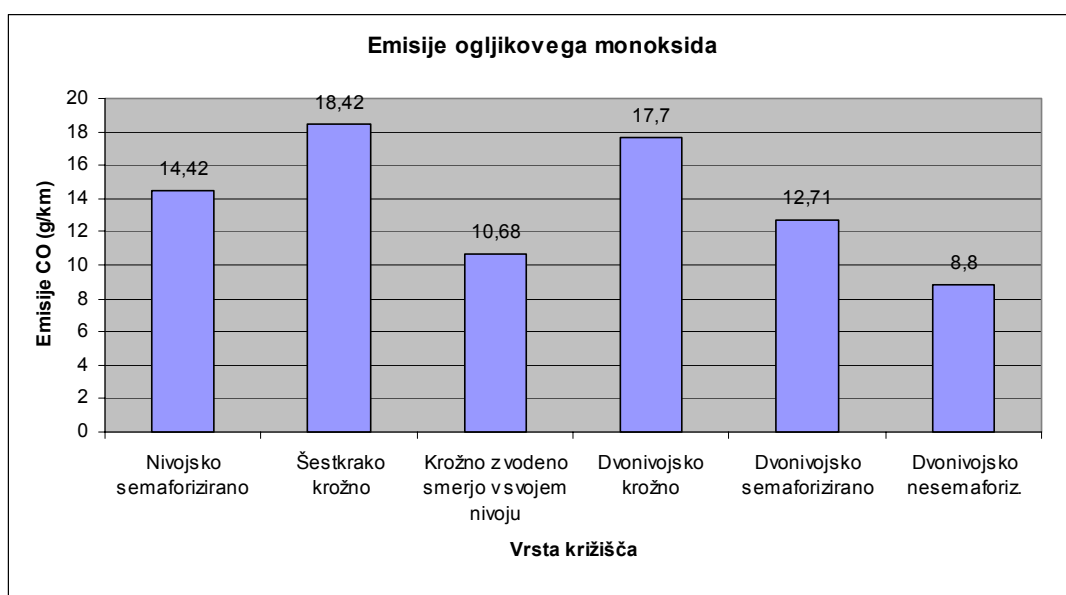


Grafikon 8: Poraba goriva križišč

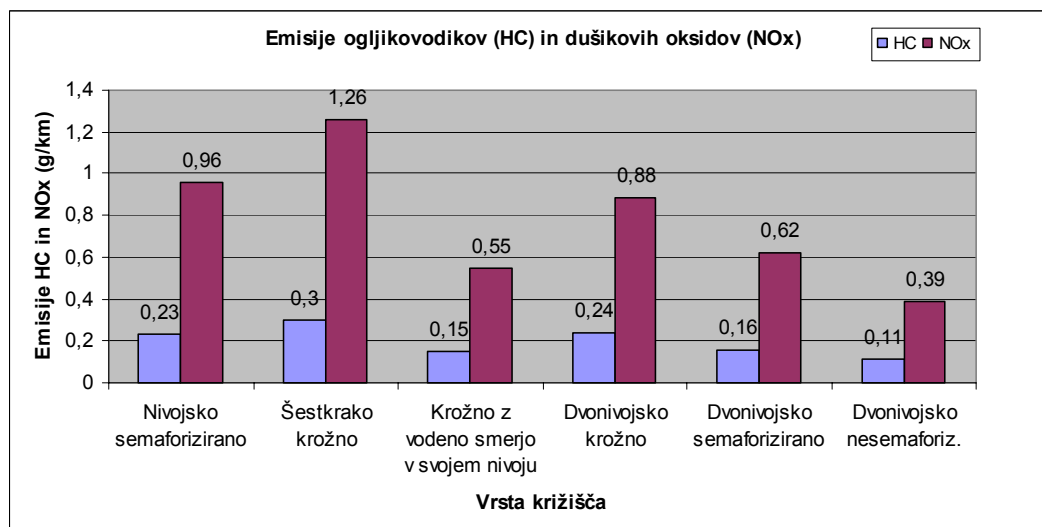
12.2.7 Emisije križišč

Preglednica 18: Primerjava emisij križišč

	Vrsta križišča					
	Nivojsko semaforizirano	»Šestkrako krožno«	Krožno z vodeno smerjo v svojem nivoju	Dvonivojsko krožno	Dvonivojsko semaforizirano	Dvonivojsko nesemaforiz.
Ogljikovodiki HC (g/km)	0,23	0,30	0,15	0,24	0,16	0,11
Ogljikov monoksid CO (g/km)	14,42	18,42	10,68	17,70	12,71	8,80
Dušikovi oksidi NO _x (g/km)	0,96	1,26	0,55	0,88	0,62	0,39



Grafikon 9: Emisije ogljikovega monoksida



Grafikon 10: Emisije ogljikovodikov in dušikovih oksidov

12.3 Vrednotenje rezultatov

Od vseh križišč najslabše rezultate poda nivojsko semaforizirano križišče, ki najmanj ustreza podanim obremenitvam, saj je s povprečno zamudo 244,0 sekund na vozilo močno presežena mejna zamuda za nivo uslug E, kot jo podaja HCM klasifikacija (manj kot 80 sekund na vozilo).

Podobno sliko dobimo tudi pri varianti križišča z vključeno Grablovičevo in Kolinsko ulico, saj povprečne zamude znašajo 175,5 sekund na vozilo, kar jasno govori o neprimernosti križišča.

Ostala križišča podajajo boljše rezultate. Najslabši nivoji uslug so D, z izjemo dvonivojskega nesemaforiziranega križišča, kjer tudi »najslabši« nivo uslug znaša A. Na prvi pogled ta zadnji podatek vzbuja mnenje, da je dvonivojsko nesemaforizirano križišče predimenzionirano, vendar temu ni tako, saj odvzemanje kateregakoli pasu, oziroma kakršnokoli rekonstruiranje križišča v smislu nižanja nivoja uslug povzroči prenasičenost križišča in nivo uslug F.

Najprimernejši rešitvi (s stališča ekonomičnosti, kompliciranosti izvedbe in kapacitet) sta v našem primeru krožno križišče z vodeno smerjo v svojem nivoju in dvonivojsko semaforizirano križišče. Osebo bi se odločil za izvedbo dvonivojskega semaforiziranega križišča, saj ima več rezerve (je manj izkoriščeno), tako da bi delovalo ugodno tudi ob večjih prometnih obremenitvah (seveda s prilagajanjem krmilnega programa prometnim tokovom). Tudi krožno križišče z vodeno smerjo v svojem nivoju je dobra rešitev, saj je tudi ob majhnih povečanjih prometnih obremenitev še vedno primerno.

Z ekološkega stališča je najprimernejše križišče dvonivojsko nesemaforizirano križišče, kar je posledica majhne stopnje ustavljanja, ki omogoča vozilom vožnjo brez večjih pospeševanj. Emisije dvonivojskega semaforiziranega križišča in krožnega križišča z vodeno smerjo v svojem nivoju so primerljive, kot tudi ostale lastnosti teh dveh križišč. Izpušnih plinov je največ pri nivojskem semaforiziranem križišču in nivojskem krožnem križišču z vključeno Grablovičevo in Kolinsko ulico, tako da sta tudi z ekološkega vidika ti dve rešitvi najmanj primerni.

13 ZAKLJUČEK

Za zagotovitev čimboljših prometnih uslug je potrebno kakovostno vodenje prometa, pomembna pa je tudi izraba prostora, s čimer je mišljen prostor, ki ga potrebuje mestno križišče. Ker rešitve s klasičnimi (nesemaforiziranimi, semaforiziranimi, krožnimi) nivojskimi rešitvami niso vedno primerne, je vedno bolj potrebna uporaba modernejših rešitev. Izvenivojska križišča (dvonivojsko semaforizirano, dvonivojsko nesemaforizirano, dvonivojsko krožno in kombinacije le-teh) so dobre rešitve problema, ki nastane z večanjem prometnih obremenitev.

V nalogi opisani običajni nivojski križišči (semaforizirano križišče in šestkrako krožno križišče), ki sta namenjeni občutku o kvaliteti ostalih križišč, ne zadostujeta prometnim obremenitvam in zato izkazujeta nivo uslug F. Ostala križišča (križišče z vodeno smerjo v svojem nivoju, dvonivojsko krožno križišče, dvonivojsko semaforizirano križišče in dvonivojsko nesemaforizirano križišče) pa zadovoljivo rešujejo prometne razmere na obravnavani lokaciji (križišče Zmajski podvoz). Potekanje prometa je tekoče, zamude so razmeroma majhne, nivoji uslug so zadovoljivi. Vendar se je potrebno vprašati, kaj bo s temi križišči, ko se bodo prometne obremenitve še bolj povečale. Če se bo trend povečevanja prometnih tokov nadaljeval (ni vidnejšega razloga, da se ne bi), bodo namreč tudi opisana križišča preslaba. Začetne težave bodo sicer rešljive z večanjem števila voznih pasov, vendar le do meje, ko to zaradi pomanjkanja prostora ne bo več mogoče. Nastala bo potreba po več kot dvonivojskih križiščih, katerih izvedba je dražja in zahtevnejša.

Vedeti moramo, da boljše kot so ceste in prometno vodenje, več vozil prometni sistem pritegne. Pojavi se torej vprašanje, če ima smisel povečevati kapacitete križišč v prometnem sistemu. Vendar je to vprašanje bolj retorično, saj nevzdrževanje prometnega sistema, oziroma nesledenje spremembam prometnih obremenitev, povzroči nesposobnost sistema za prevzem prometnih obremenitev in s tem prometni kaos.

Omeniti je potrebno dejstvo, da so omenjene rešitve neke vrste zdravljenje nastalih težav, zato ima pri reševanju problemov s preobremenjenostjo križišč velik pomen izvajanje prometne politike, s čimer je mišljena upočasnitev rasti osebne prometa v mestih, in sicer z

osveščanjem voznikov o uporabi drugih vrst prevoza (avtobusi, kolesa, cestna železnica...), o večanju zasedenosti osebnih vozil (t.i. car pooling) in podobno.

Kakorkoli že, omenjena moderna dvonivojska križišča ponujajo pozitivno rešitev težav povezanih s prenasičenostjo prometnega sistema. Za lokacijo opisano v nalogi, križišče Zmajski podvoz, sta najbolj primerni rešitvi dvonivojsko semaforizirano križišče in krožno križišče z vodeno smerjo v svojem nivoju. Prometni tokovi pri nas niso dovolj veliki za upravičenost gradnje dvonivojskega nesemaforiziranega križišča, saj je uporaba take rešitve primernejša, če gre za več kot štiripasovne ceste (šestpasovnice, osemipasovnice), poleg tega pa je tudi sama izvedba križišča zelo zahtevna, saj obsega veliko število podvozov in nadvozov. Vprašljiva je tudi gradnja dvonivojskega krožnega križišča, saj z velikim številom prepletanj na razmeroma kratkih krožnih lokih med uvozi oziroma izvozi število konfliktnih točk narašča, omenjena težava pa ima negativen vpliv tudi na samo vodenje prometa.

Na križišču Zmajski podvoz se vse dvonivojske rešitve s stališča vodenja prometnih tokov dobro obnesejo. Zaradi prostorskih omejitev (majhna razdalja med središčem križišča in železniškim nadvozom) izvedba dvonivojskega nesemaforiziranega križišča verjetno ni sprejemljiva, saj je reševanje vodenja povezovalnih cest med zgornjim in spodnjim nivojem križišča omejeno. Dvonivojsko krožno križišče med preostalimi variantami podaja najboljše rezultate, vendar, kot že omenjeno, tudi ta rešitev ni najboljša zaradi velikega števila prepletanj v samem krožišču, saj majhen radij in posledično kratki krožni loki med posameznimi uvozi to prepletanje omejujejo.

Zaradi zgoraj opisanega predlagamo obdelavo primernejših dveh variant (dvonivojskega semaforiziranega križišča in krožnega križišča z vodeno smerjo v svojem nivoju) s projektno tehničnega stališča.

Vsekakor možnosti za reševanje prometnih problemov s sodobnimi projektno tehničnimi rešitvami pri nas obstajajo, saj so težave, povezane s prenasičenostjo, še vedno obvladljive. V nalogi opisane sodobne izvenivojske rešitve ponujajo nove vrste križišč, ki jih pri nas še ne poznamo, so pa primerne za izvedbo na našem področju (tudi dvonivojsko nesemaforizirano in dvonivojsko krožno križišče, ki sta v tej nalogi sicer označeni kot manj primerni za obravnavano lokacijo, vendar sta morda primernejši za katero drugo). Zato je, preden se

odločimo za klasično reševanje preobremenjenega križišča, pametno ugotoviti primernost katere od v nalogi opisanih sodobnejših izvenivojskih variant.

VIRI

Kastelic, T. Avtomatske naprave v prometu – skripta.

Kastelic, T., Breška, Z., Čertanc, N., et al. 1991. Tehnični normativi za projektiranje in opremo mestnih prometnih površin. FGG – PTI. Ljubljana

Maher, T. Krožna križišča – skripta.

Tollazzi, T. 2000. Krožna križišča. Fakulteta za gradbeništvo – UM. Maribor.

Tollazzi, T., Renčelj M. 2006. Prispevek k metodologiji za napovedovanje pričakovane ravni prometne varnosti v načrtovanih nivojskih križiščih. Gradbeni vestnik. 55. 134 – 140.

Tollazzi, T. 2006. Turbo krožno križišče. Gradbeni vestnik. 55. 14 – 18.

Žura, M., Juvanc, A., Maher, T., et al. 2004. Prometna ureditev območja potniške postaje Ljubljana. FGG – PTI. Ljubljana

Robinson W. B., Kittelson, W., et al. 2000. Roundabouts: An Informational Guide.
<http://www.tfhrc.gov/safety/00068.htm> (27.3.2007)

Internetni viri:

<http://intersections.system.com>

<http://kremen.arso.gov.si/nvatlas>

<http://ppmol.org/urbanizem>

<http://www.urbanstreet.info>